

Technologische innovaties voor de militaire gezondheidszorg

‘Telehealth’ voor virtuele consultatie tijdens missies, ondersteuning van militair artsen met behulp van ‘augmented reality’, of vroegtijdige bloedstolling bij letsel met behulp van nanomedicine. Deze technologische innovaties kunnen bijdragen aan het behoud en de bevordering van de gezondheid en aan een optimale inzetbaarheid van de militair. Dit artikel beschrijft meerdere medisch relevante technologische toepassingen aan de hand van vier categorieën: Sensoring & Monitoring, Robotica & Artificial Intelligence, Genomica & Biotechnologie, en Nanomedicine. Eerst komt de vraag aan de orde welke ontwikkelingen, zowel civiel als operationeel, de behoefte aan technologische ontwikkelingen voeden. Vervolgens worden de vier categorieën en subcategorieën uiteengezet, met inbegrip van concrete toepassingen en voorbeelden uit de praktijk. Het doel van dit artikel is bewustwording creëren van de mogelijkheden en – soms – risico’s van technologische ontwikkelingen binnen het ‘human domain’ die relevant zijn voor de militaire gezondheidszorg.

D.J. Siemerink, MSc*

Een van de taken van de Militaire Gezondheidszorg (MGZ) is het leveren van operationele geneeskundige ondersteuning.¹ Hierbij streeft men naar een hoogwaardige kwaliteit van zorg die, ook onder operationele omstandigheden, afgestemd is op civiele kwaliteitsnormen. Tijdens multinationale operaties dient men tevens te voldoen aan de NAVO-richtlijnen voor tijdige en adequate hulpverlening en afvoer van gewonden.²

Veranderingen in operationele omstandigheden zorgen voor toenemende complexiteit bij zorgverlening tijdens missies. Concrete voorbeelden hiervan zijn het expanderende en moeilijker begaanbaar wordende voorterrein bij grootschalig optreden, de toename van kleinschalige operaties (*light footprint operations* - LFO), urbanisatie en hybride oorlogvoering.

De inzet van uitgebreide medische voorzieningen is in deze gevallen niet altijd haalbaar. Daarnaast zorgt de dynamiek in dimensies en domeinen van oorlogvoering voor een toename van de complexiteit.

Maatregelen die zijn gericht op het bevorderen en behouden van de gezondheid en inzetbaarheid worden steeds meer beschouwd als onderdelen van het omvangrijke *human domain*. Technologische ontwikkelingen en hyper-

* De auteur heeft Biomedical Engineering gestudeerd aan de Universiteit Twente en is werkzaam als adviseur Innovatie op het gebied van medische techniek bij de afdeling Strategische Militaire Gezondheidszorg van de Staf DGO.

1 Blauwdruk Militaire Gezondheidszorg 2015, ‘Zorg voor inzetbaarheid, inzet voor zorg’, 1 augustus 2011.

2 R. Hoencamp, ‘Afghanistan 2006-2010: medical aspects and challenges’, in: *Task Force Uruzgan* (2015).



FOTO: US ARMY/S. REEL

Telemedicine, oftewel zorg op afstand, wordt al bijna honderd jaar toegepast in de gezondheidszorg

connectiviteit voeden het belang van het *cyber domain* en de beheersing van het elektromagnetisch spectrum.³ Deze spelen ook binnen de MGZ een steeds grotere rol met de digitalisering van de gezondheidszorg.

De veranderingen vormen een uitdaging als het gaat om het voldoen aan de doelstelling van kwalitatief hoogwaardige gezondheidszorg leveren. Het vergt adaptiviteit en flexibiliteit om te kunnen anticiperen op deze veranderende omstandigheden en om aan de gevarieerde zorgvraag te kunnen voldoen. Dit artikel beschrijft hoe verschillende technologische innovaties hierin een rol kunnen gaan spelen.

Civiele ontwikkelingen

De MGZ wordt, naast verandering in operationele omstandigheden, ook beïnvloed door civiele ontwikkelingen. Deze kunnen bijdragen aan het consolideren en bevorderen van de kwaliteit van de zorg. Dit maakt Defensie een aantrekkelijke en progressieve werkgever, wat de continue uitwisseling van medisch personeel met de civiele arbeidsmarkt kan stimuleren. De gezondheidszorg wordt steeds meer als een continuüm beschouwd van gezondheidsbevordering en ziektepreventie, waarbij de patiënt centraal staat.

Gezondheid kan volgens Machteld Huber het best beschreven worden als *'het vermogen om zich aan te passen en een eigen regie te voeren, in het licht van de fysieke, emotionele en sociale uitdagingen in het leven'*.⁴ Door toenemende connectiviteit kan er meer medische data door de patiënt ontsloten worden. Dit vergroot de zelfredzaamheid, de regie en de zelfzorg van patiënten, wat overigens ook wordt gestimu-

3 Land-Warfare-Centre. Editie Silene - Deducties voor het landoptreden. Utrecht: Afdeling Land Warfare, 2015.

4 M.A.S. Huber, 'Towards a new, dynamic concept of Health: Its operationalisation and use in public health and healthcare and in evaluating health effects of food', Proefschrift Universiteit Maastricht (2014).

leerd vanuit de overheid.⁵ Dit artikel beschrijft toepassingen die bijdragen aan het optimaal benutten van medische data en die inzicht geven in de gezondheid en inzetbaarheid van de militair.

Naast mogelijkheden ook risico's

De categorisering van de toepassingen zoals gebruikt in dit artikel, is vooral bedoeld om een overzicht te geven en sluit een overlap of samenhang niet uit. Veel toepassingen zullen elkaars ontwikkeling en functioneren namelijk versterken, wat een exponentiële technologische groei kan veroorzaken. Niet meegaan in deze ontwikkeling betekent al snel een onacceptabele achterstand. Wanneer opposenten technologische innovaties toepassen, kan men hierdoor verrast worden. Om dreigingen te kunnen onderkennen, is het immers van belang om te weten welke ontwikkelingen gaande zijn en waar kennis en kunde te behalen valt. Dit artikel beoogt bij te dragen aan het ontsluiten van kennis over toepassingsmogelijkheden en risico's van medisch technologische ontwikkelingen.

Sensing & Monitoring

Telemedicine

Het concept *telemedicine* wordt inmiddels al bijna honderd jaar toegepast in de dagelijkse gezondheidszorg.⁶ De letterlijke betekenis van het begrip telemedicine is: 'healing at a distance', oftewel zorg op afstand.⁷ Volgens de Nederlandse Technische Afspraak (NTA) gaat het om een telemedicine toepassing wanneer een proces in de gezondheidszorg voldoet aan twee voorwaarden:

- 1) afstand wordt overbrugd met behulp van ICT;
- 2) waarbij minstens twee personen betrokken zijn en tenminste één van hen geregistreerd staat als zorgprofessional of handelt in opdracht van een geregistreerd zorgprofessional.⁸

De ruimte die deze definitie biedt, zorgt ervoor dat er veel medisch technologische toepassingen behoren tot deze categorie. Bijvoorbeeld

het verzenden van patiëntgegevens vanuit een ambulance naar een zorginstelling,⁹ of het verzenden van sensordata vanuit de thuissituatie van een patiënt naar een zorgprofessional.¹⁰

Dankzij teleconsulting kan een militair tijdens missies in contact zijn met elke medisch specialist – zonder locatiebeperking

Een relevante toepassing van telemedicine voor de MGZ is *teleconsulting*, waarbij een virtueel consult plaatsvindt tussen medisch specialist en patiënt met behulp van ICT. Dankzij deze technologie kan een militair tijdens missie worden voorzien van een hoge kwaliteit zorg, doordat men in contact kan worden gebracht met elke medisch specialist zonder locatiebeperking. Uiteindelijk verhoogt dit dus de kwaliteit van de MGZ en bevordert dit de gezondheid en daarmee de inzetbaarheid van de militair.

Het teleconsult concept wordt al sinds 2014 toegepast in de Amerikaanse krijgsmacht.¹¹ Een concreet voorbeeld hiervan is het *telehealth* programma, dat is opgestart om Amerikaanse militairen die in Europa zijn te werk gesteld te voorzien van optimale zorg met behulp van virtuele consultatie.¹²

5 J. Krijgsman, 'E-Health Monitor 2016; Nictiz (2016).

6 S. Tachakra, 'Mobile e-health: the unwired evolution of telemedicine', *Telemedicine Journal and E-health* (2003) 9(3): p. 247-257.

7 S. Sood 'What is telemedicine? A collection of 104 peer-reviewed perspectives and theoretical underpinnings', *Telemedicine and e-Health* (2007) 13(5): 573-590.

8 Nederlandse Norm, 'Medische Informatica - Kwaliteitseisen telemedicine', NEN-8028:2011 (2011).

9 L. Yperzeele, 'Feasibility of Ambulance-Based Telemedicine (FACT) Study: Safety, Feasibility and Reliability of Third Generation In-Ambulance Telemedicine', in *PLOS ONE* (2014).

10 B.H. Dobkin, 'The Promise of mHealth: Daily Activity Monitoring and Outcome Assessments by Wearable Sensors', in *Neurorehabil Neural Repair* (2011) 25 (9) 788-798.

11 Army Medicine, 'The power of virtual health' (2016), <http://armymedicine.mil/Pages/telehealth.aspx>.



FOTO: US AIR FORCE, W. FARNSWORTH

Het monitoren van vitale parameters, zowel operationeel als regulier, kan ertoe leiden dat er eerder maatregelen worden genomen die de gezondheid bevorderen. Hiermee kan uitval worden gereduceerd en de inzetbaarheid worden verhoogd

Portable diagnostiek

De eerder beschreven veranderende inzet zorgt voor een grotere behoefte aan zorgprocessen rond de *point of injury* (POI). Dit vergt echter flexibele en mobiele medische voorzieningen. De prioriteit daarbij is om kwalitatief hoogwaardige diagnostische middelen zo dicht mogelijk bij de POI in te zetten. Hiermee kan sneller, betrouwbaarder en nauwkeuriger een diagnose worden gesteld, waarmee een betere inschatting kan worden gemaakt van de situatie van de patiënt.

Uiteindelijk zorgt dit voor efficiëntere afhandeling van gewonden, waarmee de kwaliteit van de geleverde zorg en de inzetbaarheid van de militairen toeneemt en de kosten afnemen. Concrete toepassingen hiervan zijn: *portable monitoring* systemen voor het continu zichtbaar maken van vitale parameters; draagbare tests voor bloedanalyse, bijvoorbeeld met betrekking tot CBRN¹³ dreigingen; en *portable ultrasound* systemen waarmee kwalitatief hoogwaardige diagnostiek kan worden verricht.¹⁴

Deze toepassingen vergen minimale middelen, zoals een portable ultrasound systeem, dat gebruik maakt van een echosonde gekoppeld aan een smartphone-applicatie.¹⁵ De portable ultrasound systemen kunnen echter de kwaliteit en efficiëntie van de zorg in een role 0/1 of tijdens een Medische Evacuatie (MedEvac) verhogen en meer gedetailleerde inzichten geven in de situatie van de patiënt in vergelijking tot de stethoscoop.¹⁶ Verschillende vormen van deze systemen worden al sinds

12 S. Garner, 'Telehealth Brings Long Distance Specialists to You', in U.S. Army, 15 januari 2015, Zie: https://www.army.mil/article/141020/Telehealth_Brings_Long_Distance_Specialists_to_You/.

13 Dreigingen met betrekking tot Chemische, Biologische, Radiologische of Nucleaire stoffen.

14 A.W. Kirkpatrick, 'Introduction to the use of ultrasound in critical care medicine', in *Crit Care Med* (2007) 35 (5) 290-304. C.L. Moore, 'Point-of-care ultrasonography', in *New England Journal of Medicine* (2011) 364 (8) 749-757.

15 Aditi Pai, 'Philips launches FDA-cleared smartphone-connected ultrasound device', 23 november 2015. Zie: <http://www.mobihealthnews.com/48756/philips-launches-fda-cleared-smartphone-connected-ultrasound-device/>.

2009 door Amerikaanse *Special Forces medics* gebruikt en hebben hun toegevoegde waarde voor de operationele MGZ bewezen.¹⁷

Wearables

Zoals eerder beschreven is er een trend waarneembaar binnen de gezondheidszorg waarbij de patiënt regisseur wordt van de eigen gezondheid.¹⁸ Door *the internet of things* heeft de patiënt continu toegang tot medische kennis die voorheen voornamelijk tijdens een bezoek aan een medisch specialist werd verkregen.¹⁹ Daarnaast spelen commerciële partijen in op deze trend van zelfregie door producten aan te bieden die mensen in staat stellen om op eenvoudige wijze de eigen fysiologische parameters te kunnen monitoren.

Deze *Body Area Network (BAN)* technologie is opgebouwd uit een draadloos netwerk van sensoren, bedoeld om fysiologische en vitale parameters te monitoren, met als oogmerk bevordering van de gezondheid.²⁰ Hiertoe behoren ook *track & trace* applicaties die binnen de MGZ een bijdrage kunnen leveren aan een efficiëntere gewondenafvoer en -overdracht. Er is echter ook kritiek en discussie over de validiteit, betrouwbaarheid en effectiviteit van deze BAN's of *wearables*, die grotendeels afhankelijk is van de kwaliteit van het apparaat, maar ook van de toepassing door de gebruiker.²¹

Het gebruik van valide en betrouwbare wearables bij de individuele militair kan bijdragen aan inzicht in diens inzetbaarheid. Ook kan het monitoren van vitale parameters, zowel operationeel als regulier, het nemen van preventieve gezondheidsmaatregelen bevorderen. Hiermee kan uitval worden gereduceerd en dus de inzetbaarheid worden bevorderd. Toch zal de organisatie zich ook bewust moeten zijn van de uitdaging die er ligt op het gebied van integriteit en omgang met privacygevoelige data. Wanneer hier echter eenduidige intenties en onderbouwde argumenten voor worden vastgelegd, zou dit een toepassing mogelijk moeten maken die voor zowel werkgever als werknemer een toegevoegde waarde heeft.



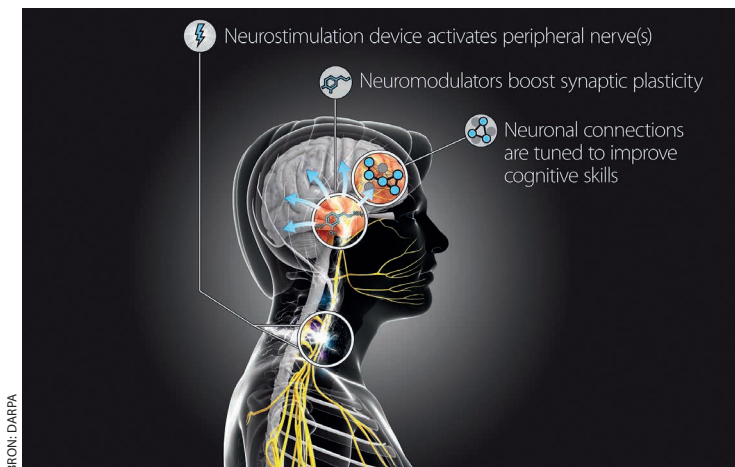
FOTO: US MARINE CORPS, A. SOTO-DELGADO

Bij het opleiden van jonge militaire artsen maakt men vooral in de VS vaak gebruik van 'augmented reality'-technologie. Hierbij kunnen artsen 'meekijken' met een operatie door de ogen van een medisch specialist of zelf virtueel een chirurgische ingreep uitvoeren

Augmented Reality

Als het gaat om het optimaal voorbereiden van militair artsen en verpleegkundigen kan en moet er altijd naar verbetering worden gestreefd. Naast de stressvolle operationele omstandigheden heeft men tijdens een missie te maken met een specifieke patiëntengroep, die afwijkt van de groep patiënten die men tijdens civiele stages tegenkomt. Militair artsen vertrouwd laten raken met complexe gevechtsverwondingen is dan ook een essentieel onderdeel van het opleiden.

- 16 F. Al, Fakoya, 'Ultrasound and stethoscope as tools in medical education and practice: considerations for the archives', in *Advances in Medical Education and Practice* (2016) (7) 381-387.
- 17 J.D. Crisp, 'Portable ultrasound empowers Special Forces medics', 3 februari 2010. Zie: <https://www.army.mil/article/33923/portable-ultrasound-empowers-special-forces-medics>.
- 18 J. Krijgsman, 'E-Health Monitor 2016', in *Nictiz* (2016).
- 19 J. A. Diaz, 'Patients' Use of the Internet for Medical Information', in *Journal of General Internal Medicine* (2002) 17 (3)180-185.
- 20 Min Chen, 'Body Area Networks: A Survey', in *Mobile Networks and Applications* (2011) 16 (2) 171-193.
- 21 J. Jacobs, 'Blog: allemaal rotzooi, die consumenten wearables', SmartHealth 22 maart 2016, <http://www.smarthealth.nl/Blog:-allemaal-rotzooi-die-consumenten-wearables>. H. Murakami, 'Accuracy of Wearable Devices for Estimating Total Energy Expenditure', in *JAMA Internal Medicine* (2016) 176 (5) 702-203. K.R. Evenson, 'Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers', in *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* (2015) 12:159.



De laatste jaren is er ook veel onderzoek naar het psychisch functioneren en vooral naar de wijze waarop hersenactiviteit kan worden gemeten en beïnvloed

In het huidige systeem oefenen jonge militaire artsen hun chirurgische capaciteiten voornamelijk met burgers, waarbij verwondingen vaak verschillen van militaire gevechtsverwondingen.²² Bij het opleiden van civiele medisch specialisten maakt men inmiddels gebruik van *virtual* of *augmented reality*-technologie. Hierbij kunnen artsen-in-opleiding meekijken met een operatie 'door de ogen' van de uitvoerend medisch specialist, of zelf een virtuele chirurgische ingreep uitvoeren.²³ De ervaring die een medisch specialist in opleiding zo opdoet, draagt bij aan de *situational awareness* die benodigd is voor het uitvoeren van een complexe chirurgische ingreep.

Daarnaast wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijkheden met augmented reality ter ondersteuning van de uitvoerend arts. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van de Microsoft HoloLens tijdens neurochirurgie.²⁴ Hierbij kunnen dieper gelegen hersenweefsels virtueel zichtbaar worden gemaakt zonder dat daarbij het weefsel hoeft te worden aangetast.

Augmented reality technologie is daarmee niet alleen van toepassing voor opleiding en training, maar kan ook dienen ter ondersteuning van een uitvoerend medisch specialist. Deze technologie biedt daarmee mogelijkheden om tijdens uitdagende operationele omstandigheden kwalitatief hoogwaardige zorg te leveren. Toepassingen van augmented reality beschouwt de Amerikaanse krijgsmacht als technieken die de kwaliteit bevorderen, zoals het rapport van het TATRC beschrijft.²⁵

Robotica & AI

Human enhancement

Menselijke fysiologische capaciteiten zijn grotendeels afhankelijk van genetische eigenschappen en leefstijl-factoren. Deze capaciteiten kunnen gedeeltelijk worden gemanipuleerd met behulp van technologische toepassingen. Hierbij kan gedacht worden aan *ex vivo* middelen die de anatomische structuren van de mens kunnen ontlasten. Een exoskelet bijvoorbeeld, stelt militairen in staat om grotere afstanden af te leggen met zwaardere bepakking, met minder inspanning en een kleinere kans op blessures.

Naast *ex vivo* zijn er ook *in vivo* mogelijkheden voor uitbreiding of vergroting van menselijke capaciteiten. Hierbij zijn er toepassingen die motorische, sensorische en/of cognitieve capaciteiten kunnen vergroten. Er zijn veel praktijkvoorbeelden bekend waarin werd gepoogd militaire prestaties te bevorderen met behulp van medicatie en stimulerende middelen.²⁶ Deze toepassingen waren vooral gericht op het bevorderen van fysieke gesteldheid.

Momenteel loopt er echter ook veel onderzoek naar het psychisch functioneren, en dan vooral hoe dit kan worden gemeten en beïnvloed.

- 22 R. Hoencamp, 'Afghanistan 2006-2010: medical aspects and challenges', in *Task Force Uruzgan* (2015).
- 23 Frederieke Jacobs, 'De medische voordelen van een virtuele wereld', SmartHealth 23 april 2015, <http://www.smarthealth.nl/trendition/2015/04/23/de-medische-voordelen-van-een-virtuele-wereld/>.
- 24 D. Coldewey, 'Duke neurosurgeons test HoloLens as an AR assist on tricky procedures', 10 oktober 2016. Zie: <https://techcrunch.com/2016/10/10/duke-neurosurgeons-test-holo-lens-as-an-ar-assist-on-tricky-procedures/>.
- 25 D. Petruzello, 'Annual Report of Telemedicine & Advanced Technology Research Center', Frederick Maryland: United States Army Medical Research Center and Material Command (2009).
- 26 D. Shunk, 'Ethics and the Enhanced Soldier of the Near Future', Army Capabilities Integration Center, US Army januari-februari 2015, Zie: http://usacac.army.mil/CAC2/MilitaryReview/Archives/English/MilitaryReview_20150228_art017.pdf.



FOTO: MCDI, E. VOIRSTENBOSCH

De traditionele, gevaarlijke manier van het afvoeren van gewonden. De Militaire Gezondheidszorg kijkt naar de mogelijkheden van autonome transportsystemen voor gewondenafvoer. Met behulp van een Unmanned Aerial Vehicle (UAV) zou men onafhankelijk van het terrein zijn

Binnen DARPA loopt het *silent talk* project, waarbij met behulp van *Brain-Computer-Interfaces* (BCIs) hersenactiviteit kan worden uitgelezen en worden vertaald in elektrische signalen.²⁷ Deze technologische ontwikkelingen gaan gepaard met manipulaties van het menselijk denken en handelen, en brengen dus risico's met zich mee en roepen ethische vragen op.

Voor de MGZ kunnen *human enhancement* toepassingen als preventieve maatregelen worden beschouwd die bijdragen aan duurzame inzetbaarheid van de individuele militair. Daarnaast kunnen de toepassingen zorgen voor verhoging van de individuele belastbaarheid en daarmee de operationele capaciteit vergroten.

Autonome MedEvac

Binnen de MGZ wordt er, net als in de civiele sector,²⁸ gekeken naar mogelijkheden van

autonome transportsystemen. Er is behoefte aan autonome systemen voor gewondenafvoer vanwege het verhoogde risico voor de bestuurder tijdens een vuurgevecht. Een andere reden is de toenemende lengte van het voorterrein waarin een vuurgevecht plaatsvindt.²⁹

-
- 27 Dr. G. Evans, 'Brain computer interfacing: a big step towards military mind-control', *Army-Technology* 17 juli 2013, <http://www.army-technology.com/features/featurebrain-computer-interfacing-military-mind-control/>. J.J. Shih, 'Brain-Computer Interfaces in Medicine', in *Mayo Clinic Proceedings* (2012) 87 (3) 268–279.
- 28 Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 'Mobiliteit nu en in de toekomst', 28 oktober 2016, <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/mobiliteit-nu-en-in-de-toekomst/inhoud/zelfrijdende-autos>. J.M. Anderson, 'Autonomous Vehicle Technology', Santa Monica, California: RAND Corporation (2016).
- 29 E.D. Martin, 'Characteristics of the Future Battlefield and Deployment', in *Strategies to Protect the Health of Deployed U.S. Forces*, door National Research Council (US) Board on Environmental Studies and Toxicology, Washington (DC): National Academies Press (2000).

Met behulp van een *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) zou men echter onafhankelijk van het terrein zijn, en daardoor ook onder extreme omstandigheden kunnen voldoen aan de internationaal gehanteerde tijdslimieten.

Autonoom transport sluit het risico dat gepaard gaat met een vuurgevecht voor de gewonden helaas niet uit

In het kader van snellere, efficiëntere en veiligere MedEvac is de prioriteit van de ontwikkeling van autonome transportsystemen evident. Autonoom transport sluit het risico dat gepaard gaat met een vuurgevecht voor de te vervoeren gewonden echter niet uit. Er zijn namelijk ook ontwikkelingen waarbij UAV's door elektronische metingen op afstand kunnen worden uitgeschakeld.³⁰ Toch zijn er zowel internationaal – binnen krijgsmachten en het bedrijfsleven³¹ – als nationaal al een aantal jaar hoopgevende ontwikkelingen gaande op dit gebied.³²

Artificial Intelligence

Digitalisering, en dan met name ontwikkelingen op het gebied van *sensing en monitoring*, gaat gepaard met het ontstaan van een grote hoeveelheid aan digitale data. Door de komst van internet kan deze data in zeer korte tijd voor zeer veel mensen toegankelijk worden gemaakt en wordt het genereren van nieuwe data gestimuleerd. Veel technologische ontwikkelingen dragen (in)direct bij aan de kwantiteit van digitale data, waardoor de hoeveelheid exponentieel toeneemt.

Sinds 2011 wordt te pas en te onpas de term *Big Data* gebruikt wanneer men spreekt over digitale data.³³ Men bedoelt dan meestal data van een grote hoeveelheid en een grote diversiteit, die met een hoge snelheid kan worden uitgewisseld. Er bestaat overigens geen eenduidige en algemeen geaccepteerde definitie van Big Data.³⁴ Big Data wordt bovendien echt relevant, wanneer er efficiënte methodes worden ontwikkeld waarmee relevante informatie uit deze grote hoeveelheid data gefilterd kan worden. Dit voedt de behoefte aan *Artificial Intelligence* (AI).

AI is moeilijk te bevatten en te omvatten, maar het is een domein waarover al sinds de Dartmouth Conferenties in 1956 met hoge verwachting wordt gesproken.³⁵ Er is geen eenduidige definitie van dit technologisch domein, maar volgens toonaangevende literatuur in dit vakgebied³⁶ zijn er vier verschillende benaderingen te onderscheiden: systemen die kunnen denken als mensen (ook wel *cognitive computing* genoemd);³⁷ systemen die kunnen handelen als mensen; systemen die rationeel kunnen denken; systemen die rationeel kunnen handelen. Men focust zich dus op het modelleren van menselijk functioneren, en dan vooral op het functioneren van het menselijk brein.

Met behulp van kleine processors, ook wel neuronen genoemd, kan een neuraal netwerk worden gecreëerd van verschillende lagen waarin willekeurige en onwillekeurige elektrisch signalen kunnen worden geïnitieerd en overgedragen.³⁸ Hierbij wordt het menselijk proces van leren gesimuleerd. Dit noemt men

30 D. Grossman, 'The Air Force Is Taking Down ISIS Drones Electronically', *Popular Mechanics* 24 oktober 2016, <http://www.popularmechanics.com/military/weapons/a23525/usaf-attack-isis-drones-electronically/>.

31 M. Cox, 'Firms Demonstrate Casualty Evacuation with Unmanned Helicopter', *Defense-Tech*. 28 mei 2015, <http://www.defensetech.org/2015/05/28/firms-demonstrate-casualty-evacuation-with-unmanned-helicopter/>.

32 Webredaction communication TUDelft, 'Delftse 'dubbeldekkerdrone' delftAcopter vliegt met slechts een propeller', TU Delft 19 september 2016, <http://www.tudelft.nl/nl/actueel/laatste-nieuws/artikel/detail/delftse-dubbeldekkerdrone-delftcopter-vliegt-met-slechts-een-propeller/>.

33 J. Stuard Ward, 'Undefined By Data: A Survey of Big Data Definitions', arXiv Preprint (2013).

34 D. van Beek, 'Wat is Big Data nu eigenlijk precies?' Dutch Bi Award, 11 juli 2015, <https://www.biaward.nl/wat-is-big-data-nu-eigenlijk-precies/>.

35 J. McCarthy, 'Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence', Hanover, New Hampshire: Dartmouth College (1955).

36 S. J. Russel, 'Artificial intelligence: A modern approach', Upper Saddle River: Prentice Hall (2003).

37 C. Rhinehart, 'The Impact of Cognitive Computing on Healthcare', International Business Machines Corporation, IBM Watson Health, 2015.

38 J. Schmidhuber, 'Deep learning in neural networks: An overview', in *Neural Networks* (2015) (61) 85-117.

ook wel *deep learning*. Het proces van deep learning wordt toegepast voor verschillende vormen van *machine learning*, onder meer in systemen voor spraak- en tekstherkenning.³⁹ Hierbij gaat het om een zelflerend systeem; een systeem dat getraind kan worden in het herkennen van patronen zonder vooraf vastgestelde voorwaarden en restricties.

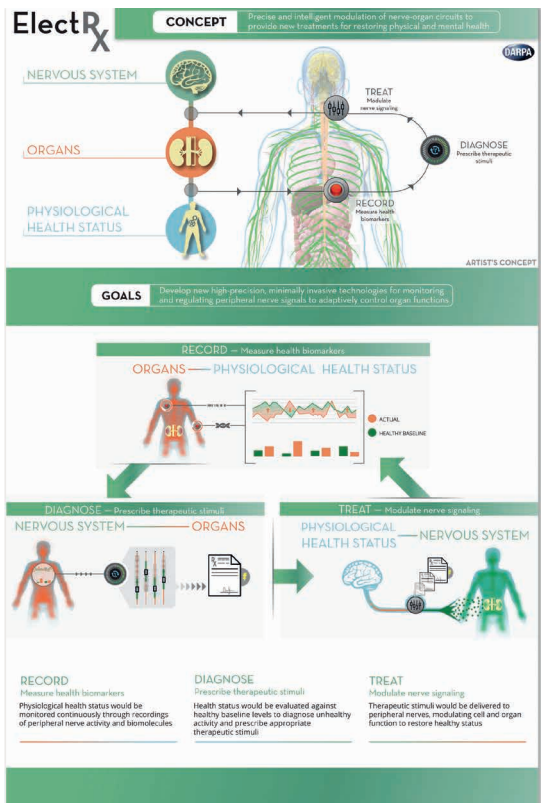
Momenteel zijn zowel marktleiders⁴⁰ als vele startups bezig met de ontwikkeling van AI voor het verwerken van onder meer medische Big Data.⁴¹ Dit biedt potentiële kansen voor de MGZ om de kwaliteit en de efficiëntie van de zorg te stimuleren. Met behulp van deep learning en *data mining* kunnen structuren en verbanden worden bemerkt binnen ongestructureerde medische data, wat kan leiden tot nieuwe kennis en inzichten.⁴² Dit kan bijdragen aan onder meer voorspelende geneeskunde, ziektepreventie en dus gezondheidsbevordering en inzicht in de inzetbaarheid.

Daarnaast wordt binnen de curatieve gezondheidszorg meer *symptom based medicine* mogelijk gemaakt, doordat een intelligent systeem, gebaseerd op Big Data, de meest waarschijnlijke diagnose kan stellen aan de hand van symptomen. De ontwikkeling van AI kan daarmee bijdragen aan optimalisatie van de MGZ in de vorm van meer *predictive, preventive and personalized medicine*.⁴³

Ook in dit domein spelen ethische kwesties die relevant zijn voor Defensie. Grote spelers binnen dit domein benadrukken het risico van de mogelijkheid dat AI kan functioneren zonder menselijke invloed. Aangezien meerdere landen aan het experimenteren zijn met systemen die volledig autonoom kunnen opereren op basis van AI,⁴⁴ is het voor het kunnen beheersen van potentiële risico's essentieel om kennis en kunde beschikbaar te hebben.

Quantum computing

Men spreekt van digitale data wanneer de data een beperkt aantal discrete waarden kan aannemen in tegenstelling tot analoge data. Normaal gesproken is dit aantal discrete



Een schematische weergave van het intelligent monitoren van de zenuwbanen. Het doel ervan is nieuwe behandelingen te kunnen aanbieden die de fysieke en mentale gezondheid herstellen

waarden beperkt tot twee en wordt er gesproken over een binaire waarde of variabele. Deze waarde, in de computerwereld 'bit' genoemd,

39 M. Copeland, 'What's the Difference Between Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning?', NVIDIA 29 juli 2016, <https://blogs.nvidia.com/blog/2016/07/29/whats-difference-artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning-ai/>.

40 K. Finley, 'Tech Giants Team Up to Keep AI From Getting Out of Hand', Wired 28 september 2016, <https://www.wired.com/2016/09/google-facebook-microsoft-tackle-ethics-ai/>.

41 J. Jacobs, 'AI: terug van nooit weggeweest', SmartHealth 15 september 2016, <http://www.smarthealth.nl/trendition/2016/09/15/kunstmatige-intelligentie-ai/>.

42 Prasanna Desikan, 'Data Mining for Healthcare Management', SIAM International Conference on Data Mining, Mesa, Arizona USA: Society for Industrial and Applied Mathematics (2011).

43 L. Hood, 'Systems biology and new technologies enable predictive and preventative medicine', in *Science* (2004) 306(5696): 640-643. M. Swan, 'The Quantified: Fundamental Disruption in Big Data Science', in *Big Data* (2012) 1(2) 85-99. L. Ottes, 'Big Data in de Zorg', Working Paper 19, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (2016).

44 S.J. Jr. Freedberg, 'Should US Unleash War Robots? Frank Kendall Vs. Bob Work, Army', Breaking Defense 16 augustus 2016, <http://breakingdefense.com/2016/08/should-us-unleash-war-robots-frank-kendall-vs-bob-work-army/>. TASS, 'Russia's remote-controlled Tigr armored vehicle shows fire power', Russian News Agency, 26 augustus 2016, <http://tass.com/defense/896058>.

wordt in veel gevallen aangeduid met 0 of 1 (aan of uit). Een quantum computer daarentegen maakt gebruik van quantum bits, of qubits, die een waarde kunnen hebben van 0, 1 of 0 en 1 tegelijkertijd. Hierdoor zijn deze computers in staat om met een grote hoeveelheid waardes tegelijk te rekenen.⁴⁵

AI kan bijdragen aan optimalisatie van de MGZ in de vorm van meer voorspellende en gepersonaliseerde medicatie

Dit kan ook voor de medische wereld een belangrijke doorbraak betekenen. Met behulp van de rekenkracht van quantum computers kunnen complexe moleculaire interacties gemodelleerd en gesimuleerd worden, wat kan bijdragen aan de ontwikkeling van specifieke medicatie. Hierbij heerst de verwachting dat men met quantum computing binnen korte tijd in staat is om alle twintigduizend menselijke proteïnes te moduleren.⁴⁶

Quantum computers op zich zullen niet direct een bijdrage leveren aan verhoging van de kwaliteit van de MGZ. De grote rekenkracht van quantum computers kan wel worden toegepast om de capaciteit van andere medische techniek te vergroten. Hierbij kan worden gedacht aan technologie waarbij medische data verwerkt dient te worden, zoals in toekomstige

AI-systemen, of bijvoorbeeld veilige data-uitwisseling tussen quantum computers met behulp van quantum teleportatie.⁴⁷ Quantum computing kan daarmee bijdragen aan een exponentiële ontwikkeling van technologieën die directe verbetering van de MGZ met zich mee kunnen brengen.

Blockchain technologie

Blockchain technologie is geen product maar een methode die kan bijdragen aan verhoging van efficiëntie en borging van kwaliteit.⁴⁸ Het is een digitaal grootboek waarin transacties worden gegenereerd en geregistreerd op alle computers die aangesloten zijn op het netwerk, oftewel de blockchain. Hiermee is het een gedecentraliseerd systeem zonder eigenaar, dat volledig transparant is voor elke schakel in het netwerk.

Voor het registreren van een transactie in het grootboek, moet de meerderheid van de computers uit de blockchain de transactie hebben geverifieerd aan de hand van cryptografische berekeningen.⁴⁹ Hiermee wordt voorkomen dat er ongewenste transacties worden gegenereerd of geregistreerd. Elke computer in het netwerk bevat namelijk een exacte kopie van het grootboek. Dus wanneer er getracht wordt een transactie te manipuleren, moet dit tegelijkertijd op alle aangesloten computers in het netwerk gebeuren, wat praktisch niet realiseerbaar is.⁵⁰

Blockchain technologie kan mogelijkheden bieden voor de MGZ op het gebied van veilige en efficiënte datatransacties tussen het uitzendgebied en Nederland. Met behulp van de blockchain encryptie kan medische data worden uitgewisseld via internet, waarbij de betrouwbaarheid en kwaliteit van de brondata geborgd blijft. Doordat de berichten en transacties gedecentraliseerd worden opgeslagen, in plaats van op één locatie, is het systeem moeilijker te hacken en zou een eventuele poging ook sneller onderkend kunnen worden.

In plaats van een almaar toenemende afscherming van data ontstaat er door blockchain technologie meer zicht op wie de data bekijkt

45 A. Offerman, 'Kwantumcomputers komen eraan', Tweakers, 21 januari 2014, <https://tweakers.net/reviews/3365/all/kwantumcomputers-razendsnel-rekenen-op-de-kleinste-deeltjes.html>.

46 P. Diamandis, 'Massive Disruption Is Coming With Quantum Computing', SingularityHub 10 oktober 2016, <http://singularityhub.com/2016/10/10/massive-disruption-quantum-computing/>.

47 G. van Hal, 'Quantumteleportatie verwijst bezwaren Einstein naar prullenbak', NewScientist 28 augustus 2015, <https://newscientist.nl/nieuws/quantumteleportatie-verwijst-bezwaren-einstein-naar-prullenbak/>.

48 R. van Zuidam, 'Government-as-a-Service: Het nieuwe Nederlandse exportproduct', IntoBlockchain.com (2016).

49 L. de Vries, 'Waarom Blockchain een computerrevolutie is', AIR Café Blockchain, Stroe: AIR (2016).

50 D. Reijerman, 'De kracht van de blockchain - Innovaties met de ruggengraat van bitcoin', Tweakers 15 december 2014, <https://tweakers.net/reviews/3781/all/de-kracht-van-de-blockchain.html>.

en eventueel modificeert. Hiermee kan een snelle detectie van bedreigingen en behoud van integriteit van datasystemen plaatsvinden.⁵¹ Zowel DARPA als de NAVO onderzoekt momenteel de militaire toepassingen van blockchain technologie.⁵²

3D printen

3D printen biedt veel mogelijkheden om te voorzien in middelen wanneer er geen uitgebreide logistieke capaciteiten ter beschikking zijn. Dit lijkt voor Defensie een erg relevante technologie aangezien er steeds vaker kleinschalig wordt opgetreden. Bij aanwezigheid van 3D modellen en de benodigde grondstoffen kan er ter plekke specifieke productie plaatsvinden. Voor de operationele MGZ kan hierbij gedacht worden aan het 3D printen van voeding voor een specifiek dieet of bijvoorbeeld medicatie.⁵³ De operationele omstandigheden kunnen namelijk een specifieke behoefte aan voedingsstoffen en chemische stoffen teweeg brengen. Met behulp van 3D printen kan ter plekke worden ingespeeld op de zorgvraag van een individu, waardoor er preventieve en gepersonaliseerde gezondheidszorg kan plaatsvinden die bijdraagt aan de inzetbaarheid van de militair.

Voor de reguliere MGZ kan 3D printen een toegevoegde waarde hebben, zoals nu in civiele zorginstellingen ook al het geval is. Hierbij kan worden gedacht aan het 3D bioprinten van organen, ledematen of artificieel weefsel. De Amerikaanse krijgsmacht ziet veel potentie in deze toepassingen en investeert in het onderzoek en de ontwikkeling van 3D bioprinten van huidweefsel.⁵⁴ Hiermee zou verminking en beperking in beweging door verwondingen kunnen worden beperkt of verholpen. 3D printen heeft dus een militaire meerwaarde doordat het een bijdrage levert aan het behandelen en herstellen van militairen met gevechtsverwondingen.

Genomica & Biotechnologie

Genetische screening

Bij genetische screening of genetisch testen worden chromosomen, proteïnen en metaboliëten van een specifiek gen geanalyseerd om

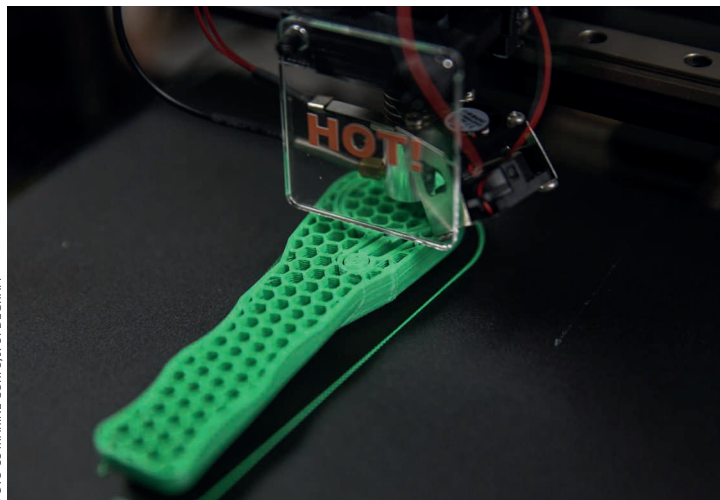


FOTO: US MARINE CORPS, J. LUPDEGRAFF

3D printen biedt veel mogelijkheden – van voeding tot het bioprinten van organen, ledematen of kunstmatig weefsel

bepaalde ziektebeelden te kunnen analyseren. Gnetische screening gaat om het routinematig testen op erfelijke afwijkingen in het DNA zonder dat er vooraf een verdenking is van een erfelijke afwijking. In 2008 waren er al 1200 genetische tests beschikbaar. Dit aantal stijgt jaarlijks met 25 procent.⁵⁵ Men probeert aan de hand van het DNA een verhoogd risico voor een bepaalde aandoening te achterhalen, zodat er eventueel maatregelen kunnen worden getroffen tegen de ontwikkeling van de ziekte.

Hierbij dienen *single nucleotide polymorphisms* (SNP's) als genetische merker.⁵⁶ De verwachting is dat de kosten van dergelijke DNA-technologieën binnen vijf jaar zullen afnemen met een factor duizend terwijl de beschikbaarheid zal toenemen.⁵⁷

51 O. Ogundeji, 'US DARPA Takes Blockchain for Military Use', *Cryptocoins News* 15 oktober 2016, <https://www.cryptocoinsnews.com/us-darpa-takes-blockchain-for-military-use/>.

52 G. Prisco, 'DARPA, NATO Looking at Military Applications of Blockchain Technology', *Bitcoin Magazine* 23 mei 2016, <https://bitcoinmagazine.com/articles/darpa-nato-looking-at-military-applications-of-blockchain-technology-1464018766>.

53 C. Lee Ventola, 'Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses', in *Pharmacy & Therapeutics* (2014) 39 (10) 704–711.

54 D. Lafontaine, 'Army invests in 3-D bioprinting to treat injured Soldiers', *US Army* 8 juli 2014, <https://www.army.mil/article/129584>.

55 D. Allingham-Hawkins, 'Successful Genetic Tests Are Predicated on Clinical Utility', in *Genetic Engineering & Biotechnology News* (2008) (28) no. 14.

56 A.C. Syvänen, 'Assessing genetic variation: genotyping single nucleotide polymorphisms', in *Nature Reviews Genetics* (2001) 930–942.



FOTO MCD. J. VAN HELVERT

Gezondheidszorg wordt steeds meer als een continuüm beschouwd van gezondheidsbevordering en ziektepreventie, waarbij de patiënt centraal staat

Voor Defensie biedt genetische analyse mogelijkheden om het genetisch profiel van elke militair in kaart te brengen. Hiermee kan men beter een inschatting maken van de fysieke en

mentale kwaliteiten en kwetsbaarheden van een individu. Het genetisch profiel kan worden gekoppeld aan het persoonlijk medisch dossier, waardoor meer inzicht in de gezondheid en inzetbaarheid van dat individu ontstaat. Dit kan bijdragen aan preventieve maatregelen en gepersonaliseerde gezondheidszorg die is afgestemd op de operationele omstandigheden en de militaire taak.

Een militair met een mutatie in het RYR1 gen heeft bijvoorbeeld een verhoogde kans op warmte-gerelateerd letsel.⁵⁸ Met deze kennis kunnen voorzorgsmaatregelen worden getroffen voor missies bij hoge temperaturen, waardoor uitval van een individuele militair voorkomen kan worden. Bij implementatie van deze technologieën zal men echter het hoofd moeten bieden aan de uitdagingen die gepaard gaan met het gebruiken van persoonlijke gegevens. Dat dit niet eenvoudig is constateert ook de Amerikaanse krijgsmacht, die al jaren op zoek is naar mogelijkheden voor integer gebruik van genetisch data.⁵⁹ Daarnaast zal de ontwikkeling van deze technologieën nog een aantal stappen moeten maken voordat de toepassingen daadwerkelijk kostenefficiënt en dus relevant worden.

Genetische manipulatie

De grootste ontwikkeling op het gebied van genetische manipulatie vond begin 2013 plaats.⁶⁰ Dit was het moment waarop voor het eerst werd gepubliceerd over het CRISPR-Cas9 systeem.⁶¹ Hiermee wordt men in staat gesteld om te 'knippen' op elke willekeurige plek in het menselijk genoom. Uiteindelijk kan hiermee, eventueel met behulp van externe factoren, de expressie van specifieke genen worden voorkomen of juist worden gestimuleerd. Deze ontwikkeling biedt tal van mogelijkheden voor het voorkomen of behandelen van ongewenste mutaties of expressies van het genoom, zoals bijvoorbeeld bij ziektes als kanker, alzheimer of Parkinson.

Het CRISPR-Cas 9 systeem is namelijk in staat om een zogeheten mutagene kettingreactie op gang te helpen.⁶² Dat betekent voor geslachtscellen dat het gemuteerde gen automatisch

57 S. McShane, '3 DNA Technologies That Will Forever Change Your Home Life', SingularityHub 9 oktober 2016, <http://singularityhub.com/2016/10/09/3-dna-technologies-that-will-forever-change-your-home-life/>.

58 N. Dlamini, 'Mutations in RYR1 are a common cause of exertional myalgia and rhabdomyolysis', in *Neuromuscul. Disord.* (2013) 23, 540–548.

59 M. De Castro, 'Genomic Medicine in the Military', in *Npj Genomic Medicine* (2016) (1) no. 15008.

60 H. Ledford, 'CRISPR: gene editing is just the beginning', in *Nature* (2016) (531) 156–159.

61 CRISPR staat voor *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*.

62 V. M. Gantz, 'The mutagenic chain reaction: A method for converting heterozygous to homozygous mutations', *Science* 19 maart 2015, <http://science.sciencemag.org/content/early/2015/03/18/science.aaa5945.article-info>.

wordt doorgegeven aan het nageslacht, en dat dit gen ook dominant zal zijn binnen elke nakomeling. Hierdoor volgt er een soort kettingreactie die lijkt op een virus dat zich uitspreidt over al het nageslacht.⁶³

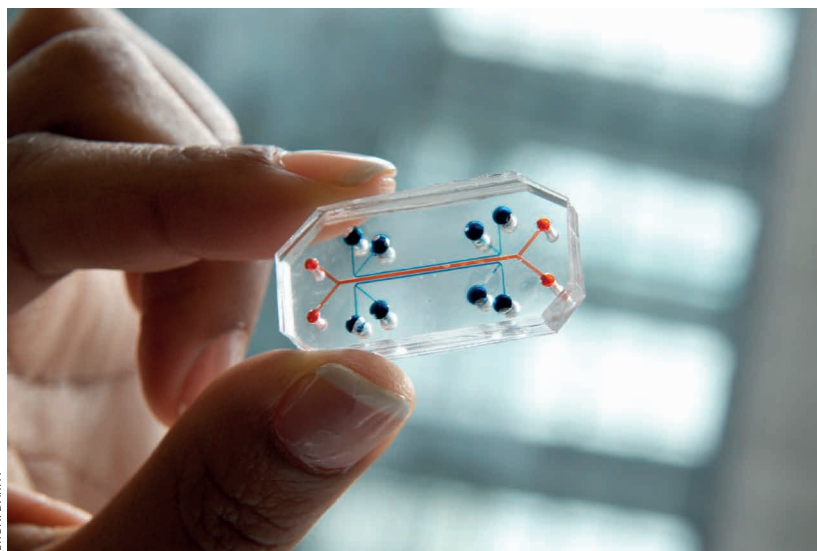
Met deze ontwikkeling lijkt de mogelijkheid te gaan ontstaan waarmee menselijk DNA naar eigen wens kan worden gemanipuleerd. Dit kan bijvoorbeeld ook worden toegepast voor het creëren van militairen die op basis van genetisch eigenschappen bestand zijn tegen extreme omstandigheden. Vergelijkbare experimenten vinden al plaats met dieren, zoals men in China honden kan creëren met extra spiermassa.⁶⁴

Tegelijkertijd kunnen er door genetische manipulatie ongewenste mutaties optreden in het genoom, wat tot het ontstaan van nieuwe erfelijke aandoeningen kan leiden. Dit kan een grote uitwerking hebben op zorgprocessen en ziektebeelden binnen de gezondheidszorg. Hierbij is het overigens niet de vraag óf dit gaat gebeuren maar wanneer, en tot welke gevolgen dit gaat leiden. Er hebben namelijk al experimenten plaatsgevonden waarbij het genoom van gezonde menselijke embryo's is gemanipuleerd met de CRISPR-techniek.⁶⁵

Deze ontwikkelingen kunnen van grote waarde zijn voor de geneeskunde, maar kunnen ook een bedreiging zijn voor de gezondheid van de mens. Het is daarom essentieel dat er zorgvuldig te werk wordt gegaan. Daarbij is adequaat toezicht en wet- en regelgeving cruciaal. Het Amerikaanse DARPA heeft om die reden een programma heeft opgezet om de ontwikkelingen op het gebied van genetische manipulatie te kunnen beheersen.⁶⁶ Ook voor de MGZ is het relevant om te beseffen hoe deze techniek zich ontwikkelt.

Nanomedicine

Dit vakgebied houdt zich bezig met het ontwikkelen van medische toepassingen op een schaal van nanometers met een functie op cellulair, moleculair of anatomisch niveau.⁶⁷ Hierbij zoekt men naar geschikte eigenschappen van elementaire materialen of stoffen die



BRON: DARPA

Het gebruik van nanotechnologie, zoals deze artificiële long gemodelleerd op een chip, heeft binnen de gezondheidszorg op veel gebieden een potentiële meerwaarde

gebruikt kunnen worden voor toepassingen op zeer kleine schaal. Doordat men bij veel toepassingen van nanotechnologie gebruik maakt van de eigenschappen van de stof zelf, wordt het functioneren niet beïnvloed door de grootte van het materiaal.

Binnen de gezondheidszorg zijn er veel toepassingen waarin het gebruik van nanotechnologie een potentiële meerwaarde vormt. Bijvoorbeeld binnen het domein van *nano drug delivery*,⁶⁸ waarbij medicamenten binden op een specifieke plaats in het menselijk lichaam die behandeling behoeft. Dit maakt het mogelijk dat het omliggende weefsel gespaard blijft en het *target*

- 63 A. Jaspers, 'Doorbraak van het jaar: CRISPR - Hoop en vrees over 'genetische kettingreactie', De Kennis Van Nu, 21 december 2015, <http://www.dekennisvannu.nl/site/artikel/Doorbraak-van-het-jaar-CRISPR---Hoop-en-vrees-over-genetische-kettingreactie/7111>.
- 64 C. Larson, 'China's Bold Push into Genetically Customized Animals', Scientific American 17 november 2015, <https://www.scientificamerican.com/article/china-s-bold-push-into-genetically-customized-animals/>.
- 65 R. Stein, 'Breaking Taboo, Swedish Scientist Seeks To Edit DNA Of Healthy Human Embryos', 22 september 2016, <http://linkis.com/www.npr.org/sections/kkLeM>.
- 66 DARPA, 'Setting a Safe Course for Gene Editing Research', Defence Advanced Research Projects Agency 7 september 2016, <http://www.darpa.mil/news-events/2016-09-07>.
- 67 S. Sandhiya, 'Emerging trends of nanomedicine—an overview', in *Fundamental & Clinical Pharmacology* (2009) 23 (3) 263-9.
- 68 J. Safari, 'Advanced drug delivery systems: Nanotechnology of health design A review', in *Journal of Saudi Chemical Society* (2014) 85-99.



FOTO: MCD, B. NIJIS

De meestvoorkomende oorzaak van sterfgevallen tijdens missies (66 procent) is het niet tijdig kunnen stoppen van een bloeding. Nanobots die bloedstolling stimuleren lijken dan ook een zeer relevante toepassing van nanotechnologie voor Defensie

weefsel juist van een hogere dosering voorzien kan worden. Men is vooral bezig met deze methode toe te passen voor de behandeling van kanker. Nanodeeltjes of nanobots hebben

namelijk bij verschillende ziektes meerdere voordelen ten opzichte van lichaamseigen cellen van het immuunsysteem.⁶⁹

Binnen de nanotechnologie is er ook een ontwikkeling gaande die voor de MGZ zeer relevante is. Nanobots kunnen namelijk worden ingezet om bloedingen in zeer korte tijd te stoppen. Deze zeer kleine kunstmatige mechanische bloedplaatjes bevorderen het functioneren van stollingslichaampjes en verhogen de concentratie op de plek van de bloeding, om bloedverlies te beperken.⁷⁰

69 M. Saha, 'Nanomedicine: Promising Tiny Machine for the Healthcare in Future-A Review', in *Oman Medical Journal* (2009) 24 (4) 242–247.

70 F. Alam, 'Nanotechnology-based artificial platelets', in *Egyptian Journal of Haematology* (2014) 39 (1)1-5.

71 A.N. Ilinskaya, 'Nanoparticles and the blood coagulation system. Part I: benefits of nanotechnology', in *Nanomedicine* (2013) 8 (5) 773-784.

Hierbij zijn er type nanodeeltjes die de bloedstolling bevorderen, maar ook type nanodeeltjes die bloedstolling kunnen belemmeren of vertragen.⁷¹

De voordelen van het gebruik van nanodeeltjes in het bloedstollingsmechanisme zijn dat de dosis verlaagd kan worden, er doelgerichter kan worden afgegeven, en een afweerreactie overwonnen kan worden. Deze toepassingen kunnen een belangrijke rol kunnen spelen in het stoppen van bloedingen bij gewonde militairen. Hiermee zou het aantal sterfgevallen tijdens missies mogelijk geminimaliseerd kunnen worden. De meest voorkomende oorzaak van sterfgevallen tijdens missies is namelijk het niet tijdig kunnen stoppen van een bloeding. Uit onderzoek⁷² blijkt dat 66 procent van de gewonden bij een vuurgevecht binnen tien minuten sterft, van wie de helft sterft aan bloedingen. Nanobots die bloedstolling stimuleren lijken dan ook een zeer relevante toepassing van nanotechnologie voor Defensie.

Kortom

In dit artikel kwamen medisch technologische ontwikkelingen aan de orde die binnen Defensie een bijdrage kunnen leveren aan zowel genezing van ziekte als bevordering van de gezondheid. Als we kijken naar de toepassingen in de categorie Sensing & Monitoring is de conclusie dat het gaat om concrete producten, die civiel gerealiseerd en geïmplementeerd zijn. Voor Defensie liggen hier dus kansen die direct benut kunnen worden.

De categorie Robotica & AI beschrijft daarentegen concepten, waarvan het gebruik momenteel voornamelijk beperkt wordt tot *early adopters*. Maar dit zijn wel ontwikkelingen die een ingrijpend effect kunnen hebben op de bevordering van kwaliteit en die een efficiëntere werkwijze teweeg kunnen brengen binnen de MGZ. Defensie zou daarom de samenwerking kunnen aangaan met externe partijen, met name onderzoeksinstituten, om de ontwikkeling van deze concepten voor militaire toepassing te stimuleren.

Wat betreft de categorie Genomica & Biotechnologie is het voor Defensie relevant om te beseffen welke potentiële risico's er gepaard

De toegevoegde waarde van technologische toepassingen wordt niet alleen bepaald door de techniek op zich. Optimale randvoorwaarden zijn nodig, zowel op het gebied van mensen als middelen

gaan met deze ontwikkelingen. Eventueel in samenwerking met externe partijen dienen ontwikkelingen gemonitord te worden om te kunnen participeren in beheersmaatregelen.

Toepassingen van Nanotechnologie zitten voornamelijk nog in onderzoeks- en ontwikkelingsfase. Voor Defensie lijkt het niet relevant om voorloper te zijn binnen dit vakgebied, maar ze kan wel profiteren van toepassingen die civiel worden ontwikkeld en beproefd.

Zoals eerder gesteld, zijn de omschrijvingen van de potentiële relevante technologische ontwikkelingen niet allesomvattend. Daarnaast dient men zich te realiseren dat de toegevoegde waarde van technologische toepassingen niet alleen bepaald wordt door de techniek op zich. Efficiënte implementatie van medische techniek vergt optimale randvoorwaarden, zowel op het gebied van mensen als middelen. Het is dan ook voor Defensie belangrijk om te investeren in personele capaciteit die de implementatie en het gebruik van innovatieve medische techniek bevordert. Dat optimaliseert de kwaliteit van de geleverde zorg en draagt zo bij aan een organisatie die het vermogen heeft om flexibel en adaptief te zijn in een veranderende wereld. ■

72 R. Hoencamp, 'Afghanistan 2006-2010: medical aspects and challenges', in: *Task Force Uruzgan* (2015).