

Robotica

Robots zijn hot en de technologische ontwikkelingen gaan zeer snel. Het vakgebied Human Factors speelt een grote rol bij het realiseren van een goede interactie tussen mens en robot voor verschillende vormen van robotisering.

In de afgelopen jaren zijn de technologische ontwikkelingen zeer snel gegaan. Robots worden steeds slimmer en kunnen steeds meer taken uitvoeren en ondersteunen bij taken. Tot voor kort was er geen contact tussen robot en mens, om gevaarlijke situaties te voorkomen. Echter, tegenwoordig worden door de grote robotbouwers voor bijvoorbeeld de industrie en de zorg zogenoemde collaboratieve robots (cobots) ontwikkeld: robots die samenwerken met mensen. Bij steeds meer Nederlandse bedrijven zijn deze cobots, die inherent veilig zijn, actief op de werkvloer en nemen veelal repeterende werkzaamheden van mensen over. De afgelopen jaren verschenen verschillende rapporten waarin de robot als banenvernietiger én banenmotor wordt neergezet. Het WRR-rapport uit 2015 concludeert dat banen zowel zullen verdwijnen als ontstaan en dat de aard van werkzaamheden als gevolg van robotisering zal veranderen. Deze trend biedt nieuwe kansen voor bedrijven en medewerkers. Human Factors-specialisten spelen een belangrijke rol bij de ontwikkeling en implementatie van nieuwe toepassingen waarbij robots mensen optimaal kunnen ondersteunen bij het uitvoeren van taken, het aanleren van vaardigheden of het veranderen van gedrag.

Robots worden benut in zeer diverse toepassingen. Dit dossier geeft een mooi overzicht daarvan en gaat in op de inzet van robots bij gedragsverandering, samenwerking tussen mens en robot bij het uitvoeren van (onderhouds)taken en een robotsysteem dat op het lichaam gedragen wordt.

In het eerste artikel van Olivier Blanson Henkemans en collega's worden de eerste resultaten van het PAL-project beschreven. In dit project wordt de sociale robot NAO ingezet om kinderen met type-1-diabetes te leren omgaan met hun aandoening. Verschillende creatieve methodes werden succesvol ingezet om de belangrijkste eisen voor de kind-robotinteractie in kaart te brengen.

Het tweede artikel van Rick van der Kleij en collega's beschrijft mogelijke vormen van samenwerking tussen mens en robot bij de uitvoering van onder andere hoog-risicowerkzaamheden. De auteurs gaan in op de grootste uitdagingen voor een goede samenwerking

tussen monteurs en robot bij onderhoudswerkzaamheden voor netbeheerders.

Het laatste artikel, van Michiel de Looze en collega's, beschrijft een volledig andere vorm van robotisering, namelijk exoskeletten. Dit mensgestuurde robotsysteem dat op het lichaam wordt gedragen kan medewerkers ondersteunen bij fysiek zware taken in industriële omgevingen. Het artikel gaat in op verschillende vormen van exoskeletten en beschrijft de effectiviteit van deze vorm van robotisering in termen van reductie van fysieke arbeidsbelasting. Als laatste beschrijft De Looze de grootste technologische en humanfactoruitdagingen. Deze uitdagingen zullen deels opgepakt gaan worden in het samenwerkingsverband i-botics (Joint innovation centre for interaction robotics) van TNO, de Universiteit Twente en diverse bedrijven.

Over de (gast)redacteurs



Dr. Tim Bosch
Onderzoeker bij de afdeling
Sustainable Productivity &
Employability
TNO Leiden
Tim.Bosch@tno.nl



Drs. Elsbeth de Korte
Senior onderzoeker
Afdeling Sustainable Productivity &
Employability
TNO Leiden.
Elsbeth.dekorte@tno.nl

Gesprek met robotmaatje over diabetes

Creatieve methodes voor co-design en gebruikers-evaluatie met kinderen van technologische vernieuwing

Kinderen kennen eigen belevingen, waarden en behoeften wanneer het gaat om technologische ondersteuning, zoals eHealth. Dit onderstreept het belang kinderen nadrukkelijk te betrekken in onderzoek en ontwikkeling van technologische vernieuwingen. Dit wordt echter als uitdagend ervaren. Conventionele methodes als vragenlijsten schieten te kort. Dit artikel beschrijft een co-designpakket van creatieve methodes dat wordt ingezet om belangrijke dagelijkse ervaringen, waarden en behoeften te verzamelen bij kinderen (7-14 jaar) met type 1 diabetes mellitus (T1DM), ontwerpeisen op te stellen en gebruikersevaluatie te verrichten.

Olivier Blanson Henkemans, Sylvia van der Pal, Rosemarijn Looije, Roosmarijn van Dam, Sofia Fountoukidou en Mark Neerincx

Dit gebeurt in het kader van het Europese project PAL, dat een computermatje (robot en avatar) ontwikkelt en evalueert ter ondersteuning van diabetes-zelfmanagement. Resultaten laten zien dat co-design en 'onderdompeling' van kinderen in het ontwikkelproces via creatieve methodes zeer waardevol is. Kinderen geven uitgebreid uiting aan en toelichting op hun belevingen, waarden en behoeften en leveren requirements voor de interactie met het computermatje. Deze gegevens vormen een uitstekende basis voor de verdere specificatie en evaluatie van de PAL-robot en -avatar.

Diabetes zelfmanagement

Nederland telt vijfduizend kinderen, jonger dan 15, met diabetes type 1 en jaarlijks komen er ongeveer zeshonderd bij (DVN, 2011). Bij diabetes type 1 maakt het lichaam geen insuline meer aan, waardoor glucose (suikers) die kinderen nuttigen niet meer uit het bloed wordt opgenomen door de organen. Deze kinderen kunnen zeer hoge en lage glucosewaarden in hun bloed ervaren (respectievelijk hyper en hypo), dat leidt tot symptomen, zoals vaak moeten plassen, erge dorst en honger, vermoeidheid, trillen, zweten, geïrriteerd zijn en zelfs flauwvallen.

Om diabetes de baas te zijn is het voor kinderen belangrijk op jonge leeftijd te leren omgaan met hun aandoening. Zij monitoren hun bloedglucose, tellen

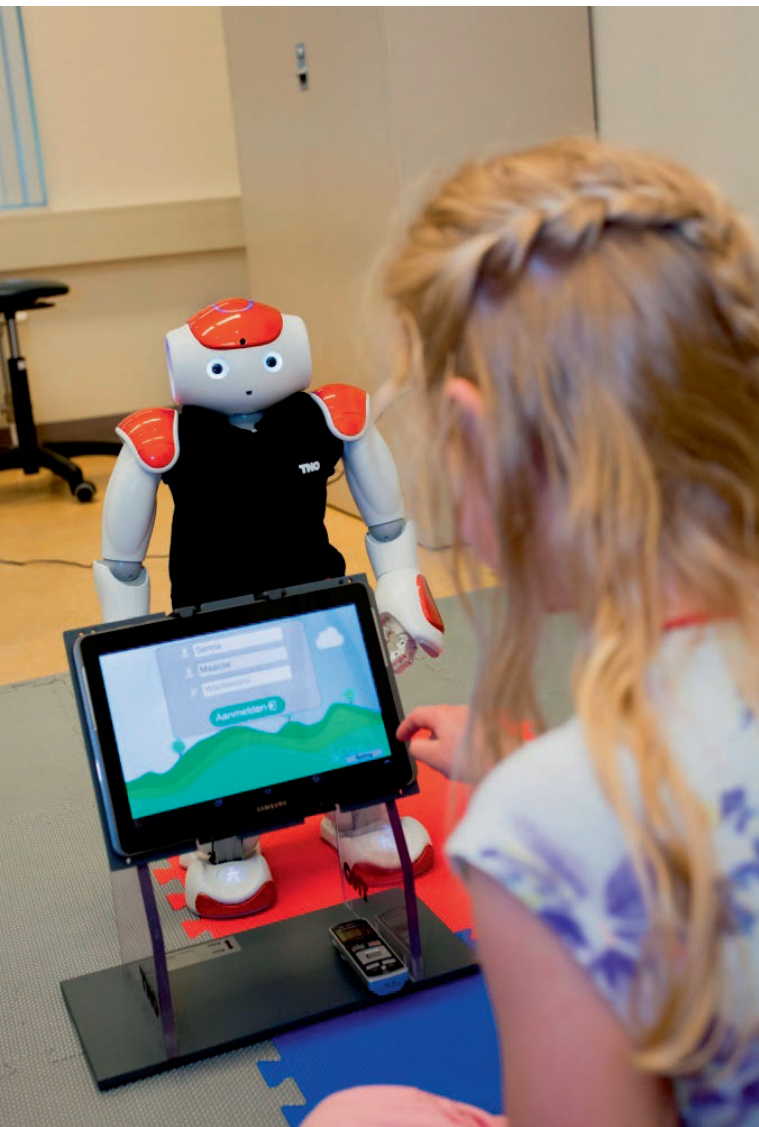
koolhydraten in het eten, hebben snelle suikers bij zich (dextrose, appelsap) en spuiten zelf insuline in. Door goed zelfmanagement kunnen korte- en lange-termijncomplicaties worden voorkomen, zoals eerder genoemde symptomen, aderverkalking en nierbeschadiging (NDF, 2014).

Hoewel kinderen al veel weten over diabetes, zijn hun ouders nadrukkelijk betrokken bij het diabetesregime. Kinderen hebben niet altijd zin om met hun diabetes bezig te zijn en vergeten wel eens iets. Of ze weten het wel, maar vinden het moeilijk dit in de praktijk toe te passen. Ook ouders vinden het soms spannend om de verantwoordelijkheid aan hun kinderen over te dragen, nadat zij dit jaren voor hun kinderen hebben gedaan. Door de tijdsdruk en stress van het zorgen voor een kind met diabetes gaan veel ouders minder werken. Toch is het belangrijk dat kinderen al jong zelfstandig worden in hun diabetesmanagement. Zodat zij hun ziekte in de puberteit zien als onderdeel van henzelf en niet van hun ouders. Dit vermindert de kans dat ze zich tegen diabetes afzetten, wat ten koste gaat van goed management met allerlei nadelige consequenties van dien.

Robotmaatje voor kinderen met diabetes

Het Europese project PAL (Personal Assistant for healthy Lifestyle, www.pal4u.eu) ontwikkelt, gedurende vier jaar, een computermatje in de vorm

van een robot en avatar (zie afbeelding 1 en 4). De avatar is een digitale versie van de robot, te benaderen via een computer of tablet. Hiermee wordt onderzocht hoe kinderen op jonge leeftijd geholpen kunnen worden om te gaan met hun diabetes. Het doel van het project is het bieden van ondersteuning aan kinderen bij de ontwikkeling van kennis, vaardigheden en gewoonten die belangrijk zijn voor diabetesmanagement. Er is voor een robot gekozen omdat deze op gelijke voet staat met het kind. De robot oordeelt niet en verliest zijn geduld niet (kan eindeloos herhalen). Bovendien is hij fysiek aanwezig in de ruimte, wat de aandacht van de kinderen vasthoudt. De avatar heeft als meerwaarde dat deze overal en altijd beschikbaar is, thuis en onderweg. Ten slotte wordt een robot door kinderen als leuk ervaren. In het project beogen we met de robot goed aan te sluiten op ervaringen, eigenschappen, doelen en behoeften van het kind, maar ook op de behoeften en waarden van ouders en zorgverleners die het kind begeleiden.



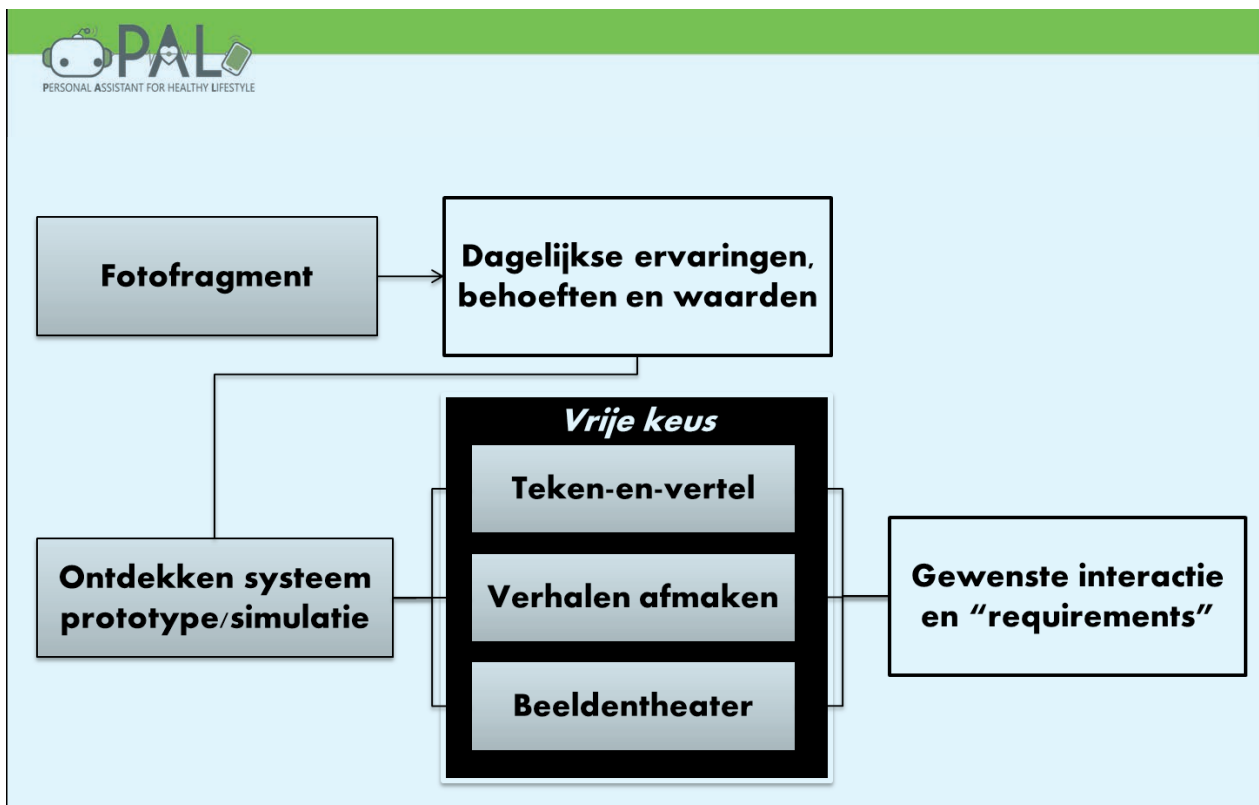
Afbeelding 1. Robotmaatje voor kinderen met diabetes.

De ontwikkeling van PAL is gebaseerd op bestaand onderzoek naar robots voor kinderen met een chronische aandoening, zoals diabetes en autisme. Eerder onderzoek liet zien dat kinderen die spelen en praten met een robot, geloven dat de robot kan denken en voelen en een sociale entiteit is (bijvoorbeeld een vriend die steun biedt en met wie je geheimen kan delen; Kahn e.a., 2012). Een andere studie liet zien dat kinderen op een leuke en motiverende wijze diabeteskennis en benodigde rekenvaardigheden verkregen door het spelen van een quiz met een persoonlijke robot (Blanson Henkemans e.a., 2012; Janssen e.a., 2011). De persoonlijke robot bouwde een sociale band op met het kind door te vragen naar leeftijd en hobby's, stimuleerde het kind steeds beter te worden in de rekenoefening of quiz door complimenten te geven en daagde het kind uit zelf na te denken over hoe om te gaan met diabetes. Dit werd onder andere gestimuleerd met gesprekjes over hoe het ging met de diabetes in de tijd tussen twee bezoeken aan de robot.

Deze onderzoeken leverden ook een aantal belangrijke lessen op. Zo bleken de kinderen na enkele weken hun interesse in de robot te verliezen, vooral zij die wat ouder waren. Ook droeg de robot bij aan kennis over diabetes, maar bleef het effect op zelfmanagementgedrag en gezondheid onbelicht. Ten slotte konden de kinderen alleen in het ziekenhuis met de robot spelen, terwijl zij daar maar vier keer per jaar komen. Zij zouden graag ook thuis ondersteuning willen. Dit kan door een digitale versie van de robot te maken, zoals dat in PAL gebeurt met een avatar, en deze activiteiten op een tablet te laten begeleiden. Op deze manier hebben ze zowel in het ziekenhuis als thuis (of onderweg) hetzelfde maatje, met dezelfde kennis over hen.

Het PAL-project verricht uitgebreid behoefteonderzoek bij de doelgroep: kinderen, zorgverleners en ouders. Dit gebeurt aan de hand van user-centered design methodes, zoals creatieve methodes en value sensitive design (VSD) (Friedman e.a., 2006). Laatstgenoemde methode inventariseert per stakeholder (bijvoorbeeld ouder) belangrijke waarden (zoals gezondheid) en beschrijft hoe een beoogd systeem deze waarden in een bepaalde context (zoals op de sportclub) kan vervullen. Bijvoorbeeld door het monitoren van de glucosewaarden van het kind thuis en het versturen van notificatie wanneer deze te hoog of te laag is.

Dit artikel bespreekt de ontwikkeling en gebruikersevaluatie van het PAL-systeem met kinderen, via creatieve methodes. Hoe worden kinderen betrokken in het onderzoek, wat verwachten zij van PAL en welke inzichten levert dit op? Ook blikken we vooruit op de ontwikkeling van PAL op basis van deze inzichten en de verwachte bijdrage aan belangrijke uitkomsten, zoals diabetesmanagement, gezondheid en kwaliteit van leven.



Afbeelding 2. Co-designpakket met creatieve methodes (grijze kaders) voor elicitering van ervaringen, waarden en behoeften van de kinderen, gebruikersevaluatie en requirements voor gewenste interactie (witte kaders).

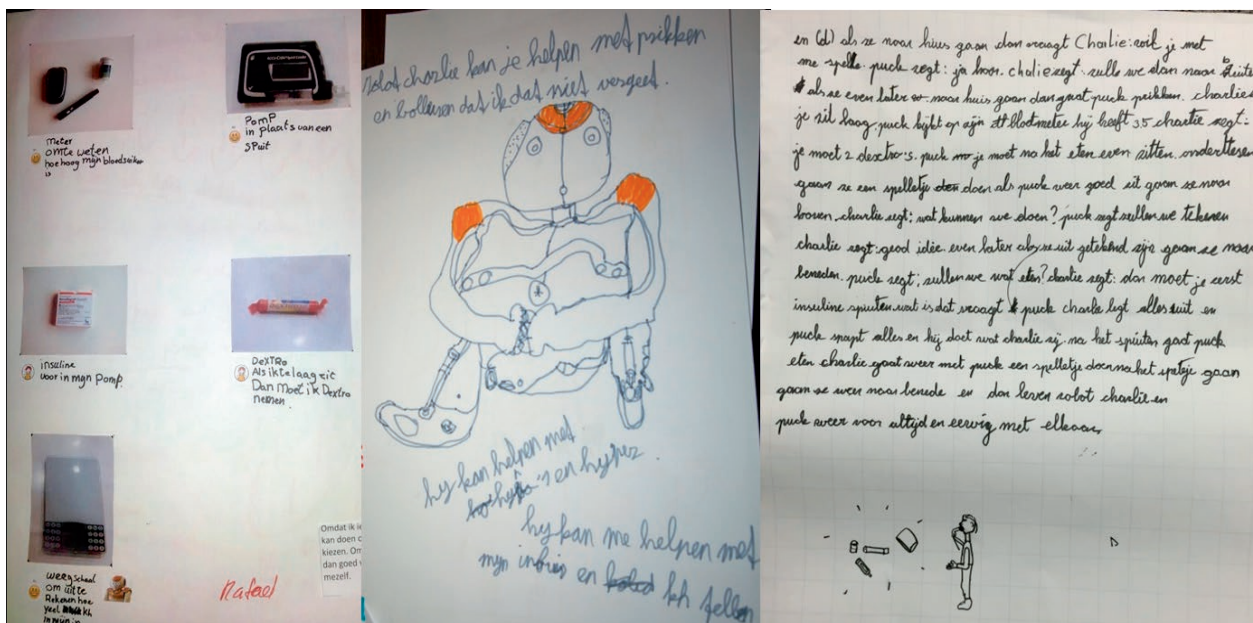
Co-design met kinderen

Het belang van de betrokkenheid van kinderen in onderzoek wordt onderstreept. Kinderen hebben een eigen beleving, mening en voorkeuren, zeker wanneer het gaat om technologie. Het wordt echter uitdagend gevonden deze gegevens bij kinderen uit te vragen. Ten eerste vanwege de balans die gevonden moet worden in het belasten van zieke kinderen en het verkrijgen van onderzoeksresultaten. Ten tweede omdat conventionele methodes, zoals vragenlijsten, vaak geen representatieve of verdiepende resultaten opleveren. Door hun cognitieve en emotionele ontwikkelingsniveau zijn zij meer geneigd sociaal wenselijke antwoorden te geven en vinden zij het moeilijk om hun antwoorden toe te lichten (Frauenberger e.a., 2013).

Daarom past het PAL-project, zoals afgebeeld in afbeelding 2, een co-designpakket van creatieve methodes toe voor het verzamelen van dagelijkse ervaringen, waarden en behoeften en het opstellen van 'requirements' c.q. vereisten voor de gewenste interactie met de technologische vernieuwing die bij de ervaringen, waarden en behoeften aansluiten. Voorbeelden van methodes zijn tekenen, fotografie en beeldentheater. Deze zijn eerder toegepast om onderzoek toegankelijker te maken voor kinderen (Jorgenson & Sullivan, 2009). In het PAL-project is gekozen voor een combinatie van verschillende

methodes. Dit biedt de kinderen de gelegenheid te kiezen wat voor hen de prettigste manier is om uiting te geven aan hun ideeën (Darbyshire, Macdougall & Schiller, 2005). Bijvoorbeeld: sommige kinderen kiezen liever tekenen dan beeldentheater, terwijl het eindresultaat vergelijkbaar is. De gekozen methodes binnen het PAL-project zijn fotofragment, teken-en-vertel, beeldentheater en verhaal afmaken.

Deze methodes zijn als volgt toegepast. Kinderen met diabetes zijn uitgenodigd om mee te doen aan een SugarKids diabeteskamp van Diabetes Vereniging Nederland (DVN) (Blanson Henkemans e.a., 2016; Neerincx e.a., 2016). Eenentwintig kinderen in de leeftijd 7-12 jaar zijn vier dagen op kamp geweest en deden mee aan onderzoeksactiviteiten. Thuis maakten zij, voorafgaand aan het kamp, foto's van hun dagelijks leven met diabetes, zoals van een pomp, glucosemeter en dat ze zich niet goed voelden vanwege een hypo. Op de eerste dag van het kamp maakten zij individueel collages van deze foto's. Vervolgens werd gevraagd of zij in groepjes met een begeleider konden vertellen over hun collages: welke ervaringen en behoeften hadden zij vanwege hun diabetes en welke waarden spelen een belangrijke rol bij diabetesmanagement. Op de tweede dag mochten zij de robot en avatar 'ontdekken'. Zij deden activiteiten met de robot en avatar, die eerder al onderzocht zijn (Looije e.a., 2016). Zij speelden een quiz en sorteerspel. Ook kregen zij



Afbeelding 3. Producten van creatieve methodes fotofragment, teken-en-vertel en verhaal afmaken.

een simulatie te zien van een app met de avatar, waarmee je verschillende activiteiten kon doen, zoals een dagboek bijhouden, op internet browsen en filmpjes kijken. Op de laatste dag mochten kinderen een van de drie methodes kiezen om te vertellen hoe de robot een rol kan spelen in hun dagelijks leven met diabetes en de behoeften en waarden die zij daarbij hebben. Bij teken-en-vertel maakten kinderen een tekening over diabetes en de robot en vertelden over de betekenis. Bij beeldentheater beeldden kinderen een situatie uit die te maken heeft met diabetes en hoe de robot daar een rol bij speelt (Linds & Vettraino, 2008). Andere kinderen vertelden wat ze zagen en wat ze herkenbaar vonden of niet. Bij verhaal afmaken werd een verhaal voorgeleegd over een jongen die avonturen beleefde met een robot. De kinderen mochten het verhaal zelf afschrijven.

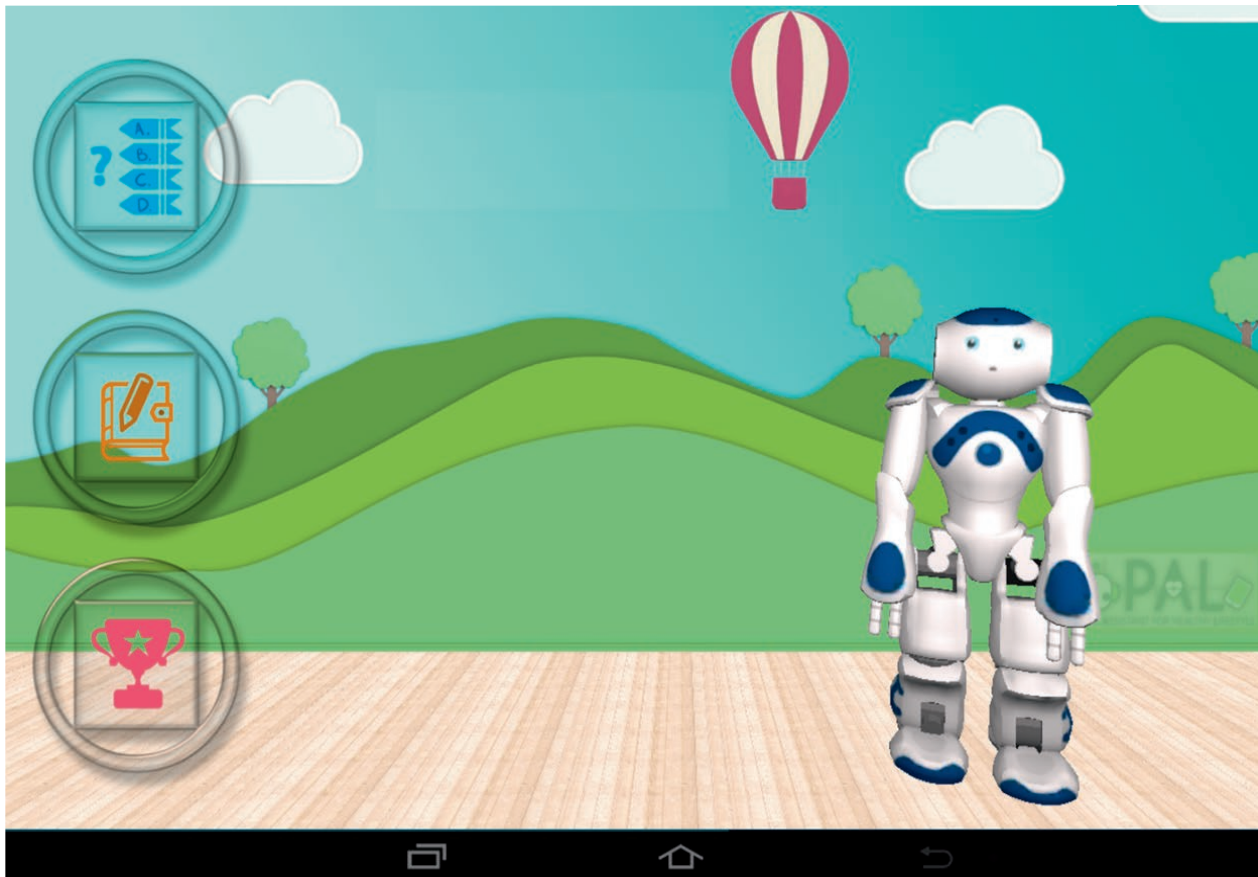
Van de activiteiten zijn audio/video-opnames gemaakt, de producten van de activiteiten, zoals collages, tekeningen en verhalen zijn verzameld (afbeelding 3) en de kinderen hebben aan het begin en eind van het onderzoek vragenlijsten ingevuld over respectievelijk hun verwachtingen en wat ze van de robot en avatar vonden. De gegevens zijn door de onderzoekers samengebracht en besproken en de belangrijkste conclusies en eisen voor het PAL-systeem zijn vastgesteld en verwerkt tot een mind map. Deze is vervolgens vertaald naar requirements en scenario's, die beschrijven hoe naar verwachting de kinderen interacteren met het PAL-systeem en hoe dit kan bijdragen aan de vastgestelde behoeften en waarden. Ten slotte is een prototype ontwikkeld van het PAL-systeem. Deze bevat een robot en zijn avatar. Kinderen kunnen direct met de robot activiteiten doen, zoals

een quiz, bijvoorbeeld in het ziekenhuis of op kamp. De kinderen kunnen activiteiten met de avatar doen via een app op een tablet of smartphone, die MyPAL wordt genoemd (afbeelding 4), bijvoorbeeld thuis of onderweg. Tijdens het onderzoek konden kinderen in het ziekenhuis met de robot een quiz spelen. Dezelfde quiz kon thuis ook met de avatar worden gespeeld. Daarnaast was het mogelijk om een 'timeline' in te vullen samen met de avatar. De timeline bestond uit informatie verzameld gedurende de dag, zoals activiteiten en de emotionele staat van het kind, en diabetesgegevens, zoals glucosewaarden en koolhydraten in voeding.

Resultaten

De mind map in afbeelding 4 geeft een overzicht van de resultaten. De belangrijkste waarden voor kinderen zijn plezier, vrijheid en 'er bij horen'. Kinderen waarderen erg de sociaal-emotionele hulp vanuit de omgeving van familie en vrienden. Ze willen graag gezien worden als gewone kinderen en niet als diabetespatiënt. Ze willen verder controle hebben over hun bloedglucose en dat diabetes hen niet hindert in het dagelijks leven. Daarvoor vinden ze het belangrijk dat ze goed zijn in de dingen die ze voor hun diabetes moeten doen, zoals koolhydraten tellen, glucose meten en bolussen, maar ook in de dagelijkse dingen, zoals school en sport.

Kinderen hebben de volgende behoeften ten aanzien van hun diabetesmanagement. Zij hebben behoefte aan hulp op fysiek, cognitief en sociaal-emotioneel vlak. Zij krijgen graag hulp bij fysieke activiteiten, zoals het prikken, meten en vervangen van hun pompje. Ook willen zij hulp bij cognitieve activiteiten, zoals het tellen van koolhydraten, berekenen van de hoeveelheid



Afbeelding 4. MyPAL interface met avatar en drie functies: quiz, dagboek en doelen.

insuline om in te spuiten (ook wel bolussen genoemd) en het onthouden om al deze activiteiten ook te doen. Ten slotte willen ze graag hun gevoelens delen, zodat ze niet alleen zijn in het hebben van diabetes.

Ten aanzien van de robot en de avatar hebben kinderen de volgende wensen. Kinderen willen het liefst de aankleding en omgeving van de avatar kunnen aanpassen naar hun smaak, zoals de achtergrond en het shirt en hoofddeksel. Ze willen de avatar verder accessoires geven die passen bij hobby's en sporten van het kind, zoals een tennisracket. Verder willen ze graag verschillende activiteiten kunnen doen met de robot en zijn avatar, die hen zouden kunnen helpen bij omgaan met diabetes. Deze sluiten aan op de fysieke, cognitieve en sociaal-emotionele behoeften zoals eerder benoemd. Zij willen graag met de robot communiceren, direct en via de app, om ervaringen met diabetes te delen. Het maatje kan ook helpen met het tellen van koolhydraten, bolussen en herinneringen sturen om bijvoorbeeld bloedglucose te meten. Ook vinden ze het leuk als de robot kan lopen, dansen, springen en een high-five kan geven. Van de robot en avatar is gewenst dat die met de kinderen computerspellen kan spelen, kan tekenen, voorlezen, en films en foto's kan bekijken. De kinderen willen dat de robot hun gevoelens kan herkennen en hier op

reageert. Ze willen bijvoorbeeld een gesprekje voeren en dat de robot een kleur toont en een passend muziekje afspeelt.

Op basis van deze resultaten is het volgende prototype ontwikkeld. Dit bestaat uit een persoonlijke robot die gesprekjes voert met het kind op de ziekenhuispoli en educatieve spellen doet, zoals een quiz (afbeelding 1). Het gaat met name over het leven met diabetes, maar ook over alledaagse dingen, die het kind leuk vindt en interesseert, zoals sporten en buiten met vriendjes spelen. Het kind kan thuis op een tablet of smartphone een app gebruiken, MyPAL genoemd (afbeelding 5). In MyPAL zit een avatar van de robot die zij in het ziekenhuis hebben leren kennen. Met de avatar kunnen zij eveneens educatieve spellen doen, maar ook een overzicht bijhouden van de dag (inclusief glucosewaarden en maaltijden) en deze samen doornemen. Ten slotte staan er doelen in MyPAL die het kind samen met zorgverlener en ouders heeft afgesproken, zoals regelmatig koolhydraten tellen of bloedglucose meten.

Verder is er een programma voor zorgverleners, zoals de diabetesverpleegkundige, waarmee zij enerzijds doelen kunnen stellen met de kinderen en deze op afstand kunnen monitoren. Anderzijds kunnen zij de

robot en avatar aansturen. Bijvoorbeeld wanneer een kind als doel heeft koolhydraten tellen in de quiz, dan kunnen zij de robot en avatar extra vragen over dit onderwerp laten stellen.

In mei 2016 is in twee ziekenhuizen in Nederland, Meander MC en Ziekenhuis Gelderse Vallei, het beschreven prototype geëvalueerd met 25 kinderen en hun zorgverleners. Enkele resultaten zijn als volgt. Op de vraag waarom kinderen meedoen aan het onderzoek met de robot en avatar antwoorden de kinderen, op een schaal van helemaal niet voor mijzelf (1) tot en met helemaal wel voor mijzelf (5) gemiddeld een 4,91 ($SD=,05$). Op de vraag of spelen met de robot en avatar bij zou dragen aan diabetesmanagement antwoorden zij, op een schaal van helemaal niet (1) tot en met helemaal wel (5) gemiddeld een 4,05 ($SD=1,06$). Thuis speelden zij gezamenlijk in drie weken tijd ruim 750 quizvragen met de avatar en vulden 515 keer hun dagboek in.

Discussie

Met bestaande kennis over persoonlijke robots en inzichten in behoeften van de doelgroep is een goede basis gelegd voor de ontwikkeling van een robotmaatje en zijn avatar in een app, om kinderen te ondersteunen bij hun diabetesmanagement, zowel in het ziekenhuis als thuis. De combinatie van robot en avatar en het gebruik van een app thuis zijn een groot voordeel ten opzichte van eerdere onderzoeken met de robot. Kinderen zijn blij dat ze nu als het ware de robot mee naar huis kunnen nemen. De voorlopige resultaten laten zien dat er een groot draagvlak is bij de doelgroep. Kinderen, zorgverleners en ouders zijn enthousiast en de kinderen zijn intensief aan het spelen met de robot en avatar. Bovendien zijn de kinderen zeer betrokken, zowel bij het gebruikersonderzoek als bij de evaluatie van het resultaat. Zij nemen graag deel en ervaren dit niet als te belastend.

Het komende jaar zal het PAL-systeem verder worden ontwikkeld om ook de overige verzamelde behoeften en waarden van kinderen en zorgverleners (ouders en professionals) te vervullen. Bijvoorbeeld de behoefte van kinderen om er bij te horen en het ontwikkelen van vaardigheden voor het insuline spuiten en het vervangen van hun pompje. Dit kan bijvoorbeeld worden ondersteund door het kind in de gelegenheid te stellen deel te nemen aan sociale activiteiten, zoals zwemmen met vriendjes ondanks het hebben van een pompje. De PAL-avatar kijkt samen met het kind een filmpje over hoe een pompje is los te koppelen en weer aan te koppelen indien nodig. Het kind kan dit dan zelf oefenen. Ook zullen we een stap zetten om de behoefte van de kinderen te vervullen om de robot en avatar verder te personaliseren (via gesprekje en het wisselen van attributen).

Verder kijken we naar het vervullen van de behoeften van professionals, zoals het opstellen van doelen en een actieplan op maat voor het diabetesmanagement. Via de quiz met de robot of avatar kan worden vastgesteld welke kennis of vaardigheden nog onvoldoende aanwezig zijn. Met de professional kunnen dan de passende doelen en een actieplan worden bepaald.

Ten slotte wordt voor ouders een programma ontwikkeld om het kind te monitoren, bijvoorbeeld de mate waarin het lukt doelen te behalen en de prestaties op de educatieve spellen, maar ook de dagelijkse activiteiten en hoe de kinderen zich daarbij voelen. Dit biedt de ouders handvatten om het kind meer verantwoordelijkheid te geven in het verrichten van zelfmanagement, bijvoorbeeld via voorlichting.

Kortom, co-design en 'onderdompeling' van kinderen in het onderzoeks- en ontwikkelproces via een pakket creatieve methodes (zoals fotofragment, teken-en-vertel en beeldentheater) is zeer waardevol. De creatieve methodes blijken zeer geschikt voor kinderen en maken het mogelijk hun meningen en voorkeuren te verzamelen en gebruikersevaluatie te verrichten. De meningen, voorkeuren en evaluatie-uitkomsten zijn representatief voor wat de kinderen zelf denken (in plaats van sociaal wenselijk) en de kinderen geven uitgebreid toelichting op de uitkomsten van de activiteiten als collages, tekeningen en beelden. Zij vormen een uitstekende basis voor de verdere ontwikkeling van technologische vernieuwingen.

Referenties

- Blanson Henkemans, O.A., Bierman, E.B.P., Janssen, J., Neerincx, M.A., Looije, R., Bosch, van der e.a. (2013). Using a robot to personalise health education for children with diabetes type 1: a pilot study. *Patient Education and Counseling*, 92(2), pp. 174-181.
- Blanson Henkemans, O.A., Neerincx, M.A., Pal, S. van der, Dam, R.A. van, Shin Hong, J., Oleari, E. e.a. (2016). Co-design of the PAL robot and avatar that perform joint activities with children for improved diabetes self-management. In RO-MAN: The 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. IEEE Press.
- Darbyshire, P., MacDougall, C., & Schiller, W. (2004). Multiple methods in qualitative research with children: more insight or just more? *Qualitative research* 5(4), pp. 417-436.
- DVN (2011). *Zorgwijzer Diabetes type 1*. Diabetesvereniging Nederland, Nederlandse Diabetes Federatie, Kwaliteit in Zicht.
- Frauenberger, C., Good, J., Alcorn, A., & Pain, H. (2013). Conversing Through and About Technologies: Design Critique as an Opportunity to Engage Children with Autism and Broaden Research(er) Perspectives. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 1(2), pp. 38-49.
- Friedman, B., Kahn Jr, P.H., & Borning, A. (2006). Value sensitive design and information systems. *Human-computer interaction in management information systems. Foundations*, 5, pp. 348-372.
- Janssen, J.B., Wal, C.C. van der, Neerincx, M.A., & Looije, R. (2011). *Motivating children to learn arithmetic with an adaptive robot game*. Proceedings of the ICSR 2011 3rd International Conference on Social Robotics. Elsevier B.V., Amsterdam, the Netherlands.
- Jorgenson, J., & Sullivan, T. (2009). Accessing Children's Perspectives Through Participatory Photo Interviews. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*, 11(1), pp. 8.

Kahn Jr, P.H., Kanda, T.I., Ishiguro H., Freier, N.G., Severson, R.L., Gill, B.T., e.a. (2012). Robovie, you'll have to go into the closet now: children's social and moral relationships with a humanoid robot. *Developmental Psychology*, 48, pp. 303-14.

Linds, W., & Vettrano, E. (2008). Collective Imagining: Collaborative Story Telling through Image Theater. *Forum: Qualitative Social Research*, 9(2), pp. 56.

Looije, R., Neerincx, M.A., Peters, J.K., & Blanson Henkemans, O.A. (2016). Integrating Robot Support Functions into Varied Activities at Returning Hospital Visits: Supporting Child's Self-Management of Diabetes. *International Journal of Social Robotics*, 123, ISSN 1875-4791, DOI 10.1007/s12369-016-0365-8.

NDF (2014). *Competentieprofiel Zelfmanagement-educatie bij diabetes*. Project Competenties Zelfmanagement-educatie bij diabetes en scholingsaanbod.

Neerincx, A., Sacchitelli, F., Kaptein, R., Pal, S. van der, Oleari, E., & Neerincx, M.A. (2016). Child's Culture-related Experiences with a Social Robot at Diabetes Camps. In *The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction* (pp. 485-486). IEEE Press.

Abstract

Children have their own experiences, values and needs regarding technological support, such as eHealth. This stresses the importance of including children in research and development of technological innovations. However, including children in research is perceived as challenging. Conventional research methods, such as surveys, fall short.

This article presents a suite of creative methods for co-design and user evaluation, including photography, drawing and theatre. This suite is applied to elicit important daily experiences, values and needs in children, aged 7-14, with type 1 diabetes mellitus (T1DM). This is conducted in the European HZ2020 project PAL, that develops a computer companion (robot and avatar) and test how it contributes to diabetes self-management.

Results show that co-design and 'immersing' children in the development process through creative methods has great value. Children broadly discuss and elaborate on their experiences, values and needs and provide requirements for the interaction with a computer companion. These data are an excellent foundation for further specification and evaluation of the robot and avatar.

Over de auteurs



Dr. O.A. Blanson Henkemans
Wetenschappelijk medewerker
Child Health
TNO Leiden
olivier.blansonhenkemans@tno.nl



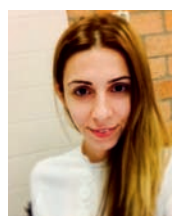
Dr. S. van der Pal
Wetenschappelijk medewerker
Child Health
TNO Leiden



Drs. R. Looije
Wetenschappelijk medewerker en
projectleider
Perceptual Cognitive Engineering
TNO Soesterberg



Drs. R. van Dam
Wetenschappelijk medewerker
Child Health
TNO Leiden



Drs. S. Fountoukidou
AIO
Industrial Design Engineering and
Innovation Sciences
Technische Universiteit Eindhoven



Prof. dr. M. Neerincx
Principle Scientist
TNO Soesterberg
Hoogleraar Human-Centered
Computing
Technische Universiteit Delft

Congres Human Factors NL

24 en 25 november 2016 in Amersfoort

Human Factors NL organiseert in samenwerking met de Stichting Registratie ergonomen HET congres in het teken van de menselijke factor in de digitale wereld. Dit onder andere om het 25-jarig bestaan van

de Stichting Registratie ergonomen (SRe) feestelijk te markeren.

Meer informatie: www.humanfactors.nl

De robot als onderhoudsmonteur van de toekomst?

Netbeheerders zien in de toekomst mogelijkheden om onderhoudswerkzaamheden door robots te laten uitvoeren. Voor de daadwerkelijke effectieve inzet van robots ter ondersteuning van de onderhoudsmonteur dient een aantal generieke uitdagingen te worden geadresseerd. Dit artikel laat zien wat de uitdagingen zijn, welke vragen daarbij spelen en wat dit kan betekenen voor de toekomstige bedrijfsvoering.

Rick van der Kleij, Jan Maarten Schraagen en Mark Neerincx

Een belangrijke uitdaging is het vormgeven van de manier waarop robot en monteur met elkaar samenwerken. Een samenwerkingsvorm waarbij taken dynamisch worden toebedeeld aan onderhoudsmonteur of robot, afhankelijk van de werksituatie en de taaklast van de robot of monteur, lijkt een toekomstscenario dat het meest voor de hand ligt.

De beloften van robots

Er is sprake van een snelle ontwikkeling van de toepassing van industriële robots (Houtekamer, 2014). Robots die deels zelfstandig taken kunnen uitvoeren, zoals navigeren, objecten detecteren en deze manipuleren, veelal in een vaste werkomgeving, zoals op een vaste plek in een fabriekshal. Industriële robots kunnen in potentie veel taken beter, goedkoper en veiliger uitvoeren dan mensen. Deze robots leren ook steeds beter samenwerken met mensen, veelal met behulp van ingebouwde sensoren (Polderman, 2015; zie ook afbeelding 1). Industriële robots worden dan ook meer en meer ingezet in de werkomgeving van mensen (Kenniskamer, 2011; H2020 Call 2 ICT24, 2015). Een volgende stap is de inzet van robots in een 'vrije' werkomgeving, zoals bij de aanleg en het onderhoud van elektriciteits- en gasnetwerken in de openbare ruimte.

Aanleg en onderhoud van elektriciteits- en gasnetwerken is kostbaar en schadegevoelig. Een studie uitgevoerd in opdracht van Alliander laat zien dat in 2012 tijdens 10% van de graafwerkzaamheden schade ontstond in de vorm van storingen (De Wilde Ingenieursgroep, 2013). De kosten hiervan bedroegen in 2012 157 miljoen euro. Het werk is bovendien gevaarlijk. De verbindingen tussen kabels of anderszins foutieve installaties leveren een gevaar op voor monteurs.

Een deel van het aanleg- en onderhoudswerk kan goed worden gepland en is routinematig. Netbeheerders zien



Afbeelding 1. Industriële collaboratieve robot van Rethink Robotics: de Sawyer. De Sawyer is ontwikkeld voor het uitvoeren van precisietaken, zoals het testen van elektronische circuits. Opvallend is dat de Sawyer een 'gezicht' heeft.

in de toekomst dan ook mogelijkheden om onderhoudswerkzaamheden door industriële robots te laten uitvoeren (Ruitenbeek, Van Gemert & Gentiluomo, 2015). Hierdoor kunnen bedrijfsongevallen – die nu nog leiden tot blijvende of dodelijke gevolgen voor onderhoudspersoneel – worden voorkomen. Daarnaast is de verwachting van netbeheerders dat de uitvoering van hoog-risicowerkzaamheden door of met robots kan resulteren in een constantere kwaliteit en het ontlasten van onderhoudsmonteurs door het overnemen van fysiek zwaar of cognitief belastend werk.

Robotica-ontwikkelingen binnen de netbeheersector

Binnen de netbeheersector vinden al diverse ontwikkelingen plaats. Een voorbeeld kan worden gevonden bij rioolinspectie. Rioolinspectiebedrijven gebruiken al veelal op afstand bestuurbare camera's



Afbeelding 2. De Schroder s300 riool CCTV pijpspectierobot.

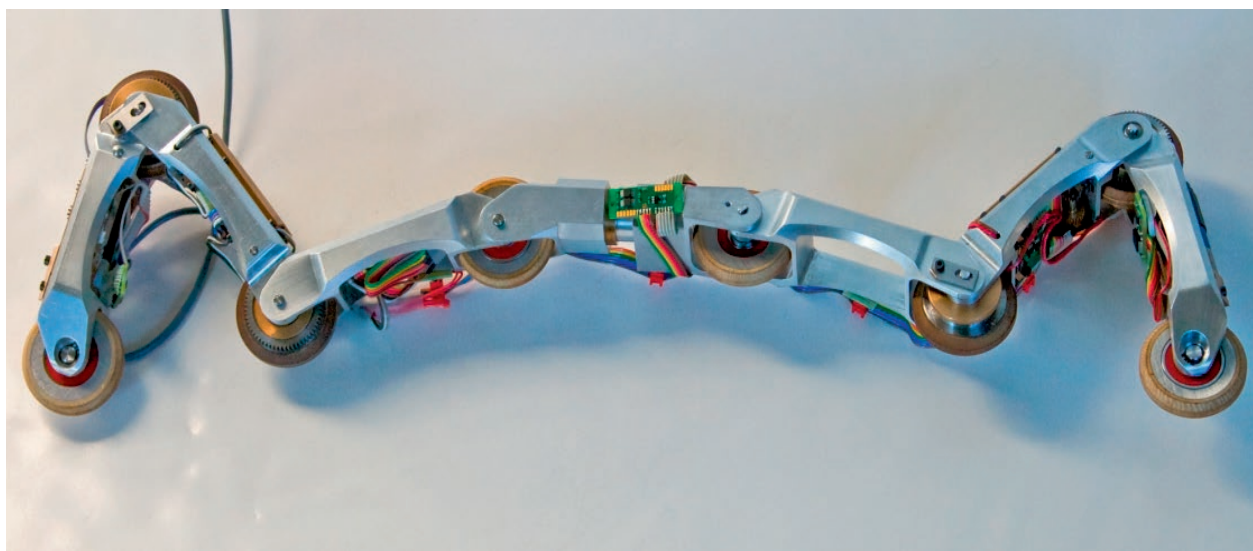
gemonteerd op rijdende robots om de toestand van ondergrondse leidingen vast te leggen, zoals wanddikte en de aanwezigheid van corrosie (afbeelding 2). Deze inspectiesystemen kunnen ook worden ingezet voor andere toepassingen dan riolering, zoals bij inspecties van moeilijk bereikbare ruimten of installaties.

Een consortium van netbeheerders en robotica-bedrijven onderzoekt al sinds 2006 of inspectierobots zelfstandig door het lagedruk gasnetwerk kunnen bewegen en op die manier de kwaliteit van het netwerk kunnen monitoren en zwakke plekken in kaart kunnen brengen (zie bijvoorbeeld Ruesink, 2009). In Nederland ligt ongeveer 100.000 km gasnetwerk in stedelijke omgeving. Van dit netwerk moet ieder segment iedere vijf jaar geïnspecteerd worden op lekkages. Op dit

moment wordt dit alleen bovengronds gedaan met sensoren die gas meten. De aanwezigheid van gas kan duiden op een lekkage. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de kwaliteit van het netwerk ondergronds en ook geen gegevens welke segmenten in de nabije toekomst voor vervanging in aanmerking komen. Gasleidingen in het lagedruknetwerk hebben doorgaans een kleine diameter en bevatten bochten, T-splitsingen en lichte hellingen. Deze factoren hebben ertoe geleid dat een soort modulaire robotslang op wielen is ontwikkeld (afbeelding 3, leorobotics.nl). De robot bevat sensoren die helpen bij het navigeren en tegelijkertijd informatie geven over de buiskwaliteit.

In het Verenigd Koninkrijk werkt de gasnetbeheerder SGN aan de Cast Iron Joint Sealing Robot (CISBOT). Het doel is om oude gasleidingen door een robot te laten repareren. CISBOT kan metalen gaspijpen repareren zonder dat de gasleiding dient te worden uitgeschakeld of er grootschalige graafwerkzaamheden dienen plaats te vinden.

Voor het controleren en, waar nodig, repareren van leidingen op de bodem van zeeën, meren en rivieren worden onderwaterrobots gebruikt (zie bijvoorbeeld Blidberg, 2001; H2020 Call 2 ICT24, 2015). Daarnaast biedt dronetechnologie de mogelijkheid om inspectiewerkzaamheden in hoogspanningsmasten uit te voeren zonder dat monteurs, de zogenoemde lijnwerkers, in de masten hoeven te klimmen, wat gevaarlijk werk is. Liandon, het hoogspanningsbedrijf van Alliander, ontwikkelt Liandrone: een drone voor inspectie van hoogspanningsmasten. De camera van de drone wordt verrijkt met simulatietechnologie om de beeldkwaliteit van de camera te verhogen. Ook kunnen straks 3D-modellen van de omgeving worden gemaakt om bijvoorbeeld schade nauwgezet in kaart te brengen (zie ook: <http://www.tradr-project.eu/>).



Afbeelding 3. DE PIRATE-robot voor autonome inspectie van het lagedruk gasnetwerk.

Generieke uitdagingen

Voor de daadwerkelijke grootschalige inzet van robots ter ondersteuning van de onderhoudsmonteur dient nog wel een aantal generieke uitdagingen te worden geadresseerd. Deze uitdagingen komen voort uit de vraag hoe de robot succesvol en duurzaam in de bedrijfsvoering kan worden ingezet. Een deel van het werk is routinematig. Maar ook uitzonderingssituaties komen voor. Hiermee zal de robot adequaat moeten kunnen omgaan. De inzet van robots mag bovendien geen gevaar opleveren voor monteurs, klanten en eventuele voorbijgangers. Veiligheid is een basisvoorwaarde voor de inzet van robots. Conventionele industriële robots, met hun zware zwaaiende armen, werken daarom vaak afgeschermd in veiligheidskooien om incidenten te voorkomen (Polderman, 2015).

Vragen om te beantwoorden zijn: Wat is de huidige stand van de techniek? Welke vorm van robotisering is wenselijk? Is dit economisch haalbaar? Welke human factor-aspecten spelen een rol bij robotisering? Welke ethische aspecten spelen een rol bij het robotiseren van werk dat eerst door mensen werd gedaan? Ook cyberprotectie moet in ogenschouw worden genomen. De vraag is of de huidige op afstand bestuurde systemen op dit moment voldoende robuust ontworpen zijn om cyberaanvallen te weerstaan. De besturing en controle van de robot mag niet overgenomen worden door derden, waarbij de robot opdracht kan worden gegeven om kritische infrastructuur 'aan te vallen' en uit bedrijf te nemen. Cyberprotectie dient dan ook in staat te zijn om cyberaanvallen te detecteren en te pareren (TNO, 2015).

Ook robots die autonoom navigeren, dus zonder afstandsbesturing, kunnen worden aangevallen. De sensoren van een robot kunnen gevoelige gegevens verzamelen van personen en systemen in de omgeving. Via een cyberaanval kan worden geprobeerd om deze gegevens te verkrijgen. Hiermee kan bedrijfsspionage worden gepleegd. Een robot zelf kan ook een interessant doelwit zijn, bijvoorbeeld omdat de robot veel geld waard is op de zwarte markt of omdat een aanvaller een incident met een robot wil gebruiken als afprijfmiddel.

Een belangrijke uitdaging ligt in het vormgeven van de manier waarop robot en monteur met elkaar samenwerken. De onderhoudsmonteur werkt veelal in teams van ten minste twee monteurs. De manier waarop in de toekomst mens en robot *samenwerken*, ofwel de keuze voor een vorm van robotica, is van belang voor de kwaliteit van de bedrijfsvoering. Er zijn volgens ons verschillende scenario's of vormen van robotisering denkbaar bij de aanleg en het onderhoud van elektriciteits- en gasnetwerken. Een voorbeeld is een vorm waarin de

monteur de robot (op afstand) bestuurt, zoals in het geval van de rioolinspectierobot. Een ander voorbeeld is een vorm waarbij de robot autonoom werkzaamheden uitvoert en een deel van het werk van de monteur heeft overgenomen. Denk hierbij aan het eerder beschreven voorbeeld van de PIRATE-robot die autonoom het lagedruk gasnetwerk inspecteert en zo nodig repareert. In dit voorbeeld is nauwelijks meer sprake van een samenwerking tussen monteur en robot. Hoe autonoom is echter autonoom? Er kunnen zich natuurlijk altijd situaties voordoen waar het systeem niet op is ontworpen. Ook kunnen kritieke componenten van de robot stuk gaan. De mens zal voornamelijk nodig blijven, al is het maar als back-up van de robot.

Slim samenwerken

Een kansrijk scenario lijkt ons te liggen in de vorm waarin mens en robot(s) *slim samenwerken* bij de aanleg en het onderhoud van elektriciteits- en gasnetwerken. Robots zijn in dit scenario in de eerste plaats een aanvulling op de competenties van de monteur. Zoals we hebben laten zien in dit paper stellen robots de onderhoudsmonteur in staat om werk te doen dat voorheen niet of nauwelijks mogelijk was, zoals inspectie vanuit de lucht van hoogspanningskabels of juist ondergronds van gasnetwerken. Ook kunnen robots hoog-risicotaken overnemen van monteurs: taken die een risico vormen voor de veiligheid van de monteur, zoals werk op grote hoogte of aan hoogspanningsinstallaties. Slim samenwerken verwijst hierbij in onze optiek naar de manier waarop taken dynamisch toebedeeld worden aan onderhoudsmonteur of robot. Taken worden toegevoegd of verwijderd van de takenlijst afhankelijk van de situatie en de toestand van de robot, monteur of omgeving. Bij gevaarlijke taken neemt de robot het initiatief, of als de monteur druk is. Dit wordt ook wel adaptieve automatisering genoemd. In deze situatie lijkt ons de naam *adaptieve robotica* meer toepasselijk.

Het scenario van slim samenwerken laat toe dat op transparante wijze werkafspraken worden gemaakt over de toewijzing van (deel)taken aan de robot (van tevoren en gedurende het werk). Zowel de monteur als de robot kan met een voorstel komen. Monteurs kunnen hierbij bijvoorbeeld de condities opgeven waaronder een robot autonoom mag navigeren (bijvoorbeeld de afwezigheid van mensen in de nabijheid) en de condities waaronder de robot de controle over moet geven aan de monteur. Een uitdaging is hoe de communicatie bij het maken van werkafspraken binnen monteur-robot-teams moet worden vormgegeven (zie ook Neerincx, Van Diggelen & Van Breda, 2016).

Over de tijd kunnen de mens en robot leren wat effectieve afspraken zijn in bepaalde omstandigheden

en zodoende leren om goed in te spelen op nieuwe situaties. Doordat mens en robot samenwerken en elkaar aanvullen, kunnen ze omgaan met wisselende omstandigheden en elkaars (tijdelijke) tekortkomingen. Een belangrijk voordeel van adaptieve robotica is dat de monteur actief onderdeel blijft uitmaken van de gezamenlijke taakuitvoering, waardoor de potentie voor 'human' error van zowel monteur als robot tot een minimum wordt beperkt (zie ook Endsley & Kiris, 1995).

Tot besluit

We begonnen dit paper met de opmerking dat voor de daadwerkelijke inzet van robots ter ondersteuning van de onderhoudsmonteur er een aantal generieke vraagstukken dient te worden geadresseerd. Deze uitdagingen komen voort uit de vraag hoe de robot succesvol in de bedrijfsvoering kan worden ingepast. Een van deze uitdagingen betreft veiligheid. Zowel de veiligheid van het besturingssysteem van de robot tegen aanvallen van buiten, als de veiligheid van de monteur, klanten en voorbijgangers. Een andere belangrijke uitdaging is de manier waarop robot en monteur met elkaar samenwerken om een effectieve bedrijfsuitvoering te realiseren. Hoe stuurt de monteur de robot aan? Hoe vertelt de robot de monteur dat hij taken wil overnemen? De monteur moet bovendien kunnen zien wat de toestand is van de robot: wat doet de robot? Wat is de status van het werk? Het is noodzakelijk dat de robot op zijn beurt de werkbelasting van de monteur kan vaststellen. Het vaststellen van hoge werkbelasting kan de robot dan doen besluiten dat de monteur het werk niet meer aankan. Is dat wenselijk? Hoe dient dan de werkbelasting te worden bepaald? Is dit een taak van de monteur zelf? Of levert dit alleen maar extra werklust op en kunnen beter meer objectieve fysiologische maten worden gebruikt, zoals via hartslagvariabiliteit (zie Stuiver & Mulder, 2015)? Betekent dit dan dat de robot de fysiologische toestand van de monteur moet kunnen vaststellen? Bijvoorbeeld via sensoren die de monteur op of in zijn of haar lichaam draagt? De vraag is of de monteur dit wel wil. Want wat als deze gegevens in 'verkeerde' handen vallen en straks niet alleen de robot maar ook de baas de beschikking heeft over deze data. Mag de baas dan deze gegevens gebruiken om te bepalen hoe fit zijn monteurs zijn? Al met al een hoop vragen waar nog geen duidelijk antwoord op is. Het mag duidelijk zijn dat Human Factors-experts een belangrijke rol kunnen spelen bij het beantwoorden van deze vragen.

Referenties

- Blidberg, D.R. (2001). The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUVs); A Brief Summary, ICRA.
- De Wilde Ingenieursgroep (2013). Graafschade aan kabels en leidingen voorkomen. Verkregen op 26 juni 2016, van : <https://www.dewildegroep.nl/ingenieursgroep/in-het-wild/item/12-graafschade-aan-kabels-en-leidingen-voorkomen>.
- Endsley, M.R., & Kiris, E.O. (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(2), 381-394.
- H2020 Call 2 ICT24 (2015). Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe. Horizon 2020. Release B 06/02/2015.
- Houtekamer, C. (2014). Robotrevolutie. NRC.nl. verkregen op 26 juni 2016, van: <http://www.nrc.nl/next/van/2014/september/20/robotrevolutie-1419518>.
- Kenniskamer (2011). Intelligente Robots: Feiten, fabels en ficties. Publicatienr.: j-9163. Pagina 45-49. Den Haag: Ministerie van Veiligheid en Justitie.
- Neerincx, M.A., Diggelen, J. van, en Breda, L. van (2016). Interaction Design Patterns for Adaptive Human-Agent-Robot Teamwork in High-Risk Domains. In: *13th Conference on Engineering Psychology & Cognitive Ergonomics. Lecture Notes in Computer Science*. Springer Link.
- Polderman, L. (2015). De nieuwe robot leert steeds beter samenwerken met de mens. Management Team. Verkregen op 24 juni 2016, van : <http://www.mt.nl/673/88341/made-in-nl-smart-industry/de-nieuwe-robot-leert-steeds-beter-samenwerken-met-de-mens.html>.
- Ruesink, J. (2009). Robot Pirate snuffelt straks in leidingen naar gaslek. *Tubantia* 10/11/2009.
- Ruitenbeek, E., Gemert, I. van, & Gentiluomo, F. (2015). Monteur van de toekomst. Interne presentatie Alliander NV.
- Stuiver, A., & Mulder, B. (2015). Cardiovascular state changes in simulated work environments. *Frontiers in Neuroscience*, 256-267.
- TNO (2015). Veilige robotica voor onderhoud aan het energienetwerk. Projectvoorstel.

Over de auteurs



Dr. R. van der Kleij
Senior onderzoeker
National Security & Crisismanagement
TNO Soesterberg
rick.vanderKleij@TNO.NL



Prof. dr. J.M. Schraagen
Principal Scientist
TNO Soesterberg
Hoogleraar Toegepaste Functieleer
Vakgroep Cognitieve psychologie en
Ergonomie
Universiteit Twente



Prof. dr. M.A. Neerincx
Principle Scientist
TNO Soesterberg
Hoogleraar Human-Centered
Computing
Technische Universiteit Delft

Exoskeletten als oplossing voor fysiek zwaar werk?

Exoskeletten zijn hot. Bijna dagelijks verschijnen nieuwe artikelen in de pers en filmpjes op YouTube, onder andere over exoskeletten als oplossing voor lichamelijk zwaar werk. Hoe ver staat het nu met de ontwikkeling van deze exoskeletten? Gaan ze de werknemer straks echt helpen bij het verrichten van lichamelijk zwaar werk?

Michiel de Looze, Frank Krause en Wietse van Dijk

Mens-robot-samenwerking

De maatschappelijke discussie over de toekomst van werk wordt beheerst door het thema robotisering. Sinds Frey en Osborne (2014) stelden dat robots bijna 50% van onze banen kunnen overnemen, gaat het vooral over de negatieve effecten op de arbeidsmarkt: 'De robots pakken onze banen af'. Het eind 2015 verschenen WRR-rapport (2015) nuanceert dit beeld. Een deel van de banen zal verdwijnen, maar een veel groter deel van de banen gaat veranderen. Binnen banen wordt een deel van de taken door robots en ICT systemen overgenomen, terwijl andere taken bij de mens zullen liggen. WRR (2015) pleit daarom voor de inzet op complementariteit (in plaats van op vervanging van mensen door robots), waarbij de specifieke kwaliteiten van techniek en mens optimaal benut worden.

Een mooi voorbeeld van complementariteit betreft het exoskelet: een mens-gestuurd robotsysteem dat op het lichaam gedragen wordt. Het exoskelet benut de menselijke kwaliteit van snel de omgeving scannen, veranderingen waarnemen, beslissen en gedrag aanpassen, terwijl het exoskelet fysieke vermogen toevoegt dat de mens mogelijk te kort komt in het geval van fysiek zwaar werk.

In de huidige tijd is er nog veel fysiek zwaar werk, ondanks mechanisering en robotisering. Een aanzienlijk deel van de beroepsbevolking in de EU wordt blootgesteld aan het manueel verplaatsen van lasten (30%), repeterende bewegingen (63%) en belastende lichaamshoudingen (46%) (Eurofound 2012). De vraag is of het exoskelet hiervoor een oplossing zal worden. Dragen bouwvakkers, verplegers en magazijnmedewerkers straks allemaal een exoskelet?

Afbeelding 1. Diverse exoskeletten in ontwikkeling binnen Europees project RoboMate: een romp-exoskelet en een arm-exoskelet (www.robomate.eu).

In dit artikel bespreken we: (1) verschillende soorten exoskeletten en hun werking (2) mogelijke toepassingen, (3) de effectiviteit in termen van reductie van fysieke arbeidsbelasting en (4) de stand der techniek ofwel 'hoe ver zijn we verwijderd van toepassing in de beroepspraktijk'.

Exoskeletten en werkingsprincipe

Exoskeletten zijn er in alle soorten en maten. Exoskeletten kunnen we onderscheiden op basis van de lichaamsregio's die ze ondersteunen: exoskeletten voor de onderste extremiteiten die het lopen of staan kunnen ondersteunen, exoskeletten die de armen ondersteunen bij hand-arm taken, exoskeletten die de romp ondersteunen (figuur 1) en de zogenoemde 'full-body' exoskeletten.

Exoskeletten kunnen we ook onderscheiden in de mate waarin de vorm van het menselijk lichaam 'gevolgd' wordt. Een antropomorf exoskelet omvat segmenten en gewrichten, die nauwaansluiten bij de antropometrie van het menselijk lichaam. Zo'n exoskelet is minder



beperkend voor de bewegingsvrijheid, maar is al snel complexer om te bouwen dan een non-antropomorf exoskelet. Non-antropomorfe (delen van) exoskeletten kunnen de oplossing bieden daar waar het nauw aansluiten van op het bewegende menselijk lichaam uitermate complex wordt, bijvoorbeeld rond het schoudergewricht.

Tot slot is er een onderscheid tussen actieve exoskeletten en passieve exoskeletten. Actieve exoskeletten zijn uitgerust met actuatoren, zoals bijvoorbeeld elektrische motoren. Passieve exoskeletten hebben geen actuatoren. Deze systemen gebruiken bijvoorbeeld veersystemen die energie opslaan wanneer ze op spanning worden gebracht, bijvoorbeeld wanneer iemand voorover bukt. Die energie kan vervolgens worden aangewend ter ondersteuning van een gebogen houding of het inzetten van een tilbeweging. Een voorbeeld van zo een exoskelet is de in Nederland ontwikkelde Laevo door het gelijknamige bedrijf (Knittel e.a., 2015).

Centraal staat dat een exoskelet fysieke ondersteuning biedt aan het menselijk lichaam, terwijl de mens bepaalt hoe hij beweegt. Bij bestaande passieve systemen wordt de mate van ondersteuning direct bepaald door de mate van rompbuiging, maar niet door het gewicht dat daarbij getild wordt. Bij het tillen van een zwaar gewicht met een nagenoeg rechte rug levert een dergelijk systeem dus niet de gewenste ondersteuning.

Actieve exoskeletten bieden meer mogelijkheden om de timing en het niveau van de ondersteuning te regelen. Het is hiervoor wel noodzakelijk om de 'menselijke intentie tot bewegen' te bepalen. Dit kan door middel van sensoren.

Er zijn hier verschillende mogelijkheden. Sommige exoskeletten maken gebruik van op mechanica georiënteerde sensoren. Deze sensoren meten bijvoorbeeld krachten, momenten, houdingen, snelheden of versnellingen. Op basis van dergelijke data worden actuatoren aangezet om de door de mens ingezette beweging te ondersteunen. Exoskeletten die deze methoden gebruiken zijn bijvoorbeeld: Sarcos/ Raytheon XOS2, BLEEX, EKSO GT, ReWalk and HULC (Firestone en Maghan, 2012; Kazerooni e.a., 2006; Kim e.a. 2015, Esquenazi e.a. 2012).

Andere exoskeletten maken gebruik van EMG (Elektromyografie) om de menselijke intentie af te kunnen leiden (bijvoorbeeld mPower arm brace, Hand Mentor en HAL (Lo & Xie, 2012). Met EMG wordt de activatie van spieren gemeten. Deze gaat vooraf aan de werkelijke beweging (de zgn. Electro-Mechanical Delay bedraagt 10-150 ms), hetgeen een tijdsvoordeel biedt ten opzichte van de eerder beschreven mechanische georiënteerde sensoren.

Een derde mogelijkheid voor het meten van de menselijke intentie vormt EEG (Elektro-Encefalografie),



Afbeelding 2. Een militaire toepassing van een exoskelet: de zogenaamde ExoBuddy, een exoskelet die het lopen met zware bekleding ondersteunt, in ontwikkeling bij TNO en Intespring.

het meten van signalen van hersenactiviteit. De aansturing van exoskeletten door middel van EEG staat nog in de kinderschoenen, hoewel de aftrap bij het WK voetbal in 2014 al verricht werd door een patiënt met paraplegie middels een hersen-gestuurd exoskelet: imaginatie van de opeenvolgende fasen van de trapbeweging deed de eerste bal op het WK rollen!

Toepassingen van exoskeletten

Toepassingen van exoskeletten zitten van oudsher in de medische en militaire hoek. In de medische toepassingen gaat het om het ondersteunen van mensen die kracht of aanstuuringsmogelijkheden missen om lichaamshoudingen aan te nemen. Militaire toepassingen zijn vooral gericht op het vergroten van de fysieke capaciteit van militairen.

Exoskeletten bedoeld voor toepassing in de arbeidssfeer zijn van later toepassing. Hierin gaat het met name om het beperken van de risico's van fysiek zwaar werk en het vergroten van de duurzame inzetbaarheid. In een literatuurstudie vonden we 40 wetenschappelijke artikelen waarin een exoskelet bedoeld voor ondersteuning bij arbeid werd beschreven (De Looze e.a. 2016). Deze artikelen beschreven 26 exoskeletten: 19 actieve exoskeletten en 7 passieve systemen, gericht op het ondersteunen van dynamisch tillen en dragen, statische voorovergebogen houdingen,

tillen van ziekenhuispatiënten of hand-arm taken boven schouderhoogte. Ontwikkelingen gaan echter hard. Sinds het schrijven van onze review, duiken op internet steeds weer nieuwe exoskeletten voor de arbeidspraktijk op.

Uiteraard zijn exoskeletten niet altijd de eerste en de meest voor de hand liggende oplossing voor fysiek zwaar werk. Werkplek of taakaanpassing of andere hulpmiddelen, is vaak eenvoudiger te implementeren. Toch zijn er specifieke situaties waarin een exoskelet uitkomst kan bieden:

- dynamische situaties waarin steeds andere objecten tussen wisselende locaties moeten worden verplaatst. Het onvoorspelbare karakter van de taak maakt automatisering relatief duur, zeker als de af te leggen afstand groot is. Voorbeelden zien we in het magazijn, in (thuis)zorg, bij verhuizers en bij het laden/lossen van vrachtwagens en vliegtuigen.
- situaties waarin werknemers langdurig in ongemakkelijke houdingen moeten staan (voorovergebogen romp, arm-hand taak boven schouderhoogte) of langdurig een zwaar gewicht moeten vasthouden. Voorbeelden zijn te vinden in de autogarages, in de tuinbouwkas of bij chirurgen en mondhygiënist.

Effectiviteit van exoskeletten in het reduceren van arbeidsbelasting

Voor verschillende passieve systemen, o.a. PLAD, BNDR, HappyBack, zijn de effecten op de activatie van de voornaamste rugspieren bij het tillen van lasten bestudeerd (o.a. Abdoli en Stevenson 2008, Ulrey en Fathallah 2013, Barret en Fathallah 2001). Het dragen van een passief systeem blijkt bij het tillen van lasten (5-25 kg) een reductie van zo'n 15 tot 25% van de activiteit van de lage rugspieren tot gevolg te hebben. Dit laat zich grof gezegd door vertalen naar een afname van de compressie-kracht op de lumbale wervelkolom in een vergelijkbare orde van grootte. Een enigszins verlaagd risico op het ontstaan van rugklachten bij mensen die veel moeten tillen kan daarom het gevolg zijn (De Looze e.a. 2016).

TNO heeft het effect van het Laevo systeem gemeten (Bosch e.a. 2015), niet bij het tillen van lasten, maar bij het werken in een statische voorovergebogen werkhouding zonder gewicht in de handen.

Voor de lage rugspieren vonden we een significante afname van spieractivatie van 35-38%. Omdat het vasthouden van een gewicht niet tot meer ondersteuning vanuit dit systeem zal leiden, valt aan te nemen dat de procentuele afname in rugspieractiviteit ten gevolge van tillen lager zal liggen.

Ook voor enkele actieve exoskeletten zijn de effecten op spieractiviteit onderzocht.

Dit is onder andere gedaan voor de Muscle Suit. De Muscle Suit is een actief exoskelet dat de bovenbenen, romp en armen ondersteunt. Dit exoskelet leidt bij het

tillen van lasten tot positieve effecten op de arm- en schouderspieren, namelijk een reductie in spieractiviteit van de Deltoideus Anterior in de range van 20 tot 35% en van de Flexor Carpi Radialis van 40 tot 65% (o.a. Muramatsu e.a., 2011). Het vasthouden van een gewicht boven het hoofd leidde zelf in de Biceps Brachii en de Trapezius spieren tot afnames tot wel 70%.

Uit evaluaties van andere actieve exoskeletten blijkt dat exoskeletten de spieractiviteit kunnen verlagen, zowel in de benen (bij lopen en trap lopen), in de rug (bij tillen en voorover buigen) en in de schouders en armen bij hand-arm taken (onder andere Galle e.a., 2013; Luo & Yu, 2013; Lee e.a., 2012; Naito e.a., 2007).

Stand der techniek

Er gebeurt veel op het gebied van exoskeletten. Dit geldt ook voor exoskeletten met een toepassing in de arbeidssfeer. Wereldwijd zien we allerlei initiatieven voor nieuwe en toepasbare exoskeletten. De stap tussen lab omgeving en de praktijk is echter groot. Dit geldt zeker voor de actieve exoskeletten. De belangrijkste technische obstakels die acceptatie en grootschalige toepassing nog in de weg staan (ongeacht of het om een arm-, een been- of een full-body exoskelet gaat) zijn de volgende:

- Exoskeletten zijn vaak te zwaar en te groot. Het gewicht kan de positieve effecten van een exoskelet neutraliseren en leidt al snel tot druk op lichaamsdelen en discomfort. De omvang van veel exoskeletten beperkt vooral de bewegingsvrijheid en maakt het gebruik in een beperkte ruimte onmogelijk.
- Exoskeletten sluiten vaak niet goed aan op het menselijk lichaam. Het blijkt lastig een zodanige fit te maken tussen exoskelet en menselijk lichaam (zeker bij beweging), dat discomfort, balans verstoring, beperking van de bewegingsvrijheid en/of nadelige verplaatsingen van kracht uitblijven.
- Exoskeletten ondersteunen vaak niet effectief. Vloeiende en snelle bewegingen zijn doorgaans niet mogelijk met een exoskelet. Voor iemand die zonder exoskelet niet kan lopen maar met een exoskelet wel is dit misschien een minder harde eis, maar in de industrie ziet men niet graag iemand op gehalveerde snelheid bewegen.

Lange tijd heeft de nadruk in de ontwikkeling van exoskeletten gelegen op de techniek en kreeg de toepassing en de drager minder aandacht.

In de meest recente jaren zien we daar toch een verschuiving, getuige enkele recente exoskeletten (RoboMate, Fortis (Lockheed Martin) en Panasonic) waarin meer dan voorheen gestreefd wordt naar praktische bruikbaarheid. De rol van human factor specialisten is hierbij van cruciaal belang. Door exoskeletten te ontwerpen met een duidelijke toepassing en gebruiker in gedachten is het mogelijk

om lichtere en effectievere exoskeletten te ontwerpen met een betere fit op het menselijk lichaam. Dit geldt ook voor passieve exoskeletten. Diverse commerciële producten zoals Laevo, zijn al verkrijgbaar. Deze exoskeletten zijn niet universeel inzetbaar, maar kunnen voor medewerkers in specifieke werksituaties ondersteuning geven. Of deze systemen werkelijk tot een verlaagd risico op rugklachten leiden moet nog blijken. Acceptatie vormt ook hier natuurlijk een punt van aandacht.

Naarmate exoskeletten comfortabeler, sneller en effectiever worden, komen steeds meer toepassingen in beeld. Gezien de huidige snelheid van ontwikkeling lijkt het een kwestie van tijd voordat exoskeletten, passieve en actieve, hun weg naar de praktijk zullen vinden.

Referenties

- Abdoli-E, M en Stevenson JM, 2008. The effect of on-body lift assistive device on the lumbar 3D dynamic moments and EMG during asymmetric freestyle lifting. *Clin. Biomech.* 23, 372-380.
- Barret, AL en Fathallah FA (2001) Evaluation of four weight transfer devices for reducing loads on the lower back during agricultural stoop labor. Paper number 01-8056 of the ASAE Meeting, Sacramento, USA.
- Bosch T, Looze MP de, Eck J van, Knittel K (2016) The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics* 54, 212-217
- Esquenazi A, Talaty M, Packel A en Saulino M (2012) The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 91(11), 911-921.
- Eurofound. (2012). Fifth European Working Conditions Survey. Publications Office of the European Union, ISBN: 978-92-897-1062-6.
- Firestone J en Maghan C (2012) Design and Implementation of the XOS2 Exoskeleton for the United States Military. University of Pittsburgh, Pittsburgh.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation. http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf
- Galle S, Malcolm P, Derave W, en De Clercq D (2013) Adaptation to walking with an exoskeleton that assists ankle extension. *Gait & Posture*, 38(3), 495-9
- Kazerooni H, Steger R en Huang L (2006) Hybrid control of the Berkeley lower extremity exoskeleton (BLEEX). *The International Journal of Robotics Research*, 25(5-6), 561-573.
- Kim, HG, Lee JW, Jang J, Park S en Han C (2015) Design of an exoskeleton with minimized energy consumption based on using elastic and dissipative elements. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 13(2), 463-474.
- Knittel K, Eck J van, Bosch T, Looze MP de (2015) Innovatieve rug-ondersteuning. De effecten van een passief exoskelet op spieractiviteit en volhoudtijd. *Tijdschrift voor Human Factors* 40(1), 4-9
- Lee H, Lee B, Kim W, Gil M, Han J en Han C (2012) Human-robot cooperative control based on pHRI (Physical Human-Robot Interaction) of exoskeleton robot for a human upper extremity. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(6), 985-992
- Luo Z en Yu Y (2013) Wearable stooping-assist device in reducing risk of low back disorders during stooped work. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation* 2013, 230-236
- Lo, HS en Xie SQ (2012) Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: state of the art and future prospects. *Medical engineering & physics*, 34(3), 261-268.

- Looze MP de, Bosch T, Krause F, Stadler K, O'Sullivan L (2016) Industrial applications of exoskeletons and their impact on physical loads. *Ergonomics* 59, 671-68
- Muramatsu Y, Kobayashi H, Sato Y, Jiao H, Hashimoto T en Kobayashi H (2011) Quantitative Performance Analysis of Exoskeleton Augmenting Devices-Muscle Suit-for Manual Worker. *International Journal of Automation Technology*, 5(4), 559-567
- Naito J, Obinata G, Nakayama A en Hase K (2007) Development of a wearable robot for assisting carpentry workers. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 4(4), 431-436.
- Ulrey BL en Fathallah FA (2013) Subject-specific, whole-body models of the stooped posture with a personal weight transfer device. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 206-215.
- WRR (2015) De robot de baas: De toekomst van werk in het tweede machinetijdperk. Amsterdam University Press, Amsterdam 2015

Abstract

Exoskeletons are hot. Numerous types of exoskeletons are described in the scientific literature, in the press and on the internet, including exoskeletons aimed to reduce the mechanical load on workers exposed to heavy work. In this review, we discuss the state-of-the-art of these industrial exoskeletons. Herein, we distinct active exoskeletons using actuators from passive exoskeletons using materials, springs or dampers with the ability to store and release energy. Both have the potential to significantly reduce the mechanical loading on body structures as illustrated by experimental observations of muscle activity reduction. Several issues however still stands in the way of a wide acceptance and application in industry, today.

Over de auteurs



Prof. dr. M.P. de Looze
Senior onderzoeker
Sustainable Productivity & Employability
TNO Leiden
Hoogleraar Ergonomie van productie
en productiemiddelen
VU Amsterdam
michiel.delooze@tno.nl



Drs. F. Krause Eur. Erg.
Onderzoeker/adviseur
Sustainable Productivity & Employability
TNO Leiden



Dr. W. van Dijk
Onderzoeker
Sustainable Productivity & Employability
TNO Leiden