



Tijdschrift voor

jaargang 41 - nr. 3 - oktober 2016

HUMAN FACTORS



Dossier: Robotica

Dossier: Aangepast sporten

HFNL Congres 24-25 november 2016

Het kantoorlandschap van de toekomst

Colofon

Human Factors streeft naar het zodanig ontwerpen van gebruiksvoorwerpen, technische systemen en taken, dat de veiligheid, de gezondheid, het comfort en het doeltreffend functioneren van mensen worden bevorderd.

Tijdschrift voor Human Factors is een uitgave van Human Factors NL, vereniging voor ergonomie. De vereniging tracht op basis van bovengenoemde omschrijving onderzoek te bevorderen, resultaten openbaar te maken, praktische toepassingen te stimuleren en uitwisseling van gegevens tussen belanghebbende vakgebieden te doen plaatsvinden.

**Secretariaat van
Human Factors NL**
Utrechtsestraat 19
6811 LS Arnhem
leden@humanfactors.nl
www.humanfactors.nl

Redactie
dr. L.F.M. Kuijt-Evers, hoofdredacteur@humanfactors.nl
drs. P. van Dorst, pimvandorst@vhphp.nl
ing. I.C. Keeman, ilza@clariss-id.com
dr. R. van der Kleij, rick.vanderkleij@tno.nl
drs. E.M. de Korte, elsbeth.dekorte@tno.nl
drs. T. Luger, t.luger@vu.nl
prof.dr. J. Seghers, Eur.Erg., jan.seghers@faber.kuleuven.be
dr.ir. M.H. Sonneveld, M.H.Sonneveld@tudelft.nl
dr.ir. L.S.G.L. Wauben, l.s.g.l.wauben@tudelft.nl

Redactieraad
dr. A.H.M. Cremers, prof.dr.ir. J. Dul, prof.dr. V. Hermans,
drs. J.P. Jansen, Eur.Erg., prof.dr. M.P. de Looze, ir. I. Griffioen

Technische redactie
Reijsegger to the point
Postbus 174, 3760 AD Soest
Telefoon: 035 693 67 76, Fax: 035 691 81 68
info@reijseggertothepoint.nl

Realisatie en ontwerp
Practicum, Soest
practicum.nl

Advertenties
Advertentiewinkel.nl
Postbus 174, 3760 AD Soest
Telefoon: 035 693 67 76, Fax: 035 691 81 68
info@advertentiewinkel.nl

Abonnementen
Het Tijdschrift voor Human Factors verschijnt vier maal per jaar. De abonnementsprijs bedraagt € 80,- per jaargang. Abonnementen kunnen ieder moment ingaan, doch slechts worden beëindigd indien schriftelijk vóór 1 december van de lopende jaargang is opgezegd en een bevestiging daarvan is ontvangen. Bij niet tijdige opzegging wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd.

Auteursrecht
Behoudens de door de wet gestelde uitzonderingen mag niets in deze uitgave worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder schriftelijke toestemming van de uitgever.
ISSN 2405-7924

Richtlijnen voor Auteurs
zie www.humanfactors.nl

Persberichten
Persberichten kunt u sturen aan de (technische) redactie.

Coverfoto
Aneese / Shutterstock.com



Voorwoord

Beste lezer,

Wat een prachtige sportzomer was het! Ik heb genoten van de Olympische Spelen en de Nederlandse successen. Maar de sportzomer is nog niet voorbij! Op het moment dat ik dit voorwoord schrijf, schijnt de zon en is het ruim 20 graden. Bovendien beginnen over een kleine week de Paralympische Spelen. Een evenement waar ik ook naar uitkijk. Nergens zie je beter hoe belangrijk de individuele afstemming is tussen mens en product om tot topprestaties te komen dan in de aangepaste sport (rekening houdend met de omgeving en de taak die uitgevoerd moet worden). Mijn collega's van de opleiding Mens en Techniek | Bewegingstechnologie van de Haagse Hogeschool doen hier al jaren onderzoek naar. Ik ben dan ook zeer verheugd dat Monique Berger (De Haagse Hogeschool) gastredacteur wilde zijn van het dossier Aangepast sporten. Alle drie de artikelen gaan in op de optimale afstemming tussen de atleet, het materiaal en de sport. Drie sporten komen aan bod: rolstoelbasketbal, handbiken en atletiek. Wellicht dat u na het lezen van dit dossier de beelden van de Paralympics nogmaals terugkijkt. En hoe groot is de stap nu helemaal van een optimale blade om mensen zonder benen te laten hardlopen naar een exoskelet dat de fysieke belasting van mensen in het werk vermindert?

Het tweede dossier staat in het teken van robotica. Een zeer actuele ontwikkeling gezien technologische ontwikkelingen en veranderingen in de beroepsbevolking waar we de komende jaren mee te maken krijgen. Dit dossier is samengesteld door gastredacteur Tim Bosch (TNO) en redacteur Elsbeth de Korte (TNO). Het dossier beschrijft drie verschillende manieren waarop robots worden ingezet. Het gaat in op de inzet van robots bij gedragsverandering, samenwerking tussen mens en robot, en robotsystemen die op het lichaam worden gedragen (exoskeletten) om de werknemer te ondersteunen.

Verder vindt u in deze uitgave een uitgebreid verslag van de bijeenkomst voor leden van Human Factors NL en de Vereniging voor Bewegingswetenschappen Nederland (van 18 mei jl.) rond het kantoorlandschap van de toekomst. Daarnaast besteden we aandacht aan het HFNL-congres, dat in november plaatsvindt.

Uiteraard ontbreken de vaste rubrieken niet: *Afgestudeerd*, met Jeroen Ruijt (TU Delft), *De Nieuwe Factor*, met Tessa Luger (VU Amsterdam) en *de Ergonomiekaart*, met Matthijs Stam (Hoppingier).

Veel leesplezier!

Lottie Kuijt-Evers
hoofdredacteur@humanfactors.nl

Dossier: Robotica

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

Gesprek met robotmaatje over diabetes

De robot als onderhoudsmonteur van de toekomst?

Exoskeletten als oplossing voor fysiek zwaar werk?

(Gast)redacteur:
Dr. Tim Bosch
Drs. Elsbeth de Korte

4

HFNL Congres 24 en 25 november 2016

De voorbereidingen voor het congres zijn in volle gang. Dit jaar krijgt het congres een andere opzet dan voorgaande keren. We maken optimaal gebruik van de aanwezigheid van bestuursleden van CREE en FEES, de Centre for Registration of European Ergonomists respectievelijk de Federation of European Ergonomics Societies. Op donderdag 24 november houden we daarom een internationale dag.

38

Dossier: Aangepast sporten

In de sport kan geoptimaliseerd materiaal het verschil maken tussen winnen en verliezen. Vooral de manier waarop het materiaal is aangepast aan de atleet (de interactie) is hierbij belangrijk. De perfecte afstemming van materiaal op atleet is een complex proces waarin rekening moet worden gehouden met de individuele eigenschappen van de atleet, de mogelijkheden van het materiaal en de eisen en voorwaarden die de sport/omgeving stelt. Dit geldt in de reguliere sport, maar misschien nog wel in hogere mate voor de paralympische sport, waar vaak meer materiaal wordt gebruikt dat nog individueler moet worden afgestemd (afhankelijk van beperking). Dit dossier gaat over aangepast sporten en de optimale afstemming tussen atleet en materiaal.

Handbiken: van revalidatie tot Paralympics

De perfecte sportrolstoel in rolstoelbasketbal

Van Terry Fox naar Marlou van Rhijn.

Gastredacteur:
Dr. Monique Berger

20

Het kantoorlandschap van de toekomst?

Op 18 mei 2016 vond in het Hoofdgebouw van de Vrije Universiteit een bijeenkomst plaats voor leden van Human Factor NL (HFNL) en de Vereniging voor Bewegingswetenschappen Nederland (VvBN). Aanleiding was de plaatsing van het landschap 'The End of Sitting', ontwikkeld door RAAAF in de Vrije Universiteit.

40

Verder in dit nummer

Ergonomiekaart van Nederland Matthijs Stam	44	Toegepast HartWacht	52
De Nieuwe Factor Tessy Luger	46	Uit de vereniging	54
Afgestudeerd Jeroen van de Ruijt	50	Human Factors en octrooien Triumph Magic Wire bh	55

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 zogenaemde 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)redacteuren



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 computermaatje (robot en avatar) ontwikkelt en evalueert ter ondersteuning van diabetes-zelfmanagement. Resultaten laten zien dat co-design en 'onderdempeling' 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 computermaatje. 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

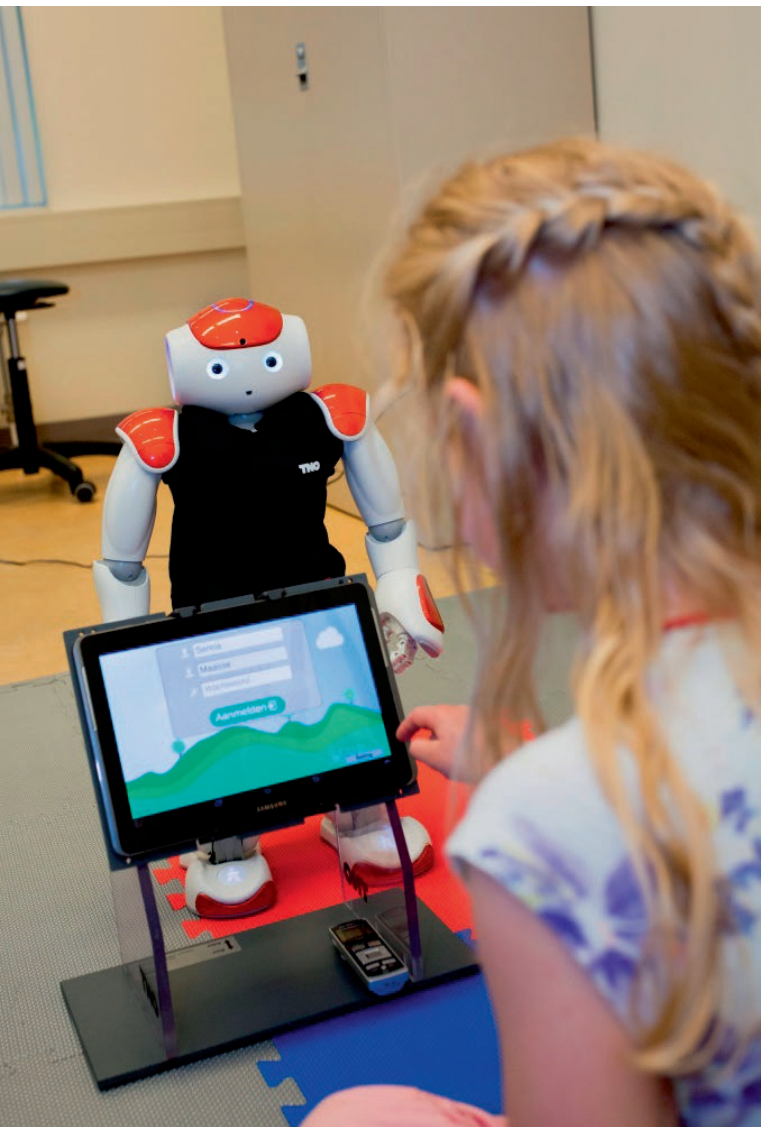
koolhydraten in het eten, hebben snelle suikers bij zich (dextrose, appelsap) en spuiten zelf insuline in. Door goed zelfmanagement kunnen korte- en lange-termijncomplicaties worden voorkomen, zoals eerder genoemde symptomen, aderverkalking en nierbeschadiging (NDF, 2014).

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 computermaatje 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.



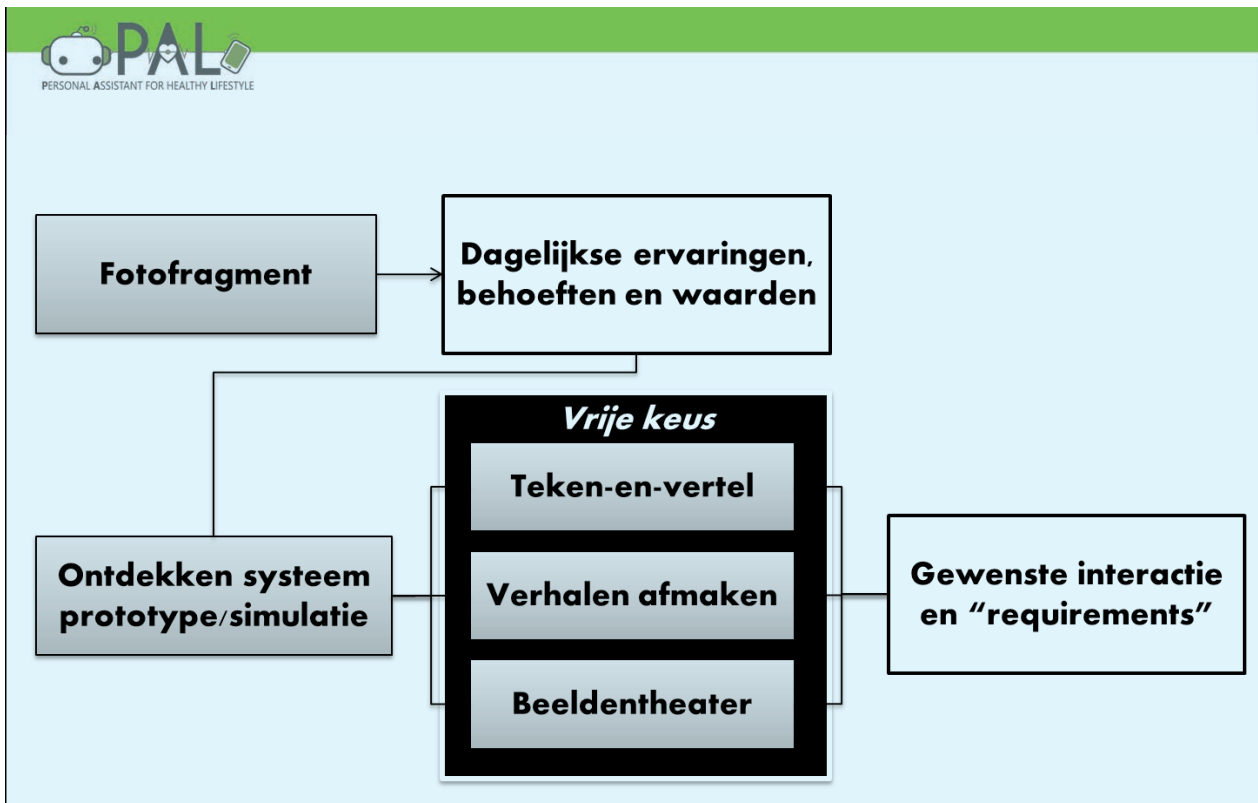
Afbeelding 1. Robotmaatje voor kinderen met diabetes.

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).

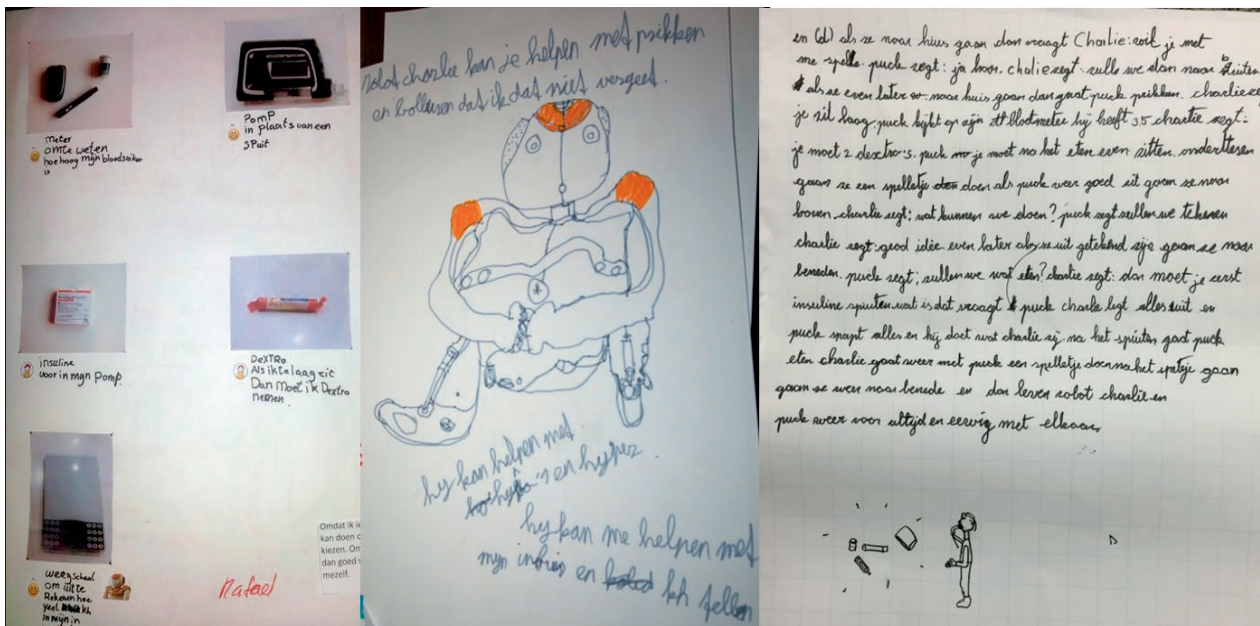
Co-design met kinderen

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 voorgelegd over een jongen die avonturen beleeft met een robot. De kinderen mochten het verhaal zelf afschrijven.

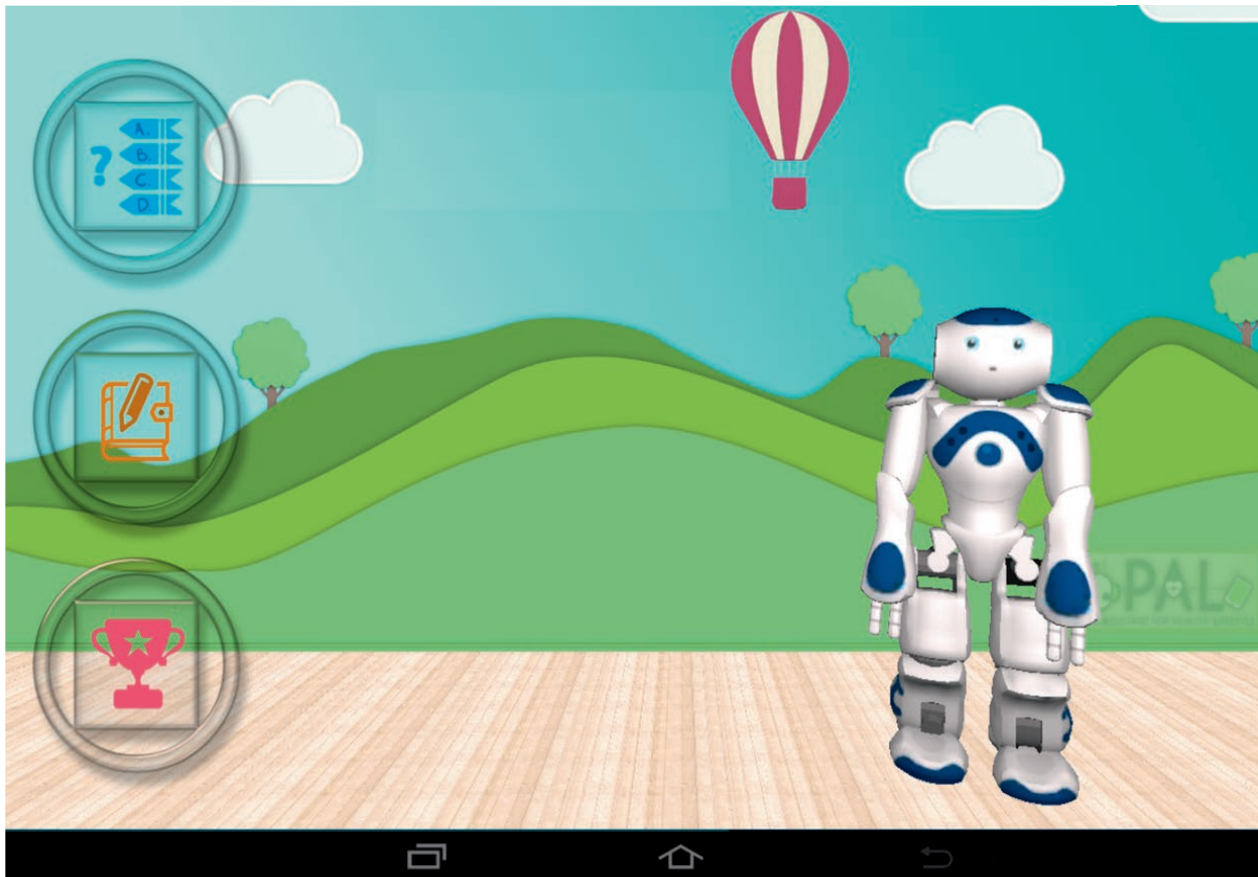
Van de activiteiten zijn audio/video-opnames gemaakt, de producten van de activiteiten, zoals collages, tekeningen en verhalen zijn verzameld (afbeelding 3) en de kinderen hebben aan het begin en eind van het onderzoek vragenlijsten ingevuld over respectievelijk hun verwachtingen en wat ze van de robot 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 pikken, 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 gesprekjes 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 'onderdrijving' van kinderen in het onderzoeks- en ontwikkelproces via een pakket creatieve methodes (zoals fotofragment, teken-entel 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



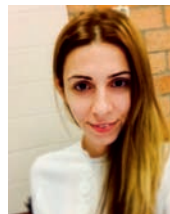
Dr. S. van der Pal
Wetenschappelijk medewerker
Child Health
TNO Leiden



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

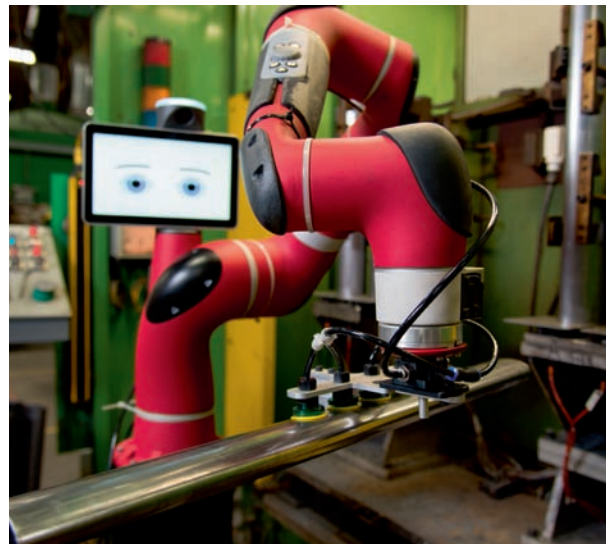
Een belangrijke uitdaging is het vormgeven van de manier waarop robot en monteur met elkaar samenwerken. Een samenwerkingsvorm waarbij taken dynamisch worden toebedeeld aan onderhoudsmonteur of robot, afhankelijk van de werksituatie en de taaklast van de robot of monteur, lijkt een toekomstscenario dat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

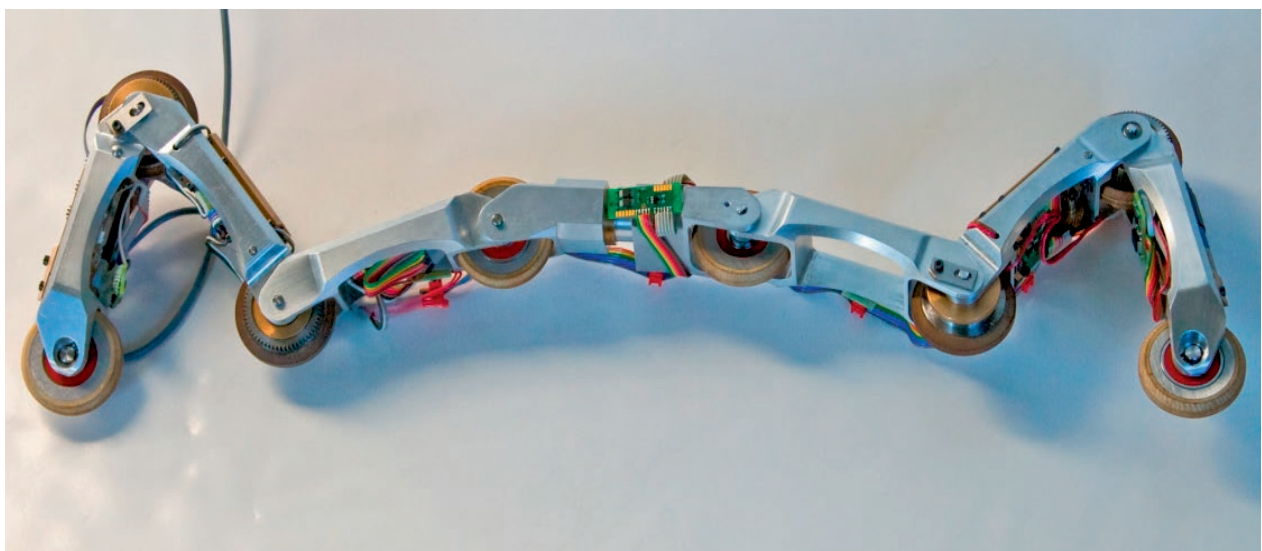
gemonteerd op rijdende robots om de toestand van ondergrondse leidingen vast te leggen, zoals wanddikte en de aanwezigheid van corrosie (afbeelding 2). Deze inspectiesystemen kunnen ook worden ingezet voor andere toepassingen dan riolering, zoals bij inspecties van moeilijk bereikbare ruimten of installaties.

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 dronetehnologie 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 omgegaan. 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 afpersmiddel.

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 bekapping 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 arbeidsfeer 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. Muramutsu 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 arbeidsfeer. 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 rugondersteuning. 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.

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

Aangepast sporten

Deze zomer werd in de media neergezet als een onvervalste sportzomer van maar liefst tachtig legendarische dagen, met het EK voetbal, de Tour de France en de Olympische Spelen. Helaas werden daar de Paralympische Spelen, die van 7 tot en met 18 september plaatsvonden, niet meer bij gerekend, maar wat mij betreft spreken we over een sportzomer van honderd dagen. Ook de Paralympische Spelen boden supermooie sport, waar gelukkig steeds meer aandacht voor komt.

In dit dossier worden drie zeer populaire paralympische sporten belicht: Atletiek/Triatlon, met specifiek aandacht voor het hardlopen met een prothese, handbiken (wielrennen voor mensen met een beperking in de onderste extremiteit) en rolstoelbasketbal.

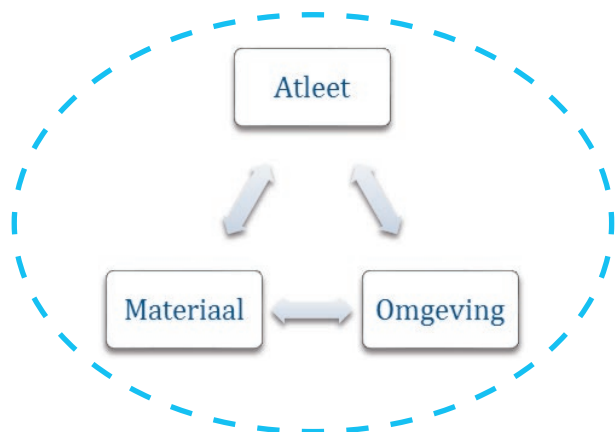
In de sport kan geoptimaliseerd materiaal het verschil maken tussen winnen en verliezen. Het gaat dan om de materiaaleigenschappen zelf (sterker, stijver en lichter), maar vooral de manier waarop dat materiaal is aangepast aan de atleet, de interactie. De perfecte afstemming van materiaal op atleet is een complex proces waarin rekening moet worden gehouden met de individuele eigenschappen van de atleet, de mogelijkheden van het materiaal en de eisen en voorwaarden die de sport/omgeving stelt (afbeelding 1). Dit geldt in de reguliere sport, maar misschien nog wel in hogere mate voor de paralympische sport, waar vaak meer materiaal wordt gebruikt dat nog individueler moet worden afgestemd (afhankelijk van beperking).

Er zijn in de loop der jaren verscherpte regels geformuleerd om de invloed van materiaal te beperken en te reguleren. Er is echter nog weinig wetenschappelijke onderbouwing voor het individueel afstemmen van rolstoel, handbikes en hardloopporthesen op de sport en de sporter. Onderzoek en innovatie in de Paralympische sport richt zich dan ook onder andere op een zoektocht naar de optimale, individuele afstemming van het materiaal, passend bij de handicap van de sporter en de eisen die de omgeving stelt.

In de drie artikelen van dit dossier is de aandacht dan ook vooral op de relatie tussen atleet en zijn materiaal gericht.

Het eerste artikel, 'Handbiken: van revalidatie tot Paralympics' gaat over hoe optimaal gepresteerd kan worden als handbiker. De prestatie moet geleverd worden met het bovenlichaam en de armen, die minder vermogen kunnen leveren dan de benen. Invloed van training, het materiaal en de afstelling komen aan de orde.

Het tweede artikel, 'De perfecte sportrolstoel in rolstoelbasketbal', geeft een overzicht van een



Afbeelding 1. Schematisch overzicht van de interactie atleet, materiaal en omgeving die de prestatie bepalen.

zoektocht naar het antwoord op de vraag wat de optimale afstemming is van de rolstoel op de atleet, rekening houdend met de fysieke eigenschappen en vaardigheden in veldpositie voor een optimale prestatie in het rolstoelbasketbal.

Ook in het derde artikel komt de interactie materiaal en atleet duidelijk aan de orde. De fysieke veerkracht van een hardloopporthese en de afstemming hierop aan de gebruiker worden hier belicht.

Hoe ver kunnen we gaan in het optimaliseren van het materiaal, het ontwerp en de afstellingen van het materiaal? Dit zijn vragen die de komende jaren in het onderzoek in de sport veel aandacht krijgen. De veelzijdigheid van deze vragen vraagt om een multidisciplinaire aanpak.

Over de gastredacteur



Dr. M.A.M. Berger
Projectleider/onderzoeker
Lectoraat Revalidatie en Expertise
Centrum Bewegingstechnologie
Faculteit Gezondheid, Voeding en Sport
De Haagse Hogeschool
m.a.m.berger@hhs.nl

Handbiken: van revalidatie tot Paralympics

De Paralympics krijgen steeds meer aandacht, en ook voor de Paralympische atleten gaat het al lang niet meer alleen om meedoen, maar om het behalen van goud. Een van de spectaculaire disciplines is het handbiken. Maar hoe presteer je optimaal als handbiker? Het bovenlichaam en de armen kunnen minder vermogen leveren dan de benen. Niet alleen de training bepaalt de prestatie, maar ook de staat van de handbike en de optimale afstelling op de atleet. Dit artikel gaat over wat er momenteel bekend is over het optimaliseren van zowel de atleet als de handbike.

Sonja de Groot, Linda Valent, Riemer Vegter en Luc van der Woude

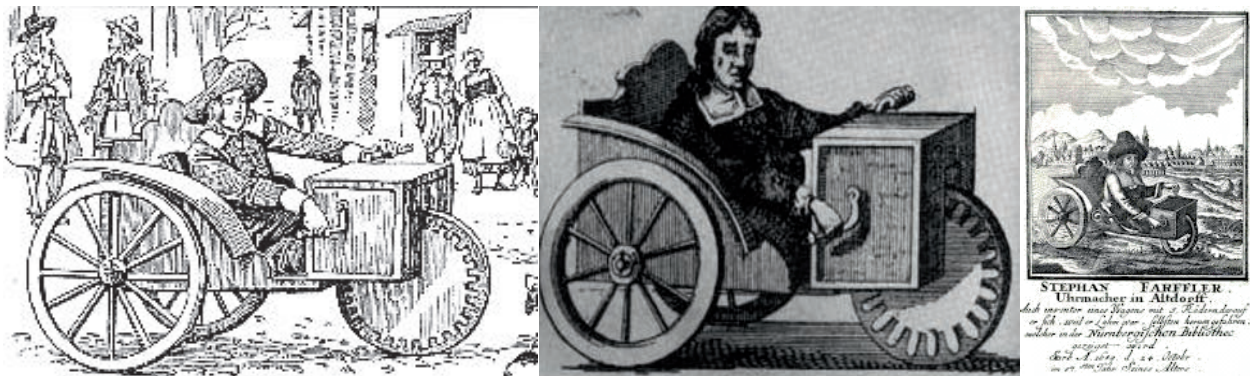
Het gebruik van de handbike neemt toe, als transportmiddel, maar ook om recreatief te fietsen en voor sport. Bijna de helft van de rolstoelgebruikers met een dwarslaesie (49%) bezit een handbike één jaar na ontslag uit revalidatie. Vergeleken met rolstoelrijden is handbiken een energiezuinigere vorm van voortbewegen (Dallmeijer e.a., 2004) en leidt het tot minder krachten in het schoudergewricht (Arnet e.a., 2012). Daarom is handbiken aan te bevelen voor alle rolstoelafhankelijke mensen en geldt dat de continue beweging van het handbiken naar verwachting tot minder overbelastingklachten leidt.

Handbiken wordt daarom in Nederland tegenwoordig al in de (vroeg) revalidatie aangeboden (Valent, 2009), maar ook daarna wordt het gebruik gestimuleerd om gezond en fit te worden en te blijven. De HandbikeBattle is een mooi voorbeeld, waarbij jaarlijks circa honderd ex-revalidanten van revalidatiecentra met een sportief vastframe handbike een berg beklimmen in Oostenrijk (De Groot e.a., 2014). Sinds 2004 is handbiken officieel als sport toegelaten tot de Paralympics, waardoor het

handbiken ook mondiaal steeds meer aandacht krijgt. Een van de eerste handbikes, een op drie wielen gebaseerde houten stoel met een crank aandrijfmechanisme, werd al in de zeventiende eeuw gezien (afbeelding 1).

Na de Tweede Wereldoorlog kreeg arminspanning meer medische en wetenschappelijke belangstelling vanwege de grote aantallen mensen met een beperking aan de benen. Zoals later uitgebreider zal worden beschreven, zijn er tegenwoordig handbikes uitgerust met versnellingen, hebben ze een taak-specifiek design, zijn ze lichtgewicht en zijn ze vaak afgesteld op de gebruiker. Dit leidt tot verschillende handbike-systemen, variërend van units die aan te koppelen zijn op de rolstoel, tot e-handbikes en vastframe sportligfietsen van carbon (afbeelding 2).

Door de brede scope van het handbiken, van vroeg revalidatie tot de Paralympics, is het belangrijk om de analyse van het handbiken en daaruit volgend advies in de juiste context te bestuderen. Een aantal factoren



Afbeelding 1. Tekeningen van horlogemaker Stephan Farffler in zijn houten handbike rond 1655 (zie: en.wikipedia.org/wiki/Stephan_Farffler).









moet in kaart worden gebracht om het handbiken te optimaliseren. Eerst moet de taak (bijvoorbeeld voor dagelijkse mobiliteit of sport) duidelijk zijn. Vervolgens kunnen de volgende factoren worden onderzocht en geoptimaliseerd: (1) de individuele karakteristieken van de handbiker, (2) eigenschappen van de handbike zelf en (3) de interface tussen handbike en de gebruiker.

Vermogensbalans

Handbiken is een relatief simpele vorm van voortbewegen, waarbij de vermogensproductie allesbepalend is. Voor het analyseren van de vermogensproductie moet worden gekeken naar de stroom van energie van de handbiker naar de omgeving. Deze stroom van energie is wiskundig te beschrijven in een zogenoemde vermogensbalans (Van Ingen Schenau e.a., 1982). In deze balans staat enerzijds de energie die de handbiker levert (door verbranding van voedingsstoffen) en anderzijds de energie die de handbiker verliest aan verschillende vormen van weerstand (Groen e.a., 2010). De capaciteit van de sporter om energie te leveren is afhankelijk van onder andere de beperking van een atleet en de getraindheid. Bij snelheid hoort een bepaald vermogen waarvan een deel verloren gaat door interne wrijving in de handbike, maar vooral aan lucht- en rolweerstand. De balans tussen het vermogen dat iemand kan leveren en de weerstanden die overwonnen moeten worden, bepaalt uiteindelijk de snelheid die men kan behalen. Hierna worden de verschillende aspecten die de vermogensbalans kunnen beïnvloeden besproken.

Handbiker

Mensen met een grotere beperking, zoals een hoge dwarslaesie, hebben een significant lagere fitheid, uitgedrukt in piek zuurstofopname of piek vermogen, dan mensen met een minimale beperking (Janssen e.a., 2001). De beperking is een bepalende factor voor de wedstrijdprestatie. Classificatie is daarom een voorwaarde voor deelname aan handbikewedstrijden met als doel de impact van de beperking op het wedstrijdresultaat te minimaliseren zodat het succes gebaseerd is op training, fitheid en talent (Handbiken.nl). In het handbiken zijn er vijf klassen waarbij de H1- en H2-klassen voor de atleten zijn met beperkte arm/schouderfunctie. Dit zijn veelal de sporters met een dwarslaesie ter hoogte van de nek die gebruik maken van handbikes waarin ze liggen (afbeelding 2). De H3 en de H4 bestaan respectievelijk uit mensen met een dwarslaesie ter hoogte van de borst of vergelijkbare beperking waarbij de H4-atleten nog wel buik-, bekken- en beenfunctie hebben. In de H5-klasse zitten deelnemers met een minimale functiebeperking wat betreft het handbiken, zoals een onderbeenamputatie. De H5-handbikeklasse maakt gebruik van een kniezit-handbike (afbeelding 2) waarbij ook de romp goed in te zetten is om het vermogen te leveren. Binnen de klassen is fitheid een belangrijke factor. Twee onderzoeken toonden aan dat bij recreatieve

Arm-vermogen	Arm-romp vermogen
 Aankoppelhandbike Zithouding: rolstoel Frontaal oppervlakte: 100% Wedstrijddivisie: -	 Aankoppelhandbike Zithouding: rolstoel Frontaal oppervlakte: 96,8% Wedstrijddivisie: -
 Recreatiesporthandbike Zithouding: recumbent Frontaal oppervlakte: 62,6% Wedstrijddivisie: -	 Recreatiesporthandbike Zithouding: carseat Frontaal oppervlakte: 82,8% Wedstrijddivisie: -
 Wedstrijdsporthandbike Zithouding: recumbent Frontaal oppervlakte: 39,6% Wedstrijddivisie: H1, H2, H3, H4	 Wedstrijdsporthandbike Zithouding: longseat Frontaal oppervlakte: 60,9% Wedstrijddivisie: H4, H5
 Wedstrijdsporthandbike Zithouding: recumbent Frontaal oppervlakte: 33,3% Wedstrijddivisie: H1, H2, H3, H4	 Wedstrijdsporthandbike Zithouding: kneeseat Frontaal oppervlakte: 60,3% Wedstrijddivisie: H5

Afbeelding 2. Handbikes met verschillende doelen, zithoudingen, frontaal oppervlakte en voor de verschillende wedstrijddivisies (zie: handbiken.nl/modellen_en_zithoudingen; Van Breukelen, 2013).

handbikers een hogere fitheid leidt tot een snellere tijd op een vlakke tijdrif van 10 km (Janssen e.a., 2001) en de 20 km tijdrif in de bergen (De Groot e.a., 2014). Daarnaast bleek dat de racetijd ook sterk bepaald werd door hoe lang men op een hoge intensiteit kan rijden. Snellere handbikers kunnen langer op een hoog percentage van hun maximale waarden rijden dan de langzamere handbikers (De Groot e.a., 2014). Er is echter nog weinig onderzoek gedaan naar handbiketrainingsprogramma's. De onderzoeken die zijn uitgevoerd focussen zich vooral op handbiketraining tijdens de dwarslaesierevalidatie (Valent e.a., 2009; Nooijen e.a., 2015) of op inactieve mensen met meer dan acht jaar een dwarslaesie (Bakkum e.a., 2015). Uit deze studies bleek dat voor mensen met een recente dwarslaesie en mensen met een hoge laesie na revalidatie een pittig tot zeer zware training van acht tot twaalf weken, twee tot drie keer per week, leidde tot 20-36% toename in piek vermogen en 9-10% toename in piek zuurstofopname (Nooijen e.a., 2015; Valent e.a., 2009). Wat optimale trainingsprogramma's voor (Paralympische) handbikers zijn, is onbekend. Om zo optimaal



Afbeelding 3. Inspanningstest in de eigen handbike met behulp van een ergometer.

mogelijk te trainen is het van belang dat deze atleten met regelmaat een maximale inspanningstest uitvoeren waarbij de piek zuurstofopname, vermogen en hartfrequentie kunnen worden bepaald. Met behulp van deze gegevens kan het trainingsprogramma goed opgesteld of bijgesteld worden en kunnen eventuele talenten worden gescreend. Bij voorkeur dient de test te worden uitgevoerd in de eigen handbike, bijvoorbeeld op een grote lopende band of met behulp van een speciale ergometer (afbeelding 3).

Om de trainingen goed te monitoren, en eventueel tussentijds te kunnen bijstellen, wordt aanbevolen om gebruik te maken van meetapparatuur die ook in het wielrennen wordt gebruikt, zoals de hartslag- en vermogensmeter (bijvoorbeeld SRM, Powertap). Naast deze objectieve metingen is het goed als de atleet een dagboek bijhoudt wat betreft eventuele overbelas-

tingklachten aan de schouders, een veel voorkomend probleem bij rolstoelgebruikers, en ervaren intensiteit van de training (Borgscore). Met behulp van de duur en de Borgscore van de training kan de 'session rating perceived exertion' (sRPE) worden berekend (Foster e.a., 2001). Deze blijkt ook bij handbikers goed samen te hangen met objectieve vermogensmaten (Hoekstra e.a., 2015). Om tot een optimale fitheid te komen en overbelasting (schouderklachten dan wel overtraining) te voorkomen, is het dus van belang om op basis van maximale inspanningstesten een individueel trainingsprogramma op te stellen en dit goed te monitoren.

Handbike

Tijdens handbiken wordt het geproduceerde vermogen gebruikt om de externe vermogensverliezen (rolweerstand, interne weerstand en de luchtweerstand) te overwinnen. Als de handbiker een helling oprijdt, dan moet ook de zwaartekracht overwonnen worden. Het externe vermogen wordt beïnvloed door de mechanische karakteristieken van de handbike zoals de massa, de grootte, en wielkarakteristieken (tabel 1). Vergeleken met rolstoelen zijn handbikes groter, hebben ze een groter voorwiel en worden ze met een ketting aangedreven waarbij er 360° kracht kan worden geleverd. Door het grotere voorwiel en de hogere bandenspanning kan de rolweerstand wat lager zijn vergeleken met rolstoelen, ondanks het hogere gewicht.

Zowel de rolweerstand als de interne weerstand worden verondersteld onafhankelijk te zijn van snelheid. De luchtweerstand is echter heel erg afhankelijk van de snelheid en zal de rolweerstand snel overstijgen bij

Tabel 1. Factoren die de rolweerstand van handbiken beïnvloeden (Van der Woude e.a., 2001).

Factoren	Rolweerstand
Lichaamsgewicht ↑	↑
Handbikegewicht ↑	↑
Bandenspanning ↓	↑
Voorwielgrootte ↑	↓
Hardheid vloer	↑
Camberhoek ↑	?
Toe in – Toe out (achterwielen niet parallel) ↑	↑
Lichaamszwaartepunt dichterbij achterwielen	↓
Onderhoud ↓	↑



Afbeelding 4. Handbiker Jetze Plat met aerodynamische helm en 'skin suit' (links) en Alex Zanardi met de speciaal voor hem ontworpen futuristische handbike (rechts).

hogere snelheden (Kauzlarich, 1999; Coe, 1979). Op vlak terrein, waarbij de snelheid hoog is, is het dan ook van belang om een zo klein mogelijk frontaal oppervlak te hebben. De lighandbikes zijn wat dat betreft in het voordeel vergeleken met de kniezithandbikes. Bij top-prestaties ligt het verschil tussen winst en verlies vaak in hele kleine details. Een goede aerodynamica door een meer gestroomlijnde helm, strak pak (afbeelding 4), of betere afwerking van de voetsteunen kunnen net het verschil maken (Perret & Strupler, 2012).

In bergachtig terrein is de luchtweerstand minder van belang en is de invloed van de zwaartekracht een aandachtspunt. Uit onderzoek bleek dat, na fitheid en buikomvang van de handbiker, het handbikegewicht voor een aanzienlijk deel de uiteindelijke prestatie bepaalde van een 20 km handbike race bergop (De Groot e.a., 2014).

Een handbiker met een zeer geavanceerde handbike is Alex Zanardi (afbeelding 4), een voormalig Formule 1-coureur die na een crash een succesvolle handbiker is geworden. Door zijn contacten in de Formule 1 werd er voor hem een handbike ontworpen en uitvoerig getest op aerodynamica, sterkte en gewicht. Dit leidde tot een futuristische handbike waarmee hij tijdens de Paralympische Spelen in Londen in 2012 twee keer goud haalde. De bijdrage van de auto-industrie kan de technologische ontwikkeling van handbikes positief beïnvloeden. Aan de andere kant rijst de vraag echter of de competitie nog wel eerlijk is als er een groot verschil is tussen het materiaal van de handbikers. Een vorm van mechanische doping kan immers eerlijke competitie in de weg staan.

Interface atleet-handbike

Wat betreft de beste afstelling van de handbike op de gebruiker zijn er veel factoren die het comfort, de kans op overbelasting en de prestatie in de handbike kunnen verbeteren.

Synchroon/asynchroon

In tegenstelling tot het fietsen, wordt er bij het handbiken altijd gebruik gemaakt van synchrone aandrijving waarbij beide armen gelijktijdig dezelfde 360° circulaire beweging maken. Het bleek namelijk dat asynchroon handbiken leidt tot een groter energieverbruik en een verminderde prestatie (Bafghi e.a., 2008; Dallmeijer e.a., 2004; Van der Woude e.a., 2000; Van der Woude e.a., 2008). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de toegenomen spierarbeid in het bovenlichaam om het stuur te stabiliseren om recht door te rijden (Bafghi e.a., 2008).

Versnellingen

Het voordeel van handbiken ten opzichte van rolstoelrijden zit ook in de mogelijkheid om versnellingen te gebruiken. Met een lichte versnelling kan je bijvoorbeeld in een handbike makkelijk een viaduct over rijden. Daarnaast kunnen mensen met een lage fysieke capaciteit met een lichte versnelling grotere afstanden afleggen in een handbike. Op submaximale inspanningsniveaus leiden verschillende versnellingen tot andere waarden van mechanische efficiëntie en fysieke belasting (Van der Woude e.a., 2000; Van der Woude e.a., 2008; Faupin e.a., 2008a) bij hetzelfde vermogen. Dit wijst op een optimale snelheid voor zowel spiercontractie als voor de controle over de krachtrichting en zo de krachtheffektiviteit. Voor mensen die ondersteuning nodig hebben, is er de e-handbike, waarbij de beweging wordt ondersteund door een elektrische hulpmotor.

Crank en handgreep

De cranklengte is een factor die de versnellingsratio kan beïnvloeden (Krämer e.a., 2009b) en het beïnvloedt ook de hoeken die de segmenten van het bovenlijf maken naast de spiercontractiesnelheid. Handbikers wordt geadviseerd om een korte crank (180mm) te kiezen om zo efficiënt mogelijk te fietsen (Goosey-



Afbeelding 5. Quadgrip, voor extra ondersteuning van hand en pols voor mensen met beperkte handfunctie.

Tolfrey e.a., 2008). Ook om een hoog piekvermogen te bereiken, wordt een korte cranklengte aanbevolen (26% van de afstand van het acromion tot de crank-as) (Krämer e.a., 2009b). Over de hoek van de handgrepen aan de crank is er nog geen eenduidige conclusie (Krämer e.a., 2009a; Abel e.a., 2015) en is er dus nog meer onderzoek noodzakelijk. Voor mensen met een slechte handfunctie zijn er speciale handgrepen, de 'quadgrips' (afbeelding 5).

In de context van schouderbelasting wordt geadviseerd de crank-as niet boven de schouder te plaatsen (Faupin e.a., 2008a) om zo de bewegingsuitslag van de armen te verminderen. Wat betreft de horizontale crankafstand wordt aanbevolen de afstand te bepalen middels een ellebooghoek van 15°, waarbij een gestrekte arm 0° is (Faupin e.a., 2008a; Arnet e.a., 2014). Met deze ellebooghoek wordt de bewegingsuitslag verminderd als ook de contactkrachten in het schoudergewricht en de belasting op de spieren infraspinatus en supraspinatus. De afstand tussen de twee handgrepen moet ongeveer even breed zijn als de schouderbreedte (Faupin e.a., 2008a; Faupin e.a., 2008b). Voor mensen met beperkte armfunctie kan de optimale afstelling wellicht anders zijn. Een lager crankstel kan dan mogelijk gunstiger zijn omdat er minder tegen de zwaartekracht in bewegen hoeft te worden.

Zitpositie

Verschillende zitposities in de handbike zijn bestudeerd, zowel in de liggende positie als in de knielende positie waarbij meer vermogen door de romp kan worden geproduceerd (Arnet e.a., 2014; Faupin e.a., 2008b; Faupin e.a., 2006; Faupin e.a., 2008a; Verellen e.a., 2012). Voor mensen met een goede rompstabiliteit is het mogelijk om grotere snelheden te behalen zonder rugleuning dan met een rugleuning onder een hoek van 45° of 65° (Faupin e.a., 2008a). Als er wordt gekeken

naar de schouderbelasting dan is een meer opwaartse rugleuning (60°) beter dan een meer achteroverleunende rugleuning (15°, 30° of 45°) (Arnet e.a., 2012).

Zit/lighouding

Wat nog niet is onderzocht bij handbiken, is de invloed van een stabiele ergonomische zit- of lighouding op de prestatie. Voor atleten met een hoge dwarslaesie leidt een liggende positie tot een ±15% hoger piekvermogen en zuurstofopname (McLean e.a., 1995). In lig zal men ook meer steun ondervinden aan de rugleuning ten opzichte van een zittende positie. Echter bij een enigszins schuine stand van de rugleuning kan het lichaam van de handbiker onderuit gaan schuiven wanneer er geen wig of ergonomische zit aanwezig is. Ook in lig is het van belang stabiliteit en comfort te ervaren door onder andere steun in de onderrug en, met name bij krachtsverschil links/rechts of asymmetrie (bijvoorbeeld door scoliose), door zijwaartse steun aan bekken en romp. In een stabiele houding heeft de handbiker de mogelijkheid om optimaal kracht uit te oefenen op de pedalen.

Individuele optimalisatie

In de laatste vijftien jaar is het handbiken steeds populairder geworden en is er in de wetenschap ook meer aandacht gekomen voor optimalisatie van de handbiker en de handbike. Het is belangrijk dat er richtlijnen komen voor trainingen en afstelling van de handbike aan de atleet om optimaal te kunnen presteren en overbelasting te voorkomen. Gestandaardiseerde testen, waarbij de resultaten worden besproken met de atleet en het team eromheen (onder andere trainer, handbikespecialist, tester met ook voldoende kennis van de beperking van de atleet), zijn daarbij belangrijk om de atleet een individueel advies te kunnen geven wat betreft training en afstelling van de handbike om zo tot goud op de Paralympische Spelen te komen. Uiteindelijk zijn de benoemde variabelen niet onafhankelijk van elkaar, daarom is het belangrijk in een optimalisatiecyclus deze opnieuw te evalueren om tot een maximale prestatie te komen.

Referenties

- Abel, T., Burkett, B., Thees, B., Schneider, S., Askew, C.D., & Strüder, H.K. (2015). Effect of Three Different Grip Angles on Physiological Parameters During Laboratory Handcycling Test in Able-Bodied Participants. *Front Physiol*, 23:331.
- Arnet, U., van Drongelen, S., Scheel-Sailer, A., van der Woude, L.H., Veeger, D.H. (2012). Shoulder load during synchronous handcycling and handrim wheelchair propulsion in persons with paraplegia. *J Rehabil Med*, 44:222-8.
- Arnet, U., van Drongelen, S., Schlüssel, M., Lay, V., van der Woude, L.H., Veeger, H.E. (2014). The effect of crank position and backrest inclination on shoulder load and mechanical efficiency during handcycling. *Scand J Med Sci Sports*, 24:386-94.
- Bafghi, H.A., de Haan, A., Horstman, A., van der Woude, L. (2008). Biophysical aspects of submaximal hand cycling. *Int J Sports Med*, 29:630-8.

Bakkum, A.J., de Groot, S., Stolwijk-Swüste, J.M., van Kuppevelt, D.J.; ALLRISC, van der Woude, L.H., Janssen, T.W. (2015). Effects of hybrid cycling versus handcycling on wheelchair-specific fitness and physical activity in people with long-term spinal cord injury: a 16-week randomized controlled trial. *Spinal Cord*, 53:395-401.

Breukelen, K. van (2013). Rolstoel performance. *Man – Machine – Match*.

Coe, P.L. (1979). Aerodynamic characteristics of wheelchairs. NASA Technical Memorandum 80191.

Dallmeijer, A.J., Zentgraaff, I.D., Zijp, N.I., van der Woude, L.H. (2004). Submaximal physical strain and peak performance in handcycling versus handrim wheelchair propulsion. *Spinal Cord*, 42:91-8.

Dallmeijer, A.J., Ottjes, L., de Waardt, E., van der Woude, L.H. (2004). A physiological comparison of synchronous and asynchronous hand cycling. *Int J Sports Med*, 25:622-6.

Faupin, A., Gorce, P., Campillo, P., Thevenon, A., Rémy-Néris, O. (2006). Kinematic analysis of handbike propulsion in various gear ratios: implications for joint pain. *Clin Biomech*, 21:560-6.

Faupin, A., Gorce, P., Meyer, C., Thevenon, A. (2008a). Effects of backrest positioning and gear ratio on nondisabled subjects' handcycling sprinting performance and kinematics. *J Rehabil Res Dev*, 45:109-16.

Faupin, A., Gorce, P. (2008b). The effects of crank adjustments on Handbike propulsion: a kinematic model approach. *Int J of Industrial Ergonomics*, 38:577-83.

Foster, C., Florhaug, J.A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L.A., Parker, S., Doleshal, P., Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res*. 15:109-15.

Groen, W.G., van der Woude, L.H., De Koning, J.J. (2010). A power balance model for handcycling. *Disabil Rehabil*, 32:2165-71.

De Groot, S., Postma, K., van Vliet, L., Timmermans, R., Valent, L.J. (2014). Mountain time trial in handcycling: exercise intensity and predictors of race time in people with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 52:455-61.

Goosey-Tolfrey, V.L., Alfano, H., Fowler, N. (2008). The influence of crank length and cadence on mechanical efficiency in hand cycling. *Eur J Appl Physiol*, 102:189-94.

Handbiken.nl. Classificatie voor handbikers. www.handbiken.nl/classificatie_voor_handbikers.

Hoekstra, S., Valent, L., van Vliet, L., Grand-jean Perrenod Comtesse, P., de Groot, S. (2015). Valide monitoren van handbiketrainingen. *Sportgericht*, 5:18-22.

Van Ingen Schenau, G.J. (1982). The influence of air friction in speed skating. *J Biomech*, 15:449-58.

Janssen, T.W., Dallmeijer, A.J., van der Woude, L.H. (2001). Physical capacity and race performance of handcycle users. *J Rehabil Res Dev*, 38:33-40.

Kauzlarich, J. (1999). Wheelchair rolling resistance and tire design. In: Van der Woude L, Hopman M, van Kemenade C, editors. *Biomedical aspects of manual wheelchair propulsion; The State of the art III*. Assistive Technology Research Series, vol. 5. Amsterdam: IOS Press: 158-72.

Krämer, C., Schneider, G., Böhm, H., Klöpfer-Krämer, I., Senner, V. (2009a). Effect of different handgrip angles on work distribution during hand cycling at submaximal power levels. *Ergonomics*, 52:1276-86.

Krämer, C., Hilker, L., Böhm, H. (2009b). Influence of crank length and crank width on maximal hand cycling power and cadence. *Eur J Appl Physiol*, 106:749-57.

McLean, K.P., Jones, P.P., Skinner, J.S. (1995). Exercise prescription for sitting and supine exercise in subjects with quadriplegia. *Med Sci Sports Exerc*, 27:15-21.

Nooijen, C.F., van den Brand, I.L., Ter Horst, P., Wynants, M., Valent, L.J., Stam, H.J., van den Berg-Emons, R.J.; Act-Active Research Group. (2015). Feasibility of Handcycle Training During Inpatient Rehabilitation in Persons With Spinal Cord Injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 96:1654-7.

Perret, C., Strupler, M. (2012). Tüfteln für den Erfolg! – Optimierung der Aerodynamik im Handbikesport. *Schweiz Zeitschr Sportmed Sporttraum*, 60: 136.

Valent, L.J.M. (2009). The effects of hand cycling on physical capacity in person with spinal cord injury. Amsterdam: Vrije Universiteit.

Verellen, J., Meyer, C., Janssens, L., Vanlandewijck, Y. (2012). Peak and submaximal steady-state metabolic and cardiorespiratory responses during arm-powered and arm-trunk-powered hand-bike ergometry in able-bodied participants. *Eur J Appl Physiol*, 112:983-9.

van der Woude, L.H., Bosmans, I., Bervoets, B., Veeger, H.E. (2000). Handcycling: different modes and gear ratios. *J Med Eng Technol*, 24:242-9.

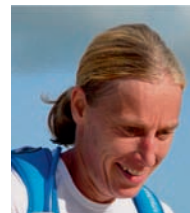
Van der Woude, L.H., Dallmeijer A.J., Janssen T.W.J., Veeger H.E.J. (2001). Alternative modes of manual wheelchair ambulation. An overview. *Am J Phys Med Rehabil*, 80:765-77.

Van der Woude, L.H., Horstman, A., Faas, P., Mechielsen, S., Bafghi, H.A., de Koning, J.J. (2008). Power output and metabolic cost of synchronous and asynchronous submaximal and peak level hand cycling on a motor driven treadmill in able-bodied male subjects. *Med Eng Phys*, 30:574-80.

Over de auteurs



Dr. S. de Groot
Bewegingswetenschapper Reade, Amsterdam
Universitair docent Faculteit Medische Wetenschappen/UMCG
Rijksuniversiteit Groningen (RuG)
s.d.groot@reade.nl



Dr. L. Valent
Bewegingswetenschapper Ergotherapeute
Heliomare, Wijk aan Zee



Dr. R. Vegter
Universitair docent Faculteit Medische Wetenschappen/UMCG
Rijksuniversiteit Groningen (RuG)



Prof. dr. L. van der Woude
Hoogleraar Beweging, Revalidatie & Functioneel Herstel
Faculteit Medische Wetenschappen/UMCG
Rijksuniversiteit Groningen (RuG)

De perfecte sportrolstoel in rolstoelbasketbal

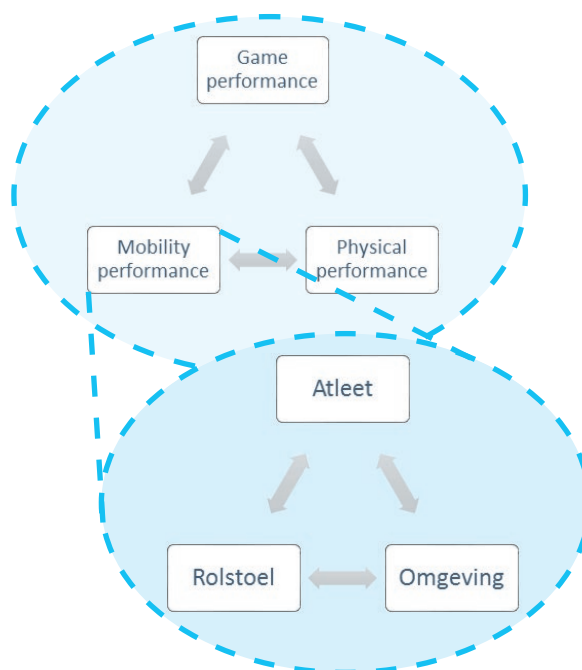
Op zoek naar de optimale afstemming van rolstoel op atleet

In de sport kan goed materiaal het verschil maken tussen winnen en verliezen. Het kan dan gaan om de materiaaleigenschappen zelf (bijvoorbeeld stijver of lichter frame), maar ook om de manier waarop dat materiaal is aangepast aan de atleet (bijvoorbeeld: zithoogte, breedte en vorm). De perfecte afstemming van materiaal op atleet is een complex proces waarin rekening moet worden gehouden met de individuele eigenschappen van de atleet, de mogelijkheden van het materiaal en de eisen en voorwaarden die aan het materiaal binnen de sport worden gesteld.

Annemarie de Witte, Rienk van der Slikke, Marco Hoozemans, Monique Berger, Daan Bregman, Dirkjan Veeger en Luc van der Woude

Er is op dit moment nog weinig (wetenschappelijke) kennis over het ontwerpen en aanmeten van sportrolstoelen. Om meer kennis te verzamelen heeft De Haagse Hogeschool in 2013, in samenwerking met onder andere de TU Delft, Vrije Universiteit Amsterdam en Rijksuniversiteit-UMCG Groningen, een RAAK-PRO-subsidie gekregen om in een vierjarig project onderzoek te doen naar de perfecte sportrolstoel voor rolstoelbasketbal. Dit onderzoek wordt naast de onderzoeksinstellingen gedragen door een breed consortium met partners uit de sportpraktijk, het bedrijfsleven en de revalidatie. In dit onderzoek proberen we een antwoord te vinden op de vraag wat de optimale afstemming is van de rolstoel op de atleet, rekening houdend met de fysieke eigenschappen, vaardigheden en individuele veldpositie, om optimaal te presteren in rolstoelbasketbal. In dit artikel zal een uiteenzetting worden gegeven van de projectaanpak en behaalde resultaten tot nu toe.

Rolstoelbasketbal is een van de meest populaire paralympische sporten en wordt wereldwijd door 30.000 atleten beoefend. In rolstoelbasketbal spelen verschillende onderdelen van prestatie een rol. Daarbij kan een onderscheid gemaakt worden in *game performance*, *physical performance* en *mobility performance* (afbeelding 1). Binnen *game performance* zitten de prestatie-onderdelen die gerelateerd zijn aan de techniek (balvaardigheid) en tactiek van het spel, zoals rebounds, (geraakte) schoten en dribbelen (Byrnes & Hedrick, 1994). De fysieke aspecten van de atleet die bijdragen aan prestatie noemen we *physical performance*. Hierbij kan men denken aan kracht en uithoudingsvermogen (Bloxham, Bell, Bhambhani e.a., 2001). Onder *mobility performance* vallen alle handelingen die een atleet uitvoert met zijn rolstoel. Een atleet kan door armbewegingen zijn



Afbeelding 1. Schematisch overzicht van de verschillende onderdelen van prestatie in rolstoelbasketbal (De Witte e.a., 2016a).

rolstoel aansturen. Dit doet hij door kracht te leveren op de hoepel wat leidt tot bewegingen als voorwaarts/achterwaarts rijden en draaibewegingen. Om optimaal te presteren zijn natuurlijk alle drie de onderdelen van prestatie belangrijk. Dit onderzoeksproject richt zich voornamelijk op het ontwikkelen van kennis rond de perfecte sportrolstoel voor rolstoelbasketbal waarin de interactie tussen atleet en rolstoel een grote rol speelt. Daarom ligt de focus in dit onderzoek vooral op *mobility performance*.

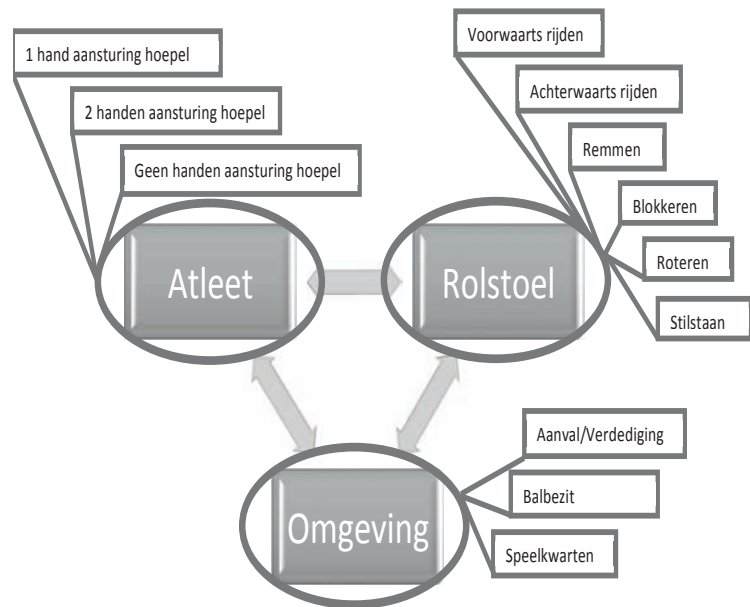
Mobility performance

Mobility performance in rolstoelbasketbal wordt bepaald door drie elementen die continu met elkaar in verbinding staan: de atleet, de rolstoel en de omgeving. De rolstoel is het verlengstuk van de atleet en speelt, samen met de fysieke capaciteiten van de atleet, een belangrijke rol bij het spelen van rolstoelbasketbal.

Rolstoelbasketbal wordt gespeeld door atleten met verschillende fysieke capaciteiten. Om het spel eerlijk te houden wordt er gebruik gemaakt van een classificatiesysteem. Atleten krijgen een classificatie op basis van hun beperking (veel fysieke beperking = 1 punt, minimale fysieke beperking = 4,5 punt) en tijdens wedstrijden mogen er per team vijf atleten met een maximale som van 14 punten tegelijkertijd opgesteld worden. De variatie in fysieke beperkingen bij atleten zorgt ervoor dat de rolstoel aangepast moet worden aan deze beperkingen. Aangezien de beperkingen verschillen, vraagt dit om individuele aanpassingen van de rolstoel en is geen rolstoel hetzelfde. Eén optimale universele rolstoel is dus niet mogelijk. Naast de atleet en rolstoel, moet er ook rekening gehouden worden met de omgeving. In rolstoelbasketbal zijn er drie veldposities (guard, forward en center), elke positie heeft zijn eigen verantwoordelijkheden op het veld. Zo is de guard spelverdeler en neemt hij de bal uit vanaf de achterlijn. Daarnaast kan bijvoorbeeld de speelfase (aanval/verdediging) of het speelkwart invloed hebben op de mobiliteit, dit laatste in verband met vermoeidheid. Als men dit vertaalt naar de perfecte basketbalrolstoel kan het zijn dat de ene atleet beter presteert als hij sneller voorwaarts kan rijden, terwijl een andere atleet meer gebaad is bij het maken van snellere draaibewegingen. Om de rolstoel-atleet interactie te optimaliseren is het dus van belang om te weten welke functionele eisen er gesteld worden aan de rolstoel tijdens het gehele spel, in welke veldpositie en tijdens specifieke situaties. Hiervoor is het belangrijk om inzicht te hebben in het spel rolstoelbasketbal.

Wedstrijdanalyse rolstoelbasketbal

Om inzicht te krijgen in de mobility performance tijdens rolstoelbasketbal moeten de bewegingen die de rolstoel maakt tijdens wedstrijden en de acties van de atleet om deze bewegingen voor elkaar te krijgen worden geanalyseerd. De omgevingsfactoren (spelpositie, aanval/verdediging, speelkwart et cetera) die mogelijk ook invloed hebben op het rijgedrag van een atleet moeten ook worden meegenomen in de analyse. Om de rolstoelbewegingen voor elkaar te krijgen kan de atleet zijn rolstoel aansturen door middel van hand-hoepel-contact, wat resulteert in acties als draaien, stilstaan en vooruitrijden. In overleg met rolstoelbasketbalcoaches is een observatieschema ontworpen waarmee de mobility performance in rolstoelbasketbal bepaald kan worden (De Witte, Hoozemans, Berger e.a., 2016). Met dit observatieschema wordt op een systematische manier inzichtelijk gemaakt welke acties de atleet uitvoert en welke bewegingen de rolstoel maakt. In afbeelding 2 zijn alle onderdelen van het observatieschema weergegeven.



Afbeelding 2. Onderdelen van het observatieschema naar rolstoelrijgedrag in rolstoelbasketbal (De Witte e.a., 2016).

Tijdens nationale en internationale rolstoelbasketbalwedstrijden zijn er videobeelden gemaakt. Op basis van deze beelden zijn 56 mannelijke atleten (27 nationaal niveau en 29 internationaal niveau) met diverse classificaties gedurende een hele wedstrijd geobserveerd. Uit deze analyse kwam naar voren dat er significante verschillen zijn in mobility performance tussen atleten op nationaal en internationaal niveau. Zo rijden atleten op nationaal niveau 43% van de tijd voorwaarts vergeleken met atleten op internationaal niveau, zij doen dit 35% van de tijd. Daarnaast roteren nationale atleten 22% van de tijd en doen internationale atleten dit 29% van de tijd (De Witte e.a., 2016). Daarnaast zijn er ook verschillen te zien tussen aanval en verdediging en ook tussen de veldposities guard, forward en center. Tijdens aanvallende situaties rijden guards en forwards langer voorwaarts dan tijdens verdedigende situaties (guards: 51% tijdens aanval en 43% tijdens verdediging; forwards: 48% tijdens aanval en 41% tijdens verdediging). Centers staan daarentegen minder stil in de aanval vergeleken met de verdediging (23% vs 20%) (De Witte, Berger, Hoozemans e.a., 2016b). Een groot deel van deze verschillen is een direct gevolg van aanval- en verdedigingstactieken. Guards zijn de spelopbouwers en hierdoor is te verklaren dat ze meer voorwaarts rijden, omdat ze starten met de bal op de achterlijn. Hetzelfde geldt voor centres, die als primair doel hebben om zo dicht mogelijk bij de basket te komen om te scoren, hierdoor rijden ze minder voorwaarts tijdens balbezit. Deze uitkomsten van de wedstrijdanalyses leveren belangrijke inzichten op over dominante en relevante acties waaraan mogelijk specifieke eisen voor de rolstoel kunnen worden gekoppeld. Voorgaande observaties geven inzicht in beweegacties en rolstoelaansturing tijdens wedstrijden, maar geven nog geen gedetailleerd beeld over de precieze rolstoelbewegingen zelf. Voor een totaalbeeld van rolstoelrijgedrag tijdens rolstoelbasketbal moeten onder andere ook (draai)snelheden en versnellingen van de atleet en zijn/haar rolstoel worden gemeten.



Afbeelding 3. Bevestiging van inertiaële sensoren op de sportrolstoel.

Om gedetailleerd de rolstoelbewegingen tijdens de wedstrijd in kaart te kunnen brengen is er gebruik gemaakt van inertiaële sensoren die op een aantal punten aan de rolstoel waren bevestigd. De eigen stoel van de atleet werd uitgerust met drie sensoren: één op de as van elk wiel en één centraal op het frame (afbeelding 3). Met behulp van speciaal ontwikkelde algoritmes zijn met de signalen uit de sensoren bijvoorbeeld verplaatsing, snelheid en rotatie van de rolstoel bepaald tijdens wedstrijden. In een eerste studie zijn deze algoritmes getest op betrouwbaarheid en validiteit. Door de uitkomsten te vergelijken met die van een 3D-bewegingsregistratiesysteem is vastgesteld dat de methode valide is (Van Der Slikke, Berger, Bregman e.a., 2015). Zelfs als er slippende wielen waren, werd daar goed voor gecorrigeerd en waren de uitkomsten valide (Van Der Slikke e.a., 2015). Inertiaële sensoren zijn dus geschikt om tijdens wedstrijden informatie over rolstoelrijgedrag te verzamelen.

De methode met de op de rolstoel bevestigde inertiaële sensoren is gebruikt om gedetailleerd inzicht te krijgen in de rolstoelbewegingen die kenmerkend zijn voor het rolstoelbasketbal. Hiervoor zijn 29 atleten evenredig verdeeld over de classificaties (12 nationale mannen, 8 internationale mannen en 9 internationale vrouwen) gedurende een wedstrijd met deze methode gemeten. Voor de kenmerken (rotatie)snelheid en (rotatie)versnelling werd er een verschil gevonden tussen atleten met een hoge classificatie ($>2,5$ punt; minimale fysieke beperking) en een lage classificatie ($\leq 2,5$ punt; veel fysieke beperking). Zoals verwacht reden atleten met een hoge classificatie sneller, accelereerden ze sneller en konden ze sneller draaien. Maar dat niet alleen, ze deden dat ook gedurende een groter deel van de tijd dat ze bewogen op het veld, dus ze zaten langer in categorieën van hogere snelheid en versnelling. Naast aanval/verdediging en spelpositie speelt dus ook de fysieke beperking van een atleet een rol in mobility performance tijdens wedstrijden. Daarbij moet opgemerkt worden dat classificatie en spelpositie een sterke relatie hebben, guards zijn voornamelijk spelers met lage classificaties en veel centers hebben een hoge classificatie.

Inertiaële sensoren

Inertiaële sensoren bestaan al enkele decennia, maar zijn tegenwoordig zo goedkoop en nauwkeurig dat ze op grote schaal toegepast kunnen worden in de sport. Hoewel minder specifiek dan traditionele 3D-observatiesystemen, geven ze snel en eenvoudig inzicht in het bewegen en dat op iedere gewenste locatie. De bekendste inertiaële sensoren zijn versnellingsopnemers en gyroscopen, zoals die ook al in veel smartphones te vinden zijn. Ze kunnen inzicht geven in houdingen, bewegingen, intensiteit van bewegen, stapfrequenties, et cetera.

Testcircuit

Inzicht in wedstrijden helpt bij het formuleren van de functionele eisen voor de rolstoel en de rolstoel-atleet interactie, maar geeft nog geen antwoord op de onderzoeksvraag wat de optimale afstemming van rolstoel op atleet is. Om meer inzicht te krijgen in de effecten van rolstoelinstellingen op het rolstoelrijgedrag moeten de bewegingen die typerend zijn voor rolstoelbasketbal gestandaardiseerd uitgevoerd kunnen worden om een verandering aan de rolstoel gegeneraliseerd meetbaar te maken. Omdat het objectief meten van het effect van verschillende rolstoelconfiguraties op mobility performance in wedstrijd situaties niet haalbaar is door de steeds veranderende omgeving, is er op basis van de verzamelde wedstrijdgegevens een testcircuit ontwikkeld dat de mobility performance in een wedstrijd simuleert (De Witte, Hoozemans, Berger, e.a., 2016c). De test bestaat uit 15 onderdelen die achter elkaar door de atleet moeten worden uitgevoerd met een gestandaardiseerde rust tussen de onderdelen zodat vermoeidheid geen beperkende factor is. In tabel 1 worden de testonderdelen kort beschreven. Om te kijken of de metingen betrouwbaar zijn en de test een objectief beeld geeft van mobility performance (validiteit), is de test afgenomen bij een groot aantal ervaren rolstoelbasketballers. Voor de validiteitsstudie hebben 46 atleten evenredig verdeeld over de classificaties (internationale mannen ($n=21$), internationale vrouwen ($n=13$) en nationale mannen

Tabel 1. Testonderdelen rolstoelbasketbalcircuit (De Witte e.a., 2016c).

Onder-deel	Uitleg
1	TikTakBox; snelle kleine bewegingen voor-/achterwaarts afgewisseld met botsingen tegen object
2	180° draai op de plaats linksom
3	12 meter sprint
4	Bocht rechtsom (radius 1,9 m → totaal 12 meter)
5	Bocht linksom (radius 1,9 m → totaal 12 meter)
6	180° draai op de plaats rechtsom
7	12 meter sprint met een stop op 3 en 6 meter (interval)
8	Bocht links (met een stop op 90° en 180°)
9	Bocht rechts (met een stop op 90° en 180°)
10	180° draai op de plaats linksom met een stop op 90°
11	12 meter sprint met bal
12	Bocht rechtsom met bal
13	Bocht linksom met bal
14	180° draai op de plaats rechtsom met een stop op 90°
15	12 meter sprint direct gevolgd door een bocht rechts/links, direct daarna een 12m slalom met een bocht rechts/links

(n=12)) de test eenmalig afgelegd en is er gekeken of de test onderscheidend is voor classificatie, geslacht en speelniveau (nationaal of internationaal). Voor de betrouwbaarheidsstudie hebben 23 atleten (mannen spelend op nationaal niveau) de test twee maal onder dezelfde omstandigheden met een week ertussen uitgevoerd (De Witte e.a., 2016c). Nu de validiteit en betrouwbaarheid getoetst is wordt er gekeken naar de responsiviteit van de test waarbij de prestatie-uitkomsten geacht worden te veranderen met een verandering van rolstoelinstelling (bandenspanning en gewicht). De test is pas bruikbaar voor onderzoeksdoeleinden als deze ook responsief is gebleken op dergelijke gangbare rolstoel-manipulaties. Daarna kan er gekeken worden naar het effect van manipulaties als framehoogte, camberstand van de wielen en dergelijke.

Resultaten aanvullende metingen testcircuit

Voorafgaand aan de validiteits- en betrouwbaarheidstesten is informatie verzameld over de antropometrie van de atleet, de huidige rolstoel-atleet-configuraties en speelkenmerken als veldpositie en speelniveau. Met deze aanvullende metingen wordt geprobeerd meer inzicht te krijgen in verklarende factoren van prestatie. Op basis van de aanvullende metingen in het testcircuit kunnen enkele uitspraken worden gedaan over de relatie tussen prestatie, atleet en rolstoel. Enkele opvallende resultaten van de 12 meter sprint (testonderdeel 3, tabel 1) zullen kort worden besproken.

Zoals verwacht zijn gemiddeld over de classificaties internationale atleten sneller op de 12 meter sprint dan nationale atleten. Daarnaast hebben internationale atleten

minder pushes nodig om de 12 meter te overbruggen en kunnen ze een hogere maximale kracht leveren ten opzichte van nationale atleten. Naast de prestatieverschillen zijn er ook verschillen zichtbaar in de rolstoel-atleet-configuratie. Als er gekeken wordt naar de fysieke eigenschappen dan is er op nationaal niveau een duidelijke correlatie tussen prestatie op de 12m sprint en classificatie, meer fysieke beperking heeft een negatief effect op prestatie. Deze relatie is echter niet duidelijk zichtbaar op internationaal niveau, hier heeft fysieke beperking minder effect op prestatie (Van der Slikke, Berger, Bregman e.a., 2016). Over de gehele groep gezien is de zithoogte afhankelijk van de classificatie; lager geclassificeerde atleten zitten lager dan hoger geclassificeerde atleten. Opvallend is dat internationale atleten over de gehele groep genomen 5cm hoger zitten (zowel de lage als de hoge classificaties) in hun rolstoel dan nationale atleten en dat terwijl een hogere zithoogte minder optimaal is om propulsie te leveren (Mason, Van der Woude & Goosey-Tolfrey, 2013). Het verschil in zithoogte kan eventueel worden verklaard door een betere optimalisatie van de rolstoel en betere techniek van internationale atleten.

Het classificatiesysteem dat gebruikt wordt is grotendeels gebaseerd op de rompfunctie die een atleet heeft. Zoals eerder al genoemd is er geen significante relatie tussen prestatie op de 12m sprint en classificatie bij internationale atleten. Daarentegen is er wel een verschil zichtbaar in het rompgebruik. Atleten met volledige rompfunctie bewegen hun romp tijdens de eerste push volledig voorwaarts en blijven bij de daaropvolgende pushes laag met hun romp terwijl atleten met beperkte rompfunctie hun romp niet actief buigen (omdat dit beperkt is). De romp beweegt zelfs wat achterwaarts door de reactiekracht die ontstaat door het duwen tegen de hoepel. Ondanks dat er significante verschillen zijn in rompgebruik is er geen significant effect op prestatie per classificatiegroep. Op dit onderwerp is verder onderzoek noodzakelijk.

Op zoek naar de perfecte sportrolstoel

Gedurende het onderzoek is er steeds meer kennis verzameld over de rolstoel-atleet-interactie. Doel van dit gehele onderzoeksproject is het ontwerpen van een systematiek ten behoeve van de optimale rolstoel voor rolstoelbasketbal in het bijzonder en rolstoelsport in het algemeen. Vanuit de International Wheelchair Basketball Federation (2014) zijn er regels gesteld aan de rolstoel waar rekening mee gehouden moet worden, zo mag een speler met classificatie 1-3 een maximale zithoogte hebben van 63cm en de hogere classificaties maximaal 58cm.

De volgende fase in dit onderzoeksproject is om in de geïsoleerde omgeving van het testcircuit te kijken naar het effect van verschillende rolstoelinstellingen op prestatie. Er wordt gekeken naar het effect van zithoogte; meerdere zithoogte-afstellingen worden getest bij individuele atleten met classificatie 1 of 1.5 en 4 of 4.5. We

hopen zo inzicht te krijgen in de rol van zithoogte op de complexe mobility performance in rolstoelbasketbal. Daarnaast wordt er ook gekeken naar het effect van een zwaardere rolstoel, een andere verdeling van het gewicht en het al dan niet hebben van extra grip door middel van handschoenen. De manipulaties die nu worden getest vallen binnen de richtlijnen die de bond heeft gesteld aan sportrolstoelen. Het optimaliseren van de stoel leidt echter wel tot een betere atleet-rolstoel-interactie die weer effect kan hebben op het classificatiesysteem, want spelers worden geclassificeerd in hun eigen sportrolstoel. Het is de dus maar de vraag hoeveel ruimte er is voor optimalisatie binnen het huidige classificatiesysteem, omdat in het meest ideale geval alle spelers uiteindelijk een classificatie 4.5 krijgen. Dit geeft dus ook meteen aanleiding om kritisch te kijken naar het huidige classificatiesysteem.

Met de beschreven specifieke aanpak in dit onderzoeksproject om inzicht te krijgen in de eisen die er gesteld worden aan de rolstoel in rolstoelbasketbal is het doel om wetenschappelijk onderbouwde antwoorden te krijgen die bijdragen aan sportrolstoeloptimalisatie en om praktijkinformatie te geven aan coaches, atleten en rolstoel-experts. Bijvoorbeeld: hoeveel sneller wordt een atleet bij een verlaging van de zithoogte met 5cm en hoeveel sneller kan een atleet roteren als hij zijn voeten zo ver mogelijk naar achter plaatst? Deze informatie is noodzakelijk om te komen tot de perfecte sportrolstoel.

Referenties

- Bloxham, L.A., Bell, G.J., Bhambhani, Y., & Steadward, R.D. (2001). Time motion analysis and physiological profile of canadian world cup wheelchair basketball players. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, 10, 183-198.
- Byrnes, D., & Hedrick, B. (1994). Comprehensive basketball grading system. In B. Hedrick, D. Byrnes & L. Shaver (Eds.), *Wheelchair basketball* (pp. 79). Washington: Paralyzed Veterans of America.
- De Witte, A.M., Hoozemans, M.J.M., Berger, M.A.M., Veeger, D. (H.E.J.), & van der Woude, L.H.V. (2016a). Do field position and playing standard influence athlete performance in wheelchair basketball? *Journal of Sports Sciences*, 34(9), 811-820.
- De Witte, A.M.H., Berger, M.A.M., Hoozemans, M.J.M., Veeger, D. (H.E.J.), & Van der Woude, L.H.V. (2016b). *Effects of game-related aspects on mobility performance in wheelchair basketball*. Submitted.
- De Witte, A.M.H., Hoozemans, M.J.M., Berger, M.A.M., Van der Slikke, R.M.A., Van der Woude, L.H.V., & Veeger, D. (H.E.J.) (2016c). *Development, reliability, and construct validity of a field-based wheelchair mobility performance test*. In process.
- International Wheelchair Basketball Federation. (2014). Official wheelchair basketball rules 2014. Incheon, Korea: International Wheelchair Basketball Federation.
- Mason, B., Van der Woude, L., & Goosey-Tolfrey, V. (2013). The ergonomics of wheelchair configuration for optimal performance in the wheelchair court sports. *Sports Medicine*, 43(1), 23-38.
- Van Der Slikke, R., Berger, M., Bregman, D., Lagerberg, A., & Veeger, H. (2015a). Opportunities for measuring wheelchair kinematics in match settings; reliability of a three inertial sensor configuration. *Journal of Biomechanics*, 48(12), 3398-3405.
- Van der Slikke, R.M.A., Berger, M.A.M., Bregman, D.J.J., & Veeger, H.E.J. (2015b). Wheel Skid Correction is a Prerequisite to Reliably

Measure Wheelchair Sports Kinematics Based on Inertial Sensors. *Procedia Engineering*, 112, 207-212.

Van der Slikke, R.M.A., Berger, M.A.M., Bregman, D.J.J., & Veeger, H.E.J. (2016). *Push characteristics in wheelchair court sport sprinting*. Paper presented at 11th conference of the International Sports Engineering Association, Delft, The Netherlands.

Over de auteurs



A.M.H. de Witte, BEd MSc
Docent-onderzoeker
Faculteit gezondheid, voeding en sport
De Haagse Hogeschool, Den Haag
Promovendus
Faculteit der gedrags- en bewegingswetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam
a.m.h.dewitte@hhs.nl



R.M.A. van der Slikke, MSc
Docent-onderzoeker
Faculteit gezondheid, voeding en sport
De Haagse Hogeschool, Den Haag
Promovendus
Faculteit 3ME
Technische Universiteit Delft



Dr. M.J.M. Hoozemans
Faculteit der gedrags- en bewegingswetenschappen
MOVE Research instituut
Vrije Universiteit Amsterdam



Dr. M.A.M. Berger
Projectleider/onderzoeker
Lectoraat Revalidatie en Expertise
Centrum Bewegingstechnologie
Faculteit Gezondheid, Voeding en Sport
De Haagse Hogeschool, Den Haag



Dr. D.J.J. Bregman
Coördinator sportinnovatie
Faculteit 3ME
Technische Universiteit Delft



Prof. dr. H.E.J. Veeger
Faculteit der gedrags- en bewegingswetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam
Faculteit 3ME
Technische Universiteit Delft



Prof. dr. L. van der Woude
Hoogleraar Beweging, Revalidatie & Functioneel Herstel
Faculteit Medische Wetenschappen/
UMCG
Rijksuniversiteit Groningen (RuG)

Van Terry Fox naar Marlou van Rhijn

Over de veerkracht tijdens hardlopen met een beenprothese

Hardlopen is de basisvaardigheid voor vele sporten. Wie heeft niet ooit gewedijverd met vriendjes om wie het snelst was. Was het niet tijdens een hardloopwedstrijd, dan wel tijdens tikkertje of een balspel. Maar wat nu als je een deel van je been verliest of geboren wordt zonder onderbenen? Atleten als Terry Fox en Marlou van Rhijn hebben laten zien dat dat geen belemmering hoeft te vormen. Met mentale veerkracht, maar ook letterlijk met veerkrachtige prothesen laten zij de wereld versteld staan. In dit artikel bespreken we hoe de fysieke veerkracht van de prothese en prothesegebruiker op elkaar afgestemd moeten worden om een optimale prestatie te kunnen leveren. Maar eerste zullen we kort ingaan op de mentale veerkracht van een van de grondleggers die deze ontwikkelingen mede in gang heeft gezet.

Han Houdijk, Laura Oudenhoven, Judith Boes, Gert Faber, Laura Hak

Hoewel er in de geschiedenis eerder vermeldingen zijn van mensen die met een beenprothese een marathon volbrachten, kan Terry Fox¹ gezien worden als de grondlegger van het hardlopen met een beenprothese. Terry Fox (afbeelding 1) was een sportieve Canadese jongen, bij wie op 18-jarige leeftijd een bottumor werd gevonden. Zijn rechterbeen werd boven de knie geamputeerd en hij onderging intensieve chemotherapie. Terry Fox raakte geïnspireerd door het wetenschappelijk onderzoek dat zijn genezing mogelijk had gemaakt, maar ook door de vele mensen die hij tijdens zijn behandeling had ontmoet en voor wie geen genezing mogelijk was. Hij besloot in actie te komen voor meer bewustzijn voor de ziekte en geld op te halen voor meer onderzoek. Voor dit doel wilde hij hardlopend door heel Canada trekken en 1 dollar ophalen per hoofd van de Canadese bevolking (24 miljoen). Op 12 april 1980 startte Terry Fox zijn 'marathon of hope'² die hem uiteindelijk van St John's Newfoundland naar Tunder Bay Ontario leidde. Daar moest Terry Fox, na 143 dagen, 5373 km en 1,7 miljoen dollar, zijn race staken omdat tumoren waren teruggekeerd in zijn longen en verder lopen niet mogelijk was. Op 28 juni 1981 overleed Terry Fox.

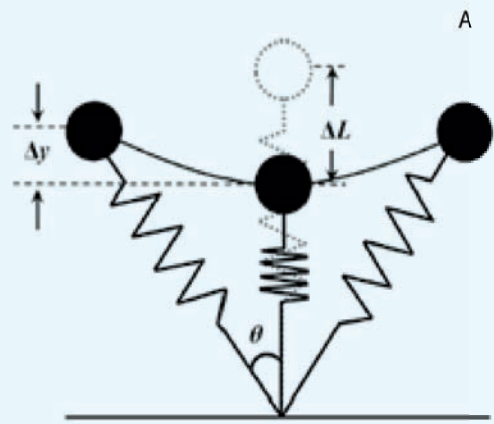
Zijn voetreis was echter niet voor niets geweest. Nadat hij zijn marathon had moeten staken werd in Canada een landelijke actie gestart in het teken van de bestrijding van kanker. Voordat Terry Fox overleed was zijn doel, het ophalen van 24 miljoen dollar, behaald. Dat bedrag stijgt nog steeds via de Terry Fox runs die



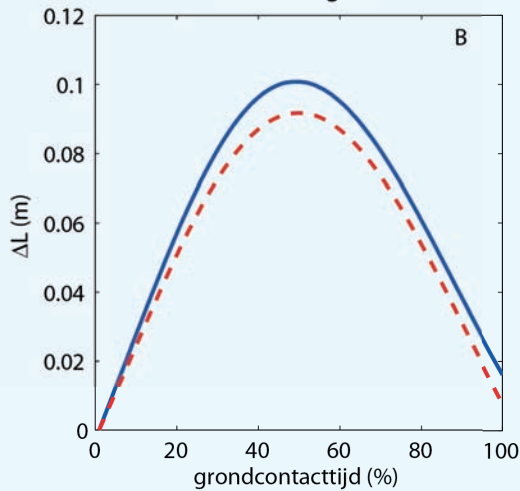
Afbeelding 1. Terry Fox tijdens zijn 'Marathon of Hope' (https://en.wikipedia.org/wiki/Terry_Fox).

1 https://en.wikipedia.org/wiki/Terry_Fox.

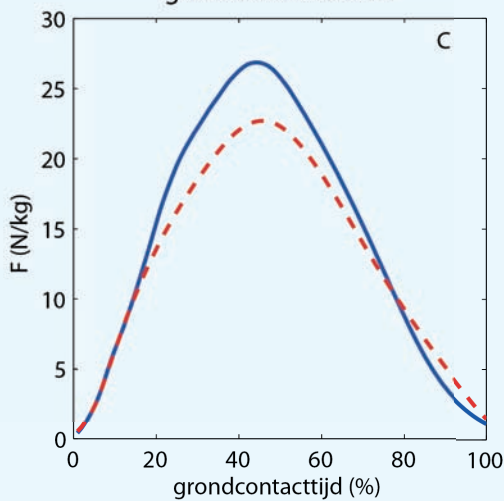
2 https://www.youtube.com/watch?v=ZF8k8hpyp_A.



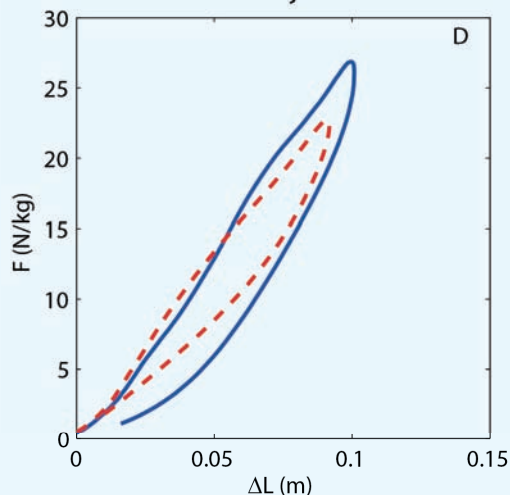
beenlengte



grondreactiekracht



beenstijfheid



--- prothesebeen
— intact been

jaarlijks in Canada en ver daarbuiten worden georganiseerd. Terry Fox is daarmee niet alleen een pleitbezorger voor het kankeronderzoek. Hij inspireerde ook veel andere mensen met een beperking om hun grenzen te verleggen en genereerde veel aandacht voor de integratie van mensen met een beperking in de samenleving en de sport.

Zijn extreme ervaringen als hardloper met een beenprothese hebben ook een effect gehad op de ontwikkeling van de sportprothese. Terry Fox begon aan de marathon met zijn gewone rigide beenprothese. Deze liet een normaal hardlooppatroon niet toe, waardoor hij zich met een huppelgang moest voortbewegen. De continue belasting op de stomp was daarbij hoog, waardoor hij stomproblemen kreeg. Terry Fox verving daarom het rigide onderbeen van de prothese door een pogo stick, waarmee de schokken beter werden geabsorbeerd. Dit vormde de inspiratie voor de Terry Fox jogging prothese (DiAngelo e.a., 1989), waarin een lineaire telescoopveer in de beenprothese werd verwerkt. Hoewel deze vinding het prothesebeen enig veergedrag gaf, waren de eigenschappen van de gebruikte telescoopveer in grote mate inferieur aan de eigenschappen van de carbon bladveren die door Van Philips in 1984 in prothesevoeten werden geïntroduceerd (Hobara, 2014) en in 1988 voor het eerst op de Paralympische Spelen werden gebruikt (Pailler e.a., 2004).

De hardloper als een massa-veer-systeem

Het opnemen van een veer in een beenprothese is geen gek idee als je kijkt naar het gedrag van ons normale been tijdens het hardlopen. Tijdens het hardlopen kunnen we ons been modelleren als een simpele compressie-veer (Farley & Ferris 1998), die in veert tijdens de eerste helft van de standfase en uit veert in de tweede helft van de standfase (afbeelding 2). De stijfheid van deze veer en de hoek waaronder we deze veer op de grond plaatsen bepalen de snelheid, stapfrequentie en staplengte waarmee we kunnen hardlopen (Houdijk, 2000). Door de stijfheid en hoek te variëren kunnen we op verschillende snelheid en met verschillende ritmes lopen.

Natuurlijk is ons biologische been geen echte veer. Er zitten wel elastische structuren in, zoals pezen, maar het werkelijke gedrag wordt bepaald door spieren die excentrisch en concentrisch contraheren rond gewrichten en door de rotaties van gewrichten waardoor het been korter en weer langer wordt. Het veren op de grond tijdens het hardlopen is

Afbeelding 2. Links (A): het massa-veer-model voor hardlopen. Beenlengte (ΔL), verticale verplaatsing (Δy), hoek van beenplaatsing (θ). Rechts: een voorbeeld van de beenlengte (B) en de grondreactiekracht (C) tijdens de grondcontactfase van het hardlopen en het lengte-kracht-diagram van het been (D). De helling van deze laatste grafiek representeert de beenstijfheid. De doorgetrokken lijn geeft het intacte been weer en de gearceerde lijn het prothesebeen.



Afbeelding 3. Enkele hedendaagse hardlooprothesen: A) Otto Bock 1E91 Runner, B) Össer Flex-Run™, C) Freedom Innovations Catapult™ Running

dan ook niet gratis, zoals bij een echte veer, waarin energie wordt opgeslagen en weer terug gegeven. In werkelijkheid wordt in iedere stap energie in spieren gedissipeerd en weer opnieuw aangemaakt. Desalniettemin is de analogie van het lichaam tijdens het hardlopen met een massa-veer-systeem een handig gegeven dat in onderzoek en sportpraktijk goed kan worden gebruikt om het hardlopen te doorgronden en optimaliseren (Houdijk, 2000).

Dit geldt ook voor prothesemakers. Ongeacht de vraag hoe het gedrag in het biologische been tot stand komt, is het voor prothesemakers vooral belangrijk hoe ze dit gedrag kunnen reproduceren. Omdat het been zich uiterlijk zo netjes als een veer lijkt te gedragen, ligt het voor de hand om in een prothese ook daadwerkelijk een veer op te nemen om dit gedrag te kopiëren. Het gebruik van gekromde bladveren met het karakteristieke C- of J-vormige uiterlijk (afbeelding 3) is daarbij nog steeds het meest gebruikte recept (Nolan, 2008). Met deze veerkrachtige beenprothesen is het verschil in gedrag van het prothesebeen en het biologische been een stuk kleiner geworden, en is een vrij symmetrisch hardlooppatroon mogelijk in tegenstelling tot de huppelgang waarmee Terry Fox zich voortbewoog (Weyand e.a., 2009; Grabowski e.a., 2010; McGowan e.a., 2012).

De hardlooprothesen, de zogenoemde blades, behoren momenteel tot de standaarduitrusting van atleten met een beenamputatie (Pailler e.a., 2004). Maar de ontwikkeling van deze blades staat nog aan het begin. Er bestaan nog veel vragen met betrekking tot de optimalisatie van de hardlooprothese. Een belangrijke vraag is wat de optimale stijfheid van de bladveer zou moeten zijn. Valide hardlopers selecteren een pasfrequentie die hun energieverbruik tijdens het lopen minimaliseert (De Ruiters e.a., 2014). Deze pasfrequentie hangt samen met een stijfheid van het been; immers in een massaveersysteem is de natuurlijke frequentie evenredig met de stijfheid:

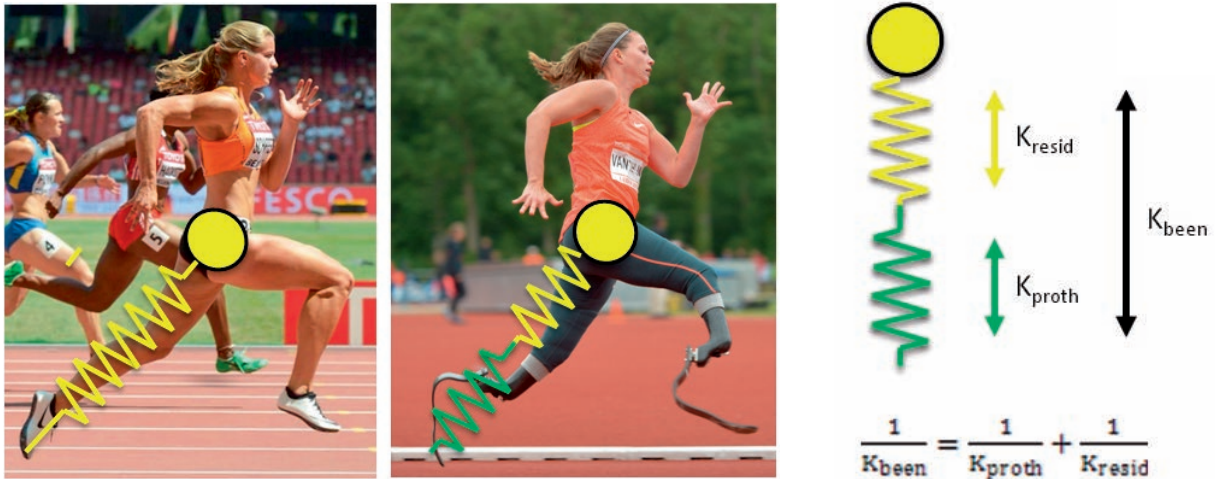
$$frequentie = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{stijfheid}{massa}}$$

Het lijkt daarom, met name voor atleten met een unilaterale amputatie, verstandig om een prothese te gebruiken die eenzelfde beenstijfheid aan het prothesebeen geeft als het contralaterale intacte been. Bij sprinters is de energetische efficiëntie mogelijk minder van belang. Sprinters, zoals Marlou van Rhijn, voeren gedurende de race hun pasfrequentie steeds verder op totdat in de laatste helft van de race een constante pasfrequentie wordt bereikt. Sprinters lopen daarom niet met een constante beenstijfheid maar met een variërende beenstijfheid gedurende de race. Dit maakt het verstrekken van een prothese met de juiste stijfheid nog eens extra uitdagend.

Waar bij het optimaliseren van de prothesestijfheid echter nogal eens aan voorbij wordt gegaan, is het feit dat het gedrag van het prothesebeen niet alleen afhangt van de prothese, maar ook van de intacte gewrichten aan de geamputeerde zijde (de heup en mogelijk de knie; het biologische residu). Je kunt het prothesebeen zien als een systeem van twee veren in serie: de prothese en het biologische residu (afbeelding 4). De totale stijfheid van het been (K_{been}) hangt daarmee af van de stijfheid van de prothese (K_{proth}) en stijfheid van het biologische residu (K_{resid}). Om een prothese met een optimale stijfheid te kunnen verstrekken, moeten we dus niet alleen weten welke beenstijfheid we willen bereiken, maar ook wat de bijdrage is van de resterende intacte gewrichten in het geamputeerde been. De mogelijke bijdrage van deze intacte gewrichten aan het gedrag van het prothesebeen is echter nog maar zeer beperkt bekend (McGowan e.a., 2012; Hobara e.a., 2013). Het is daardoor ook zeer moeilijk om een optimale beenprothese te selecteren. De interactie tussen prothese en gebruiker hebben we in een recent onderzoek nader bekeken.

Het reguleren van de beenstijfheid tijdens hardlopen met een beenprothese

Om het hiervoor beschreven probleem nader te bestuderen hebben we twee vragen onderzocht (Oudenhoven e.a., 2016). (1) In welke mate draagt het residu van het geamputeerde been bij aan de totale beenstijfheid van



Afbeelding 4: De atleet met een hardlooprothese kan worden beschouwd als een massaveersysteem met twee veren in serie. Een veer gevormd door de prothese (groene) en een veer gevormd door de gewrichten van het resterende deel van het been, het residu (geel). De totale beenstijfheid wordt dan gevormd door de optelsom van beide veren volgens de getoonde formule. Bijvoorbeeld, wanneer de stijfheid van de prothese even groot is als de stijfheid van het residu, dan is de totale beenstijfheid half zo groot als de stijfheid van de prothese. Pas wanneer de stijfheid van het residu naar oneindig gaat is de stijfheid van het totale prothesebeen gelijk aan de stijfheid van de prothese.

het prothesebeen? (2) In welke mate kan een atleet zelf, door verandering van de stijfheid van het residu, de totale beenstijfheid en pasfrequentie van het prothesebeen reguleren, of is hij een slaaf van het ritme van de prothese.

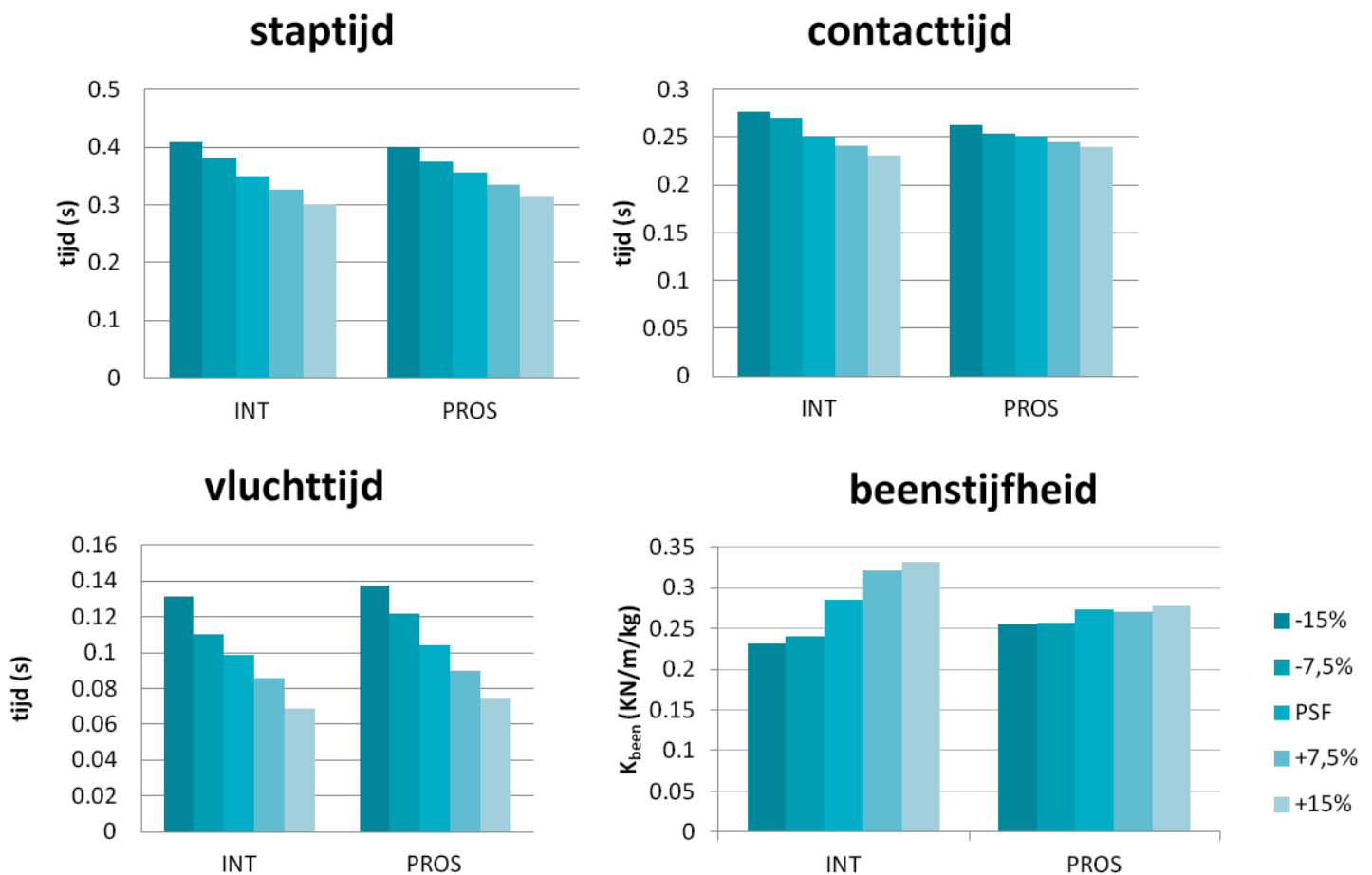
Zeven hardlopers met een unilaterale beenprothese werden onderworpen aan een aantal testen in het bewegingslaboratorium. Deze atleten (6 mannen en 1 vrouw) waren allemaal geoefend in het hardlopen met een beenprothese (Flex-Run, Össur) en hun niveau varieerde van recreatief duuratleet tot paralympisch triatleet. Bij de eerste test werd hen gevraagd op de plaats te huppen op het prothesebeen, waarbij ze hun been maximaal stijf probeerden te houden. Met deze test konden we de maximale beenstijfheid van het prothesebeen van de atleten bepalen onafhankelijk van hun gedrag tijdens het hardlopen. Vervolgens werd hen gevraagd te rennen op een loopband op hun comfortabele snelheid (5 km tempo). Hierbij werd de pasfrequentie gevarieerd met behulp van een metronoom tussen de voorkeursfrequentie (PSF) en een frequentie 7,5% of 15% hoger of lager dan de voorkeursfrequentie. Met deze manipulatie van stapfrequentie werd getracht veranderingen in beenstijfheid uit te lokken. Tijdens het huppen en rennen werden de gewrichtsbewegingen gemeten met een bewegingsregistratiesysteem (Optotrak, Northern Digital, 200 Hz) en werd de grondreactiekracht gemeten met krachtensensoren die in de loopband zijn verwerkt (Y-mill, Motekforce Link, 200 Hz). Veranderingen in pasfrequentie, grondcontacttijd en vluchttijd tussen de loopcondities konden uit de grondreactiekrachtdata worden afgeleid. De totale beenstijfheid van het geamputeerde en intacte been, alsmede de stijfheid van de prothese en het residu van het geamputeerde been, werd berekend uit

de helling van de kracht-lengte diagram van het been of deel van het been (zie ook afbeelding 2):

$$K = \frac{\Delta \text{kracht}}{\Delta \text{lengte}}$$

Zes van de zeven atleten waren in staat op het prothesebeen te huppen. De maximale stijfheid van het prothesebeen ($K_{\text{been}} = 0.30 \text{ kN/kg/m}$) bleek daarbij significant lager dan de stijfheid van de prothese ($K_{\text{prothese}} = 0.43 \text{ kN/kg/m}$). De intacte gewrichten van het geamputeerde been bleken dus een substantiële bijdrage te leveren aan de totale stijfheid van het prothesebeen. Hoewel stijfheid van het residu van het geamputeerde been veel hoger was dan van de prothese ($K_{\text{residual}} = 0.99 \text{ kN/kg/m}$), kan de bijdrage van deze component dus niet verwaarloosd worden. De bijdrage van het residu verlaagt de uiteindelijke totale beenstijfheid met 30% ten opzichte van de stijfheid van de prothese.

Alle atleten waren in staat te rennen met de opgelegde pasfrequenties binnen een foutmarge van 5%. De loopsnelheid was per atleet constant over de condities en lag tussen de 7-10 km/uur. Dit was typisch 1-2 km/uur lager dan wat de atleten aangaven als gewoontelijke 5 km snelheid, waarschijnlijk als gevolg van het lopen op een loopband en het dragen van de meetapparatuur. Hoewel de atleten de pasfrequentie van zowel het prothesebeen als het contralaterale intacte been adequaat konden aanpassen, bleek er wel een verschil te zitten in de manier waarop dit werd bereikt. Bij het intacte been werd de pasfrequentie verhoogd door een afname in zowel contacttijd als vluchttijd. Bij het prothesebeen veranderde de contacttijd nauwelijks en werd de toenemende pasfrequentie met name bereikt door een afname van vluchttijd (afbeelding 5). Dit



Afbeelding 5. Staptijd (inverse van stapfrequentie), grondcontacttijd, vluchttijd en beenstijfheid tijdens het hardlopen op de verschillende pasfrequenties voor het intacte (INT) en prothese (PROS) been.

suggereert dat de beenstijfheid van het prothesebeen niet werd aangepast tijdens het lopen op verschillende pasfrequenties terwijl de beenstijfheid van het intacte been toenam met toenemende pasfrequentie. Dit werd inderdaad bevestigd door de mechanische analyse van de beenstijfheid (afbeelding 5). De totale stijfheid van het prothesebeen bleef constant over alle pasfrequenties en was ongeveer gelijk aan de beenstijfheid tijdens het huppen met een maximaal stijf prothesebeen.

De verandering van de beenstijfheid van het intacte en prothesebeen hebben we nader bestudeerd door te kijken naar de bijdrage van de afzonderlijke gewrichten. De verandering van de stijfheid van het intacte been vindt met name plaats door een aanpassing van de stijfheid van de enkel en in mindere mate door aanpassing van de stijfheid van het kniegewricht. In het prothesebeen is de stijfheid van de enkel (de prothese) uiteraard constant en onafhankelijk van de opgelegde pasfrequentie. De intacte knie in het prothesebeen blijkt in een beperkte en invariante wijze bij te dragen aan de stijfheid van het been. Naast deze bijdrage van de knie lijkt een deel van de stijfheid van het prothesebeen voort te komen uit de beweging tussen stomp en koker en mogelijk de beweging van de

heup in het frontale vlak. Maar ook de bijdrage van deze elementen veranderde niet over de opgelegde pasfrequenties.

Uit dit onderzoek kunnen we concluderen dat in deze groep atleten de stijfheid van de biologische gewrichten (inclusief stomp-kokerverbinding) in het geamputeerde been een substantiële bijdrage heeft aan de totale beenstijfheid. Deze bijdrage is echter invariant en lijkt niet te kunnen worden aangepast om de totale beenstijfheid en daarmee grondcontacttijd te reguleren. Mogelijk maken de atleten de gewrichten maximaal stijf om de totale beenstijfheid zo dicht mogelijk in de buurt van de stijfheid van de prothese te brengen. Dit zal de effectieve opslag en teruggave van elastische energie uit de prothese bevorderen en daardoor de loopefficiëntie verbeteren. Desondanks zijn deze schakels niet oneindig stijf te maken en blijft een mate van compliantie (omgekeerde van stijfheid) over die de totale beenstijfheid aanzienlijk verlaagt ten opzichte van de stijfheid van de prothese. Bij het verstrekken van een goede prothese moet met deze compliantie in het geamputeerde been dus rekening worden gehouden om de gewenste beenstijfheid te krijgen.

Optimaliseren van de veerkracht

Het hardlopen met een beenprothese is inmiddels een volwassen en zelfstandige sport geworden. De discussie gaat niet langer alleen maar over de vraag of atleten met een beenprothese nu een eerlijke of oneerlijke competitie kunnen aangaan met valide atleten. De discussie gaat vooral over hoe ze steeds sneller kunnen lopen om binnen hun eigen categorie de beste te kunnen zijn, en misschien belangrijker nog hoe ze steeds hun eigen grenzen kunnen verleggen. Hoewel de moderne hardloopprouthe de prestaties van atleten enorm heeft bevorderd, blijft de zoektocht naar een optimale hardloopprouthe de hedendaagse atleten daarbij bezighouden. Op basis van dit onderzoek kunnen we concluderen dat de stijfheid van de prouthe het gedrag van het prouthesebeen in hoge mate bepaalt. Echter de stijfheid van de intacte gewrichten van het prouthesebeen moet niet worden vergeten. Aangezien het er op lijkt dat de atleten de stijfheid van dit deel van het been proberen te maximaliseren, is het trainen van de stijfheid van dit deel mogelijk net zo belangrijk als het vinden van een geschikte prouthesestijfheid. Het maximaliseren van de stijfheid van het residuale been zal de effectiviteit van opslag en teruggave van energie in de prouthese bevorderen. Hoe stijver het residuale deel van het been hoe stijver de prouthese die gedragen kan worden. Dit lijkt gunstig, want de beenstijfheid van het prouthesebeen is in de regel nog steeds lager dan die van het biologische contralaterale been (Weyand e.a., 2009; Grabowski e.a., 2010). Het optimaliseren van de veerkracht van de prouthese en de veerkracht van de gebruiker dienen dus hand in hand te gaan. De interactie tussen beide zal een interessant onderwerp zijn voor onderzoek en sportpraktijk in de komende jaren.

Referenties

De Ruiter, C.J., Verdijk, P.W.L., Werker, W., Zuidema, M.J., & Haan, A., (2014). Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners. *European Journal of Sport Science*, 14, 251-258.

DiAngelo, D.J., D.A. Winter, D.N. Ghista, W.R. Newcombe (1989). Performance assesment of the Terry Fox jogging prouthese for above-knee amputees. *Journal of Biomechanics*, 22 (6/7), 543-558.

Farley, C.F., D.P. Ferris (1998). Biomechanics of walking and running: center of mass movements to muscle action. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 26, 253-285.

Grabowski, A.M., McGowan, C.P., McDermott, W.J., Beale, M.T., Kram, R., & Herr, H.M. (2010). Running-specific proutheses limit ground-force during sprinting. *Biol. Lett.*, 6, 201-204.

Hobara, H., Baum, B.S., Kwon, H.-J., Miller, R.H., Ogata, T., Kim, Y.H., & Shim, J.K. (2013). Amputee locomotion: Spring-like leg behavior and stiffness regulation using running-specific proutheses. *Journal of Biomechanics*, 46, 2483-2489.

Hobara, H. (2014) Running-specific proutheses: The history, mechanics, and controversy. *Journal of the Society of Biomechanisms*, 38 (2), 105-110.

Houdijk, H. (2000). Wandelen en rennen, slingeren en stuiten. *Versus Tijdschrift voor Fysiotherapie* 18(3) 167-182.

McGowan, C.P., Grabowski, A.M., McDermott, W.J., Herr, H.M., & Kram, R. (2012). Leg stiffness of sprinters using running-specific

proutheses. *Journal of the Royal Society Interface*, 9, 1975-1982.

Nolan, L. (2008). Carbon fibre proutheses and running in amputees: a review. *Foot and Ankle Surgery*, 14, 125-129.

Oudenhoven, L.M., Boes J.M., Hak L., Faber G.S., & Houdijk, H. (2016). Regulation of step frequency in endurance transtibial amputee athletes using a running-specific prouthesis. Submitted for publication.

Pailler, D., Sautreuil, P., Piera, J.B., Genty, M., & Goujon, H. (2004). Evolution in proutheses for sprinters with lower-limb amputation, *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 47, 374-381.

Weyand, P.G., Bundle, M.W., McGowan, C.P., Grabowski, A., Brown, M.B., Kram, R., & Herr, H. (2009). The fastest runner on artificial legs: different limbs, similar function? *Journal of Applied Physiology*, 107, 903-911.

Over de auteurs



Dr. H. Houdijk
Universitair Hoofddocent
Faculteit der Gedrags- en
Bewegingswetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam
Senior Onderzoeker
Heliomare, Wijk aan Zee
h.houdijk@vu.nl



L. Oudenhoven MSc
Bewegingswetenschapper
Faculteit der Gedrags- en
Bewegingswetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam
Junior Onderzoeker
Afdeling Revalidatie Geneeskunde
VUMC, Amsterdam



J. Boes MSc
Bewegingswetenschapper
Faculteit der Gedrags- en
Bewegingswetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam



Dr. G. Faber
Universitair Docent
Faculteit der Gedrags- en
Bewegingswetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam



Dr. L. Hak
Universitair Docent
Faculteit der Gedrags- en
Bewegingswetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam
Senior Onderzoeker
Centrum voor orthopedisch onderzoek
Alkmaar (CORAL)
Noordwest Ziekenhuisgroep, Alkmaar

HFNL Congres

24 en 25 november 2016

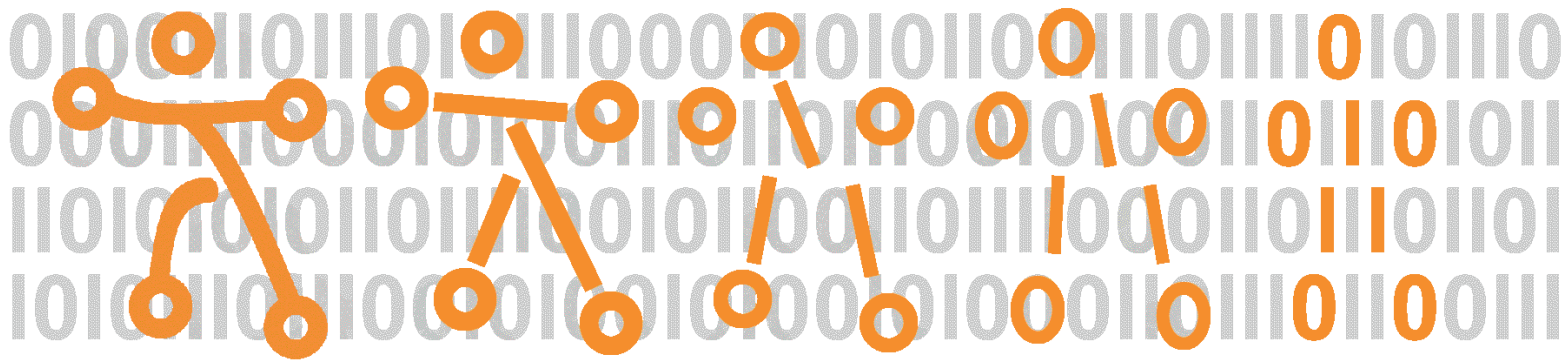
De voorbereidingen voor het congres zijn in volle gang. Dit jaar krijgt het congres een andere opzet dan voorgaande keren. We maken optimaal gebruik van de aanwezigheid van bestuursleden van CREE en FEES, de Centre for Registration of European Ergonomists respectievelijk de Federation of European Ergonomics Societies. Op donderdag 24 november houden we daarom een internationale dag.

Design for All

Donderdagochtend is er een rondetafeldiscussie van het IEA Technical Committee 'Ergonomics in Design for All'. Er worden enkele presentaties gegeven door topsprekers, zoals Harald Weber (Institut für Technologie und Arbeit) over tools voor participatief ontwerpen van toegankelijkheid voor iedereen, Richard

Goossens (TU Delft, Faculteit Industrieel Ontwerpen) over Design for all, Jan Doornbusch (zelfstandig adviseur) over The Guideline 6 en hoe deze ergonomen helpt in hun werk, en Hidde van der Ploeg (VU medisch centrum) over de gezondheidsrisico's van te veel zitten.





Ergonomics and Creativity

Na de lunch gaat het programma over Ergonomics and Creativity. Hier zullen we aan de hand van inleidingen en discussies richting geven aan het aanstaande wereldcongres van de International Ergonomics Association, dat in 2018 in Florence plaatsvindt. Aan het eind van de middag zal professor Sarah Sharples van Nottingham University een brug slaan naar het programma van vrijdag: Digitale Wereld. Sarah richt zich op de eindgebruiker in design, zoals het menselijk gedrag in moderne transportsystemen, hoe mensen smartphones gebruiken tijdens reizen en bewegen, en 'journey-sharing'.

Digitale Wereld

Dit is het thema van de vrijdag 25 november. We starten met een prikkelende presentatie door een van de topexperts van Nederland op het terrein van digitalisering, mobiele communicatie en smart systemen. Deze spreker schetst de nieuwste technologische innovaties in onze digitale wereld. Duidelijk zal worden dat de digitale trends impact hebben op ons vak, ons werk en ons privéleven. Aansluitend richten we ons op drie hoofdthema's:

- *Productieomgeving*. Hier gaan we in op robotisering en de mogelijkheden en beperkingen van exoskeletten, besturing van processen in openbaar vervoer en industrie en de trends rond 'smart industry'.
- *Het Publieke Domein*. We gaan in op de kansen en beperkingen van de zelfrijdende auto en andere smart systemen voor een vlotte en efficiënte verkeersafwikkeling. De ontwikkeling en de toekomst van de OV-chip worden ook belicht.
- *Digitalisering op kantoor*. Hier zal het gaan over digitalisering van werkprocessen, zoals op rechtbanken; dynamisch werken en de risico's van sedentair gedrag en hoe je die kan beperken.

Naast deze hoofdthema's zijn er overkoepelende presentaties, die bijvoorbeeld gaan over gedragsbeïnvloeding via digitale middelen, interaction design, en tools voor ergonomen.

Netwerken

Een van de redenen om naar het HFNL-congres te komen is natuurlijk om bekenden te ontmoeten en nieuwe contacten te leggen. Daar is volop ruimte voor, zoals op donderdag tijdens de borrel, het diner en de avond, en op vrijdag in de pauzes. Bovendien bieden we vrijdag eind van de middag een drankje en hapje aan, zodat u na de spits in alle rust huiswaarts kunt reizen.

Sponsoring

Het congres biedt ruimte aan sponsors om zich te profileren of om het doel van het congres financieel te ondersteunen. Een laagdrempelige manier is deelname aan de 'tegelwand', een print van enkele tientallen tegels op canvas.

Prijzen in het vakgebied

Op vrijdagmiddag worden drie nationale prijzen uitgereikt:

- de HFNL-prijs voor excellent presteren op het brede gebied van Human Factors en Ergonomie;
- de Pieter Rookmaaker Prijs voor Mobiliteit;
- de HFNL Dissertatie prijs.

Deelnemen

De details van het programma zijn op het moment van indienen van dit stuk nog niet allemaal bekend. Meer informatie over deelname en de actuele stand van het programma vindt u op: <https://www.humanfactors.nl/congres>. We houden de leden van HFNL ook via mail op de hoogte. Het wordt een hoogstaand programma en we gaan er van uit dat we u mogen begroeten in De Observant in Amersfoort.

De congrescommissie:

Sjoerd Reinstra, Marjolein Douwes,
Margriet Formanoy, Ernst Koningsveld,
Frank Krause, Stefaan Visser.

Namens bestuur HFNL:

Erwin Spekélé en Margriet Formanoy.

Namens de FEES:

Reinier Hoftijzer.

Het kantoorlandschap van de toekomst?

Uitkomsten van een expertbijeenkomst met ergonomen en arboprofessionals

Op 18 mei 2016 vond in het Hoofdgebouw van de Vrije Universiteit een bijeenkomst plaats voor leden van Human Factor NL (HFNL) en de Vereniging voor Bewegingswetenschappen Nederland (VvBN). Aanleiding was de plaatsing van het landschap 'The End of Sitting', ontwikkeld door RAAAF1 in de Vrije Universiteit.

Lidewij Renaud, Erwin Speklé, Hidde van der Ploeg, Allard van der Beek en Maaike Huysmans

RAAAF werd, samen met beeldend kunstenaar Barbara Visser, geïnspireerd tot het creëren van dit landschap door de resultaten van een cohortstudie van Hidde van der Ploeg¹. Hierin werd in een populatie van meer dan 200.000 Australiërs van boven de 45 jaar aangetoond dat 7% van de vroegtijdige sterfgevallen werd veroorzaakt door langdurig zitten. In het landschap zijn de conventionele bureaustoel en het bureau achterwege gelaten en wordt de mogelijkheid geboden om op verschillende locaties (ondersteund) staand te werken. Deze mogelijkheden, geboden door de omgeving, worden ook wel affordances genoemd: de omgeving lokt een bepaald gedrag uit, in dit geval niet zitten, maar staan of leunen.

De eerste versie van het landschap werd opgebouwd in een Amsterdams grachtenpand. Eerder onderzoek (Withagen & Caljouw, 2016) toonde aan dat het gebruik van dit landschap resulteerde in meer staande werkhoudingen (83% van de deelnemers werkte in meer dan één niet-zittende houding tijdens een semi-gestandaardiseerde werkopdracht) terwijl in de conditie met een standaard bureauwerkplek alleen werd gezeten.

Een gedeelte (12 x 3 meter) van het originele landschap werd in april 2016 in het hoofdgebouw van de VU geplaatst. Voor wetenschappers van het VUmc was dit aanleiding om spontane bezoekers aan het landschap door middel van een observationele studie te onderzoeken. Daarnaast waren de onderzoekers en



Afbeelding 1. Bezoek aan het RAAAF-landschap 'The End of Sitting' tijdens de expertbijeenkomst in het hoofdgebouw van de VU.

architecten van RAAAF nieuwsgierig naar de visie van bewegingswetenschappers en ergonomen, hoe geschikt vinden zij dit landschap voor de kantooromgeving? Een expertbijeenkomst werd georganiseerd om dit kantoorlandschap van de toekomst te evalueren. Tijdens deze bijeenkomst maakten de deelnemers na presentaties van Hidde van der Ploeg en Erik Rietveld actief kennis met het landschap en werd het ontwerp geëvalueerd aan de hand van een vragenlijst en een groepsdiscussie.

Expertbijeenkomst

De bijeenkomst werd geopend door Hidde van der Ploeg, onderzoeker op het gebied van fysieke activiteit en sedentair gedrag, die liet zien dat langdurig zitten schadelijk is voor de gezondheid en de kans op diabetes, hart- en vaatziekten en uiteindelijk ook de

¹ Rietveld Architecture Art Affordances, <http://www.RAAAF.nl>.

¹ Van der Ploeg e.a., 2012.

kans op vroegtijdig overlijden vergroot. Dit risico is onafhankelijk van lichamelijke activiteit, dit houdt in dat een half uurtje per dag matig intensief bewegen het effect van langdurig zitten dus niet opheft. Vooral voor mensen die langer dan 11 uur op een dag zitten neemt het risico exponentieel toe.

De tweede spreker was Erik Rietveld, samen met zijn broer Ronald de oprichter van RAAAF. Hij vertelde over de totstandkoming van 'The End of Sitting' in samenwerking met beeldend kunstenaar Barbara Visser. 'The End of Sitting' werd gecreëerd vanuit de theorie van affordances, waarbij de omgeving uitlokt tot handelingsacties (Gibson, 1977). Als onderdeel van het project hebben zij uitvoerig verschillende staande en leunende houdingen bestudeerd en uitgetoet, resulterend in verschillende hoeken in het enkel-, knie- en heupgewricht, om zo uiteindelijk tot het 'apenrotsachtige' landschap te komen waarin mensen van uiteenlopende lengten in een grote variatie van met name staande houdingen kunnen werken.

De bijeenkomst werd vervolgd met een bezoek aan het landschap (afbeelding 1) waarna de deelnemers gevraagd werd een vragenlijst in te vullen. Twintig deelnemende experts hebben de vragenlijst ingevuld (65% mannen). De gemiddelde leeftijd van de deelnemers was 48 jaar (SD=11.5 jaar), 50% was werkzaam als ergonomist en de andere helft gaf aan in de arbodienstverlening werkzaam te zijn of als fysiotherapeut, met een gemiddelde werkervaring van 19 jaar (SD=11.5 jaar). Na het invullen van de vragenlijst, werd de bijeenkomst afgerond met een eerste terugkoppeling van de uitkomsten van het vragenlijstonderzoek en een groepsdiscussie.

De vragenlijst

De vragenlijst bestond uit vragen over het landschap in het algemeen, over het landschap geplaatst in een kantooromgeving en de affordances van het landschap ('het landschap daagt uit tot ...'). Verder werd gevraagd naar werk gerelateerde activiteiten die het meest geschikt zijn om in het landschap uit te voeren (antwoordopties: lezen, pauzeren, werken op een tablet/laptop, overleggen, brainstormen, /drinken, telefoneren, anders). Daarnaast werd gevraagd: 'langdurig gebruik van het landschap zou medewerkers ...' waarna de volgende categorieën werden gegeven: productief maken (of minder productief maken), creatief maken (of minder creatief maken), energie geven (of energie kosten), fysiek makkelijk afgaan (of fysiek ongemak geven), ontspannen maken (of gespannen maken) en goed bevallen (of niet goed bevallen), met tussen de twee antwoordmogelijkheden de optie 'neutraal'. Tot slot werden drie vragen gesteld waarbij een toelichting vereist was: 'Het landschap voldoet aan de arboregels voor veilig en gezond werken', 'Zou u adviseren dit landschap in de kantooromgeving te laten plaatsen?' en 'Wat zou u kantoormedewerkers adviseren over het gebruik van het landschap, bijvoorbeeld als het gaat over de duur en (werk)houdingen?'

Resultaten van het vragenlijstonderzoek

Over het algemeen waren de deelnemers positief over het landschap, wat onder andere blijkt uit een gemiddelde score van 4.9 op basis van een 5-punts Likert-schaal op het statement 'het ontwerp is gedurfd' en een 4.6 op het statement 'het ontwerp heeft de fun factor'. Andere gemiddelde scores en de standaarddeviaties worden getoond in tabel 1.

Tabel 1. Gemiddelden en standaarddeviaties van vragen over het landschap. Antwoorden op basis van een 5-punts Likert-schaal (1 = helemaal oneens, 5 = helemaal eens).

Vragen over het landschap in het algemeen	Gemiddelde (SD)
Het landschap ziet er uitnodigend uit	4.2 (0.7)
Het ontwerp is gedurfd	4.9 (0.3)
Het landschap heeft de fun factor	4.6 (0.6)
Vragen het landschap in de kantooromgeving	
Het landschap is geschikt voor de kantooromgeving	3.9 (0.7)
Het landschap is geschikt voor oudere medewerkers	3.2 (0.9)
Het landschap is geschikt ter afwisseling met bureauwerk	4.7 (0.6)
Vragen over affordances van het landschap (het landschap daagt uit ...)	
Het landschap daagt uit tot gebruik	4.2 (0.7)
Het landschap daagt uit tot ondersteund staan	4.6 (0.5)
Het landschap daagt uit om te zitten	2.5 (1.2)
Het landschap daagt uit om te wisselen van houding	4.6 (0.5)

De deelnemende experts scoorden verschillende werk gerelateerde activiteiten die in het landschap kunnen worden uitgevoerd (zie afbeelding 2 voor een overzicht). De meeste deelnemers gaven aan het landschap vooral geschikt te vinden voor lezen en brainstormen (beide 80%). Daarnaast gaf het merendeel van de experts aan dat zij verwachtten dat langdurig gebruik van het landschap medewerkers meer creatief zal maken (89,5%) en meer energie zal geven (77,8%), terwijl zij overwegend neutraal staan ten aanzien van de invloed van langdurig gebruik op productiviteit (63,2%). Het overzicht van de antwoorden is te vinden in tabel 2.

De vraag of het landschap voldoet aan de arboregels werd door 52,9% met 'nee' beantwoord. In de toelichting werd aangegeven dat voor dit landschap nog geen wetgeving bestaat, maar dat het gebruik van het landschap stimuleert tot afwisseling van werkhouding waarmee indirect wordt voldaan aan arborichtlijnen.

Quote van een expert die 'nee' antwoordde op deze vraag: *'Bij "bureauwerk" zijn er regels (NEN) omtrent de werkomgeving, die gaan uit van een bureaustoel.'*

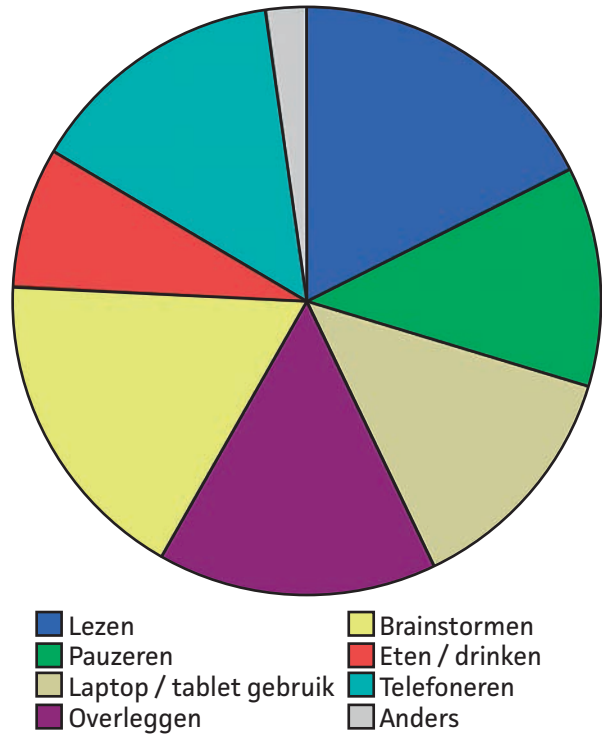
Quote van een expert die 'ja' antwoordde op deze vraag: *'Het biedt een veilige en gezonde werkomgeving, dus ja. Zolang medewerkers in ieder geval een keuze hebben.'*

Van de deelnemers zou 94,4% procent adviseren om het landschap te plaatsen in een kantooromgeving met in de toelichting dat het landschap vooral als afwisseling van de klassieke werkplek gebruikt zou moeten worden, bijvoorbeeld om in te overleggen.

'Eindelijk een concept dat uitlokt tot bewegen. Mensen gaan niet van hun plek als het werk dit niet van hen vraagt. Hier voel je dat je moet bewegen en je kunt gerust wisselen van plek, natuurlijk, niet gekunsteld.'

Tabel 2. Associaties met langdurig gebruik van het landschap voor kantoormedewerkers. Met tegengestelde antwoord-opties (productief maken of minder productief maken), hier weergegeven als 'meer', 'minder' of neutraal.

	Meer (%)	Neutraal (%)	Minder (%)
Productief maken	26.3	63.2	10.5
Creatief maken	89.5	10.5	-
Energie geven	77.8	22.2	-
Fysiek gemakkelijk gaan	21.1	57.9	21.1
Ontspannen maken	52.6	47.4	-
Goed bevallen	52.6	42.1	5.3



Afbeelding 2. Activiteiten waarvoor het landschap geschikt is: lezen = 80%; pauzeren = 55%; laptop-/tabletgebruik = 60%; overleggen = 70%; brainstormen = 80%; eten/drinken = 35%; telefoneren = 65%; anders = 10% (ontspannen/mediteren en computerwerk waar geen groot scherm voor nodig is).

De adviezen die de experts zouden geven aan gebruikers richtten zich op voorlichting over voorkomen van struikelgevaar, maar voornamelijk gaven zij aan dat gebruikers van het landschap geen advies nodig hebben voor adequaat gebruik, omdat het gebruik zelf al uitlokt tot wisselen van houding: *'Experimenteer en voel bewust wat je prettig vindt en hoe je welke activiteiten het beste kan doen.'*

Discussie

Na de bijeenkomst was het overduidelijk dat de deelnemers aan deze expertbijeenkomst enthousiast zijn over het RAAAF-landschap. Bijna alle deelnemers zouden adviseren om het in een kantoorlandschap te plaatsen (94,4%). Echter, en dit werd ook tijdens de groepsdiscussie besproken, werd het landschap niet gezien als vervanging van de klassieke werkplek, maar als een mogelijkheid om zittend werk mee af te wisselen.

Er werd aangegeven dat bij werktaken waarbij het creatieve proces belangrijk is, bijvoorbeeld brainstormen, het landschap goed kan worden ingezet. Dit zagen we ook terug in de resultaten van de vragenlijst waarbij 80% van de deelnemers aangaf dat het landschap geschikt is voor brainstormen en 89,5% aangaf dat zij verwachtten dat bij langdurig gebruik de

creativiteit bevorderd wordt. Daarnaast werd aangegeven dat het landschap geschikt is om in te pauzeren (80%), echter dan weer niet tijdens de lunch, aangezien slechts 35% het landschap geschikt vond om in te eten of te drinken.

In de groepsdiscussie werd veelal genoemd dat het landschap uitlokt tot wisselen van houding en dat gericht advies over hoe lang in eenzelfde houding te staan of wanneer te wisselen van houding niet nodig is. Medewerkers zouden door middel van lichamelijk discomfort vanzelf aanvoelen dat zij moeten wisselen van houding of locatie. In het onderzoek van Withagen en Caljouw (2016) wisselden de meeste deelnemers (83%) van houding tijdens een werктаak van 75 minuten, echter 44% wisselde slechts één keer en 17% bleef gedurende de hele opdracht in dezelfde houding. Ook voorlopige uitkomsten van het onderzoek naar het spontaan gebruik van (de cut-out van) het landschap in het hoofdgebouw van de VU lijken te onderschrijven dat bij langdurig gebruik niet of nauwelijks van houding wordt gewisseld.

Drie experts gaven in de toelichting van de vragenlijst aan dat als mensen houvast zoeken er geadviseerd kon worden om na een bepaalde tijd te wisselen van houding en/of locatie binnen het landschap (na 15, 20 of 45 minuten). De wetenschap heeft, ook als het bijvoorbeeld gaat om het gebruik van zit-stabureaus, nog geen eenduidig antwoord op de vraag met welke frequentie afgewisseld dient te worden (Buckley e.a., 2015). Wel zien we dat het gebruik van zit-stabureaus en dus de afwisseling in werkhouding toeneemt als gebruikers training en advies krijgen (Robertson e.a., 2013).

Een belangrijk aspect van het RAAAF-landschap is dat het de fun factor heeft (score van 4.6 op een 5-punts Likert-schaal). Tijdens de groepsdiscussie werd deze fun factor uitvoering besproken. De experts waren het er over eens dat een hoge fun factor een interventie toegankelijker maakt. Bijvoorbeeld: het leuk maken om de trap te nemen in plaats van de lift zorgt voor een toename in trapgebruik (Commissaris e.a., 2016).

De kantooromgeving, waar mensen een groot gedeelte van hun wakkere tijd doorbrengen, leent zich uitstekend voor interventies om het zitgedrag te verminderen (WHO/WEF, 2008). Onderzoek zal moeten uitwijzen of de oplossing zit (of staat) in een geheel nieuwe kantooromgeving zoals 'The End of Sitting', in aanpassingen van de klassieke werkplek, of bijvoorbeeld in een combinatie van beide. In ieder geval inspireert het RAAAF-landschap om de oplossing niet per se in de bekende hoek te zoeken en 'out of the box' te denken. Met dit landschap is de maatschappelijke uitdaging 'minder zitten op het werk' op een originele wijze op de kaart gezet.

Conclusie

Experts op het gebied van arbeidsomstandigheden zien het RAAAF-landschap als een goede manier om de zittende werkzaamheden op kantoor te onderbreken. Zij zouden dan ook adviseren om het landschap in een kantooromgeving te plaatsen als aanvulling op de conventionele werkplekken, niet als vervanging. Verder werd betwijfeld of gebruikers advies met betrekking tot gebruik nodig hebben, aangezien ervaren discomfort gebruikers zal stimuleren tot het wisselen van de staande of leunende houdingen. Gezien het vele zitten in de kantooromgeving staan wetenschappers en professionals in de ergonomie voor de uitdaging om interventies te ontwikkelen die daadwerkelijk het langdurig zitten verminderen en onderbreken en die door medewerkers omarmd worden. Het RAAAF-landschap is een inspirerend voorbeeld van zo een interventie dat lijkt te voldoen aan deze criteria.

Referenties

- Buckley, J.P., A. Hedge, T. Yates, R.J. Copeland, M. Loosemore, M. Hamer, G. Bradley & D.W. Dunstan (2015). The sedentary office: an expert statement on the growing case for change towards better health and productivity. *British Journal of Sports Medicine*, 49(21): 1357-1362.
- Commissaris, D.A., M.A. Huysmans, S.E. Mathiassen, D. Srinivasan, L. Koppes & I.J. Hendriksen (2016). Interventions to reduce sedentary behavior and increase physical activity during productive work: a systematic review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 42(3): 181-191.
- Gibson, J.J. (1977.) The theory of affordances. In: Shaw, R., Bransford, J. (Eds.). *Perceiving, acting, and knowing: towards an ecological psychology*. Hillsdale NJ, Erlbaum.
- Robertson, M.M., V.M. Ciriello & A.M. Garabet (2013). Office ergonomics training and a sit-stand workstation: effects on musculoskeletal and visual symptoms and performance of office workers. *Applied Ergonomics*, 44(1): 73-85.
- Van der Ploeg, H.P., T. Chey, R.J. Korda, E. Banks & A. Bauman (2012). Sitting time and all-cause mortality risk in 222 497 Australian adults. *Archives of Internal Medicine*, 172(6): 494-500.
- Withagen, R., & S.R. Caljouw (2016). The End of Sitting: An Empirical Study on Working in an Office of the Future. *Sports Medicine*, 46(7): 1019-1027.
- WHO/WEF, 2008 preventing non communicable diseases in the workplace through diet and physical activity. WHO World Economic Forum report of a joint event. World Health Organisation/World Economic Forum, Geneva (<http://www.who.int/dietphysicalactivity/workplace/en/>).

Interview met Matthijs Stam

Wie is Matthijs Stam?

Matthijs Stam is chieff Strategy & Design bij Hoppinger, een full service internetbureau dat concepten en websites bouwt waarbij de gebruiker centraal staat. In zijn werk besteedt Matthijs veel aandacht aan user interaction en andere vormen van cognitieve ergonomie. Naast zijn werk is Matthijs actief als triatleet en is hij een trotse Rotterdammer.

Hoe zag uw loopbaan er tot nu toe uit?

Na mijn studie Industrieel Ontwerpen aan de TU Delft ben ik gaan werken bij een onderzoeksbureau gespecialiseerd in kwalitatief gebruikersonderzoek voor consumenten; hier heb ik onder andere shoponderzoek gedaan en verschillende onderzoeken naar hoe bepaalde producten door gebruikers werden ontvangen. Een voorbeeld hiervan is hoe consumenten omgaan met een live box en of het ze zelfstandig lukt om deze werkend te krijgen. In deze periode is mijn interesse voor gebruikersonderzoek ontstaan.

Omdat ik in dit werk het creëren van iets, waar ik op de TU veel mee bezig ben geweest, erg miste ben ik vervolgens aan de slag gegaan bij een communicatiebureau waar ik deze creatieve kant meer kwijt kon. Na zes jaar heb ik vervolgens de stap gemaakt naar Hoppinger, waar ik als interaction designer ben begonnen; hier vond ik een mooie balans tussen het doen van gebruikersonderzoek en het creëren dat ik vanuit de opleiding Industrieel Ontwerpen heb meegekregen. Inmiddels ben ik doorgegroeid en geef ik nu leiding aan de afdeling strategie & design.

Welke rol speelt Human Factors/Ergonomie in uw dagelijks werk?

Toen ik nog werkzaam was als interaction designer speelde Human Factors een grotere rol in mijn werk. Ik was toen dagelijks bezig met hoe concepten en websites ingericht moesten worden om er voor te zorgen dat de gebruiker goed wordt bediend.

Inmiddels ben ik niet meer dagelijks bezig met Human Factors. In mijn werk ben ik nu veel meer bezig om onze klanten er zich bewust van te maken dat de eindgebruiker de belangrijkste rol speelt bij het ontwerpen van een product of dienst. Om als bedrijf je doelen te behalen en om het juiste te kunnen ontwerpen is het een noodzaak om je dus te verdiepen in de gebruiker. Mijn opdracht is



pas geslaagd als dat bewustzijn er is bij onze klanten. Waar Human Factors nog wel vaak voorkomt is in het spanningsveld tussen onze visual en interaction designers; soms staat interaction design de mogelijkheden van het visuele design in de weg. Dit zijn vaak stevige discussies, waarbij in de meeste gevallen de Human Factors toch belangrijker worden geacht dan visuele aantrekkelijkheid. *Op welk project waarbij Human Factors/cognitieve ergonomie een grote rol speelde bent u het meest trots en waarom?*

De SNCU ziet toe op naleving van de CAO voor uitzendkrachten en treedt op bij misstanden. Tijdens de ontwikkeling van hun nieuwe website (afbeelding 1) hebben we verschillende doelgroepen in kaart gebracht, waarbij we de nadruk hebben gelegd op de meest kwetsbare groep: de arbeidsmigranten. Er bestaan nog steeds veel malafide uitzendbureaus die arbeidsmigranten uitknijpen en misbruiken, opererend vanuit een geblindeerd busje met een prepaid telefoon.

In het proces heeft, tijdens een informatieavond van de SNCU, een aantal Poolse werknemers gesproken. Samen met een tolk hebben we hun schrijnende situaties besproken. Zij zijn bang om hun inkomsten te verliezen, terwijl zij al zo geïsoleerd leven zonder hun gezin en zonder zich verstaanbaar te kunnen maken in de Nederlandse taal.

‘Om als bedrijf je doelen te behalen en om het juiste te kunnen ontwerpen is het een noodzaak om je te verdiepen in de gebruiker.’



Bij het ontwerp hebben we geprobeerd een veilige online omgeving te creëren, waar ze worden gerustgesteld, door een rustige kleurstelling en niet te veel informatie tegelijkertijd aan te bieden. Maar ook door aanvullende informatie aan te bieden over hun rechtspositie en ze ervan te overtuigen dat er goed wordt omgegaan met privacy. Alles staat in het teken van de user flow die we hebben ontworpen op basis van de gesprekken met de doelgroep. De Human Factor wordt vooral bepaald door de mate waarin je je hebt kunnen verplaatsen in de context en de beleving van de doelgroep.

Na livegang blijkt de nieuwe opzet goed te werken, er zijn twee keer zo veel misstanden binnengekomen. De vraag is dan natuurlijk wel: hebben wij de Human Factor te pakken, of gaat het slechter met de arbeidsmigrant in Nederland?

In de vorige ‘Ergonomiekaart van Nederland’ geeft Maria Haag (architect) aan dat zij benieuwd is welke rol Human Factors spelen in de wereld van het internet en of technische mogelijkheden daarbij nog een beperking zijn. Hoe kijkt u hier tegenaan?

Als ik naar het internet of naar websites kijk, dan zie ik dat Human Factors eigenlijk een (te) kleine rol speelt. Veel websites zijn namelijk helemaal niet ontworpen om ervoor te zorgen dat de gebruiker snel kan vinden waar hij naar op zoek is of om te zorgen dat de gebruiker een positieve ervaring heeft. Hierdoor krijg je vaak interfaces die niet intuïtief zijn en is van een goed interaction design vaak geen sprake. Hierdoor vindt de gebruiker niet waar hij of zij naar op zoek is en haakt hij af.

Als ik dit vergelijk met een aantal jaar geleden gaat het inmiddels wel de goede kant op; steeds meer websites gaan zich meer en meer richten op de gebruiker. Een aantal jaar geleden was dit echter nog niet het geval: bij veel websites werd gebruik gemaakt van de nieuwste technologie. Hierdoor zag het er vaak mooi en gelikt uit, maar werd de gebruiker helemaal vergeten. Ik denk dat technische mogelijkheden geen beperkende factor zijn in die zin, het gaat meer om het juist inzetten van de technologische mogelijkheden om het de gebruiker makkelijk te maken.

Wat is uw reactie op de stelling van Maria Haag: ‘Het zoeken naar informatie op het internet gebeurt niet intuïtief. Doordat

informatie verspreid is over miljoenen websites, is het steeds lastiger zoeken en is het controleren op juistheid en oorsprong steeds moeilijker. Wordt het niet eens tijd voor zoekmachines die informatie per thema in categorieën indelen?’

Ik denk dat deze stelling inmiddels achter ligt op de werkelijkheid: het controleren op juistheid en oorsprong is niet moeilijk omdat het verspreid is over miljoenen websites, maar omdat er door de zoekmachines op de achtergrond al gethematiseerd wordt. Niet om je van de beste informatie te voorzien, maar om geld te verdienen; dit is namelijk het achterliggende doel van zoekmachines. Ik ben mij als webdesigner daar ook zeer van bewust; ethiek gaat de komende jaren een steeds grotere rol spelen in hoe wij omgaan met het internet en zaken als zoekresultaten.

Ik denk niet dat we moeten zorgen dat zoekmachines intuïtiever werken of eenvoudiger resultaten presenteren, maar dat we onszelf de vraag moeten stellen hoe we met het internet en alle informatie daarop moeten omgaan. Alle kennis is nu zo gemakkelijk beschikbaar dat we onszelf af moeten vragen wat informatie precies is, wat de waarde ervan is en hoe we hiermee omgaan. Ik denk dat dit ook op middelbare scholen de komende jaren een steeds belangrijker thema moet worden om ervoor te zorgen dat onze kinderen de waarde van informatie kunnen inschatten.

Met de rubriek de ‘Ergonomiekaart van Nederland’ willen we de breedte van het werkveld Human Factors/Ergonomie laten zien. Wie zou de volgende kandidaat moeten zijn voor deze rubriek en waarom?

Froukje van Sleswijk. Froukje is werkzaam als designonderzoeker voor haar eigen bedrijf en geeft les op de TU Delft bij de opleiding Industrieel Ontwerpen. Zij is gespecialiseerd in onderzoek naar gebruikers in design. Froukje heeft ons geïnspireerd hoe je organisaties kunt veranderen door meer vanuit gebruikers te denken.

Welke stelling geeft u mee aan de volgende kandidaat?

Wanneer je je bezig houdt met context design probeer je vooral te baseren op inzichten die door middel van user research zijn ontstaan. Er zijn natuurlijk ook andere invloeden op dit proces. Wat doe je wanneer politieke of andere oneigenlijke argumenten meer invloed krijgen op het eindresultaat dan inzichten uit user research?

Taakvariatie tijdens repeterend manueel werk

Bij manueel werk zijn werken in ongemakkelijke houdingen, zoals boven schouderhoogte, en repeterende en statische werktaken de belangrijkste risicofactoren voor het ontwikkelen van lichamelijke klachten (Linaker & Walker-Bone, 2015). Uit eerder onderzoek is gebleken dat lokale spiervermoeidheid als gevolg van de bovengenoemde risicofactoren een belangrijke voorloper kan zijn van het ontwikkelen van lichamelijke klachten (Rashedi & Nussbaum, 2015).

Het ontwikkelen van klachten op de werkvloer is modelmatig weergegeven in afbeelding 1, een aangepaste versie van het belastingbelastbaarheidmodel (Burger, 1959). Het begin van een keten aan reacties is de *externe blootstelling*, met kenmerkende factoren als werken in ongemakkelijke houdingen, en repeterende en statische bewegingen. Volgend op externe blootstelling is de *interne blootstelling*. Deze wordt geschat door het meten van de belasting op de werknemer, bijvoorbeeld de spierspanning in de arm die nodig is om een taak te kunnen vervullen (Westgaard & Winkel, 1996). De interne blootstelling kan leiden tot fysiologische reacties of verstoringen, de *acute reacties*. Deze reacties beslaan onder andere ervaren vermoeidheid, verstoorde doorbloeding, en spiervermoeidheid zoals gemeten met elektromyografie (EMG). Als deze acute reacties niet voldoende herstellen, dan kunnen *lange-termijn gevolgen* optreden (Visser & Van Dieën, 2006), zoals klachten en aandoeningen aan het bewegings-

apparaat. Bij alle relaties in dit model spelen individuele en psychosociale factoren een belangrijke rol, zoals geslacht of hoeveelheid autonomie die een werknemer heeft binnen een bedrijf. Deze factoren worden ook wel *effect modificatoren* genoemd.

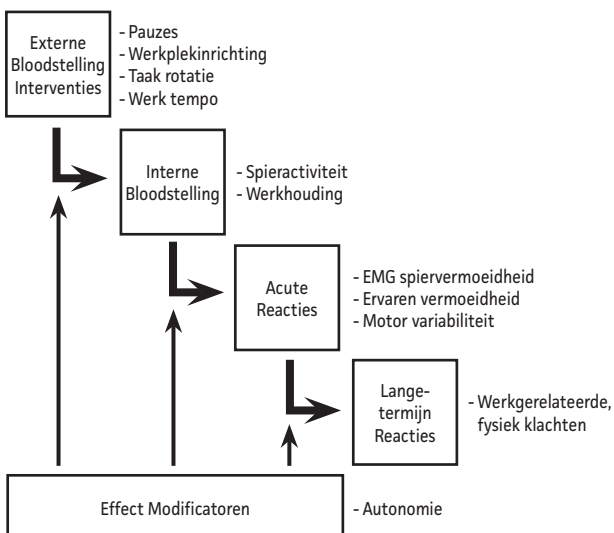
Lokale spiervermoeidheid

Een belangrijke acute reactie die voorafgaat aan de ontwikkeling van werkgerelateerde fysieke klachten is lokale spiervermoeidheid (afbeelding 2). Lokale spiervermoeidheid kan subjectief worden beoordeeld door ervaren ongemak of objectief in kaart worden gebracht met spieractiviteitsmetingen (EMG; Basmajian & De Luca, 1985; Borg, 1982). Wanneer de spieractiviteit wordt gemeten met EMG is het belangrijk te weten dat houdings- en bewegingsparameters (kinematica), zoals armheffingshoek en rompflexie, een belangrijke rol spelen.

Een concept gerelateerd aan spieractiviteit en kinematica is *motor variabiliteit*: de intrinsieke variabiliteit die aanwezig is in onze handelingen en gecontroleerd wordt door ons sensomotorische systeem in de hersenen (Madeleine, 2010). Men gelooft dat de aanwezigheid van motor variabiliteit in onze spieractiviteit en kinematicapatronen de belasting op ons lichaam kan verlagen. Dit zou dan als een soort beschermingsmechanisme werken voor werknemers om de ontwikkeling van werk gerelateerde fysieke klachten tegen te gaan (Heiderscheit, 2000).

Interventie: taakvariatie

Onderzoekers veronderstellen dat meer variatie in fysieke blootstelling op de werkvloer een effectieve interventie kan zijn om de ontwikkeling van lokale spier-

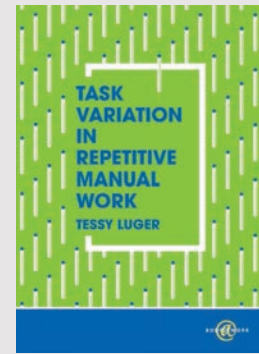


Afbeelding 1. Conceptueel belasting-belastbaarheidmodel dat de aaneenschakeling van reacties beschrijft die kunnen leiden tot de ontwikkeling van lichamelijke klachten.



Tessa Luger
Promotie: 9 november, VU Amsterdam
Prof.dr. H.E.J. Veeger (promotor)
Prof.dr. M.P. de Looze (promotor)
Dr. T. Bosch (copromotor)

Afdeling Bewegingswetenschappen
Faculteit der Gedrags- en Bewegingswetenschappen, VU
Amsterdam
MOVE Onderzoeksinstituut Amsterdam
tessa_luger@hotmail.com



vermoeidheid te verminderen (Mathiassen, 2006). Bovendien zou dit dan de ontwikkeling van fysieke klachten remmen. Afbeelding 1 geeft weer welke interventies kunnen aangrijpen op het niveau van de externe blootstelling. Deze interventies zijn bedoeld om taakvariatie te verhogen en omvatten organisatorische en fysieke ergonomische aspecten. Verschillende studies hebben het effect van de verschillende interventies op de interne blootstelling en acute reacties in kaart gebracht, maar het aantal studies is schaars en geeft soms tegenstrijdige resultaten waardoor concrete aanbevelingen uitblijven. Daarom zet ik hierna de resultaten van verschillende interventies uit mijn promotieonderzoek uiteen. Spiervermoeidheid zoals gemeten met EMG en ervaren ongemak zijn gebruikt als uitkomstmaten om de effecten van de interventies zichtbaar te maken. De centrale vraagstelling luidt: *'Hoe worden spiervermoeidheid en ervaren ongemak beïnvloed door verschillende interventies tijdens repeterende manuele taken?'*

Effecten van diverse soorten taakvariatie

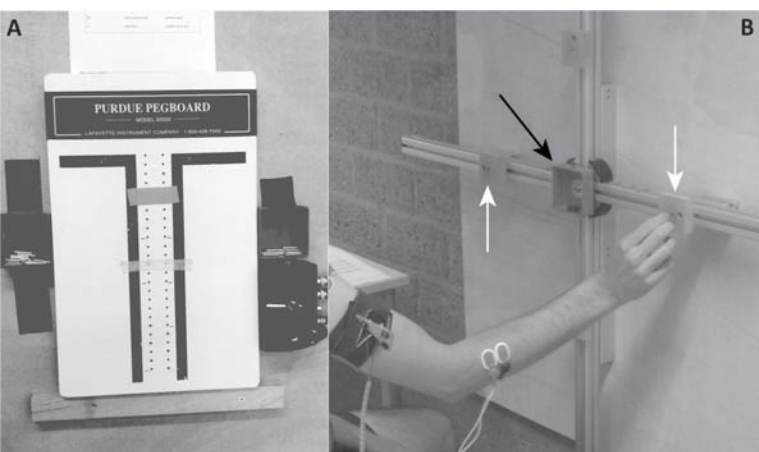
Uit een recent literatuurreview blijkt dat belangrijke uitkomstmaten om de effectiviteit van de hoeveelheid taakvariatie in kaart te brengen, ervaren ongemak, objectieve spiervermoeidheid en prestatie zijn (Luger

e.a., 2014). Uit het literatuurreview blijkt dat vooral ondersteuning voor het toepassen van temporele taakvariatie te vinden is in de waarneming dat de deelnemers minder ongemak ervaren bij meer variatie. De objectieve metingen van spiervermoeidheid in deze studies gaven echter geen ondersteuning voor de toepassing van taakvariatie; er werd geen effect van taakvariatie op spiervermoeidheid (EMG) gevonden.

Passieve en actieve pauzes onderzocht ik tijdens een gesimuleerde, repeterende, pak-en-plaats-taak (afbeelding 2A; Luger e.a. (2015)), waarbij de effectiviteit van de pauzes in kaart is gebracht door spiervermoeidheid (afbeelding 3, pag. 54) en ervaren ongemak in de schouder. Actieve pauzes verminderden het lokaal ervaren ongemak in de schouder, maar passieve pauzes hadden geen effect op ervaren ongemak en spiervermoeidheid (EMG).

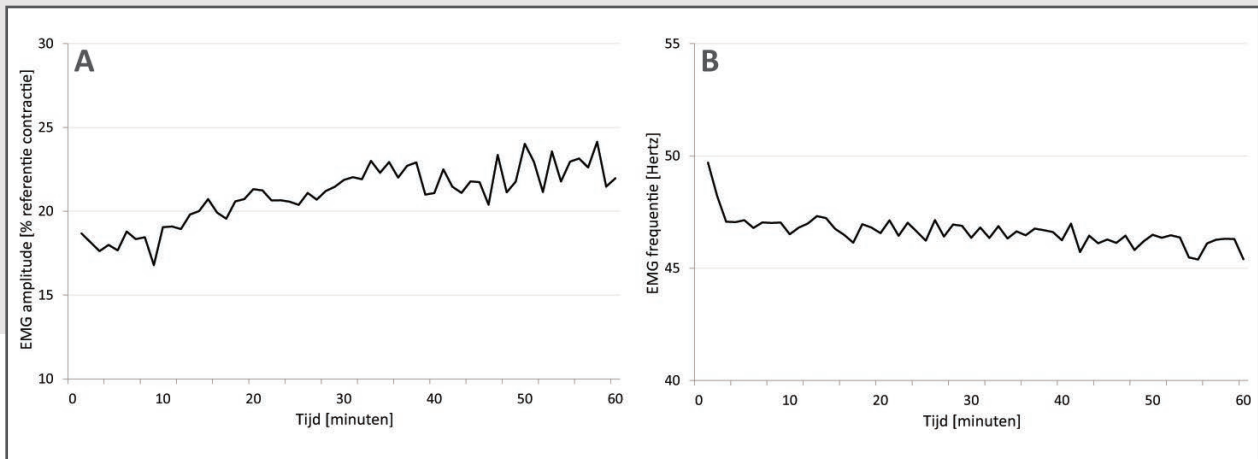
In een volgende studie onderzocht ik of taakrotatie tot meer variatie leidt (Luger e.a., 2016a). De deelnemers aan dit onderzoek roteerden met verschillende frequenties tussen een pak-en-plaats-taak (afbeelding 3A, pag. 54) en een tiltaak. De verwachting was dat een hoge frequentie (9 rotaties/uur) zou leiden tot meer herstel mogelijkheden voor de spier dan een lage frequentie (1 rotatie/uur). Rotatiefrequentie bleek geen invloed te hebben op spiervermoeidheid (EMG). Ervaren ongemak in de schouder was bij de hoge rotatiefrequentie echter wel lager dan bij de lage. In een van de condities in deze studie bepaalden de deelnemers gedurende een uur zelf hun werkindeeling. Dertig minuten moesten besteed worden aan de pak-en-plaats-taak en dertig minuten aan de tiltaak. Het zelf kunnen kiezen van de mate van taakrotatie had een duidelijk effect: de proefpersonen ervoeren minder ongemak in de schouder wanneer zij zelf hun werkindeeling mochten bepalen, maar dit werd niet ondersteund door de EMG-metingen.

In een volgende studie varieerde ik taakvariatie via de werkplekinrichting (afbeelding 3B; Luger e.a. (2016b), pag. 54). Door de werkplek te veranderen in werkhoogte (30° en 50° armheffingshoek) en werkrichting (horizontaal, verticaal, diagonaal) werd er variatie in de armheffingshoek opgelegd. Het doel was om te bestuderen wat beide veranderingen voor effect hadden op maximaal acceptabel werktempo, houding en spieractiviteit na één uur



Afbeelding 2A. Deze grafiek laat zien hoe de amplitude van het EMG-signaal toeneemt over de tijd (de amplitude is een maat voor de spieractiviteit).

Afbeelding 2B. Deze grafiek laat zien hoe de frequentie van het EMG-signaal afneemt over de tijd. De combinatie van A en B geeft aan dat er in de grote schouder spier (trapezius) lokale spiervermoeidheid is opgetreden over de tijd.



Afbeelding 3A. De pak-en-plaats-taak die onderdeel was van de experimenten in Luger e.a. (2015) en Luger e.a. (2016a).

Afbeelding 3B. De pak-en-plaats-taak die onderdeel was van de experimenten in Luger e.a. (2016b) en Luger e.a. (2016c). In beide opstellingen pakten de proefpersonen pinnetjes uit de bakjes aan zijkant van het bord (a) of uit het centrale bakje middenin de opstelling (b, zwarte pijl). Ze plaatsten de pinnetjes in de gaatjes in het bord (a) of in de gaatjes op het kruis (b, witte pijlen). Hierna plaatsten ze de pinnetjes weer terug in de bakjes.

werken. De bewegingsrichting van de werkplek had geen invloed op de gemiddelde armheffingshoek van 30°, maar wel, zoals bedoeld, op de variatie rondom de gemiddelde armheffingshoek. Dit effect leidde echter niet tot een verschil in maximaal acceptabel werktempo tussen de verschillende beweegrichtingen. Bij hogere werkhoogte nam, zoals de intentie was, de armheffingshoek toe van 30° naar 50°. De spieractiviteit van de schouder nam toe (afbeelding 2A) en het zelf gekozen maximaal acceptabele werktempo nam 10% af bij werken op hogere werkhoogte.

Tijdens de repeterende pak-en-plaats-taak (zoals in de vorige alinea beschreven) heb ik bovendien het effect van werktempo op houding, spieractiviteit en motor variabiliteit bestudeerd (Luger e.a., 2016c). Met een toename in werktempo nam, zoals verwacht, de bewegingssnelheid van de bovenarm toe. Hetzelfde patroon was te zien voor de spieractiviteit van de schouderpijpen, die eveneens toenam bij een hoger werktempo. Zoals verwacht namen ook de variatie rondom de gemiddelde armheffing en de variabiliteit van de armheffing toe. Tegen de verwachting in nam de variatie van spieractiviteit niet toe bij een hoger werktempo.

Conclusies

Op basis van de beschreven studies kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. Er is nauwelijks bewijs voor positieve effecten van meer taakvariatie. Uit het literatuurreview blijkt dat *variatie* in werk-rustverhoudingen (*temporele variatie*) leidt tot minder ervaren ongemak. Doorgaans wordt dit niet ondersteund door objectief gemeten spiervermoeidheid (EMG). Bij variatie in het type activiteit (*activiteit variatie*) is vaak geen rekening gehouden met werkintensiteit, waardoor het niet mogelijk was eenduidig conclusies te trekken.

2. Actieve pauzes bij een repeterende taak, in tegenstelling tot passieve pauzes, leiden tot minder ervaren ongemak. Het type pauze heeft geen invloed op spiervermoeidheid (EMG) in de schouder. De relatie tussen taakvariatie en EMG-uitkomsten wordt wel beïnvloed door houding.
3. Een hogere taakrotatie leidt tot minder ervaren ongemak, maar heeft geen effect op spiervermoeidheid (EMG).
4. Autonomie in de frequentie van taakrotatie leidt tot minder ervaren ongemak. Deze bevinding wordt niet ondersteund door de resultaten van objectieve maten van spiervermoeidheid (EMG).
5. Werken op hogere werkhoogte, leidend tot meer armheffing, leidt tot een lager maximaal acceptabel werktempo vergeleken met werken op lagere werkhoogte. Gelijktijdig met een verlaagd werktempo bij hogere werkhoogte, nemen de spieractiviteit van de schouderpijpen en het ervaren ongemak toe.
6. Een toename in het werktempo leidt tot verhoogde variatie en snelheid van armbewegingen en verhoogde spieractiviteit van de grote schouderpijpen. Bovendien leidt een toename in werktempo ook tot verhoogde variabiliteit van armbewegingen over werkcycli.

Praktische implicaties

De huidige ergonomische richtlijnen voor het beoordelen van fysieke belasting houden geen rekening met taakvariatie. Dit betekent dat we kennis over taakvariatie en doorvertaling hiervan naar ergonomische richtlijnen verder moeten ontwikkelen. Op basis van de hier gepresenteerde resultaten en conclusies kunnen enkele praktische adviezen worden gegeven.

Interventies gerelateerd aan organisatorische ergonomie

- Bied actieve pauzes aan tijdens het werk, geen passieve pauzes.
- Taakrotatie leidt over het algemeen tot minder ervaren ongemak, maar op dit moment is er nog onvoldoende kennis om een uitspraak te doen over de optimale taakrotatiefrequentie.
- Het is belangrijk om bij het adviseren over een geschikt werktempo, bijvoorbeeld op basis van het Methode-Tijd-Meting (MTM) systeem, niet alleen afzonderlijke taakhandelingen en af te leggen afstanden mee te nemen, maar ook andere ergonomische werkplekkenmerken als werkhoogte of bewegingsrichting.
- Het succes van taakrotatie wordt positief beïnvloed door de mate van autonomie die een individu of groep heeft binnen een bedrijf.

Randvoorwaarden

Er zijn bepaalde randvoorwaarden waaraan een bedrijf moet voldoen voordat het implementeren van taakvariatie of veranderingen in de mate van autonomie mogelijk zijn. Hierna volgen enkele randvoorwaarden die belangrijk zijn bij de vertaling van eerdergenoemde adviezen naar de praktijk.

- Bij het implementeren van taakrotatie moet een bedrijf een divers aanbod van werktaken hebben. Dit betekent dat taken van elkaar moeten verschillen in termen van blootstelling (krachtuitoefening, werkhoudingen en tijdsaspecten), zodat dit kan leiden tot een vermindering van eenzijdige belasting van het lichaam.
- In algemene zin moet een bedrijf voldoende financiële mogelijkheden, voldoende tijd en voldoende ruimte hebben om werknemers trainingen aan te bieden om de diversiteit aan taken uit te kunnen voeren die nodig zijn bij het implementeren van interventies. Een bijkomend voordeel is dat werknemers elkaars taken kunnen overnemen in geval van bijvoorbeeld ziekte of toegenomen vraag vanuit de markt voor een specifiek product.
- Zowel de werkgever als werknemer moet openstaan voor veranderingen in het werkproces, de werkplekinrichting of de werkorganisatie en deze bovendien accepteren.

Referenties

- Basmajian, J. & De Luca, C. (1985), *Muscles Alive: their functions revealed by electromyography*, editie 5. Baltimore: Lippincott, Williams and Wilkins.
- Borg, G. (1982), Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), pp. 377-381.
- Burger, G.C.E. (1959), De betekenis van kwantitatieve meting en functionele beoordeling van arbeidsbelasting en belastbaarheid voor de praktische bedrijfsarts. *Tijdschrift voor Sociale Geneeskunde*, 37, pp. 77-384.
- Heiderscheit, B.C. (2000), Movement variability as a clinical measure for locomotion. *Journal of Applied Biomechanics*, 16(4), pp. 419-427.
- Linaker, C.H. & Walker-Bone, K. (2015), Shoulder disorders and occupation. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 29(3), pp. 405-423.
- Luger, T., Bosch, T., Hoozemans, M., De Looze, M. & Veeger, D. (2015), Task variation during simulated, repetitive, low-intensity work – influence on manifestation of shoulder muscle fatigue, perceived discomfort and upper-body postures. *Ergonomics*, 58(11), pp. 1851-1867.
- Luger, T., Bosch, T., Hoozemans, M.J.M., Veeger, H.E.J. & De Looze, M.P. (2016a), Is rotating between static and dynamic work beneficial for our fatigue state? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 28, pp. 104-113.
- Luger, T., Bosch, T., Veeger, D. & De Looze, M. (2014), The influence of task variation on manifestation of fatigue is ambiguous – a literature review. *Ergonomics*, 57(2), pp. 162-174.
- Luger, T., Mathiassen, S.E., Bosch, T., Hoozemans, M.J.M., Douwes, M., Veeger, H.E.J. & De Looze, M.P. (2016b), Influence of posture variation on maximal acceptable work pace in a repetitive manual task. *Applied Ergonomics*, submitted.
- Luger, T., Mathiassen, S.E., Srinivasan, D. & Bosch, T. (2016c), Effect of work pace on biomechanical exposure in a short-cycle repetitive pick-and-place task. *Annals of Occupational Hygiene*, under review.
- Madeleine, P. (2010), On functional motor adaptations: from the quantification of motor strategies to the prevention of musculoskeletal disorders in the neck-shoulder region. *Acta Physiologica*, 199 (suppl. 679), pp. 1-46.
- Mathiassen, S.E. (2006), Diversity and variation in biomechanical exposure: what is it, and why would we like to know? *Applied Ergonomics*, 37(4), pp. 419-27.
- Rashedi, E. & Nussbaum, M.A. (2015), A review of occupationally-relevant models of localised muscle fatigue. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 5(1), pp. 61-80.
- Visser, B. & Van Dieën, J.H. (2006), Pathophysiology of upper extremity muscle disorders. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(1), pp. 1-16.
- Westgaard, R.H. & Winkel, J. (1996), Guidelines for occupational musculoskeletal load as a basis for intervention: a critical review. *Applied Ergonomics*, 27(2), pp. 79-88.

Afgestudeerd



COGNITIEF

Naam: Jeroen van de Ruit
Studie: Master Design for Interaction | Specialisation Medisign | TU Delft
Project: The Guardian | A holistic and user-centred design approach to optimise patient transport by airplane
Chair: Prof.dr. P. Vink
Mentor: A. Albayrak, MSc
Opdrachtgever: Job van den Bosch, Electronic House Rotterdam
Plaats van onderzoek: Delft (TU Delft)
Werkstatus: Interaction designer bij Soda Studio, Amsterdam
E-mail: jvanderuit@gmail.com

Inleiding en vraagstelling

Jaarlijks worden honderden Nederlandse patiënten van over de hele wereld gerepatriëerd, bijvoorbeeld om patiënten met hun familie te herenigen, maar ook voor gespecialiseerde behandelingen. Het risico van dit vervoer is echter groot, met name voor intensive care patiënten.

In samenwerking met intensivist Job van den Bosch heeft een team van zes studenten gewerkt aan een conceptuele oplossing voor dit probleem genaamd de Guardian: een intensive care cabine, die modulair in vliegtuigen kan worden ingebouwd. Na een gezamenlijk project van zes maanden ben ik voor mijn afstudeerproject verder gegaan met als doel het optimaliseren van het ontwerp door toepassing van gedetailleerde kennis van gebruikers en hun interactiepatronen. Verschillende gebruikers zijn van toepassing: reguliere passagiers, cabin crew, het medische team en de patiënt met meereizende familieleden.

Methode

Om een beter beeld te krijgen van repatriëring zijn verschillende, ervaren intensivisten geïnterviewd. Zo kon een user journey worden samengesteld die inzicht gaf in de interacties tussen de gebruikers. Ook heeft het geholpen om het ontwerpen rond drie relevante scenario's te kaderen:

- het eerste contact met de Guardian;
- een vlucht zonder bijzonderheden;
- een noodgeval binnen de Guardian.

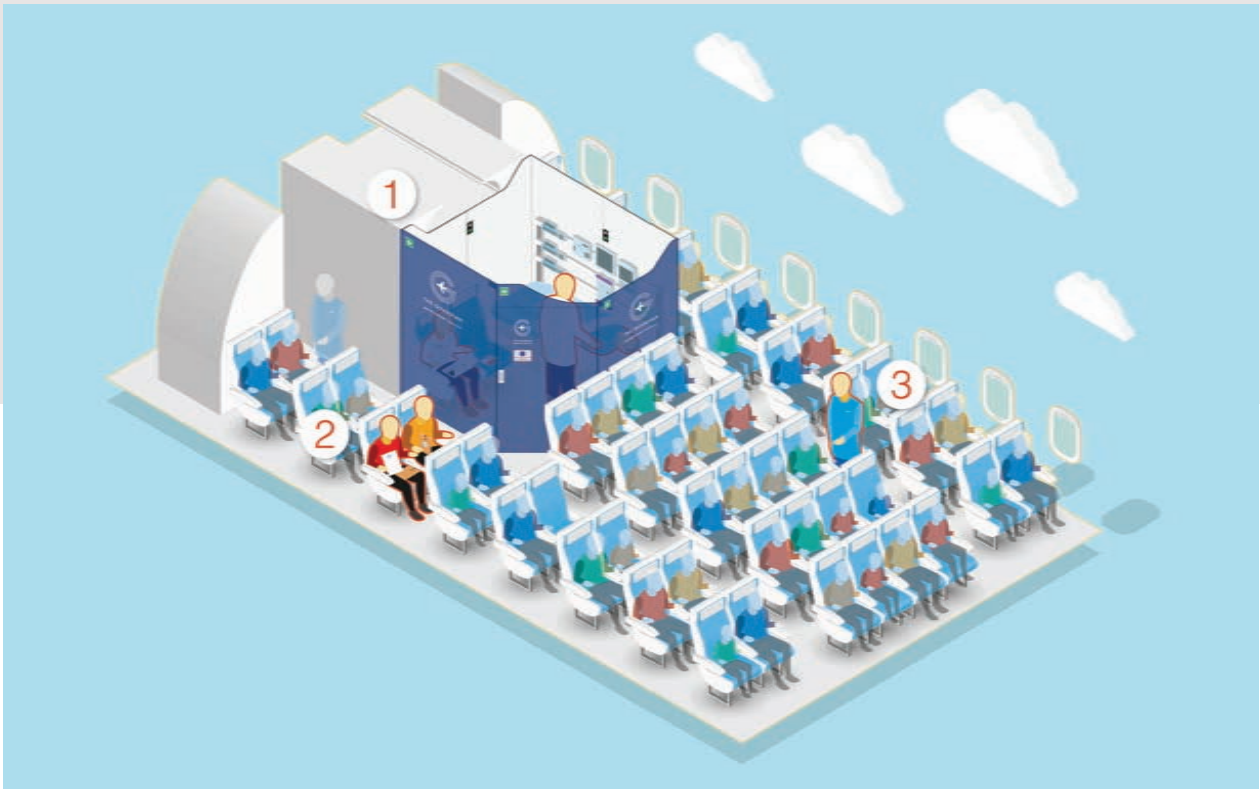
Het bestuderen van deze scenario's heeft geholpen om drie hoofdproblemen te formuleren die mijn ontwerp moet verhelpen:

1. het medische team, reguliere passagiers en familieleden zijn onvoldoende geïnformeerd over de toepassingen van de Guardian;
2. het medische team en cabin crew ervaren problemen met onderlinge communicatie;
3. huidige vormen van repatriëring houden onvoldoende rekening met het gedrag van gebruikers.



Een belangrijk onderdeel van het onderzoek was het bepalen van de optimale hoeveelheid informatie: geven informatievoorzieningen aan boord een positieve indruk van de Guardian, of hebben deze een averechts effect met een ongerust gevoel als gevolg? Om hier achter te komen is op grote schaal met enquêtes getoetst. Respondenten kregen steeds meer informatie gedurende het onderzoek, terwijl bij elke stap hun gevoelens en emoties opnieuw werden onderzocht.

De ontwerpen ten behoeve van het medische team zijn herhaaldelijk getoetst met uitgebreide interviews met een kleine groep ervaren intensivisten.



Afbeelding 1. Deze afbeelding geeft het interieur van een vliegtuig weer, met een geïnstalleerde Guardian in het midden bij (1). In de Guardian ligt een IC-patiënt geïnstalleerd, met een aanwezige arts en verpleegkundige. Bij (2) is zichtbaar hoe familie in de buurt van de cabine kan zitten. (3) geeft weer hoe de crew normale werkzaamheden blijft doen zolang het transport rustig verloopt.

Resultaten

Het eindontwerp is verkregen door een holistische aanpak te gebruiken: in plaats van aan één overkoepelend ontwerp te werken dat voor alle gebruikers van toepassing moet zijn, heb ik verschillende deelontwerpen bedacht die als geheel de Guardian optimaliseren:

1. Informatievoorzieningen voor familieleden en passagiers in de vorm van brochures. Deze helpen bij het verwachtingsmanagement van deze doelgroep.
2. Een gids voor de medische staf biedt een gedetailleerd overzicht van de apparatuur en medicijnen aan boord. Daarnaast geeft de gids informatie over hoe te handelen bij noodgevallen.
3. Een polsbandje met bluetooth verbinding waarschuwt cabin crew door middel van een trilling bij noodgevallen. Door het indrukken van een speciale knop kan het medische team eenvoudig in contact treden met de crew zonder kortstondig de patiënt te hoeven verlaten.

Een herontwerp van de muren van de cabine geeft de Guardian een vriendelijkere uitstraling die door middel van tekst de functie communiceert naar de passagiers.

Conclusie

Bij het onderzoek onder reguliere passagiers reageerden de respondenten het beste op een middenweg qua informatievoorzieningen: helder, maar beknopt, terughoudend en eerlijk; informatie die ze precies vertelt waar het om gaat, zonder in detail te treden. Ook de gids voor het medische team werd zeer positief ontvangen door intensivisten. Allen gaven ze aan met deze informatie zeer geholpen te zijn, voornamelijk om de repatriëring beter te kunnen voorbereiden en de patiënt nog gericht te kunnen helpen. Door tijdsgebrek is het polsbandje niet uitvoerig onderzocht, daarom ontbreekt hier dan ook een heldere conclusie en is verder onderzoek noodzakelijk.

Persoonlijke impressie

De combinatie van het onderzoeken van verschillende doelgroepen gaf het project in het begin een zekere complexiteit, die als groot voordeel had dat onderlinge relaties goed bestudeerd konden worden. Ten eerste worden namelijk twee diverse disciplines behandeld: de medische en de luchtvaartindustrie. Maar daarnaast zijn er ook reguliere passagiers die een grote invloed hebben door hun aanwezigheid. De onderlinge samenhang was zeer interessant om te bekijken en leverde mij veel waardevolle inzichten op voor de verdere, toekomstige ontwikkeling van de Guardian.



Als hartpatiënt moet je regelmatig voor controle naar het ziekenhuis. Een noodzakelijk kwaad, maar vooral voor ouderen een hele opgave. Ondanks alle huidige technieken was er tot nu toe geen oplossing om met minder ziekenhuisbezoeken dezelfde medische hulp te ontvangen.

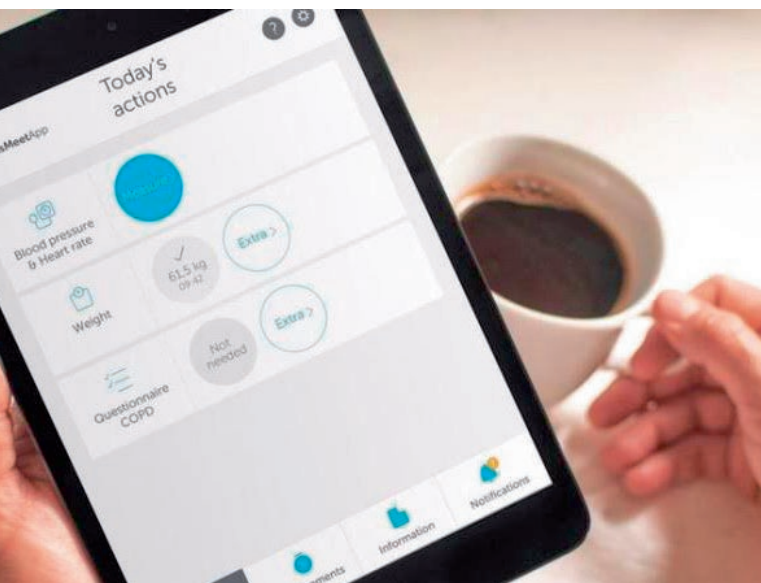
Gelukkig is er na een pilotstudie door FocusCura nu een concrete oplossing. Zij hebben een app ontwikkeld waarmee de cardioloog 24 uur per dag toegang heeft tot de thuismetingen van de patiënt. Deze app, HartWacht genaamd (afbeelding 1), wordt nu samen met een Nederlandse zorgverzekeraar en Cardiologie Centra Nederland (CCN) gelanceerd. De app is beschikbaar voor smartphones en tablet. Het zorgt ervoor dat de patiënt thuis zelf eenvoudige metingen kan doen, zoals bloeddruk, gewicht en hartslag, waardoor er minder ziekenhuisbezoeken nodig zijn (afbeelding 2). Het klinkt eenvoudig, maar vergis je niet. Een gebruiksvriendelijke app ontwikkelen voor een hartpatiënt met een gemiddelde leeftijd van 72 jaar is niet zo simpel!

FocusCura heeft de HartWacht ontwikkeld aan de hand van de RITE (Rapid Iterative Testing and Evaluation) testmethode. Dit houdt onder andere in dat ze iedere twee weken het prototype testen met een geselecteerd panel, de resultaten onderzoeken en de gegevens implementeren. Door de snelle iteratierondes kunnen ze véél informatie verwerken in een korte tijd. Doordat

de mensen van FocusCura zelf de producten bij de mensen installeren, komen zij al bij de doelgroep thuis (afbeelding 3). Zo gaan ontwerpers regelmatig mee met monteurs om directe feedback van gebruikers te ontvangen. Dit heeft als positief effect dat ze hier direct uit leren, aldus Joris Janssen (Director of Product bij FocusCura).

Aan de start van het ontwerpproces waren de standaardperikelen van de doelgroep met de gemiddelde leeftijd van 72 jaar bekend. Kenmerken als verminderd zichtvermogen, vergeetachtigheid en een grovere motoriek zijn algemene kenmerken van de doelgroep. Toch bleek tijdens het testen dat er ook nog veel winst behaald kon worden in de eenvoud waarmee een taak wordt verricht. Op dit moment werkt het ontwikkelteam aan een optimale task flow, wat inhoudt dat er minder mogelijkheden op het startscherm te zien zijn. De hoeveelheid losstaande segmenten op een startscherm geeft vaak aan dat er iets mis is met de structuur, de flow van de taken in het product, aldus Johan Oosterbaan (UX/UI designer bij One Shoe). Door dit inzicht komen de tabbladen in het startscherm te vervallen. Momenteel zie je op het startscherm nog meerde tabbladen, die bij de opstart van de app niet worden gebruikt. FocusCura kiest er daarom voor om te testen of deze tabbladen weggelaten kunnen worden waardoor er nog maar één actiemogelijkheid overblijft. Dit zorgt er voor dat nieuwe gebruikers beter weten welke knoppen ze kunnen gebruiken. Dit waardevolle inzicht was alleen te ontdekken door de informatie uit de doelgroep, monteurs en sterke samenwerkingspartners.

Ik kan dus wel degelijk concluderen dat deze revolutionaire eHealth app de zorg op zijn kop zal zetten. Patiënten hoeven minder vaak voor controle naar het ziekenhuis nu ze eenvoudig zelf een aantal metingen thuis kunnen uitvoeren. En door de RITE-methode zal de app zich in rap tempo blijven verbeteren. Ik ben dan ook heel benieuwd hoe de interface, de flow van de app en de algemene gebruiksvriendelijkheid zich gaat ontwikkelen.



Afbeelding 1



Afbeelding 2



Afbeelding 3

Uit de vereniging

Beste lezers,

Het bestuur is de laatste tijd vooral druk geweest met het aanstaande congres. Op 24 en 25 november 2016 organiseert Human Factors NL in samenwerking met de Stichting Registratie ergonomen (SRe) een congres in het teken van de menselijke factor in de digitale wereld. De afgelopen maanden is door de congrescommissie gewerkt aan de voorbereidingen voor dit congres. Zo is er een mooie, centraal gelegen locatie gevonden: de Observant in Amersfoort. Ook is er een globaal programma opgesteld, zijn diverse sprekers benaderd en is er een mooi congreslogo ontworpen.

Een aankondiging van het congres en een oproep voor sprekers is geplaatst in de vorige editie van dit tijdschrift en op de website van Human Factors NL (<https://www.humanfactors.nl/congres>). Daarnaast hebben alle leden een persoonlijke mailing ontvangen en zijn berichten geplaatst op LinkedIn en Twitter. Om het congres financieel rond te krijgen is een sponsorpakket opgesteld en een lijst met potentiële sponsoren. Er zal de komende maanden nog veel werk verzet worden om er een onvergetelijk congres van te maken. We hopen veel leden te zien op 24 en/of 25 november! De congrescommissie bestaat uit Frank Krause, Marjolein Douwes, Sjoerd Reinstra, Ernst Koningsveld, Stefaan Visser, Reinier Hoftijzer (namens het bestuur van FEES), Margriet Formanoy en Erwin Speklé (de laatste twee namens het bestuur van HFNL).

Daarnaast zullen enkele prijzen uitgereikt worden, namelijk de HFNL-prijs voor excellent presteren op het brede gebied van Human Factors en Ergonomie, de Pieter Rookmaaker Prijs voor Mobiliteit en de HFNL Dissertatie-prijs. De prijsuitreikingen zijn tijdens ons congres op 25 november 2016. De uiterste inzendingdatum is 15 oktober 2016. Een deskundige jury beoordeelt de inzendingen. Wij nodigen u van harte uit een inzending te doen of een kandidaat voor te dragen.

Eind juni was er een goed bezochte bijeenkomst bij Arpa over De Human Factor in Lean en Learn, waarbij werd stilgestaan wat Lean is en hoe het zich verhoudt tot Human Factors/Ergonomie.



Tijdens de laatste Adviesraadvergadering eind juni is een gestructureerde brainstorm gehouden, die tot een groot aantal werkbare ideeën en acties ten behoeve van ledenwerving en ledenverbinding hebben geleid. Het aantal leden toont het laatste jaar gelukkig weer een bescheiden groei en we hopen daar middels diverse acties een verdere impuls aan te geven.

Wegens persoonlijke omstandigheden heeft Huub besloten om met ingang van het nieuwe jaar uit het bestuur terug te treden om zich meer op zijn werk, opleiding en familie te kunnen richten. Hij blijft nauw betrokken bij de vereniging en zal zich daarvoor op andere manieren blijven inzetten. Als bestuur zijn wij hem zeer dankbaar voor zijn aanstekelijke enthousiasme en het vele werk dat hij de afgelopen jaren in het bestuur en voor de vereniging heeft gedaan. De positie van vicevoorzitter zal tijdens de resterende bestuursperiode niet worden ingevuld.

Het bestuur van Human Factors NL,
Erwin Speklé
Huub Pennock
Hans Logtens
Reinier hoftijzer
Margriet Formanoy

Triumph Magic Wire bh

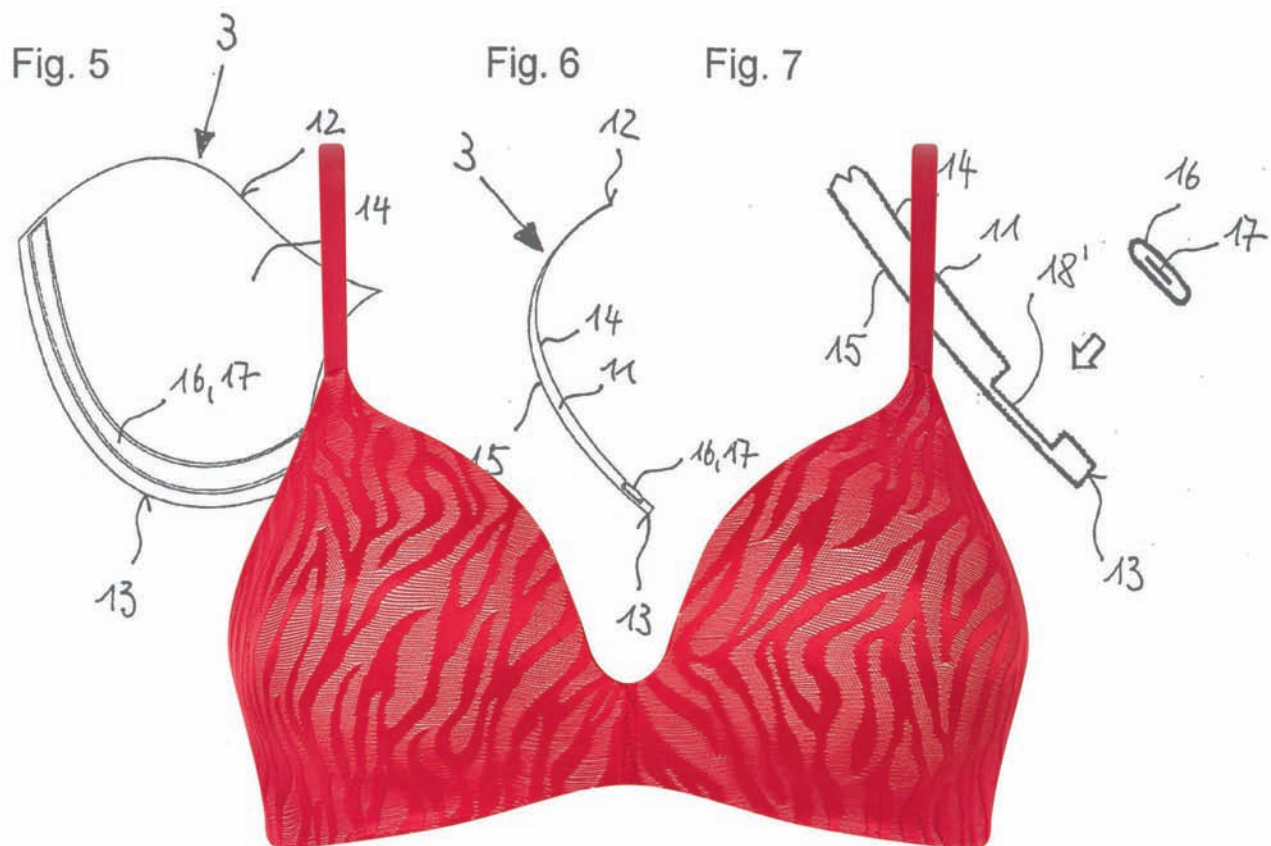
Publicatie: EP2241205A2, gepubliceerd op 20 oktober 2010, introductie: 2014

Wouter Kanneworff en Danielle Vossebeld

Al naar gelang je persoonlijke dimensies heb je als vrouw een grotere of kleinere bh nodig. Met name in de grotere maten heeft het kledingstuk ook meer te ondersteunen. Hoe groter de BH, hoe meer het als het ware een harnas wordt. Metalen beugels doen hun intrede en daar is niet elke vrouw even enthousiast over. Het metaal geeft niet mee en drukt op de tere huid, vooral waar de beugel aan de onderzijde van de cup zit. Wie mooi wil zijn moet pijn lijden, is een vaak gehoorde kreet. Techniek of draagcomfort worden snel weggewuifd. Alles voor de 'looks'.

Een Zwitserse fabrikant ontwikkelde een nieuw type bh. Hierin is geen metalen beugel, maar een beugel van redelijk stevig siliconenmateriaal verwerkt. Om het contact tussen de beugel en de huid te verkleinen is de bh gevoerd en komt de beugel gelijk met de voering te liggen. De beugel is daardoor eigenlijk niet meer terug

te voelen. Met die aanpassing is de bh wel wat robuuster geworden. Voor sommigen zal de bh wellicht vanwege zijn gesloten karakter iets te degelijk zijn, maar in de lingeriezaak waren er al enthousiaste opmerkingen te horen. 'Dit is de bh van de toekomst', zei iemand. En dat zou best eens kunnen. Bij de Red Dot ontwerprijns 2015 haalde de Magic Wire bh maar liefst de hoogste onderscheiding op het gebied van kledingstukken: 'Best of the Best'. De nieuwste ontwerpen zijn bovendien een stuk sexier dan de vorige versies, met rood of zwart satijn en wat opengewerkt kant. Nu nog de massa overtuigen? Een van mijn vriendinnen is inmiddels happy met deze opmerkelijke innovatie. Doet nu toch comforttechniek haar intrede in de acceptatie van lingerie? Steeds meer vrouwen studeren techniek, tijd om ook spannende technische vindingen in je dagelijkse kleding door te voeren.



De redactie stelt zich voor

Titel: Ing.
Naam: Ilza Keeman
Functie: Consumentenproductontwikkelaar
gespecialiseerd in gebruiksvriendelijkheid
Werkgever: Eigenaresse Clariss-ID, Tilburg
Internet: www.linkedin.com/in/ilzakeeman,
www.clariss-id.com
E-mail: ilza@clariss-id.com



Ilza Keeman timmert op dit moment aan de weg met haar eigen bedrijf Clariss-ID om zo veel mogelijk bedrijven te leren hoe zij hun meest gebruiksvriendelijke product of dienst ooit kunnen ontwerpen. Sinds maart 2016 levert zij artikelen aan voor de rubriek *Toegepast van het Tijdschrift voor Human Factors*.

Aan de Hogeschool Utrecht heb ik Werktuigbouwkunde gestudeerd, met een specialisatie richting consumentenproduct ontwikkelen. Tijdens mijn studie kwam ik er gaandeweg achter dat juist de relatie tussen het product of de dienst en de persoon mij het meeste interesseerde. Hoe denken mensen en waarom handelen ze zoals ze dat doen? Met een minor Toegepaste Psychologie, wat voor veel mensen een hoogst vreemde combinatie was, heb ik mijn zicht kunnen verbreden. In mijn ogen is het heel logisch dat producten ook aangepast worden op de psychologie van de persoon, in zijn geheel: de Human Factors.

Na afronding van mijn studie heb ik voor de Universitair Medisch Centra in Amsterdam en Utrecht uitgebreid onderzoek mogen doen naar de patiënten bedkast. Hier is een concept, De Tijdbesparende Handige Ergonomische Oplossing, ontwikkeld. De T.H.E.O. is tijdens de finale van de Ureka Mega Challenge (de wedstrijd voor medische

innovatieproducten) gepresenteerd. Een mooie tijd waarin ik met mijn team de wereld van de ziekenhuisbedkastjes aan het schudden heb gebracht.

Inmiddels werk ik alweer een paar jaar voor Maxi-Cosi op de Research en Design-afdeling. Daar werk ik aan een project om de consumentgerichte kwaliteit in het product te ontwikkelen in plaats van achteraf te testen of het werkt. Verder heb ik begin dit jaar Clariss-ID opgericht om mijn eigen kernwaarden, 'inspireer, maximaal, samen en avontuur', te kunnen naleven. Ik timmer momenteel hard aan de weg om binnen vijf jaar 10.000 bedrijven te kunnen coachen om hun meest gebruiksvriendelijke product ooit te kunnen maken. Hiervoor gebruik ik co-creatie, service-design en eigen technieken waarmee ik uiteindelijk mijn eigen geteste methode zal introduceren.

Mijn uitdaging is om multidisciplinaire ontwikkelteams beter samen te laten werken met een focus op consumentgerichte, gebruiksvriendelijke, passende oplossingen waardoor er minder energie, tijd, geld en materiaal verspild wordt tijdens en na het ontwerpproces. Met het streven dat de mensen die de producten gebruiken, daadwerkelijk hun probleem of verlangen oplossen met het gekochte of gehuurde product of dienst. Zo krijgen we allemaal een gelijke kans en heeft iedereen de mogelijkheid om zijn potentie volledig in te zetten.

Binnen de redactie van het *Tijdschrift voor Human Factors* draag ik in iedere editie binnen de rubriek *Toegepast* een product aan. Dit product heeft vanuit de Human Factors een geweldige bijdrage op het verkrijgen van gelijke kans en het inzetten van de volle potentie van alle stakeholders. Ben jij zo een fantastisch product aan het ontwikkelen, of is het net af en vind je het leuk om objectief gepubliceerd te worden in de rubriek 'Toegepast', neem dan gerust contact op!

