

Exoskeletten bij fysiek zwaar werk

Steun voor

Een technologie die tot de verbeelding spreekt is het exoskelet. Maar hoe effectief zijn exoskeletten die mensen met een fysiek zwaar beroep ondersteunen in hun werk? Wat staat brede toepassing ervan in de weg? En welke kanttekeningen moeten we maken bij de inzet van exoskeletten?

tekst Michiel de Looze, Aijse de Vries, Frank Krause



Foto Skelex

het lichaam

Van oorsprong is een exoskelet een uitwendige structuur van een dier die voor stevigheid zorgt, zoals bij een krab. De exoskeletten die we hier bespreken zijn uitwendige structuren die vooral uit stangen en scharnieren bestaan. Voorzien van banden of manchetten om ze aan het lichaam te bevestigen. Motoren of veersystemen die over de scharnieren werken, zorgen voor de ondersteuning. *Actieve exoskeletten* (wearable robots) werken met motoren en hebben sensoren. De sensoren registreren wat de motoren moeten 'weten' om de juiste kracht op het juiste tijdstip te leveren. *Passieve exoskeletten* hebben geen motoren, maar maken gebruik van verend materiaal. Eenmaal uitgerekt wil dat materiaal terug naar de beginpositie. Dit leidt tot krachten in het exoskelet die de gewenste ondersteuning geven, bijvoorbeeld bij een voorovergebogen werkhouding. Passieve exoskeletten zijn lichter en eenvoudiger toepasbaar. Ze kunnen zich echter niet aanpassen aan de omstandigheden, zoals het te tillen gewicht. Deze exoskeletten worden op bescheiden schaal toegepast. Actieve exoskeletten zijn adaptiever: de ondersteuning kan zich steeds aan de behoefte aanpassen. Daardoor zijn ze in potentie breder toepasbaar, maar ze staan nu nog verder af van de praktijk.

Zo'n tien jaar geleden kregen full-body exoskeletten veel aandacht. Het gaat dan om grote en zware exoskeletten die veel kracht leveren over veel gewrichten, maar niet bruikbaar zijn in de praktijk. De laatste tien jaar worden er exoskeletten ontwikkeld die een deel van het lichaam beslaan en in een specifieke regio ondersteuning geven. Hiervan zijn de rug- en arm-ondersteunende exoskeletten het meest relevant, gezien de rug- en schouderproblematiek bij fysiek zwaar werk.

De theorie: effectiviteit

Exoskeletten leveren een deel van de kracht die nodig is om een taak uit te voeren. Zo hoeft de gebruiker zelf minder spierkracht te leveren. Minder spierkracht betekent minder belasting op gewrichten en pezen. Minder spieractiviteit betekent ook dat men minder snel vermoeid raakt. Dit is de theorie achter exoskeletten, die in hoofdlijnen door wetenschappelijk onderzoek wordt ondersteund.^{1,2}

Bij Laevo, een passief rug-exoskelet, zien we effecten op de rugspieractiviteit (tot circa 40 procent reductie) en een verhoging van de volhoudtijd bij statisch voorovergebogen werk.³ Bij dynamisch tillen zien we ook positieve effecten, maar wel

Test stukadoors door TNO en KNAUF

Het beroep van stukadoor is zwaar. Van de stukadoors ervaart 55 procent regelmatig pijn en stijfheid in de bovenste ledematen.⁷ Bij een rondgang op enkele bouwplaatsen bleken stukadoors redelijk enthousiast over een arm-ondersteunend exoskelet (Skelex). Daarna hebben TNO en KNAUF besloten om een experiment uit te voeren in het opleidingscentrum voor stukadoors van NOA (zie figuur 1).

Elf stukadoors hebben een muur en een plafond gestukt, met en zonder exoskelet. De taken die zij uitvoerden waren gips aanbrengen, afreien (uitstrijken met een lat) en messen (afwerking met een mes). Gedurende elke taak (range: 2-5 minuten) hebben we de spieractiviteit rond de schouder gemeten. Na elke taak hebben we de stukadoors gevraagd naar hun ervaren inspanning.

Wat betreft spieractiviteit bleek na statistische toetsing van de pieken in het signaal (p90) en een waarde die in de buurt komt van het gemiddelde (p50) het volgende (zie ook figuur 2). De spieren die helpen om de armen omhoog te brengen (AD, MD en Trap) laten voor de meeste activiteiten een vermindering zien van spieractiviteit bij het gebruik van een exoskelet (zowel p50 als p90). Zo zagen we voor de Deltoides Anterior (AD) een reductie van 33 procent van de piekwaarden (p90) bij het messen van het plafond. Voor de andere spieren zijn de effecten minder groot, maar voor geen van de spieren vonden we negatieve effecten.

Daarnaast bleek dat de stukadoors bij alle taken, behalve bij het aanbrengen van het gips op de muur, ervaarden dat zij minder inspanning hoefden te leveren wanneer ze het exoskelet aan hadden. De positieve effecten bij het stuken van het plafond waren over het algemeen sterker dan bij het stuken van de muur. Dit ging op voor zowel de subjectief ervaren inspanning als voor de objectief gemeten spieractiviteit. Voor tien van de elf deelnemers wogen de voordelen van het exoskelet zwaarder dan de nadelen. Zij gaven dan ook aan bereid te zijn het exoskelet te dragen tijdens het werk.



In de praktijk voeren werkenden meestal een scala aan bewegingen uit waarvan 'slechts' een deel wordt ondersteund door een exoskelet

beduidend minder.⁴ Verschillende passieve arm-exoskeletten zijn getest bij statische armhoudingen of bij quasi statisch werk met geheven armen, zoals schroeven of boren. Voor Skelex vonden we zelfs reducties van spieractiviteit tot 50 procent, afhankelijk van de mate van armheffing.⁵ Objectief gemeten effecten van rug- en arm-exoskeletten gaan vaak samen met positieve ervaringen (subjectief) van de gebruiker. Ook blijkt uit rapportages dat enkele spieren door het exoskelet juist iets actiever kunnen worden, om het evenwicht te bewaren of om verend materiaal weer op spanning te brengen.

Samenvattend kunnen we stellen dat rug- en arm-exoskeletten in hoofdlijnen doen waar ze voor bedoeld zijn: ze geven de beoogde ondersteuning. Belangrijk om te vermelden is dat deze conclusie gebaseerd is op onderzoek bij specifieke, geïsoleerde lichaamshoudingen, bewegingen en taken.

De praktijk: effectiviteit en acceptatie

De praktijk is anders, dynamischer vooral. Werkenden voeren meestal een scala aan bewegingen uit, waarvan 'slechts' een deel wordt ondersteund door een exoskelet. Bij andere bewegingen ondersteunt het exoskelet niet of werkt het zelfs tegen of zit in de weg. Wat blijft er dan over aan effectiviteit? Over dergelijk onderzoek wordt nauwelijks gerapporteerd. Zelf hebben we recent onderzoek gedaan naar de effectiviteit van een arm-ondersteunend exoskelet bij stukadoors (zie de casusbeschrijving in het kader op p. 17).

Een andere vraag is of werkenden een exoskelet echt gebruiken. Een exoskelet dragen we op het lichaam. Iets op het lichaam dragen doen we liever niet, tenzij de voordelen direct voelbaar opwegen tegen de nadelen. Voordelen zijn de eerdergenoemde fysieke steun, de verlaagde werkbelasting en de verminderde vermoeidheid bij een deel van de activiteiten. Als mogelijke nadelen noemen we tegenwerken of verstoren

van andere activiteiten, beperking van bewegingsvrijheid, aan- en uittrekken, opbouw van warmte en onaangename contactdruk. Ten slotte mag de productiviteit niet lijden onder het gebruik van een exoskelet.

Inzicht in effectiviteit en kans op acceptatie in de praktijk vraagt om monitoringsstudies. Daarbij zouden we het gebruik van een exoskelet, de lichamelijke belasting, de individuele ervaringen en de productiviteit over langere tijd willen volgen.

Gezondheid

Leiden exoskeletten ook tot minder rug- en/of schouderklachten? Deze verwachting bestaat al snel, niet in de laatste plaats door claims van fabrikanten. De effecten op de gezondheid of meer algemeen de langetermijneffecten zijn nog onbekend. Hier zicht op krijgen kan maar op één manier: via grootschalig onderzoek (RCT). Daarbij werken 100-200 werknemers 1 à 2 jaar lang met een exoskelet en wordt de ontwikkeling van klachten in deze groep vergeleken met die van een controlegroep. Het moge duidelijk zijn dat dit soort onderzoek kostbaar is. Overigens lijkt ons ondersteuning van mensen in zware beroepen en beperking van vermoeidheid al waardevol op zich, ook bij onduidelijkheid over gezondheidswinst op de lange termijn.

Kanttekeningen

Exoskeletten zijn niet onomstreden.⁶ Een aantal zaken willen we hier noemen.

1. Bronaanpak moet het streven blijven bij het verlagen van belasting en het beperken van risico's. Het gebruik van exoskeletten is geen bronaanpak. In de praktijk zien we slechte voorbeelden van de inzet van exoskeletten. Die zijn aangeschaft onder het mom van 'we doen aan ergonomie', terwijl het ontwerp van taken en werkplekken bedroevend is. Exoskeletten worden relevant wanneer andere mogelijkheden om de belasting te verlagen niet tot resultaat leiden.



Figuur 1: Stukadoors aan het werk met een arm-ondersteunend exoskelet (Skelex) tijdens het experiment door TNO en Knauf.

Taak	Trap		MD		AD		BB		TB		PM	
	p50	p90	p50	p90	p50	p90	p50	p90	p50	p90	p50	p90
muur aanbrengen	✓	✓	✓	✓	✓		✓					
muur afreien	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓			
muur messen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
plafond aanbrengen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
plafond afreien	✓	✓	✓	✓			✓		✓			✓
plafond messen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓

Figuur 2: Een vinkje geeft aan dat we hebben aangetoond dat de spieractiviteit voor die taak en voor deze spier is afgenomen.
 Spieren: Anterior Deltoid (AD), Medial Deltoid (MD), Biceps Brachii (BB), Triceps Brachii (TB), Pectoralis Major (PectM), Trapezius (Trap).

- Zitten er risico's aan het gebruik? Natuurlijk moet een exoskelet veilig zijn, maar de meeste exoskeletten zijn ook hard en steken uit. Dat kan een risico opleveren bij vallen of voor de omgeving. Ook rijzen er vragen rondom de impact op de gezondheid, zoals: leidt het gebruik tot spierafname? Omdat exoskeletten slechts een deel van de activiteit van spieren overnemen (enkele tientallen procenten) zijn we daar niet zo bang voor. Dan zijn er de onbedoelde bijeffecten, zoals licht verhoogde spieractiviteit om de balans te bewaren, druk op bovenbenen of eventuele verandering van houding. Of deze effecten op lange termijn tot gezondheidsproblemen leiden, is onbekend.
- Minder moe worden door de ondersteuning van een exoskelet kan leiden tot sneller werken of langer werken. Eventuele positieve gezondheidseffecten kunnen zo om zeep worden geholpen. Dat is de 'ergonomische valkuil' waar we ook in dit geval voor moeten waken.
- Exoskeletten zijn 'hot'. Geïnteresseerde bedrijven gaan (soms wat snel) tot aanschaf over zonder zich goed af te vragen of een exoskelet voor hen werkt. Daarom is het belangrijk dat bedrijven eerst een goede analyse (laten) maken van de situatie en de mate waarin een exoskelet daarin kan helpen. ◀◀

Noten

- [1] Looze MP de, Bosch T, Krause F, Stadler K, O'Sullivan L (2016) Industrial applications of exoskeletons and their impact on physical loads. *Ergonomics* 59, 671-681
- [2] McFarland T, Fischer S (2019) Considerations for Industrial Use: A Systematic Review of the Impact of Active and Passive Upper Limb Exoskeletons on Physical Exposures, *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors* 7, 322-347, DOI: 10.1080/24725838.2019.1684399
- [3] 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
- [4] Koopman AS, Kingma I, Looze MP de (2019) Effects of a passive back exoskeleton on the mechanical loading of the low-back during symmetric lifting, *J Biomechanics*, <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109486>
- [5] De Vries A, Murphy M, Könemann R, Kingma I, Looze MP de, (2019) The amount of support provided by a passive arm support exoskeleton in a range of elevated arm postures. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors* 7, 311-321, <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1669736>
- [6] European Agency of Occupational Health and Safety (2019), <https://osha.europa.eu/en/publications/impact-using-exoskeletons-occupational-safety-and-health/view>
- [7] Bedrijfstakatlas, Vlandis, editie 2015

Michiel de Looze, Aijse de Vries en Frank Krause zijn allen werkzaam bij TNO.