

VU Research Portal

Biomechanical evaluation of exoskeletons for the prevention of Low-Back Pain

Koopman, A.S.

2020

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Koopman, A. S. (2020). *Biomechanical evaluation of exoskeletons for the prevention of Low-Back Pain*.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Samenvatting

Biomechanische evaluatie van exoskeletten voor de preventie van lage rugklachten

Tillen is een belangrijke activiteit voor veel mensen, of dat nu is voor bijvoorbeeld het tillen van een kind, een krat bier of dozen in een magazijn. Het is de vraag hoe veilig deze activiteiten zijn voor de rug. In de literatuur bestaat er consensus over een sterke evidentie voor de relatie tussen veelvuldig tillen en het ontwikkelen van lage rugklachten. Het lijkt dan ook waarschijnlijk dat tillen kan leiden tot overbelasting van de wervelkolom. Dit proefschrift richt zich op de ontwikkeling en evaluatie van exoskeletten die als doel hebben rugbelasting te verlagen. Het onderzoek waarop dit proefschrift berust, vond plaats binnen het Europese SPEXOR-project.

Om een exoskelet adequaat aan te sturen, moet de belasting op de lage rug worden gemeten. In de eerste twee Hoofdstukken werd daarom de accuraatheid van een ambulant systeem om de belasting op de lage rug te meten, onderzocht. In **Hoofdstuk 2** werd een ambulant meetsysteem, bestaande uit krachtschoenen en inertieële sensoren, gebruikt om handkrachten tijdens het tillen te schatten. De fouten in de schattingen waren laag (10-15 N RMSD), waarbij ongeveer 30% van de fout was toe te schrijven aan het gebruik van het ambulante meetsysteem. In **Hoofdstuk 3** werden de geschatte handkrachten gebruikt in de berekening van het L5-S1 flexie/extensie moment volgens een 'top-down' benadering tijdens symmetrisch tillen. In deze studie werd de grondreactiekracht niet gemeten met ambulante krachtschoenen, maar met behulp van krachtenplatformen die vaak in een laboratoriumopstelling worden gebruikt. Daarnaast werd in deze studie ook onderzocht wat het minimale aantal inertieële sensoren is, dat nodig is voor een accurate schatting van het L5-S1 flexie/extensie moment. Tenslotte werd onderzocht wat de invloed was van het negeren van de horizontale component van de grondreactiekracht. Dit alles was nodig om de praktische bruikbaarheid

van het ambulante meetsysteem te optimaliseren door de benodigde hoeveelheid sensoren te minimaliseren. De resultaten lieten zien dat met slechts zes sensoren (bekken, romp, bovenarmen en onderarmen) en met alleen de verticale component van de grondreactiekracht, de fout in de schatting van het L5-S1 flexie/extensie moment onder de 18 Nm bleef. De L5-S1 moment schattingen zouden verder verbeterd kunnen worden door de schoudertranslatie beter te meten. Het feit dat de horizontale component van de grondreactiekracht weggelaten kon worden, maakt het mogelijk om in de toekomst gebruik te maken van sensoren in schoeisel in plaats van de dure en zware krachtschoenen die in **Hoofdstuk 2** werden gebruikt. Deze sensoren zijn namelijk niet in staat om accuraat de horizontale component van de grondreactiekracht te meten.

In de **Hoofdstukken 4-7**, werd gefocust op passieve exoskeletten die zijn ontwikkeld om de rugbelasting te verminderen en zo het risico op lage rugklachten te verkleinen. In **Hoofdstuk 4** werd het effect op de rugbelasting onderzocht bij gebruik van een commercieel beschikbaar exoskelet bij statisch vooroverbuigen op vijf verschillende handhoogtes. Twee versies (LOW-HIGH) van hetzelfde exoskelet, verschillend in de moment-hoek relatie, werden getest. L5-S1 momenten gegenereerd door de proefpersoon werden substantieel verlaagd (15-20% voor de meest effectieve versie) bij alle handhoogtes. Significante reducties (11-57%) in rugspieractiviteit werden gevonden in de conditie met het exoskelet vergeleken met de conditie zonder exoskelet. Echter, EMG-reducties varieerden sterk tussen proefpersonen en waren niet voor alle hoogtes significant. Met het exoskelet was er een kleine toename van lumbale buiging, wat ertoe leidde dat een aantal proefpersonen het flexie-relaxatie fenomeen lieten zien, het fenomeen dat de rugspieren bij maximale flexie niet meer actief zijn omdat passieve structuren de benodigde momenten leveren. Dit voorkwam verdere afname in rugspieractiviteit en leidde zelfs tot een toename in buikspieractiviteit bij de lage handhoogtes. In **Hoofdstuk 5** werd hetzelfde exoskelet gebruikt als in **Hoofdstuk 4** maar nu tijdens het tillen van een gewicht van 10 kg van enkel- en kniehoogte van twee verschillende horizontale afstanden. In dit experiment werden ook de compressiekrachten op het L5-S1 gewricht berekend. De piek van de L5-S1 compressiekracht was verlaagd met ongeveer 5-10% bij het tillen van lasten die verder van het lichaam af lagen vanaf enkel- en kniehoogte. Met het exoskelet pasten proefpersonen hun tiltechniek aan. Dit resulteerde in een 17% lagere piek van de romp hoeksnelheid en 5° toename in lumbale flexie, voornamelijk bij tillen van enkel hoogte. In **Hoofdstuk 6** wordt een nieuw

passief rompexoskelet, ontwikkeld binnen het SPEXOR-project, beschreven. Het exoskelet bevat een aantal nieuwe elementen zoals buigbare carbonstaven langs de rug, glijders en mechanismen om fouten in de uitlijning met gewrichten in het lichaam te compenseren. Deze elementen zijn bedoeld om de bruikbaarheid van het exoskelet te verbeteren. Zowel de biomechanische als de functionele aspecten van het exoskelet werden onderzocht. Vergeleken met exoskeletten met een rigide rompstructuur, zorgde het huidige exoskelet met de buigbare staven voor een toename van 25% in de bewegingsvrijheid van de romp in het sagittale vlak. Vragenlijsten lieten zien dat proefpersonen het exoskelet als minder hinderend ervaarden in bijna alle functionele taken in vergelijking met het exoskelet dat getest werd in de **Hoofdstukken 4 & 5**. In **Hoofdstuk 7** werd het nieuwe rompexoskelet, net als het exoskelet beschreven in **Hoofdstukken 4 & 5**, biomechanisch getest tijdens statisch buigen en tillen met verschillende tiltechnieken. Tijdens statisch buigen namen de compressiekrachten af met 13-21% bij gebruik van het exoskelet, afhankelijk van de handhoogte. Een ander positief effect als gevolg van het gebruik van het exoskelet was de afname in lumbale piek flexie. Tijdens het tillen werd een gemiddelde afname van 14% in piek compressiekrachten gevonden. De tiltechniek had geen invloed op de mate van ondersteuning van het exoskelet zodat de afname in compressiekrachten vergelijkbaar was tussen de verschillende technieken.

In **Hoofdstukken 8 & 9** werd de focus verlegd naar het gebruik van actieve rompexoskeletten om de rugbelasting te verminderen. **Hoofdstuk 8** richtte zich op de vraag hoe een actief exoskelet dient te worden aangestuurd. Een analyse van de biomechanica van het tillen leidde tot twee sleutelfactoren die grotendeels de rugbelasting bepalen: de flexie van de romp en de eventueel getilde massa. Voor beide factoren werd een sturingsstrategie voor het exoskelet ontworpen. De eerste sturingsstrategie was gebaseerd op de houding, waarbij het door het exoskelet geleverde moment werd aangepast op basis van de inclinatie van de romp. De inclinatie van de romp is direct gerelateerd aan het moment op de rug als gevolg van de zwaartekracht die op de romp werkt. De tweede sturingsstrategie was gebaseerd op de handkrachten die nodig zijn om een last te tillen. Dit werd gedetecteerd middels EMG van de onderarmspiieren. Een derde sturingsstrategie bestaande uit een combinatie van de vorige twee sturingsstrategieën werd ook onderzocht. De resultaten lieten zien dat de sturingsstrategieën werkten zoals bedoeld. Met andere woorden, het geleverde moment werd aangepast op basis van de inclinatie van de romp en op basis van de EMG-activiteit van de onderarmen.

Daarnaast liet het experiment een afname zien in rugspieractiviteit van ongeveer 30% door het gebruik van het exoskelet, onafhankelijk van de gebruikte sturingsstrategie. In **Hoofdstuk 9** werd een meer uitgebreide analyse op de data van het experiment uit **Hoofdstuk 8** uitgevoerd. Tijdreeksen van de L5-S1 compressiekrachten werden geanalyseerd om te onderzoeken welke van de sturingsstrategieën het meest effectief was in het verminderen van de rugbelasting en of dit afhankelijk was van de gebruikte tiltechniek. Piek compressiekrachten waren substantieel verlaagd als gevolg van het exoskelet. Echter, deze afname was voor ongeveer $\frac{1}{3}$ toe te schrijven aan een afname van 25% in tilsnelheid. Hoewel subtiele verschillen in de tijdreeksen van de compressiekrachten tussen de drie verschillende sturingsstrategieën gevonden werden, was er geen verschil in de piek compressiekrachten tussen deze strategieën. Voor een deel kwam dit door een beperking in de motoren die het moment van het exoskelet leveren. Hierdoor was het niet mogelijk om vast te stellen welke van de drie sturingsstrategieën het meest effectief was. Ondanks deze limitaties verlaagde het exoskelet zowel de piek en cumulatieve compressiekracht met ongeveer 18%.

Samenvattend, het eerste doel van dit proefschrift was het ontwikkelen van een meetsysteem dat geschikt is om accuraat, in real time en ambulant het L5-S1 moment te meten. De conclusie was dat de krachtzolen verder ontwikkeld moeten worden om het meetsysteem in de toekomst geschikt te maken voor gebruik met een exoskelet. Het hoofddoel van dit proefschrift was om een biomechanische evaluatie uit te voeren van verschillende passieve en actieve rompexoskeletten. De **Hoofdstukken 4-9** van dit proefschrift laten veelbelovende resultaten zien met betrekking tot het verlagen van de rugeblasting door het gebruik van exoskeletten tijdens statisch buigen en tillen. Echter, substantiële aanpassingen van de huidige exoskeletten zijn nodig om de bruikbaarheid en gebruiksvriendelijkheid te verbeteren. Zo zouden bijvoorbeeld het gewicht en de afmeting (vooral van de exoskeletten die in **Hoofdstukken 6-9** zijn getest) geoptimaliseerd moeten worden, en zouden de exoskeletten meer ondersteuning moeten bieden. Daarnaast laat dit proefschrift het belang zien van een uitgebreide biomechanische analyse. Evaluaties van exoskeletten die alleen gebaseerd zijn op spieractiviteit kunnen leiden tot verkeerde interpretaties. Het passieve SPEXOR-exoskelet verhielp sommige van de problemen met bestaande exoskeletten met slimme innovaties. Echter, verdere verbeteringen zijn nodig om exoskeletten geaccepteerd te krijgen in het werkveld.