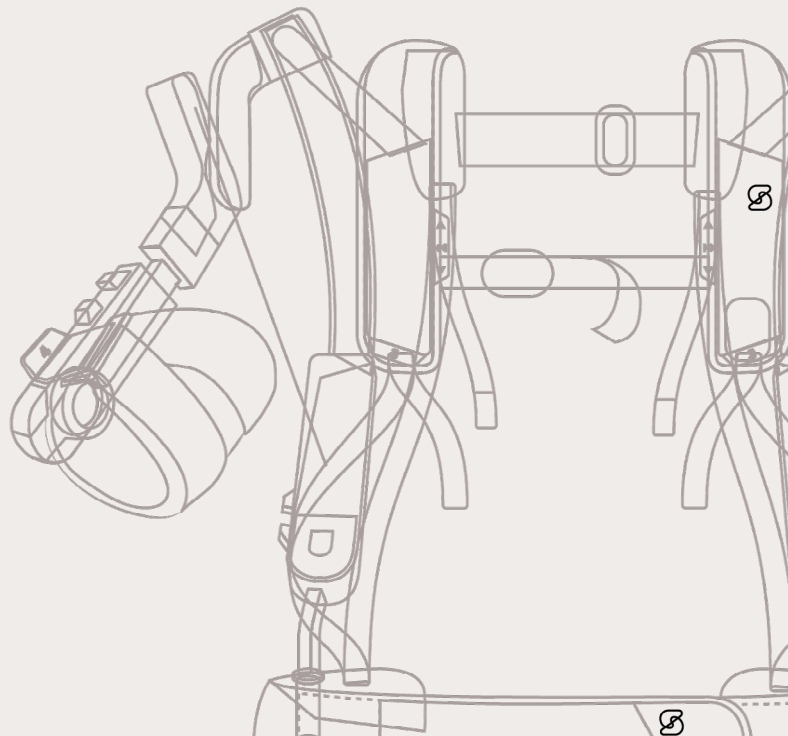


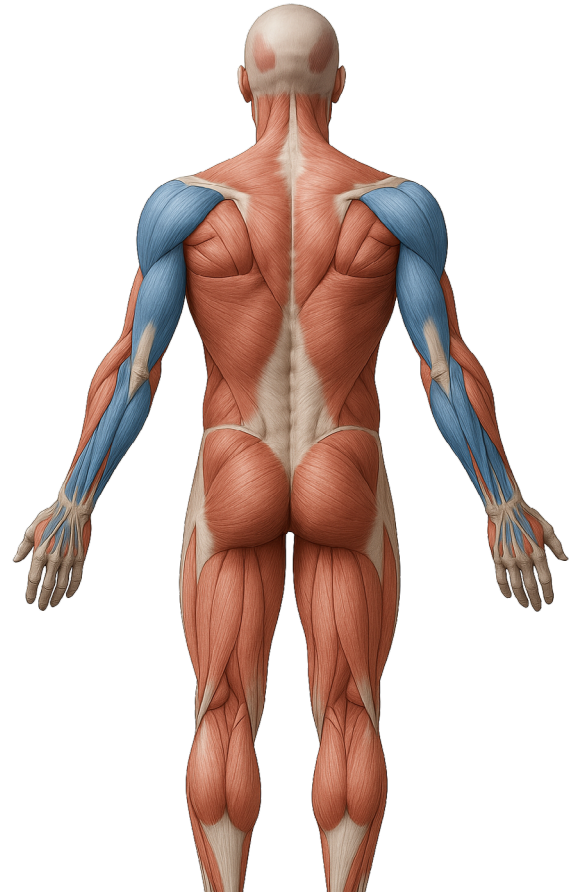
Skelex **360**

Wetenschap op je schouders



Bewezen vermindering van belasting en vermoeidheid bij verschillende taken

Honderden studies hebben aangetoond hoe exoskeletten belasting en vermoeidheid verminderen, maar de hoeveelheid onderzoek maakt het voor niet-experts lastig om te zien wat echt relevant is. Dit document bundelt het bewijs op een duidelijke en praktische manier, met de focus op kerntaken zoals **lassen, afdichten, bovenhandse montage, tillen, stukadoren en plafondconstructie**. Ook worden belangrijke indicatoren zoals vermoeidheid en precisie belicht. Over alle toepassingen heen wijzen de bevindingen naar de Skelex 360 als een betrouwbare oplossing, gevalideerd in zowel laboratoriumonderzoek als echte werkomgevingen.



Voordelen

Skelex 360 maakt bovenhands werk duurzamer.
Uit onderzoek blijkt dat het:



Vermindert de spieractiviteit in
de schouders met 30% tot 50%



Vermindert het gevoel van
zwaarte en vermoeidheid



Belemmert de nauwkeurigheid
of fijne motoriek niet



Houdt de hartbelasting
lager bij repetitieve taken



Hartbelasting

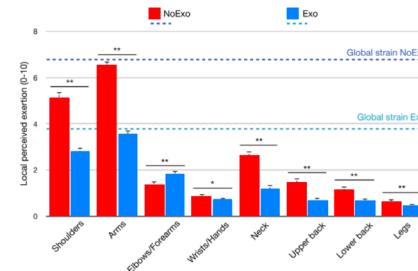
Een studie van de École Centrale de Nantes (FR) bewijst dat de Skelex 360 vermoeidheid vermindert op basis van meting van hartbelasting [1]

In deze studie werd de invloed van de Skelex 360 op hartbelasting onderzocht bij repetitieve (R) en precieze (P) taken. In totaal namen 36 gezonde deelnemers deel aan het onderzoek, 18 mannen en 18 vrouwen. Taak R bestond uit het gebruik van een 6 kg elektrisch gereedschap om moeren vast te zetten met de armen geheven op ooghoogte. Taak P bestond uit het tekenen van lijnen die op een muur werden geprojecteerd met een interactieve pen, zoals weergegeven in figuur 1a.

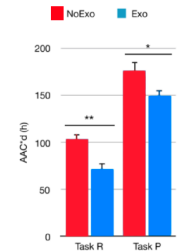
Voor beide taken werd een significante vermindering van de hartbelasting waargenomen tijdens het dragen van een exoskelet, ondanks het extra gewicht en de fysieke beperkingen. Dit werd bevestigd door subjectieve vragenlijsten die de ervaren inspanning, zowel globaal als lokaal, evalueerden en een statistisch significante vermindering aantoonde – vooral voor schouders, armen en nek, zoals weergegeven in figuur 1b. De vermindering van de hartbelasting bij het dragen van de Skelex 360 wijst op minder vermoeidheid tijdens het uitvoeren van taken. In combinatie met eerdere EMG-studies toont dit overtuigend aan dat het gebruik van de Skelex 360 bij bepaalde werkzaamheden ervoor zorgt dat gebruikers zich minder vermoeid voelen.



Figuur 1a. Een deelnemer die de preciezetaak P uitvoert zonder exoskelet (a) en met het exoskelet (b).



Figuur 1b. Globale en lokale ervaren inspanning voor specifieke lichaamsdelen zonder (NoExo) en met exoskelet (Exo) voor alle taken; de stippellijnen geven de gemiddelde globale belasting aan.



Figuur 1c. Evaluatie van ACCd (h) voor taak R en taak P met (Exo) en zonder (NoExo) exoskelet.

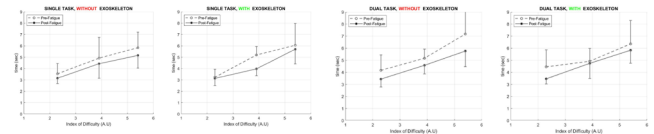
Nauwkeurigheid

De invloed van de Skelex 360 op fijne motoriek tijdens het uitvoeren van precisietaken werd onderzocht in deze studie [2], die concludeert dat het gebruik van de Skelex 360 werknemers in staat stelt precisie te behouden terwijl de spieractiviteit vermindert, zelfs onder vermoeidheid.

De studie van onder meer de Universiteit van Hamburg en het Institut Universitaire de France [2] onderzocht de invloed van de Skelex 360 bij aanwezigheid of afwezigheid van spiervermoeidheid, tijdens het uitvoeren van enkelvoudige (ST) en dubbele (DT) industriële taken bestaande uit snelheids- en nauwkeurigheidsoefeningen. In beide scenario's namen N = 10 deelnemers (5 mannen / 5 vrouwen) deel aan een bovenhandse precisietaak waarbij met een nagelpistool specifieke zones op drie verschillende grote vlakken moesten worden geraakt, gebaseerd op het Fitts' law paradigma (snelheid-nauwkeurigheid afwegingstaak), met en zonder Skelex 360 (Figuur 2a). Een aanzienlijke vermindering van spieractiviteit werd waargenomen in de M. deltoideus: ST – 26% vóór vermoeidheid, 32% na vermoeidheid; DT – 53% vóór vermoeidheid, 40% na vermoeidheid; dit komt overeen met EMG-resultaten uit ander onderzoek met de Skelex 360, zoals weergegeven in Figuur 2b. Belangrijkste conclusies waren: i) gezonde jonge deelnemers kunnen zich gemakkelijk aanpassen aan het gebruik van de Skelex 360 om een snelle en nauwkeurige taak uit te voeren, en ii) het dragen van de Skelex 360 verandert het vermogen om de balans tussen snelheid en nauwkeurigheid te behouden niet.



Figuur 2a. (van links naar rechts) Gebruik van het nagelpistool zonder exoskelet. Gebruik van het nagelpistool met exoskelet, vermoeidheidsprotocol.



Figuur 2b. De wet van Fitts bleef behouden onder alle omstandigheden (exo/geen exo, vermoeid/niet vermoeid, ST/DT). De helling bleef onveranderd, wat erop wijst dat deelnemers hun motorische strategieën aanpassen om controle te behouden. Tijdens het dragen van een exoskelet konden gebruikers nog steeds nauwkeurige, getimede bewegingen betrouwbaar uitvoeren.

Afdichten

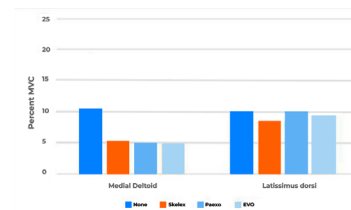
De productie in de luchtvaartindustrie omvat meerdere taken waarbij de armen omhoog worden gebracht; onderzoek van de Wichita State University (VS) [3] toont aan dat de Skelex 360 een van de beste oplossingen is om vakmensen te ondersteunen bij het uitvoeren van dit soort taken

In de vliegtuigproductie omvat een bewerking genaamd afdichten het verzegelen van rompverbindingen met een afdichtmiddel en afstrijkgereedschap, waarbij de armen van de werknemer zich bewegen van onder ellebooghoogte tot boven het hoofd (Figuur 3a). Aan deze studie namen 16 ervaren luchtvaartmedewerkers deel (8 mannen, 8 vrouwen).

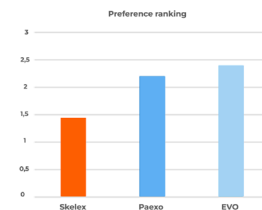
Onderzoek naar passieve exoskeletonten voor de bovenarm tijdens afdichtingswerkzaamheden in de luchtvaart toonde een aanzienlijke vermindering (30–40%) van de trapeziusspieractiviteit aan (Figuur 3b). De studie benadrukte dat de Skelex 360 het meest comfortabele apparaat was van de geteste modellen, met een duidelijke verbetering van zowel het werkcomfort als de precisie bij bovenhandse afdichtingstaken (Figuur 3c).



Figuur 3a. Horizontale afdichtingstaken en starthoudingen (van links naar rechts) a) staand afdichten langs de bovenste stringer b) staand afdichten langs de onderste stringer c) zittend afdichten langs de bovenste stringer d) zittend afdichten langs de onderste stringer.



Figuur 3b. Gemiddeld percentage MVC voor de spieren aan de voorkeurszijde die significant werden beïnvloed door exoskeletonten tijdens staande horizontale afdichting.



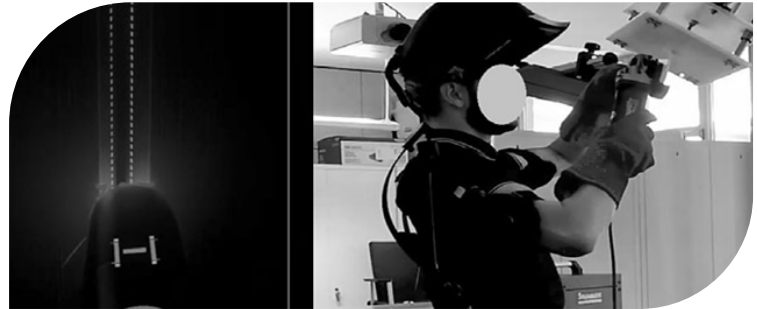
Figuur 3c. Gemiddelde voorkeursrangschikking van exoskeletonten voor gebruik tijdens afdichtingstaken (1=meest geprefereerd tot 3=minst geprefereerd).

Lassen

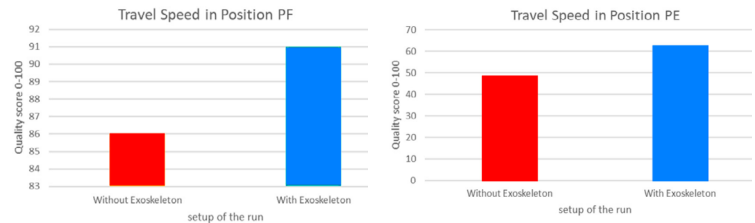
Onderzoek uitgevoerd door Fraunhofer IPA (DE) [4] toonde verbeteringen in lasprestaties met de Skelex 360

Lassen is een veelvoorkomend productieproces waarbij wereldwijd meer dan 1 miljoen lassers actief zijn in scheepsbouw, infrastructuur en andere industrieën. Een studie, uitgevoerd door Fraunhofer IPA met 15 deelnemers met laservaring, omvatte een workflow van 1 uur waarin las- en slijptaken werden gesimuleerd met een lassimulator, met de focus op de PF-positie (verticaal lassen voor het lichaam) en de PE-positie (bovenhands lassen) (Figuur 4a).

De lassimulator beoordeelde de “reissnelheid” — een sleutelfactor voor de las kwaliteit — op een schaal van 0 tot 100. De PF-positie (verticaal lassen voor het lichaam) liet een verbetering van +5,8% zien bij gebruik van de Skelex 360. Voor de PE-positie (bovenhands lassen) bedroeg de verbetering +28,8% (Figuur 4b). De score van de lassnelheid, die essentieel is voor de toelaatbaarheid van de lasnaad, vertoonde een statistisch significante toename bij gebruik van de Skelex 360.



Figuur 4a (links) Eerste-persoonsperspectief van de deelnemer in positie PF tijdens de lasvolgorde; (rechts) Voorbeeldillustratie van de positie PE tijdens de slijpvolgorde



Figuur 4b. Resultaten van de statistische analyse van de parameter reissnelheid voor de gehele populatie

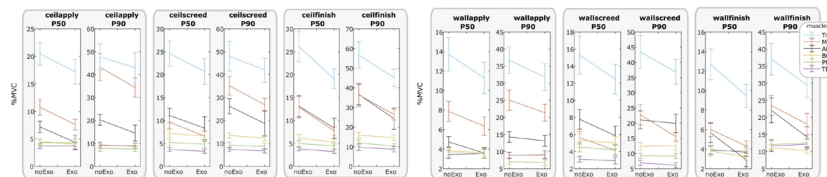
Stukadoren

Een vermindering van de schouderpijnsactiviteit werd waargenomen in een toepassingsstudie van TNO (NL) [5] tijdens stukadoorstaken met gebruik van de Skelex 360

Plafondstukadoren omvat lange reeksen complexe bovenhandse bewegingen met zware stukadoorsgereedschappen, wat snel leidt tot vermoeidheid in schouders, armen en bovenrug. In deze studie voerden 11 ervaren stukadoors typische stukadoorstaken uit, zoals het aanbrengen van pleister op muren en plafonds en het afwerken daarvan in een speciale onderzoeksofstelling (Figuur 5a). De spieractiviteit met en zonder Skelex 360 werd gemeten met EMG-sensoren. Significante verminderingen in spieractiviteit werden vastgesteld in bepaalde schouderpijnspijnen bij gebruik van het exoskelet, terwijl geen enkele onderzochte spier een significante toename in activiteit vertoonde in een van de taken (Figuur 5b). Deze unieke studie bevestigt opnieuw de effectiviteit van de Skelex 360 voor zware bovenhandse taken aan de hand van objectieve metingen in een realistische werkomgeving.



Figuur 5a. Overzicht van de opstelling en de werkzaamheden aan het plafond. Afreien (links) en afwerken met een pleisterspaan (rechts).



Figuur 5b. Spieractivatie in Exo- en NoExo-condities voor verschillende stukadoorstaken. Elk paneel vertegenwoordigt één stukadoorstuk, de bovenste rij toont werk aan de muur, de onderste rij toont werk aan het plafond.

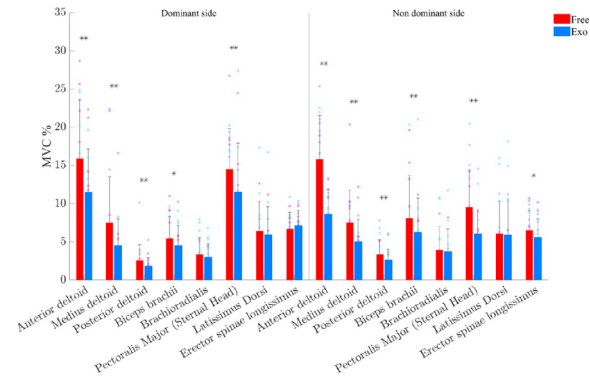
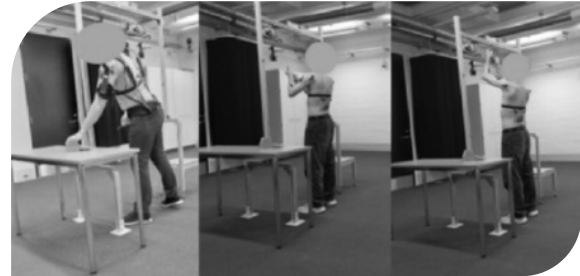
Bovenhandse montage

Een studie van de Aalborg University (DK) [6] toonde aan dat de Skelex 360 de spieractiviteit vermindert in zowel de dominante als niet-dominante arm tijdens bovenhandse montage taken

Bovenhandse montage vereist dat één arm vasthoudt of stabiliseert terwijl de andere de hoofdhandeling uitvoert, wat snel leidt tot vermoeidheid in beide armen. De ondersteunende, niet-dominante arm ervaart vaak de hoogste belasting. In deze studie werd het effect van de Skelex 360 op spieractiviteit experimenteel onderzocht tijdens een bovenhandse montage taak.

Achttien gezonde mannen namen deel aan het onderzoek. De taak bestond uit het oppakken van een schroef met de niet-dominante hand en het indraaien met de dominante hand, in totaal 10 schroeven per deelnemer (zie Figuur 6a).

De resultaten toonden een vermindering van spieractivatie in alle spieren (Figuur 6b). Een interessante observatie is dat de afname in spieractiviteit aanzienlijk groter was voor de niet-dominante arm. Dit draagt bij aan het algemene gevoel van vermoeidheid, zelfs bij eenvoudige taken die beide handen vereisen – iets wat zeer vaak voorkomt in veel industrieën.



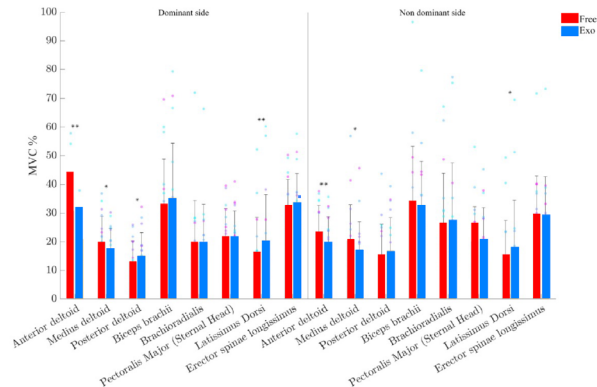
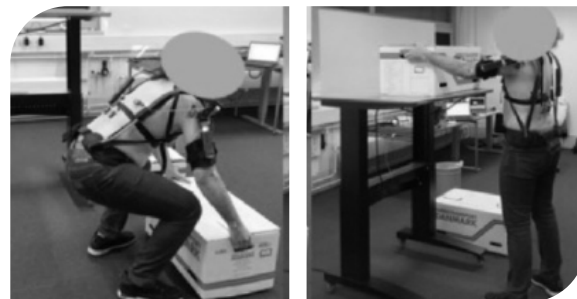
Figuur 6a (boven). Opstelling van de bovenhandse montage taak Figuur 6b (onder).
Vergelijking van de gemiddelde spieractivatie tussen deelnemers in de twee condities, Vrij (grijs) en Exo (oranje), tijdens de bovenhandse montage taak

Tillen

Een studie van de Aalborg University (DK) [6] observeerde een vermindering van de schouderpijnsactiviteit tijdens herhaalde tiltaken bij gebruik van de Skelex 360.

Het verplaatsen of tillen van objecten is een veelvoorkomende taak, maar staat bekend om het veroorzaken van MSD's. In deze studie werd de invloed van een exoskelet op spieractiviteit experimenteel onderzocht tijdens een tiltaken. Achttien gezonde mannen namen deel aan het onderzoek. De taak bestond uit het tillen van een doos (W = 10 kg) van de vloer naar de bovenkant van een tafel, terwijl het lichaam 90 graden werd gedraaid (zie Figuur 7a). Een tempo van 15 herhalingen per minuut werd opgelegd met behulp van een metronoom. De deelnemers voerden zes opeenvolgende tilbewegingen uit en herhaalden de volledige taak driemaal per conditie, zowel met als zonder Skelex 360.

De resultaten tonen aan dat de activatie van de AD (Anterior Deltoid) en MD (Medial Deltoid) spieren aan beide zijden significant werd verminderd bij gebruik van de Skelex 360 (Figuur 7b). Interessant genoeg vertoonden bepaalde spiergroepen juist een toename in activiteit; dit kan te wijten zijn aan een lichte beperking van de rug door de structuur. Daarom kunnen sommige gebruikers bij zeer dynamische taken, zoals tillen, zelfs met een flexibel en comfortabel apparaat als de Skelex 360, een gevoel van beperkte bewegingsvrijheid ervaren.



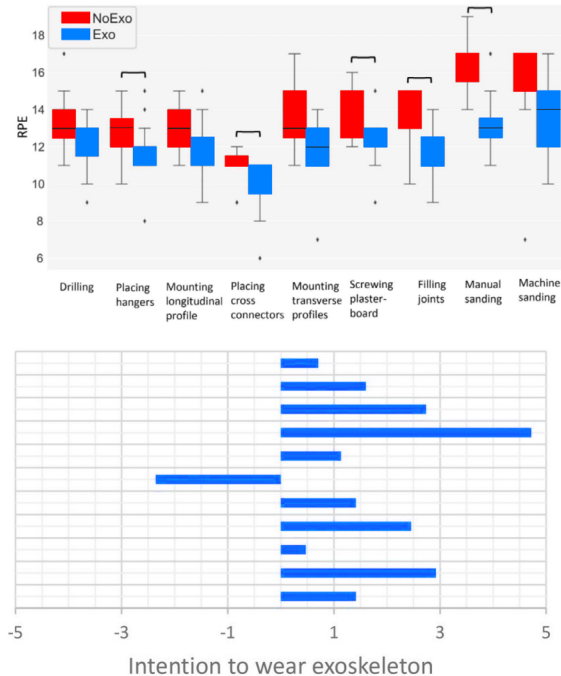
Figuur 7a (boven). Opstelling van de bovenhandse montage taak Figuur 7b (onder).
Vergelijking van de gemiddelde spieractivatie tussen deelnemers in de twee condities, Vrij (grijs) en Exo (oranje), tijdens de tiltaken.

Plafondconstructie

TNO (NL) [7] observeerde significante verminderingen in schouderspieractiviteit en ervaren inspanning tijdens plafondconstructietaken bij gebruik van de Skelex 360

Het construeren van plafonds vereist voortdurende armheffing, wat een risicofactor vormt voor MSD's. Deze studie van TNO breidt het onderzoek naar het gebruik van de Skelex 360 in de bouwomgeving verder uit. 11 ervaren plafondbouwers voerden 9 verschillende taken uit die betrokken zijn bij het bouwen van een plafond, zowel met als zonder Skelex 360 (zie Figuur 8a). Elke deelnemer mocht de taken uitvoeren naar eigen voorkeur, waarbij elke taak 3–4 minuten duurde. Zowel objectieve (EMG) metingen als subjectieve beoordelingen van ervaren inspanning (RPE) werden uitgevoerd in een gesimuleerde, maar realistische werkomgeving.

De EMG-resultaten tonen een aanzienlijke vermindering van spieractiviteit, in lijn met eerder onderzoek. De RPE was lager bij alle taken, zoals weergegeven in Figuur 8a, maar er was een duidelijke voorkeur om de Skelex 360 te gebruiken bij machinaal schuren, handmatig schuren en het vullen van naden – de zwaarste werkzaamheden. 10 van de 11 proefpersonen gaven de voorkeur aan het gebruik van het exoskelet voor deze taken (zie Figuur 8b). Deze resultaten bevestigen opnieuw dat de Skelex 360, voor de juiste taken – zelfs bij complexe werkzaamheden – flexibiliteit en ondersteuning biedt.



Figuur 8a (boven). Boxplots van de ervaren inspanning (RPE) in de dominante arm Figuur 8b (onder). Intentie van deelnemers om de Skelex 360 te dragen bij het afwegen van voor- en nadelen. Hoe hoger de waarde, hoe groter de intentie; hoe lager de waarde, hoe kleiner de intentie. Elke horizontale lijn vertegenwoordigt het antwoord van één deelnemer.

Referenties

Dit document presenteert resultaten van onafhankelijk onderzoek uitgevoerd in samenwerking met universiteiten en instituten. Alle bevindingen zijn gebaseerd op EMG-metingen, RPE-gegevens en prestatietests in echte industriële taken.

- [1] Moyon, A., Petiot, J.-F., & Poirson, E. (2019). [Investigating the effects of passive exoskeletons and familiarization protocols on arms-elevated tasks. In D. de Waard et al. \(Eds.\), Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2018 Annual Conference. Human Factors and Ergonomics Society – Europe Chapter.](#)
- [2] Gräf, J., Grospretre, S., Argubi-Wollesen, A., & Wollesen, B. (2024). [Impact of a passive upper-body exoskeleton on muscular activity and precision in overhead single and dual tasks: An explorative randomized crossover study. Frontiers in Neurology, 15, 1405473.](#)
- [3] Jørgensen, M. J., Hakansson, N. A., & Desai, J. (2022). [The impact of passive shoulder exoskeletons during simulated aircraft manufacturing sealing tasks.](#)
- [4] Schalk, M., Schalk, I., Bauernhansl, T., Siegert, J., Esin, A., & Schneider, U. (2022). [Influence of exoskeleton use on welding quality during a simulated welding task. Wearable Technologies, 3, e17.](#)
- [5] De Vries, A. W., Krause, F., & de Looze, M. P. (2021). [The effectivity of a passive arm support exoskeleton in reducing muscle activation and perceived exertion during plastering activities. Ergonomics. Advance online publication.](#)
- [6] Musso, M., Oliveira, A. S., & Bai, S. (2024). [Influence of an upper limb exoskeleton on muscle activity during various construction and manufacturing tasks. Applied Ergonomics, 114, 104158.](#)
- [7] Baltrusch, S. J., Krause, F., de Vries, A. W., & de Looze, M. P. (2024). [Arm-support exoskeleton reduces shoulder muscle activity in ceiling construction. Ergonomics, 67②, 1051–1063.](#)



Skelex **360**

Een last van je schouders



Scan de QR-code voor
meer informatie over de
Skelex 360.



Skelex BV
Saturnusstraat 95
2516 AG Den Haag
Nederland

info@skelex.com
+31 (0) 85 073 5790

Bezoek onze website: www.skelex.com