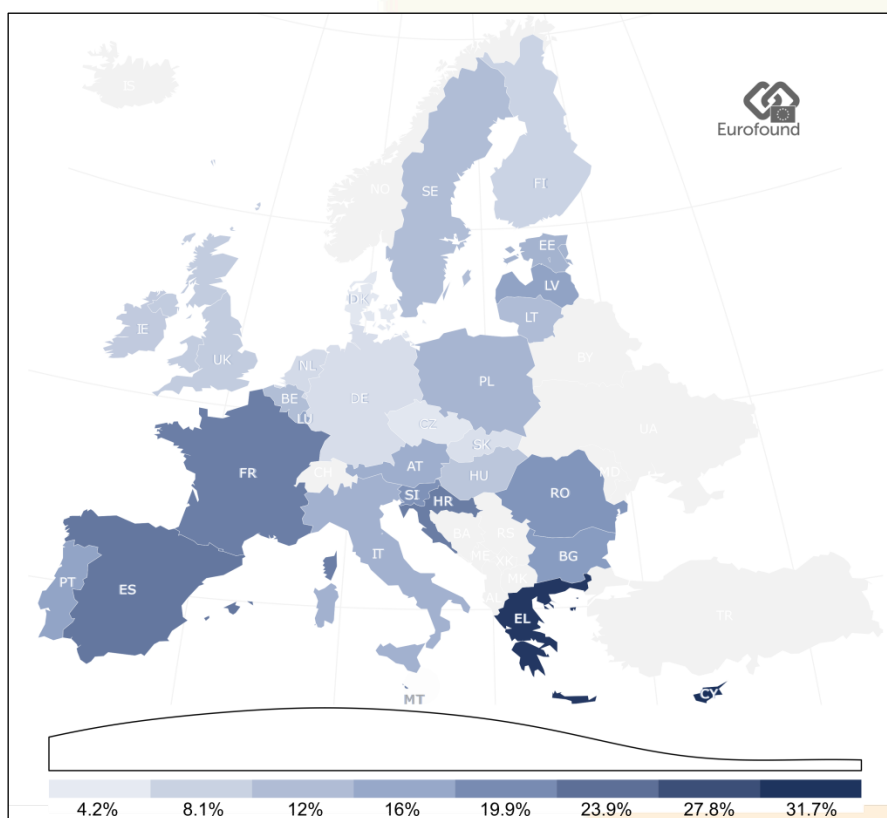


VIRKNINGEN AF BRUG AF EXOSKELETER PÅ ARBEJDSMILJØET

Indledning

I de seneste år er man begyndt at bruge nye kropsbårne hjælpemidler – såkaldte exoskeletter – på arbejdspladsen. Brugen af disse forventes at blive mere almindelig i fremtiden, da prototyper af exoskeletter har vist sig at være gavnlige på områder som f.eks. medicinsk behandling. Exoskeletter synes navnlig at være en ny mulighed for at forebygge problemer med arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær. Arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær er et af de mest udfordrende problemer for arbejdspladser i Europa¹. Figur 1 viser andelen af arbejdstagere, som arbejder i trættende og smertefulde stillinger, ofte forårsaget af dårlig udformning af arbejdspladsen, hvilket stadig er et stort problem i hele Europa. Exoskeletter er udviklet til at løse dette problem.

Figur 1 Procentdelen af alle medarbejdere i Europa, som arbejder i trættende eller smertefulde stillinger (tilpasset fra Eurofound 2019)



Exoskeletter er bærbare anordninger, som kan støtte bevægeapparatet ved hjælp af forskellige mekaniske principper. Med hensyn til arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær, kan de reducere muskelbelastninger i hyppigt belastede dele af kroppen, såsom lænden eller skuldrene. Selv om de potentielle fordele ved exoskeletter, til forebyggelse af arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær, kan være betydelige, er det også nødvendigt at tage hensyn til, at sådanne hjælpemidler rejser nye arbejdsmiljøspørgsmål. I denne henseende har det franske INRS offentliggjort en oversigt over de nye

¹ Over 40 % af Europas arbejdstagere lider af lændesmerter eller skulderproblemer. Endvidere udfører 63 % af alle arbejdstagere repetitive opgaver eller arbejder ofte (46 %) i potentielt farlige stillinger (Eurofound, 2012). De årlige udgifter i forbindelse med sundhedsrelaterede problemer, som skyldes disse arbejdsforhold, udgør omkring 2 % af EU's bruttonationalprodukt (Bevan, 2015). Mange af disse problemer skyldes opgaver, der involverer manuel håndtering af materialer, herunder når der skal løftes, sænkes, holdes eller bæres belastninger (Zurada, 2012; Collins og O'Sullivan, 2015). Arbejde, hvor man skal dreje eller bukke sig eller stå foroverbøjet, øger også risikoen for en arbejdsrelateret lidelse. Arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær er derfor ikke kun et sundhedsrelateret problem, men har også en central økonomisk relevans.

risikofaktorer, som opstår på arbejdspladsen ved brug af exoskeletter (INRS, 2019). På den ene side kan exoskeletter ses som en fysisk hjælp på arbejdspladsen med mulighed for at reducere arbejdstagernes muskelbelastning, og dermed potentiel forebygge arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær, eller som en støtte til arbejdstagere med fysiske handicap. På den anden side kan der opstå nye potentielle sundhedsrisici på grund af omfordelingen af belastninger til andre dele af kroppen. Exoskeletter påvirker også motorikken og leddenes stabilitet og giver et ændret bevægelsesmønster (INRS, 2018). Derudover kan arbejdspladsens ergonomiske udformning, hvor mennesket er i centrum, blive forsømt. Ikke desto mindre er der mange arbejdspladser, som ikke er knyttet til et bestemt arbejdssted, f.eks. i forbindelse med levering af møbler eller redningstjenester, hvor det ikke er muligt at gennemføre ergonomiske foranstaltninger på grund af omgivelserne (Schick, 2018). Desuden kan overanstrengelse af muskulaturen, hyppige løft, forkerte arbejdsstillinger eller tunge personlige værnemidler (PV) øge risikoen for fysisk overbelastning i disse erhverv. I denne forbindelse kan exoskeletter tilbyde en række muligheder for at forbedre arbejdsvilkårene.



Inc/MONOPOLY919, ©Shutterstock

Den største overvejelse er, at der skal udvises forsigtighed, når der anvendes teknologi så tæt på kroppen. Der bør iværksættes tekniske og organisatoriske foranstaltninger, når arbejdspladserne udformes, inden medarbejderne udstyres med exoskeletter. Generelt bør brug af exoskeletter med henblik på at forebygge muskel- og skeletbesvær altid være den sidste udvej. I dag er der ringe videnskabelig dokumentation om exoskeletter inden for ergonomi og arbejdsmiljøvidenskab. En af udfordringerne er at vurdere de langsigtede virkninger af exoskeletter på den menneskelige biomekanik, hvilket er vanskeligt i praksis (Liedtke og Glitsch, 2018), eftersom der skal tages højde for både typen af exoskelet, arbejdsopgaver og anvendelsestid. Derudover er man først lige begyndt at undersøge de sundhedsmæssige virkninger i forbindelse med fysiologiske eller biomekaniske aspekter, da det er både vanskeligt og tidskrævende at undersøge det menneskelige samspil med exoskeletter. Der skal dog udvikles nye tilgange til at påvise exoskeletternes effektivitet, for bedre at kunne vurdere fordele og ulemper ved denne teknologi. Denne artikel giver et overblik over den aktuelle diskussion om brug og vurdering af exoskeletter med hensyn til arbejdsmiljø.

Exoskeletter

Definition

Et exoskelet kan defineres som et personligt hjælpemiddel, der påvirker kroppen mekanisk (Liedtke og Glitsch, 2018). Mere snævert kan det siges, at exoskeletter er bærbar robotteknologi, der ændrer de interne eller eksterne kræfter, som påvirker kroppen. Kort sagt er exoskeletter bærbare anordninger, som forbedrer eller støtter brugerens styrke. På grund af de mange anvendelsesmuligheder og forskellige funktionaliteter, er der stadig ikke nogen fælles definition. I litteraturen er der generel enighed om, at exoskeletter kan defineres som eksterne mekaniske strukturer monteret på kroppen (Herr, 2009; De Looze et al., 2016). Det er muligt at klassificere dem som aktive eller passive systemer.

Aktive exoskeletter bruger aktuatorer (mekaniske drivkomponenter) til at støtte menneskelige bevægelser. Disse mekaniske komponenter består af elektriske motorer, men kan også drives hydraulisk eller pneumatisk (Gopura og Kiguchi, 2009). Støtten giver arbejdstageren yderligere styrke og øger dermed effektiviteten. I modsætning hertil bruger passive exoskeletter styrken fra fjedre, dæmpere eller andre materialer til at understøtte menneskelige bevægelser. Den energi, som lagres i et passivt exoskelet, genereres udelukkende af brugerens bevægelser (De Looze et al., 2016). Desuden omfordeles kræfterne, så bestemte dele af kroppen beskyttes. Ændringen i brugerens effektivitet skyldes ikke den yderligere fysiske styrke, men evnen til at opretholde udmattende stillinger over en længere tidsperiode, f.eks. når arbejdet foregår over hovedhøjde.

Hybride exoskeletter, som kan være aktive eller passive systemer, er indtil videre fortsat en undtagelse. De bruger hjernebølgeaktiviteter (EEG-signaler) eller muskelaktivering til at starte bevægelser. Det er dog usandsynligt, at de vil blive brugt i industrien, så de drøftes ikke yderligere i dette dokument.

Typer af exoskeletter

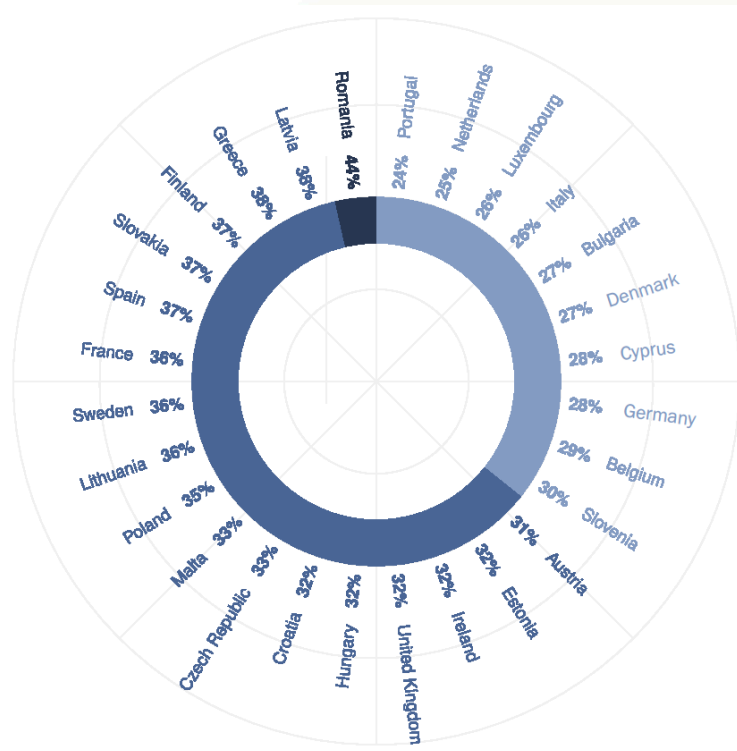
Exoskeletter kan klassificeres i tre grupper: exoskeletter til underkroppen, overkroppen og hele kroppen. Exoskeletter med et enkelt led er nævnt i litteraturen (Gams et al., 2013), men de drøftes ikke yderligere i denne artikel på grund af deres meget individuelle aspekter og meget begrænsede anvendelsesmuligheder. Exoskeletter til overkroppen benytter normalt solide mekaniske strukturer til at omfordele kroppens kræfter til de nedre ekstremiteter og torsoen (f.eks. overarme, underarme, skuldre og lænd). I dette tilfælde betyder omfordelingen af kræfterne, at andre kropsdele som f.eks. hofterne eller benene påtager sig yderligere belastninger. Exoskeletter til underkroppen kan overføre kræfter til jorden og dermed reducere belastningen på bevægeapparatet. Det er dog vigtigt at bemærke, at disse principper er stærkt afhængige af exoskelettets udformning og funktionalitet. Hjælpemidler, der støtter overkroppen og underkroppen på samme tid, kan defineres som exoskeletter til hele kroppen.

Anvendelsesområder på arbejdspladsen

Idéen med at støtte menneskets bevægelser med tekniske anordninger er ikke ny. Bærbare hjælpemidler som exoskeletter har længe været anvendt inden for medicinsk behandling, f.eks. brug af ortoser til rehabiliterende formål, hvor de støtter skadede patienter, så de kan genvinde deres fysiske helbred (Viteckova et al., 2013). Alligevel kan ortoser skelnes fra exoskeletter, idet de støtter mennesker med sygdom i bevægeapparatet. Exoskeletter blev også udviklet til militære formål (De Looze et al., 2016). Men brugen af exoskeletter til at bevare eller beskytte arbejdstageres fysiske sundhed er ny. Forbedring af de ergonomiske arbejdsforhold med hjælpemidler som exoskeletter er genstand for en del kontroverser, men de giver stadig nye muligheder for arbejdstagernes sundhed og sikkerhed (Schick, 2018). Endvidere vil kravene til ergonomiske arbejdspladser spille en vigtig rolle i fremtiden med hensyn til at sikre den fysiske sundhed for en arbejdsstyrke, der som følge af demografiske ændringer bliver ældre og ældre. I dette perspektiv er det vigtigt at udvikle nye ergonomiske værktøjer, eftersom mulighederne aktuelt er begrænsede (Hensel et al., 2018; Schick, 2018).

Der findes utallige anvendelsesområder, hvor exoskeletter kan reducere arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær. Over hele Europa er over 30 % af arbejdsopgaverne forbundet med manuel håndtering af materialer (Eurofound, 2012), hvilket udgør en stor sundhedsrisiko. Arbejde, der omfatter repetitive opgaver, håndtering af tunge byrder, arbejde over hovedhøjde eller belastende kropsstillinger giver forskellige muligheder for brug af exoskeletter. Figur 2 viser, at en betydelig del af arbejdet i alle europæiske lande indebærer at flytte eller bære tunge byrder. Især i Rumænien håndterer næsten halvdelen af medarbejderne (44 %) ind imellem tunge byrder. I denne forbindelse er industriarbejdspladser, møbelleverandører, redningstjenester og hospitaler interessante. Det er dog vigtigt at anerkende den ergonomiske udformning af stationære arbejdssteder. Så længe tekniske eller organisatoriske foranstaltninger giver mulighed for at forbedre den ergonomiske udformning, bør brugen af exoskeletter ikke foretrækkes (Schick, 2018). Ikke desto mindre ser det ud til, at der måske er større interesse i at fokusere på exoskeletter, der øger arbejdstagernes ydeevne, end på at udforme arbejdspladser med fokus på mennesker (Baltrusch et al., 2018).

Figur 2 Procentdel af medarbejdere i alle aldre i Europa, som bruger en fjerdedel af deres tid på at bære eller flytte tunge byrder (Eurofound, 2019).



Af tekniske årsager har aktive exoskeletter meget lille praktisk relevans. I flere rapporter påpeges problemer med vægt, mekanisk struktur, batteristøtte og udformningen af drivmekanikken i aktive exoskeletter (Yang et al., 2008; Herr, 2009; De Looze et al., 2016). I modsætning hertil er visse passive exoskeletter allerede nu kommercielt tilgængelige. Ikke desto mindre yder disse passive systemer kun begrænset støtte, da det indledningsvist kun er nogle dele af kroppen, som aflastes. Hjælp til tunge løfteopgaver er stadig begrænset.

Exoskeletternes påtænkte anvendelse afhænger af deres anvendelsesområde. Ud over at være en teknisk foranstaltning kan exoskeletter også bruges som personlige værnemidler eller medicinaludstyr. Afhængigt af den påtænkte anvendelse skal der indhentes forskellige certificeringer. Disse certificeringer er stærkt knyttet til arbejdsmiljøspørgsmål.

Certificering af exoskeletter

Exoskeletter anvendes bredt inden for rehabilitering samt i industrien og militæret, og sammen med de mange forskellige konstruktionstyper betyder dette, at der stadig ikke findes nogen ensartede regler for eller certificering af exoskeletter. For at løse dette problem skal deres funktionelle udformning og påtænkte anvendelse først overvejes. I denne henseende kan et exoskelet klassificeres som et teknisk hjælpemiddel, som støtter en arbejdstager i udøvelsen af dennes arbejdsopgaver. Det kan også defineres som et personligt værnemiddel. I dette tilfælde beskytter exoskelettet arbejdstageren mod fysiske belastninger, som kan føre til arbejdsrelaterede sygdomme såsom overbelastningsskader. Der er i øjeblikket ingen enighed om, at exoskeletter kan beskytte mod muskel- og skeletbevær, hvilket gør det vanskeligere at klassificere dem.

Den praktiske anvendelse af exoskeletter er i høj grad knyttet til den specifikke certificering. Som allerede nævnt kan et exoskelet defineres som et teknisk hjælpemiddel som følge af reglerne i EU's maskindirektiv (2006/42/EF). Aktive systemer kan yderligere defineres efter de internationale regler om robotter og robotanordninger (ISO 10218-1:2011) og sikkerhedskravene til robotter, der anvendes til personlig pleje (ISO 13482:2014).

Hvis et exoskelet certificeres som PV baseret på forordning 89/686/EØF, kan det anvendes til forebyggende formål for at undgå arbejdsrelaterede skader eller overbelastningsskader. Det skal

nævnes, at forordning 89/686/EØF gradvist overføres til den nye forordning (EU) 2016/425 om personlige værnemidler.

Endelig kan et exoskelet betragtes som en medicinsk anordning ifølge den tilsvarende europæiske forordning (93/42/EØF). Medicinaludstyrs sikkerhed og ydeevne skal leve op til høje standarder. En udfordring er den kliniske evaluering af den medicinske effekt, som stadig er vanskelig at bevise. Alle disse krav er imidlertid nødvendige for at anvende exoskeletter til rehabiliteringsformål eller medicinske anvendelser eller for at bruge dem i forbindelse med inklusion af særlige grupper af arbejdstagere (Schick, 2018).

Arbejdspladsvurdering (APV) på arbejdspladser med exoskeletter

Arbejdsgivere har en generel pligt til at sørge for et sikkert og sundt arbejdsmiljø og begrænse potentielle risici under arbejdet. APV på arbejdspladser, hvor der tages højde for alle mulige erhvervsrisici, er obligatoriske og skal udføres af alle arbejdsgivere i Europa. I de europæiske retningslinjer, som blev udarbejdet med det formål at løse risikovurderingsopgaverne i rammedirektivet (89/391/EØF), beskrives specifikke foranstaltninger. Disse foranstaltninger omfatter forebyggelse af erhvervsrisici, information til og instruktion af arbejdstagere og organisationer samt midlerne til at gennemføre de nødvendige foranstaltninger. Ud fra disse regler er der visse risici i forbindelse med exoskeletter på specifikke arbejdspladser, der skal tages højde for.

Exoskeletter udgør talrige potentielle arbejdsmiljørisici, som vedrører deres udformning og funktionalitet. Aktive systemer kan omfatte mekaniske og tekniske fejl. I dette tilfælde kan funktionsfejl føre til skader, eftersom aktive exoskeletters drivmekanismer kan lægge et yderligere pres på arbejdstagerens krop. Det er på nuværende tidspunkt svært at klassificere kropsmonterede anordningers kraft og deres sammenhæng med skader. Som en generel reference kan anvendes biomekaniske grænseværdier for kollaborative robotter (ISO/TS 15066:2016) (Schick, 2018). Det er tænkeligt, at exoskeletter kan øge risikoen for skader, hvis brugeren glider, snubler eller falder. Påvirkningen vurderes imidlertid som lav, når exoskeletter til overkroppen bæres under gang i niveau (Kim et al., 2018). Ikke desto mindre kan arbejdstagerne blive begrænset i deres naturlige bevægelsesfrihed, afhængigt af konstruktionen af exoskelettet og dets vægt. Dette gør det vanskeligt at genoprette balancen ved at kompensere med bevægelser i tilfælde af et fald. Konsekvenserne kan være mere alvorlige end uden et exoskelet. Derudover skal der tages højde for eventuelle sammenstød mellem et exoskelet og andet arbejdsudstyr, robotter eller entreprenørmaskiner. I denne forbindelse er der blevet udført computersimuleringer for at undersøge den praktiske anvendelse af exoskeletter i et virtuelt fabriksmiljø (Constantinescu et al., 2016). Endelig er der nævnt flere begrænsninger med hensyn til en ny udformning af arbejdspladser med integrerede exoskeletter. I tilfælde af en nødsituation skal bygningerne hurtigt evakueres for at sikre alle medarbejdernes sikkerhed og sundhed. Det er derfor afgørende, at et exoskelet hurtigt kan tages af. Designerne bør også overveje situationer, hvor arbejdstagerne muligvis er alene.

Sammenfattende kan exoskeletters sikkerhed og sundhed vurderes i visse scenarier, men ikke meget specifikt. En af grundene til dette er begrænsede videnskabelige resultater (Schick, 2018) og manglen på praktisk erfaring. Især exoskeletters langsigtede virkninger på bevægeapparatet er ukendte. Der er derfor stadig behov for omfattende undersøgelser, der tager højde for personrelaterede, fysiologiske, medicinske og biomekaniske aspekter af exoskeletter.

Vurdering af exoskeletter

Fordelene og ulemperne ved exoskeletter er aktuelt genstand for en del kontroverser i litteraturen. Generelt udgør de en lovende mulighed for, at forskergrupper kan forbedre ergonomiske arbejdsforhold og reducere arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær, som ofte hænger sammen med manuel håndtering af materialer (Hensel et al., 2018). Men fysiske krav til bevægeapparatet er ikke de eneste aspekter, som skal overvejes. Exoskeletter kan også påvirke det sociale miljø eller påvirke andre fysiologiske parametre såsom blodtryk, iltforbrug og puls.

Fysiologiske aspekter

Hvis man sætter en ekstern struktur som et exoskelet på en arbejdstagers krop, kan det have negative fysiologiske virkninger. I litteraturen er det allerede påvist, at den ekstra vægt fra et exoskelet muligvis øger kravene til hjerte/kar-systemet (Theurel et al., 2018), om end virkningerne endnu ikke kendes. En tidligere undersøgelse viste virkningerne af vægt og energibehov under bevægelse: Der blev påvist et højere iltforbrug svarende til den vægt, der blev båret. Ikke desto mindre afhænger energiforbruget i høj grad af køn, ganghastighed og kropsvægt (Holewijn et al., 1992). I modsætning hertil kunne Whitfield et al. (2014) bevise, at et ergonomisk hjælpemiddel til løft ikke øger iltforbruget under repetitive opgaver, selv om der blev taget højde for løfteanordningens ekstra masse. Disse resultater stemmer desuden overens med resultaterne fra forskellige forskningsgrupper, som ikke viste ændringer i hjertefrekvensen hos forsøgspersoner, som bar en personlig løfteanordning (Godwin et al., 2009; Lotz et al., 2009). Som konklusion for industriel anvendelse foreslog Whitfield et al. (2014), at personlige løfteanordninger ikke bør bruges til at øge omfanget af arbejdsopgaverne. Disse forskellige konklusioner kunne forklares med forskelligheden af de exoskeletter, som tidligere er blevet undersøgt. Ud over exoskelettets mekaniske struktur og funktion har arbejdsopgaver, f.eks. om musklerne arbejder dynamisk eller statisk, også indflydelse på stofskiftet og gør det endnu vanskeligere at udtale sig generelt. Under bestemte forhold kan exoskeletter dog reducere muskeltræthed og har dermed et stort potentiale for arbejdstageres sundhed, da det antages, at muskeltræthed øger risikoen for skader (Godwin et al., 2009; Lotz et al., 2009). Permanent støtte kan også have en negativ langsigtet virkning på bevægeapparatet. Det er tænkeligt, at der vil forekomme en reduktion i muskelmassen og dermed en reduktion i kroppens styrke, men disse virkninger er stærkt relateret til graden af muskelstøtte fra exoskelettet.

Endvidere kan der forekomme trykpunkter i de områder, hvor exoskelettet er fastgjort til kroppen. Dette kan føre til ubehag over tid. Derudover er det tænkeligt, at ydre tryk på blodkar fra stropper eller remme kan reducere blodgennemstrømningen i den tilsvarende kropsdel. Endvidere kan hjertefrekvens og blodtryk ændres ved brug af et exoskelet til udførelse af repetitive opgaver over hovedhøjde. Endelig er der risiko for hudirritation på grund af friktion eller allergiske reaktioner. Disse faktorer er imidlertid spekulative og skal tages med forbehold.

Brugeraccept og psykosociale virkninger

Det skal tages i betragtning, at selv om de fysiske virkninger af exoskeletter kan påvirke arbejdstageren, kan brugeraccept også spille en vigtig rolle i arbejdsmiljøet. Det er vigtigt at acceptere et exoskelet, hvis det skal bruges i længere tid. I dag er der udført forskning, der tager inddrager subjektive vurderinger af exoskeletter, for at tage højde for accepten af teknologi (Gilotta et al., 2018; Hensel et al., 2018). Selv om hårde exoskeletter vurderes positivt af mange brugere, viste Hensel et al. (2018), at accepten af dem kan reduceres over tid og i høj grad hænger sammen med komfort og brugervenlighed. Ubekvæmhed er et af de mest udfordrende aspekter og kan forhindre en bred anvendelse af exoskeletter på industrielle arbejdspladser (Bosch et al., 2016). Igen skal det nævnes, at denne udvikling i høj grad hænger sammen med specifikke opgaver, og exoskeletter kan derfor ikke generaliseres. Ikke desto mindre viser resultaterne, at produktudviklere skal tage højde for funktionalitet og vægt samt exoskeletternes ergonomiske udformning. Derudover kan arbejdstagerne føle sig underlegne, når de bruger et exoskelet til at løse deres daglige opgaver, eftersom det fysiske aspekt af ydeevnen også er knyttet til anordningen. Gilotta et al. (2018) nævnte sociale aspekter som en faktor, som kan reducere accepten. Hvis man bærer et exoskelet, kan det også føre til stigmatisering på arbejdspladsen, da det kan se ud, som om arbejdstagerne er afhængige af støtten fra dem.

Biomekaniske aspekter

I dag viser talrige undersøgelser, at exoskeletter kan reducere fysisk stress i lokale områder af kroppen såsom skulderled eller lænd (Abdoli-E et al., 2006; Graham et al., 2009; Bosch et al., 2016; De Looze et al., 2016; Theurel et al., 2018; Weston et al., 2018). Samtidig kan det dog være en uønsket virkning, at omfordelingen af fysisk stress fører til et højere stressniveau i andre dele af kroppen, hvis der ikke overføres kræfter til jorden (Theurel et al., 2018; Weston et al., 2018). I denne forbindelse fandt Weston et al. (2018) ud af, at et exoskelet til overkroppen øger belastningen på lænden. Theurel et al. (2018) viste, at et exoskelet til overkroppen kan reducere muskelaktiviteten i skulderleddene. Ikke desto mindre er fysiske konsekvenser blevet rapportet, herunder større muskelaktivitet i andre dele af kroppen eller

påvirkede bevægelsesmønstre. Derudover påvirker den ekstra vægt fra exoskelettet ikke kun kravene til hjerte/kar-systemet, men flytter også centrum for kropsmassen, hvilket påvirker bærerens muskelaktivitet. Det er vigtigt at nævne, at exoskeletternes virkning på den menneskelige krop ikke kan generaliseres. Biomekanisk forskning vedrører ofte særlige bevægelser og en specifik muskelaktivitet og tager ikke højde for alle mulige typer af exoskeletter og brugen deraf. Ikke desto mindre kan de forklare en eventuelt manglende funktionalitet med specifikke exoskeletters mekaniske virkninger og deres konsekvenser for kroppens stress og belastninger.

Udfordringer for arbejdsmiljøet

Indførelse af ny teknologi på arbejdspladsen indebærer altid en kritisk vurdering af arbejdsmiljøet for de berørte parter. Generelt er en udformning med mennesket i centrum i henhold til rammedirektivet (89/391/EØF), en grundlæggende forudsætning. I en mere snæver forstand betyder dette, at "standardarbejdspladser" ikke kræver yderligere foranstaltninger. Men givet den aktuelle arbejdssituation i Europa og nye teknologiers betydning for udvikling af muskel- og skeletbesvær, giver ergonomiske forhold ikke sig selv. For at sikre et godt arbejdsmiljø bør der tages hensyn til tekniske, organisatoriske og individuelle forhold i overensstemmelse med rammedirektivet (89/391/EØF). Med hensyn til mulige foranstaltningers indvirkning på arbejdsmiljøet, er det vigtigt at anvende dem hierarkisk. Når alle tekniske foranstaltninger er udtømt, f.eks. brug af løfteanordninger eller ny udformning af en arbejdsplads, skal der tages hensyn til organisatoriske aspekter såsom omlægning af arbejdsprocesser. Derefter kan personlige foranstaltninger til at beskytte arbejdstagerne overvejes.

Som diskuteret tidligere kan exoskeletter beskrives som tekniske eller medicinske anordninger og kan også defineres som værnemidler. Deres klassificering afhænger i høj grad af hvad de er beregnet til, deres udformning og påtænkte anvendelse. Exoskeletter kan derfor kun vurderes individuelt på nuværende tidspunkt. I praksis kan det tænkes, at exoskeletter anvendes som teknisk udstyr til at lette arbejdsprocesser. Men hvis de anvendes til at forbedre udformningen af en arbejdsplads, hvor der er brug for ergonomiske foranstaltninger til at beskytte arbejdstagerne mod belastningsskader, skal de betragtes som PV.

I fremtiden bør vurderingen af exoskeletter integreres i den traditionelle ergonomiske tilgang (design med mennesket i centrum), eftersom de har en indvirkning på arbejdssituationer og også påvirker organisatoriske forhold.

Arbejdstagere

Brugerkravene til arbejdstagerne afhænger af den konkrete klassificering af det pågældende exoskelet. Hvis exoskeletter betragtes som en teknisk anordning, er de bundet til bestemte arbejdspladser og kan ikke anvendes i enhver tænkelig arbejdssituation, medmindre de er blevet godkendt hertil. Men tekniske hjælpemidler er ikke personlige værnemidler, og det er frivilligt at anvende dem. Hvis et exoskelet betragtes som PV, kan det være obligatorisk at anvende det. I så fald skal en medarbejder være udstyret med et exoskelet, så længe han eller hun er udsat for en bestemt øget arbejdsbyrde.

Arbejdsgivere

I forbindelse med implementering og drift skal arbejdsgiverne tage højde for forskellige aspekter. Sammenlignet med tekniske hjælpemidler er hygiejnekravene til PV mere omfattende. I denne henseende bliver brug af exoskeletter obligatorisk. For at opfylde kravene, skal alle arbejdstagere på en arbejdsplads, hvor exoskeletter bruges obligatorisk som PV, som minimum udstyres med et exoskelet hver, hvilket kan give problemer med opbevaring. Desuden skal der tages hensyn til kroniske lidelser, muskel- og skeletbesvær, hjerte/kar-sygdomme og ydeevne. Endvidere skal der være tilstrækkelige rengøringsmidler eller vaskeanordninger tilgængelige for at opfylde hygiejnestandarder. Exoskeletter, som defineres som tekniske hjælpemidler, er valgfri og behøver ikke være tilgængelige for alle medarbejdere på arbejdspladsen. Men hvis de anvendes, skal de betragtes som et hjælpemiddel (støtte) og ikke som en måde at øge arbejdstagerens ydeevne eller effektivitet på.

Beslutningstagere

Fremover bør beslutningstagerne tage reguleringen af exoskeletter, med hensyn til deres indretning og anvendelse, i betragtning, for at lette certificeringen af den nye teknologi. Dermed kan producenterne deklarere deres produkter mere tydeligt, og arbejdsgiverne kan bruge exoskeletterne til deres påtænkte formål. Det skal dog nævnes, at produktets påtænkte anvendelse og den tilhørende certificering, altid er producentens ansvar.

Resumé

Der er i øjeblikket stor opmærksomhed om emnet exoskeletter. Men trods deres tilsyneladende lovende potentiale, bør der sættes spørgsmålstegn ved anvendelsen af exoskeletter på en lang række områder. Det er stadig uvist, om exoskeletter i fremtiden udelukkende vil blive brugt til at beskytte arbejdstagerne mod overbelastningsskader eller også til at økonomisere arbejdsprocesser. Afhængigt af den tekniske udvikling kan exoskeletter blive et standardværktøj til manuelle arbejdsprocesser eller forblive et nicheprodukt til meget specifikke anvendelser. Men den aktuelle kommercielle interesse i exoskeletter kan også være et problem for den fremtidige udvikling, da resultatorienterede eller økonomiske tilgange kan blive prioriteret på bekostning af arbejdsmiljøet. Ikke desto mindre kan exoskeletter betragtes som tekniske, medicinske eller personlige værnemidler, afhængigt af deres påtænkte anvendelse på arbejdspladsen. Men på grund af de mange forskelle i funktionalitet, udformning og anvendelse findes der ingen ensartet definition, hvilket gør det vanskeligt at gennemføre certificeringen i praksis. Selv om der findes utallige undersøgelser om exoskeletter, der tager højde for forskellige aspekter af brugervenlighed og funktionalitet, er der ringe forståelse af konsekvenserne for medarbejdernes sundhed. Især exoskeletters langsigtede virkning på fysiologiske, psykosociale og biomekaniske parametre er ukendt. Fremtidige undersøgelser bør fokusere mere på exoskeletters praktiske langsigtede virkninger på arbejdspladsen for at få mere pålidelige resultater. Det bør nævnes, at det ikke kan anbefales at anvende exoskeletter i stedet for at forbedre den ergonomiske udformning af stationære arbejdspladser, men at der på den anden side også er en lang række ikkestationære arbejdspladser, hvor ergonomiske foranstaltninger ikke er en mulighed. I denne forbindelse kan exoskeletter være en lovende strategi til at reducere arbejdsrelateret muskel- og skeletbesvær i fremtiden.

Forfattere: Peters, M. og Wischniewski, S. (2019). Federal Institute for Occupational Safety and Health, Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund, Tyskland.

Projektledere: Annick Starren, Emmanuelle Brun, Det Europæiske Arbejdsmiljøagentur (EU-OSHA), 2109

Vi takker dr. Lars Adolph, professor dr. Ute Latza og gruppen af EU-OSHA's focal points for deres kritiske anmeldelser og nyttige forslag. Vi vil også gerne takke Eurofound for brugen af illustrationerne i denne artikel.

Denne artikel er bestilt af Det Europæiske Arbejdsmiljøagentur (EU-OSHA). Indholdet, herunder eventuelle udtalelser og/eller konklusioner, der kommer til udtryk, er alene forfatterens og afspejler ikke nødvendigvis EU-OSHA's synspunkter.

Referencer

- 89/391/EØF. Rådets direktiv 89/391/EØF af 12. juni 1989 om iværksættelse af foranstaltninger til forbedring af arbejdstagernes sikkerhed og sundhed under arbejdet. Rådet for De Europæiske Fællesskaber.
- 89/686/EØF. Rådets direktiv 89/686/EØF af 21. december 1989 om indbyrdes tilnærmelse af medlemsstaternes lovgivninger om personlige værnemidler. Rådet for De Europæiske Fællesskaber.
- 93/42/EØF. Rådets direktiv 93/42/EØF af 14. juni 1993 om medicinske anordninger. Rådet for De Europæiske Fællesskaber.
- 2006/42/EF. Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2006/42/EF af 17. maj 2006 om maskiner og om ændring af direktiv 95/16/EF (omarbejdning). Europa-Parlamentet og Rådet for Den Europæiske Union.
- 2016/425. Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2016/425 af 9. marts 2016 om personlige værnemidler og om ophævelse af Rådets direktiv 89/686/EØF. Europa-Parlamentet og Rådet for Den Europæiske Union.
- Abdoli-E, M., Agnew, M. J. og Stevenson, J. M. (2006). An on-body personal lift augmentation device (PLAD) reduces EMG amplitude of erector spinae during lifting tasks. *Clinical Biomechanics*, 21 (5), 456-465.
- Baltrusch, S. J., van Dieën, J. H., van Bennekom, C. A. M. og Houdijk, H. (2018). The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Applied Ergonomics*, 72, 94-106.
- Bevan, S. (2015). Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Practice & Research in Clinical Rheumatology*, 29 (3), 356-373.
- Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K. and de Looze, M. (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics*, 54, 212-217.
- Collins, J. D. og O'Sullivan, L. W. (2015). Musculoskeletal disorder prevalence and psychosocial risk exposures by age and gender in a cohort of office based employees in two academic institutions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 46, 85-97.
- Constantinescu, C., Muresan, P.-C. og Simon, G.-M. (2016). JackEx: the new digital manufacturing resource for optimization of exoskeleton-based factory environments. *Procedia CIRP*, 50, 508-511.
- De Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S. og O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59 (5), 671-681.
- INRS. (2018). Exosquelettes au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs – état des connaissances. Paris: Institut National de Recherche et de Sécurité. Hentet fra INRS: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>
- INRS. (2019). Acquisition et integration d'un exosquelette en entreprise: Guide pour les préventeurs. Paris: Institut National de Recherche et de Sécurité. Hentet fra INRS: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>
- Eurofound. (2012). *Femte europæiske undersøgelser af arbejdsvilkårene*. Luxembourg: Den Europæiske Unions Publikationskontor.
- Eurofound. (2019). *Den europæiske undersøgelse af arbejdsvilkårene 2015* Bruxelles: Eurofound. Hentet fra Eurofound: <https://www.eurofound.europa.eu/data/european-working-conditions-survey>.
- Gams, A., Petrič, T., Debevec, T. og Babič, J. (2013). Effects of robotic knee exoskeleton on human energy expenditure. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60 (6), 1636-1644.
- Gilotta, S., Spada, S., Ghibaudo, L., Isoardi, M. og Mosso, C. (2018). *Acceptability beyond Usability: A Manufacturing Case Study*. Rapport fremlagt på Congress of the International Ergonomics Association.

- Godwin, A. A., Stevenson, J. M., Agnew, M. J., Twiddy, A. L., Abdoli-Eramaki, M. og Lotz, C. A. (2009). Testing the efficacy of an ergonomic lifting aid at diminishing muscular fatigue in women over a prolonged period of lifting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39 (1), 121-126.
- Gopura, R. A. R. C. og Kiguchi, K. (2009). *Mechanical Designs of Active Upper-limb Exoskeleton Robots: State-of-the-art and Design Difficulties*. Rapport fremlagt på ICORR 2009: IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics.
- Graham, R. B., Agnew, M. J. og Stevenson, J. M. (2009). Effectiveness of an on-body lifting aid at reducing low back physical demands during an automotive assembly task: assessment of EMG response and user acceptability. *Applied Ergonomics*, 40 (5), 936-942.
- Hensel, R., Keil, M., Mücke, B. og Weiler, S. (2018). Chancen und Risiken für den Betrieblichen Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. *ASU Zeitschrift für medizinische Prävention*, 53, 654-661.
- Herr, H. (2009). Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 6 (21).
- Holewijn, M., Hens, R. og Wammes, L. (1992). Physiological strain due to load carrying in heavy footwear. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*, 65 (2), 129-134.
- ISO 10218-1:2011. Robots and robotic devices — safety requirements for industrial robots — part 1: robots. Genève: Den Internationale Standardiseringsorganisation
- ISO 13482:2014. Robots and robotic devices — safety requirements for personal care robots. Genève: Den Internationale Standardiseringsorganisation
- ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices — collaborative robots. Genève: Den Internationale Standardiseringsorganisation
- Kim, S., Nussbaum, M. A., Mokhlespour Esfahani, M. I., Alemi, M. M., Jia, B. og Rashedi, E. (2018). Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: part II — 'unexpected' effects on shoulder motion, balance, and spine loading. *Applied Ergonomics*, 70, 323-330.
- Liedtke, M. og Glitsch, U. (2018). Exoskelette — Verordnung für persönliche Schutzausrüstung. *sicher ist sicher*, 3, 110-113.
- Lotz, C. A., Agnew, M. J., Godwin, A. A. og Stevenson, J. M. (2009). The effect of an on-body personal lift assist device (PLAD) on fatigue during a repetitive lifting task. *Journal of Electromyography Kinesiology*, 19 (2), 331-340.
- Schick, R. (2018). Einsatz von Exoskeletten in der Arbeitswelt. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68 (5), 266-269.
- Theurel, J., Desbrosses, K., Roux, T. & Savescu, A. (2018). Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. *Applied Ergonomics*, 67, 211-217.
- Viteckova, S., Kutilek, P. og Jirina, M. (2013). Wearable lower limb robotics: a review. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 33 (2), 96-105.
- Weston, E. B., Alizadeh, M., Knapik, G. G., Wang, X. og Marras, W. S. (2018). Biomechanical evaluation of exoskeleton use on loading of the lumbar spine. *Applied Ergonomics*, 68, 101-108.
- Whitfield, B. H., Costigan, P. A., Stevenson, J. M. og Smallman, C. L. (2014). Effect of an on-body ergonomic aid on oxygen consumption during a repetitive lifting task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44 (1), 39-44.
- Yang, C., Zhang, J., Chen, Y., Dong, Y. og Zhang, Y. (2008). A review of exoskeleton-type systems and their key technologies. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 222 (8), 1599-1612.
- Zurada, J. (2012). Classifying the risk of work related low back disorders due to manual material handling tasks. *Expert Systems with Applications*, 39 (12), 11125-11134.