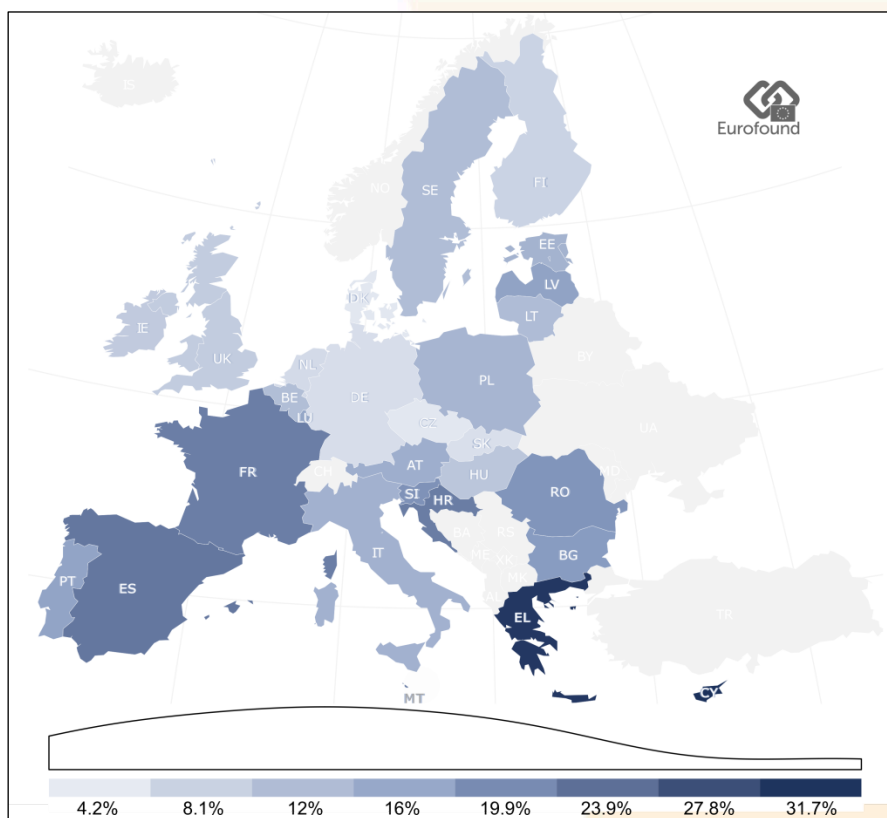


ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ЕКЗОСКЕЛЕТИ ВЪРХУ БЕЗОПАСНОСТТА И ЗДРАВЕТО ПРИ РАБОТА

Въведение

През последните години на работното място бяха въведени нови помощни средства, така наречените екзоскелети. Очаква се тяхното използване да стане по-разпространено в бъдеще, тъй като прототипите на екзоскелетите са доказали своята полза в области като медицинските грижи например. По-специално екзоскелетите изглеждат са нов подход за решаване на въпроса за свързаните с работата мускулно-скелетни смущения (СРМС). СРМС са едно от най-големите предизвикателства за работните места в Европа¹. На фигура 1 са показани процентите на работещите в изморителни и болезнени пози, които могат да бъдат свързани с лошо проектиране на работното място, тъй като условията на труд все още са сериозен проблем в цяла Европа. За преодоляване на този проблем са разработени екзоскелети.

Фигура 1 Процентите на всички наети лица в Европа, работещи в уморителни или болезнени пози (адаптирана от Eurofound, 2019 г.)



¹ Над 40 % от работниците в Европа страдат от болки в долната част на гърба или проблеми в раменната област. Освен това 63 % от работниците изпълняват повтарящи се задачи или често работят (46 %) в потенциално опасни пози (Eurofound, 2012). Годишните разходи, произтичащи от здравословни проблеми поради тези условия на труд, възлизат на около 2 % от брутният вътрешен продукт на Европейския съюз (ЕС) (Bevan, 2015). Много от тези проблеми са причинени от задачи, свързани с ръчно обработване на материали, които включват повдигане, сваляне, задържане или носене на товари (Zurada, 2012; Collins и O'Sullivan, 2015). Навеждането, извъртането и работата с високо вдигнати ръце също създават риск от свързани с работата смущения. Поради това СРМС представляват не само здравословен проблем, но са и от централно икономическо значение.

4.2%	4,2 %
8.1%	8,1 %
12%	12 %
16%	16 %
19.9%	19,9 %
23.9%	23,9 %
27.8%	27,8 %
31.7%	31,7 %

Екзоскелетите са устройства за носене, които могат да поддържат мускулно-скелетната система чрез използване на различни механични принципи. По отношение на СРМСС те могат да намалят мускулния стрес в често засягани зони на тялото, като например долната част на гърба или раменете. Въпреки че потенциалната полза от екзоскелетите за превенция на СРМСС би могла да бъде значителна, необходимо е също така да се има предвид, че тези помощни устройства повдигат нови въпроси във връзка с безопасността и здравето при работа (БЗР). Във връзка с това френският Национален институт за научни изследвания и безопасност за предотвратяване на трудови злополуки и заболявания (INRS) публикува преглед на новите рискови фактори, срещани на работното място при използване на екзоскелети (INRS, 2019). От една страна, екзоскелетите могат да се разглеждат като възможност за намаляване на мускулното напрежение по време на работа чрез физическо подпомагане на работниците и чрез потенциално предотвратяване на СРМСС или чрез подпомагане на работниците с физически увреждания. От друга страна, поради преразпределянето на стреса в други зони на тялото биха могли да възникнат нови потенциални рискове за здравето. Влияние се оказва и върху моторния контрол, стабилността и промените в кинематиката (INRS, 2018). Освен това ергономичното проектиране на работните места с акцент върху принципите на ориентирания към човека дизайн може да бъде пренебрегнато. Въпреки това има много работни места, които не са свързани с определено място, например тези, които се отнасят до доставката на мебели или до службите за спешна помощ, където мерките за ергономично проектиране не могат да бъдат приложени поради променящите се изисквания на средата (Schick, 2018). Освен това пренатоварването на мускулатурата, честото повдигане, неправилните пози или тежките лични предпазни средства (ЛПС) може да увеличат риска от физическо пренатоварване в тези професии. В този контекст екзоскелетите могат да предложат редица възможности за подобряване на условията на труд.



Inc/MONOPOLY919, ©Shutterstock

Най-важният проблем е, че трябва да се подхожда внимателно, когато се използва технология, намираща се толкова близо до човешкото тяло. При проектирането на работните места следва да се вземат предвид техническите и организационните мерки преди служителите да бъдат оборудвани с екзоскелети. Като цяло използването на екзоскелети за подобряване на ергономичното проектиране на работните места следва винаги да бъде последна мярка. Понастоящем съществуват малко научни доказателства относно екзоскелетите в ергономията и трудовата наука. Едно от предизвикателствата е достъпът до дългосрочните ефекти на

екзоскелети върху биомеханиката и физиологията, който е трудно постижим на практика (Liedtke и Glitch, 2018), тъй като трябва да се вземат под внимание видът екзоскелет, работните задачи и периодите на прилагане. Освен това проучването на последиците за здравето, свързани с физиологичните функции или биомеханичните аспекти, тепърва започва, тъй като взаимодействието между хората и екзоскелетите е сложно и изследването му отнема време. Трябва обаче да се разработят нови подходи за демонстриране на ефективността на екзоскелетите, за да се оценят по-добре предимствата и недостатъците на тази технология. В настоящата статия се прави преглед на текущата дискусия относно използването и оценката на екзоскелетите по отношение на БЗР.

Екзоскелети

Определение

Екзоскелетът може да се определи като система за лична помощ, която оказва влияние върху тялото по механичен начин (Liedtke и Glitsch, 2018). В по-тесен смисъл екзоскелетите са преносими роботи, които променят вътрешните или външните сили, действащи върху тялото. Накратко, екзоскелетите са устройства за носене, които засилват или подпомагат силата на потребителя. Поради големия брой приложения и различните функционални възможности все още няма общо определение. В литературата има общо съгласие, че екзоскелетите могат да бъдат определени като външни механични структури за носене върху тялото (Herr, 2009; De Looze et al., 2016). Възможно е те да бъдат класифицирани като активни или пасивни системи.

При активните екзоскелети се използват задвижващи механизми (компоненти за механично задвижване) за подпомагане на човешкото движение. Тези механични компоненти се състоят от електродвигатели, но също така могат да бъдат хидравлични или пневматични (Goruga и Kiguchi, 2009). С тази подкрепа те осигуряват допълнителна сила и по този начин увеличават резултатите на работника. От друга страна, при пасивните екзоскелети се използва връщащата сила на пружините, амортизьорите или другите материали с цел подпомагане на човешкото движение. Енергията, съхранявана в пасивния екзоскелет, се генерира изключително от движението на ползвателя (De Looze et al., 2016). Освен това силите се преразпределят, за да се защитят конкретни зони на тялото. Промяната на резултатите от работата на ползвателите не се дължи на допълнителната физическа сила, а на способността да се поддържат изморителни пози за по-дълъг период от време, например при работа с високо вдигнати ръце.

Хибридните екзоскелети, които могат да бъдат активни или пасивни системи, засега остават изключение. При тях се използват дейностите на мозъчните вълни (ЕЕГ сигнали) или мускулна активация за задвижване. Понастоящем обаче тяхното използване в промишлеността е малко вероятно, така че те няма да бъдат обсъждани допълнително в настоящия документ.

Видове екзоскелети

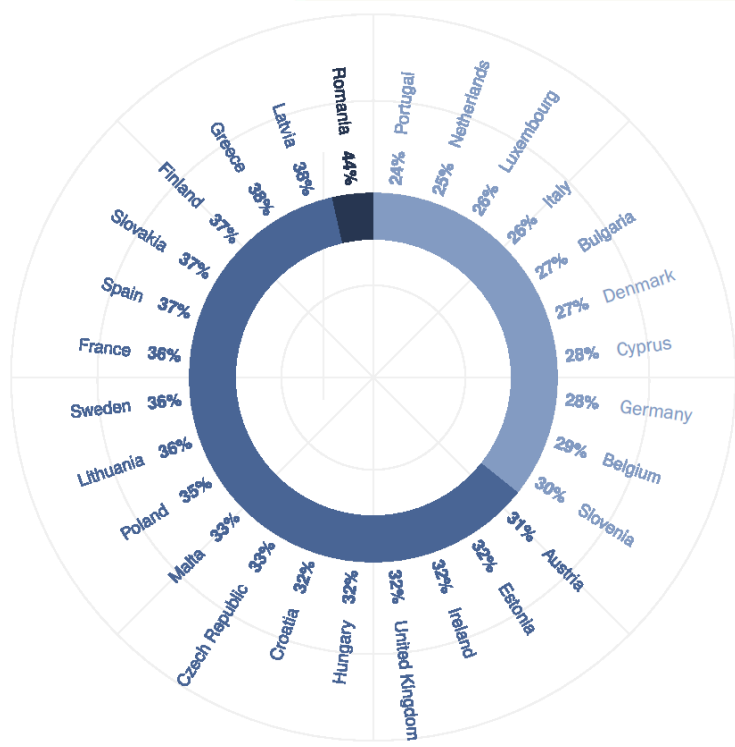
Екзоскелетите могат да бъдат класифицирани в три групи: екзоскелети за долната част на тялото, горната част на тялото и за цялото тяло. В литературата са споменати едноставни екзоскелети (Gams et al., 2013), но те няма да бъдат обсъждани допълнително в настоящата статия поради техните изключително специфични аспекти и приложения в единични случаи. При екзоскелетите за горната част на тялото обикновено се използват стабилни механични структури за преразпределяне силите на тялото, прилагани към горните крайници и торса (напр. горните крайници, предмишниците, раменете или долната част на гърба). В този случай преразпределянето на силите означава, че други зони на тялото, като например тазобедрената зона или краката, поемат допълнителни натоварвания. Екзоскелетите за долната част на тялото могат да прехвърлят сили към земята и по този начин да намалят натоварването върху мускулно-скелетната система. Важно е обаче да се отбележи, че тези принципи зависят до голяма степен от конструкцията и функционалността на екзоскелета. Помощните системи, които осигуряват подпомагане на горната и долната част на тялото по едно и също време, могат да се определят като екзоскелети за цялото тяло.

Приложни полета на работните места

Идеята за подпомагане на човешкото движение с технически устройства не представлява ново развитие. Преносими помощни устройства като екзоскелетите се използват от дълго време за медицински грижи, например използването на ортези за рехабилитационни цели, за да се помогне на пострадалите пациенти да възстановят физическото си здраве (Viteckova et al., 2013). Въпреки това ортезите могат да бъдат разграничени от екзоскелетите, тъй като те служат за подпомагане на хората с мускулно-скелетни заболявания. Разработени са и екзоскелети за военни приложения (De Looze et al., 2016). Използването на екзоскелети с цел поддържане и опазване на физическото здраве на работниците обаче е ново. Въпреки че подобряването на ергономичните условия на труд чрез помощни устройства като екзоскелетите понастоящем е предмет на спорове, те все пак предоставят нови възможности за безопасност и здраве на служителите (Schick, 2018). Освен това изискванията за ергономични работни места ще играят важна роля в бъдеще за гарантиране на физическото здраве на застаряващата работна сила, предизвикана от демографските промени. От тази гледна точка е от съществено значение да се разработят нови ергономични инструменти, тъй като понастоящем вариантите са ограничени (Hensel et al., 2018; Schick, 2018).

Областите на приложение на екзоскелетите с цел ограничаване на СРМСС са многобройни. В цяла Европа над 30 % от работните задачи са свързани с ръчна обработка на материали (Eurofound, 2012), което представлява сериозен риск за здравето. Работата, която включва повтарящи се задачи, обработка на тежки товари, работа с високо вдигнати ръце или в опасни пози на тялото, предлага различни възможности за използването на екзоскелети. На фигура 2 е показано, че във всяка европейска държава значителна част от работата представлява преместване и носене на тежки товари. По-специално в Румъния почти половината от служителите (44 %) понякога работят с тежки товари. В този контекст интерес представляват работните места в промишлеността, услугите за доставка на мебели, службите за спешна помощ и болниците. Важно е обаче да се признае ергономичното проектиране именно на стационарните работни места. Докато техническите или организационните мерки предоставят възможности за подобряване на ергономичното проектиране, следва да не се предпочита използването на екзоскелети (Schick, 2018). Въпреки това изглежда, че поставянето на акцент върху екзоскелетите, които повишават ефективността на работниците, може да е от по-голям интерес, отколкото насочването към ориентирания към човека дизайн на работното място (Baltrusch et al., 2018).

Фигура 2 Процент на наетите лица от всички възрасти в Европа, които изразходват една четвърт от времето си в носене или преместване на тежки товари (Eurofound, 2019)



24%	Portugal	24 %	Португалия
25%	Netherlands	25 %	Нидерландия
26%	Luxembourg	26 %	Люксембург
26%	Italy	26 %	Италия
27%	Bulgaria	27 %	България
27%	Denmark	27 %	Дания
28%	Cyprus	28 %	Кипър
28%	Germany	28 %	Германия
29%	Belgium	29 %	Белгия
30%	Slovenia	30 %	Словения
31%	Austria	31 %	Австрия
32%	Estonia	32 %	Естония
32%	Ireland	32 %	Ирландия
32%	United Kingdom	32 %	Обединено кралство
32%	Hungary	32 %	Унгария
32%	Croatia	32 %	Хърватия
33%	Czech Republic	33 %	Чешка република
33%	Malta	33 %	Малта
35%	Poland	35 %	Полша
36%	Lithuania	36 %	Литва
36%	Sweden	36 %	Швеция
36%	France	36 %	Франция
37%	Spain	37 %	Испания
37%	Slovakia	37 %	Словакия
37%	Finland	37 %	Финландия
38%	Greece	38 %	Гърция

38%	Latvia	38 %	Латвия
44%	Romania	44 %	Румъния

Поради технически проблеми активните екзоскелети нямат голямо практическо значение. В няколко доклада се посочват въпроси, свързани с теглото, механичната конструкция, поддръжката на батериите и проектирането на задвижващите механични части на активните екзоскелети (Yang et al., 2008; Herr, 2009; De Looze et al., 2016). За разлика от тях някои пасивни екзоскелети вече са налични в търговската мрежа. Независимо от това, подпомагането от тези пасивни системи е ограничено, тъй като първоначално само някои части от тялото могат да бъдат подпомогнати. Помощта при задачи, свързани с повдигане на тежки товари, все още е ограничена.

Предвидената употреба на екзоскелетите зависи в значителна степен от тяхното приложно поле. Освен използването им като техническа мярка, екзоскелетите биха могли да се използват и като лични предпазни устройства или медицински продукти. В зависимост от предвидените приложения е необходимо да бъдат получени различни сертификати. Тези сертификати са тясно свързани с въпроси в областта на БЗР.

Сертифициране на екзоскелети

Поради широкия им обхват на приложение в областта на рехабилитацията, промишлеността и военното дело и поради разликите в конструкцията им все още не съществува единно регулиране или сертифициране по отношение на екзоскелетите. За да се запълни тази празнина, първо трябва да се вземат предвид тяхната функционална конструкция и предвидената употреба. В това отношение даден екзоскелет може да бъде квалифициран като техническо средство, което подпомага работника да изпълнява служебните си задължения. Освен това може да бъде определен като ЛПС. В този случай екзоскелетите защитават работника от физически натоварвания, които могат да доведат до свързани с работата заболявания, като например травми от повтарящи се движения. Понастоящем няма консенсус по въпроса дали екзоскелетите могат да предпазват от МСС, което прави класификацията по-трудна.

Практическото прилагане на екзоскелетите е тясно свързано с конкретното сертифициране. Както вече беше посочено, даден екзоскелет може да бъде определен като техническа помощ в резултат на разпоредбите на Директивата на Европейския съюз относно машините (2006/42/ЕО). Активните системи могат да бъдат допълнително определени посредством международното регулиране на роботите и роботизираните устройства (ISO 10218—1:2011) и изискванията за безопасност за персонални роботи за немедицински грижи (ISO 13482:2014).

Ако даден екзоскелет е сертифициран като ЛПС въз основа на европейската Директива 89/686/ЕИО, той може да се използва за превантивни цели, за да се избегнат свързани с работата или причинени от повтарящи се движения травми. Следва да се отбележи, че Директива 89/686/ЕИО постепенно се прехвърля към новия Регламент (ЕС) 2016/425 относно личните предпазни средства.

И накрая, даден екзоскелет може да се счита за медицинско изделие съгласно съответната европейска Директива (93/42/ЕИО). Медицинските продукти трябва да отговарят на високи стандарти за безопасност и качество на работа. Клиничната оценка на медицинската ефективност, която все още е трудна за доказване, представлява предизвикателство. Всички тези изисквания обаче са необходими за използването на екзоскелети за целите на рехабилитацията или за медицински приложения, или за тяхното използване в рамките на обхвата на включването (Schick, 2018).

Оценка на риска на работното място във връзка с екзоскелети

Работодателите имат общо задължение да осигуряват безопасна и здравословна работна среда и да ограничават потенциалните рискове по време на работа. Оценка на риска на работното място, при които се вземат предвид всички възможни професионални опасности, са задължителни и трябва да бъдат извършвани от всички работодатели в Европа. В съответствие с европейските насоки, които имат за цел да отговорят на задълженията за оценка на риска по

Рамковата директива (89/391/ЕИО), са описани конкретни мерки. Тези мерки включват предотвратяването на професионалните рискове, предоставянето на информация и обучение на работниците и организациите, както и средствата за изпълнение на необходимите мерки. Въз основа на тези разпоредби трябва да се вземат под внимание възможните рискове, свързани с екзоскелети, на конкретни работни места.

Потенциалните рискове по отношение на екзоскелетите в работната среда са многобройни и са свързани с тяхната конструкция и функционалност. Активните системи могат да включват механични и технически дефекти. В този случай неправилното функциониране може да доведе до травми, тъй като задвижващият механизъм на активните екзоскелети може да окаже допълнителни сили върху тялото на работника. Понастоящем е трудно да се класифицират силите на устройствата за носене върху тялото и тяхната връзка с травмите. Като общо посочване могат да се вземат предвид биомеханични прагови стойности на „роботите сътрудници“ (ISO/TS 15066:2016 г.) (Schick, 2018). Възможно е екзоскелетите да са в състояние да увеличат риска от травми по време на инцидент с подхлъзване, спъване или падане. Тяхното влияние обаче понастоящем се оценява като ниско, когато екзоскелетите за горната част на тялото се носят по време на ходене (Kim et al., 2018). Въпреки това в зависимост от конструкцията и теглото на екзоскелета работниците и служителите могат да бъдат ограничени в своята естествена свобода на движение. Това затруднява възстановяването на баланса чрез компенсиране на движенията в случай на падане. Последниците биха могли да бъдат по-сериозни, отколкото при липсата на екзоскелет. Освен това трябва да се вземат под внимание възможни сблъсъци между екзоскелет и работно оборудване, работи или строителни машини. В този контекст бяха извършени компютърни симулации с цел проучване на практическите приложения на екзоскелети във виртуална производствена среда (Constantinescu et al., 2016). В заключение, бяха посочени няколко ограничения във връзка с препроектирането на работни места с интегрирани екзоскелети. В случай на авария сградите трябва да се евакуират бързо, за да се гарантира безопасността и здравето на всички работници. Ето защо бързото сваляне на екзоскелета е от съществено значение. Проектантите следва също така да вземат под внимание ситуации, в които работниците могат да бъдат самостоятелно заети.

В обобщение, рисковете от екзоскелетите за безопасността и здравето могат да бъдат оценени в сценарии, но все още не са уточнени. Една от причините за това са ограничените научни доказателства (Schick, 2018) и липсата на практически опит. По-специално дългосрочните ефекти от екзоскелетите върху мускулно-скелетната система не са известни. В резултат на това все още съществува необходимост от цялостни проучвания, при които да се отчитат свързаните с хората, физиологичните, медицинските и биомеханичните аспекти на екзоскелетите.

Оценка на екзоскелетите

Понастоящем предимствата и недостатъците на екзоскелетите са предмет на спорове в литературата. Като цяло те представляват обещаваща възможност за научноизследователски групи да подобрят ергономичните условия на труд и да намалят СРМСС, които често се свързват с ръчно обработване на материали (Hensel et al., 2018). Физическите нужди по отношение на мускулно-скелетната система обаче не са единствените аспекти, които следва да бъдат взети под внимание. Екзоскелетите могат също така да въздействат върху социалната среда или да оказват влияние върху други физиологични параметри, като например кръвно налягане, потребление на кислород и сърдечен ритъм.

Физиологични аспекти

Поставянето на външна структура като екзоскелет върху тялото на работника може да има отрицателни физиологични последици. В литературата вече е доказано, че допълнителното тегло на даден екзоскелет може да доведе до увеличаване на сърдечносъдовото натоварване (Theurel et al., 2018), въпреки че последиците все още са слабо познати. Предишно изследване разкри въздействието на тежестта върху енергийната потребност по време на движението: показана е по-висока консумацията на кислород, пропорционална на носената тежест. Въпреки това разходите за енергия зависят до голяма степен от пола, скоростта на придвижване и теглото на тялото (Holewijn et al., 1992). За разлика от това Whitfield и др. (2014) успяват да докажат, че ергономичното помощно средство за повдигане не увеличава потреблението на

кислород по време на повтарящи се задачи, въпреки че е включена допълнителната маса на повдигащото устройство. Освен това тези резултати са в съответствие с констатациите на различни изследователски групи, които не показват промени в сърдечната честота на субектите, носещи персонално повдигащо устройство (Godwin et al., 2009; Lotz et al., 2009). Като заключение относно промишлените приложения, Whitfield и др. (2014) предлагат личните повдигащи устройства да не се използват за увеличаване на обхвата на работните задачи. Тези различни заключения биха могли да се основават на разнообразието от екзоскелети, които са били проучвани преди това. Освен механичната структура и функцията на даден екзоскелет, работните задачи, например динамични или статични условия, също оказват въздействие върху метаболитния разход и затрудняват допълнително извеждането на общи твърдения. При определени условия обаче екзоскелетите могат да намалят мускулната умора и по този начин да предложат голям потенциал за здравето на работниците, тъй като се предполага, че мускулната умора увеличава риска от травми (Godwin et al., 2009; Lotz et al., 2009). Постоянното подпомагане може да има и отрицателни дългосрочни последици върху скелетната мускулатура. Възможно е намаляване на мускулната маса и съответно намаляване на телесната сила, но тези последици са тясно свързани със степента, в която екзоскелетът подпомага мускулатурата.

Освен това биха могли да се появят точки на натиск в областите, в които екзоскелетът е прикрепен към тялото. Това може да доведе до дискомфорт във времето. В допълнение е възможно външният натиск върху кръвоносните съдове, причинен от ремъци или колани, да намали притока на кръв в съответната част на тялото. Освен това сърдечният ритъм и кръвното налягане могат да бъдат променени при използването на екзоскелет в работни условия на повтаряща се работа с високо вдигнати ръце. Накрая, възможно е дразнене на кожата, дължащо се на реакции на триене или алергични реакции. Тези фактори обаче са спекулативни и могат да се разглеждат единствено с предпазливост.

Приемане от страна на потребителите и психосоциални ефекти

Трябва да се има предвид, че макар физическите въздействия на екзоскелетите да могат да оказват влияние върху работника, приемането от страна на потребителите също може да играе важна роля в работната среда. Приемливостта на даден екзоскелет е от съществено значение за продължителното му използване. Понастоящем са проведени някои изследвания, при които се отчита субективната оценка на екзоскелетите, за да се вземе под внимание приемането на технологиите (Gilotta et al., 2018; Hensel et al., 2018). Въпреки че твърдите екзоскелети се оценяват положително от много потребители, Hensel и др. (2018) показаха, че тяхното приемане може да намалее с времето и е тясно свързано с дискомфорта и използваемостта. Дискомфортът е един от аспектите, представляващи най-голямо предизвикателство, и може да попречи на широкото прилагане на екзоскелети на работни места в промишлеността (Bosch et al., 2016). Отново трябва да се посочи, че тези оценки са тясно свързани със специфични задачи и екзоскелети и следователно не могат да бъдат генерализирани. Въпреки това констатациите показват, че разработчиците следва да вземат под внимание функционалността и теглото, както и ергономичната конструкция на екзоскелетите. Освен това работниците могат да се чувстват по-маловажни, когато използват екзоскелет, за да изпълняват ежедневните си задачи, тъй като физическият аспект на действието също е свързан с устройството. Gilotta и др. (2018) посочиха социалните аспекти като фактор, който може да намали приемливостта. Носенето на екзоскелети може да доведе и до стигматизация на работното място, тъй като може да изглежда, че работниците зависят от помощното си средство.

Биомеханични аспекти

Понастоящем съществуват многобройни проучвания, които показват, че екзоскелетите могат да намалят физическия стрес в отделните зони на тялото, като например раменните стави или долната част на гръбначния стълб (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). Същевременно обаче може да е от значение фактът, че преразпределянето на физическия стрес води до увеличаване на стреса в други зони на тялото, ако силите не бъдат прехвърлени към земята (Theurel et al., 2018; Weston et al., 2018). В този контекст Weston и др. (2018) установиха, че екзоскелетът за горната част на тялото увеличава натоварването върху лумбалните прешлени. Theurel и др. (2018) показаха, че екзоскелетът за горната част на тялото е в състояние да намали мускулната активност на

раменните стави. Въпреки това се посочват физически последици, включително по-високи равнища на мускулна активност в други зони на тялото или различни модели на движение. Освен това допълнителната тежест на екзоскелета се отразява не само на сърдечносъдовите заболявания, но и на центъра на масата на тялото, която оказва влияние върху мускулната дейност на потребителя. Важно е да се отбележи, че последиците от екзоскелетите върху човешкото тяло не могат да бъдат генерализирани. Въпросите в областта на биомеханичните изследвания често са свързани с много специфични движения и мускулни дейности и при тях не се отчитат всички възможни случаи на употреба и всички видове екзоскелети. Въпреки това при тях може да се разгледа липсата на функционалност, дължаща се на механичните въздействия на конкретни екзоскелети, както и техните последици във връзка със стреса и натоварването за тялото.

Предизвикателства за безопасността и здравето при работа

Въвеждането на нови технологии на работното място винаги включва критична оценка на БЗР за заинтересованите страни. Като цяло наличието на ориентиран към човека дизайн в съответствие с Рамковата директива (89/391/ЕИО) е основна предпоставка. В по-тесен смисъл това означава, че стандартните работни места не изискват допълнителни мерки. Въпреки това поради настоящата ситуация в сферата на труда в Европа и връзката на новите технологии с мускулно-скелетните заболявания ергономичните условия не са очевидни. За да се гарантира добра работна среда, следва да се вземат предвид техническите, организационните и индивидуалните мерки в съответствие с Рамковата директива (89/391/ЕИО). Що се отнася до тяхното въздействие върху БЗР, прилагането в йерархичен ред е задължително. Когато всички технически мерки са изчерпани, например използването на помощни средства за вдигане или препроектирането на работното място, трябва да бъдат взети предвид организационни аспекти, като например преразпределението на работните процеси. И накрая, могат да се обмислят лични мерки за защита на работниците.

Както беше посочено по-горе, екзоскелетите могат да бъдат описани като технически или медицински изделия и могат също така да бъдат определени като предпазно средство. Класификацията им зависи до голяма степен от тяхното приложение, конструкция и предвидена употреба. Поради това понастоящем екзоскелетите могат да бъдат оценявани само въз основа на индивидуален подход. На практика е възможно екзоскелетите да се използват като технически устройства за улесняване на работните процеси. Въпреки това, ако се използват за подобряване на проектирането на работното място, в което са необходими ергономични мерки за защита на работниците от травми от повтарящи се движения, те трябва да се считат за ЛПС.

В бъдеще оценката на екзоскелетите следва да бъде интегрирана с традиционния ергономичен подход (ориентиран към човека дизайн), тъй като те оказват въздействие върху работните ситуации и организационните аспекти.

Работници

Изискванията за употреба от работниците зависят от специфичната класификация на разглеждания екзоскелет. Ако са сертифицирани като техническо средство, екзоскелетите са обвързани с работните места и не могат да бъдат използвани във всяка възможна работна ситуация, освен ако са били разгледани за това приложение. Въпреки това техническите устройства не са лични мерки и използването им е доброволно. Ако даден екзоскелет е сертифициран като ЛПС, използването му се изисква от закона. В този случай служителят трябва да бъде оборудван с екзоскелет, докато е изложен на повишено работно натоварване.

Работодатели

По време на изпълнението и процеса на работа работодателите трябва да вземат под внимание различни аспекти. В сравнение с техническите помощни средства хигиенните изисквания за ЛПС са по-изчерпателни. Във връзка с това използването на екзоскелет става задължително. За да

се изпълнят тези искания, най-малко всеки работник, който работи на работно място, изискващо екзоскелет под формата на ЛПС, трябва да е оборудван с екзоскелет, което може да предизвика проблеми при съхранението. Освен това следва да се вземат под внимание хроничните привиквания, МСС, сърдечносъдовите реакции и аспектите на изпълнението. В допълнение трябва да са налице достатъчно почистващи средства или измиващи машини с цел спазване на хигиенните стандарти. Екзоскелетите, които се определят като технически помощни средства, не са задължителни и не трябва да бъдат предоставяни на разположение на всеки служител на работното място. Когато обаче се използват, те следва да се разглеждат като помощно средство (за подпомагане), а не като начин за повишаване на резултатите или ефективността на работниците.

Създатели на политики

В бъдеще създателите на политики следва да вземат предвид регулирането на екзоскелетите по отношение на техническите аспекти и тяхното прилагане, за да се улесни сертифицирането на новата технология. Това дава възможност на производителите да класифицират продуктите си по-ясно и позволява на работодателите да използват екзоскелетите по предназначение. Трябва да се отбележи обаче, че предвидената употреба на продукта и съответното сертифициране винаги са отговорност на производителя.

Резюме

Темата за екзоскелетите в момента е обект на значително внимание. Въпреки техния видим обещаващ потенциал обаче, прилагането на екзоскелети в широк кръг от области следва да бъде поставено под въпрос. Остава да се види дали екзоскелетите ще бъдат широко използвани в бъдеще, за да се защитят работниците от травми вследствие на претоварване или с цел икономия на работни процеси. В зависимост от техническото развитие екзоскелетите могат да се превърнат в стандартен инструмент за процеси по ръчна обработка или да останат нишов продукт с много специфични приложения. Настоящият търговски интерес към екзоскелетите обаче може също така да породи проблем за бъдещото развитие, тъй като може да се отдаде приоритет на ориентирани към резултатите или икономически подходи, което ще доведе до пренебрегване на безопасността на работното място. Независимо от това екзоскелетите могат да бъдат прилагани като технически, медицински или лични предпазни устройства в зависимост от предвидената им употреба на работното място. Поради разнообразието по отношение на функционалността, конструкцията и приложението обаче не съществува единно определение, което усложнява прилагането им на практика с оглед на тяхното сертифициране. Въпреки че съществуват многобройни проучвания на екзоскелетите, при които се вземат предвид различни аспекти във връзка с използваемостта и функционалността, понастоящем е налице слабо разбиране на ефектите върху здравето на служителите. По-специално не е известно дългосрочното въздействие на екзоскелетите върху физиологичните, психосоциалните и биомеханичните параметри. С цел по-надеждни резултати в бъдещите проучвания следва да се обърне внимание на ориентираното към практиката дългосрочно въздействие на екзоскелетите на работното място. Следва да се отбележи, че използването на екзоскелети за подобряване на ергономичното проектиране при стационарните работни места не може да бъде препоръчано, но има и голям брой нестационарни или мобилни работни места, при които не са възможни ергономични мерки. В този контекст екзоскелетите могат да предложат многообещаващ подход за намаляване на СРМСС в бъдеще.

Автори: Peters, M. и Wischniewski, S. (2019). Федерален институт за безопасност и здраве при работа, Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund, Germany.

Управление на проекта: Annick Starren, Emmanuelle Brun, Европейска агенция за безопасност и здраве при работа (EU-OSHA), 2109 г.

Изказваме благодарност на д-р Lars Adolph, проф. д-р Ute Latza и групата на фокусните точки на EU-OSHA за техния критичен преглед и полезни предложения. Бихме искали да благодарим на EUROFOUND за използването на илюстрациите в настоящия документ.

Настоящата статия е възложена от Европейската агенция за безопасност и здраве при работа (EU-OSHA). В нея, включително в изразените мнения и/или заключения, се съдържа единствено мнението на авторите и не се отразява непременно становището на EU-OSHA.

Използвана литература

- Директива 89/391/ЕИО Директива на Съвета от 12 юни 1989 г. за въвеждане на мерки за насърчаване подобряването на безопасността и здравето на работниците на работното място. Съвет на Европейските общности.
- Директива 89/686/ЕИО. Директива на Съвета от 21 декември 1989 г. относно сближаване на законодателствата на държавите членки в областта на личните предпазни средства (ЛПС). Съвет на Европейските общности.
- Директива 93/42/ЕИО Директива 93/42/ЕИО на Съвета от 14 юни 1993 г. относно медицинските изделия. Съвет на Европейските общности.
- Директива 2006/42/ЕО. Директива 2006/42/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 17 май 2006 г. относно машините и за изменение на Директива 95/16/ЕО (преработен текст). Европейски парламент и Съвет на Европейския съюз.
- Регламент 2016/425. Регламент (ЕС) 2016/425 на Европейския парламент и на Съвета от 9 март 2016 г. относно личните предпазни средства и за отмяна на Директива 89/686/ЕИО на Съвета. Европейски парламент и Съвет на Европейския съюз.
- Abdoli-E, M., Agnew, M. J. и 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), стр. 456—465.
- Baltrusch, S. J., van Dieën, J. H., van Bennekom, C. A. M. и Houdijk, H. (2018). The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Applied Ergonomics*, 72, стр. 94—106.
- Bevan, S. (2015). Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Practice & Research in Clinical Rheumatology*, 29 (3), стр. 356—373.
- Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K. и de Looze, M. (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics*, 54, стр. 212—217.
- Collins, J. D. и 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, стр. 85—97.
- Constantinescu, C., Muresan, P.-C. и Simon, G.-M. (2016). JackEx: the new digital manufacturing resource for optimization of exoskeleton-based factory environments. *Procedia CIRP*, 50, стр. 508—511.
- De Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S. и O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59 (5), стр. 671—681.
- INRS. (2018). Exosquelettes au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs – état des connaissances. Париж Institut National de Recherche et de Sécurité. Взето от INRS: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>
- INRS. (2019). Acquisition et integration d'un exosquelette en entreprise: Guide pour les préventeurs. Париж Institut National de Recherche et de Sécurité. Взето от INRS: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>
- Eurofound. (2012). *Пето европейско проучване на условията на труд*. Люксембург: Служба за публикации на Европейския съюз.
- Eurofound. (2019). *Европейско проучване за условията на труд, 2015 г.* Брюксел: Eurofound. Взето от Eurofound: <https://www.eurofound.europa.eu/data/european-working-conditions-survey>.
- Gams, A., Petrič, T., Debevec, T. и Babič, J. (2013 г.). Effects of robotic knee exoskeleton on human energy expenditure. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60 (6), стр. 1636—1644.
- Gilotta, S., Spada, S., Ghibaud, L., Isoardi, M. и Mosso, C. (2018 г.). *Acceptability beyond Usability: A Manufacturing Case Study*. Доклад, представен на Конгреса на Международната асоциация по ергономия.

- Godwin, A. A., Stevenson, J. M., Agnew, M. J., Twiddy, A. L., Abdoli-Eramaki, M. и 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), стр. 121—126.
- Gopura, R. A. R. C. и Kiguchi, K. (2009). *Mechanical Designs of Active Upper-limb Exoskeleton Robots: State-of-the-art u Design Difficulties*. Доклад, представен на ICORR, 2009 г.: IEEE, 11-а Международна конференция по рехабилитационна роботика (ICORR).
- Graham, R. B., Agnew, M. J. и 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), стр. 936—942.
- Hensel, R., Keil, M., Mücke, B. и Weiler, S. (2018). Chancen und Risiken für den Betrieblichen Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. *ASU Zeitschrift für medizinische Prävention*, 53, стр. 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. и Wammes, L. (1992). Physiological strain due to load carrying in heavy footwear. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*, 65 (2), стр. 129—134.
- ISO 10218-1:2011. Роботи и роботизирани устройства. Изисквания за безопасност на промишлени роботи. Част 1: Роботи Женева: Международна организация по стандартизация.
- ISO 13482:2014. Роботи и роботизирани устройства. Изисквания за безопасност за персонални роботи за немедицински грижи. Женева: Международна организация по стандартизация.
- ISO/TS 15066:2016. Роботи и роботизирани устройства. Асистиращи роботи. Женева: Международна организация по стандартизация.
- Kim, S., Nussbaum, M. A., Mokhlespour Esfahani, M. I., Alemi, M. M., Jia, B. и Rashedi, E. (2018 г.). 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, стр. 323—330.
- Liedtke, M. и Glitsch, U. (2018). Exoskelette — Verordnung für persönliche Schutzausrüstung. *sicher ist sicher*, 3, стр. 110—113.
- Lotz, C. A., Agnew, M. J., Godwin, A. A. и 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), стр. 331—340.
- Schick, R. (2018). Einsatz von Exoskeletten in der Arbeitswelt. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68 (5), стр. 266—269.
- Theurel, J., Desbrosses, K., Roux, T. & Savescu, A. (2018 г.). Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. *Applied Ergonomics*, 67, стр. 211—217.
- Viteckova, S., Kutilek, P. и Jirina, M. (2013). Wearable lower limb robotics: a review. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 33 (2), стр. 96—105.
- Weston, E. B., Alizadeh, M., Knapik, G. G., Wang, X. и Marras, W. S. (2018). Biomechanical evaluation of exoskeleton use on loading of the lumbar spine. *Applied Ergonomics*, 68, стр. 101—108.
- Whitfield, B. H., Costigan, P. A., Stevenson, J. M. и 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), стр. 39—44.
- Yang, C., Zhang, J., Chen, Y., Dong, Y. и 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), стр. 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), стр. 11125—11134.