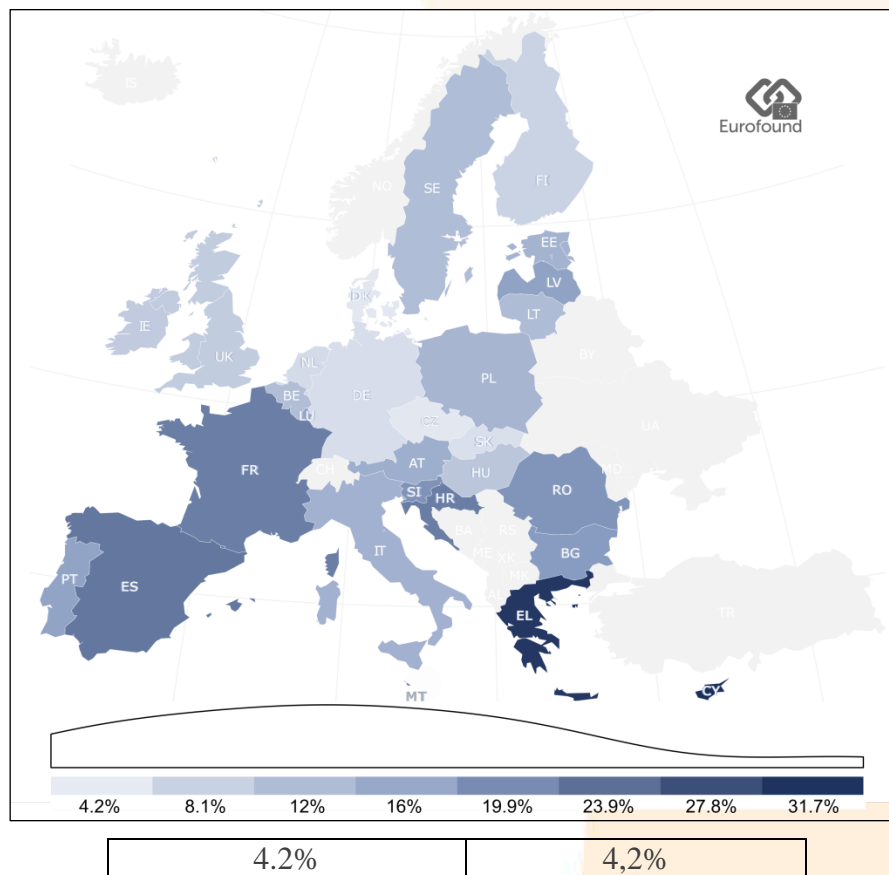


## A BIOMECHANIKUS KÜLSŐ VÁZAK (EXOSKELETONOK) MUNKAHELYI BIZTONSÁGRA ÉS EGÉSZSÉGVÉDELEMRE GYAKOROLT HATÁSA

### Bevezetés

Az elmúlt években új, testen viselt segédeszközöket – úgynevezett biomechanikus külső vázakat – vezettek be a munkahelyeken. Használatuk várhatóan megszokottá fog válni a jövőben, mivel a biomechanikus külső vázak prototípusai előnyösnek bizonyultak olyan területeken, mint az orvosi ellátás. A biomechanikus külső vázak láthatóan egy új megközelítést jelentenek a munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedések problémájának kezelésében. A munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedések a legnagyobb kihívást jelentő problémák közé tartoznak az európai munkahelyeken<sup>1</sup>. Az 1. ábra azoknak a munkavállalóknak a százalékos arányát mutatja be, akik fárasztó és fájdalmas testhelyzetben dolgoznak, ami a munkahelyek rossz kialakításával lehet összefüggésben, mivel a munkakörülmények még mindig nagy problémát jelentenek Európa-szerte. A biomechanikus külső vázakat e probléma kezelése érdekében fejlesztették ki.

1. ábra: Az összes olyan európai munkavállaló százalékos aránya, akik fárasztó vagy fájdalmas testhelyzetben dolgoznak (az Eurofound 2019 dokumentumból átvéve)



<sup>1</sup> Európában a munkavállalók több mint 40%-a szenved derékfájásban vagy vállpanaszokban. Emellett a munkavállalók 63%-a végez ismétlődő feladatokat, illetve gyakran dolgozik (46%) potenciálisan veszélyes testhelyzetekben (Eurofound, 2012). Az ilyen munkakörülmények miatt fellépő egészségügyi problémákból adódó éves költség az Európai Unió (EU) bruttó hazai termékének mintegy 2%-át teszi ki (Bevan, 2015). E problémákat sokszor a kézi anyagmozgatással járó feladatok okozzák, ezek közé tartozik a terhek megemelése, leeresztése, megtartása vagy hordása (Zurada, 2012; Collins and O'Sullivan, 2015). A kicsavart testtartásban, meghajolva és fej felett végzett munka szintén növeli a munkahelyi megbetegedések kockázatát. A munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedések ezért nemcsak egészségügyi problémát jelentenek, hanem gazdaságilag is központi jelentőségűek.

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

A biomechanikus külső vázak olyan hordható eszközök, amelyek különböző mechanikai elvek alkalmazásával képesek támogatni a váz- és izomrendszert. A munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedéseket illetően ezek az eszközök mérsékelni tudják a gyakran érintett testrészek, például a derék vagy a váll izmainak megfeszülését. Bár a biomechanikus külső vázak hasznosak lehetnek a munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedések megelőzésében, azt is figyelembe kell venni, hogy az ilyen segédeszközök új kérdéseket vetnek fel a munkahelyi egészségvédelem és biztonság terén. Ezzel kapcsolatban a munkahelyi balesetek és megbetegedések megelőzésével foglalkozó francia országos kutató- és biztonsági intézet (INRS) áttekintést tett közzé a biomechanikus külső vázak használata során felmerült új munkahelyi kockázatokról (INRS, 2019). A biomechanikus külső vázakra egyrészt lehet úgy tekinteni, hogy lehetőséget adnak a munkahelyen az izmok megterhelésének csökkentésére azáltal, hogy fizikailag segítik a munkavállalókat, és ezáltal megelőzhetik a munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedések kialakulását, illetve támogatják a testi fogyatékkal élő munkavállalókat. Másrészt viszont új potenciális egészségügyi kockázatok léphetnek fel, mivel a terhelés más testrészekre tevődik át. Ez a motoros irányítást, az ízületek stabilitását és a megváltozott kinematikát is érinti (INRS, 2018). Ráadásul előfordulhat, hogy figyelmen kívül hagyják a munkahelyek ergonómiai kialakítását, amely az emberközpontú kialakítás elveire összpontosít. Mindazonáltal sok olyan munkahely van, amely nem kötődik egy adott helyszínhez, mint például a bútorszállítás vagy a sürgősségi segítségnyújtások, ahol a változó környezeti követelmények miatt nem valósítható meg az ergonómikus kialakítás (Schick, 2018). Ráadásul az izomrendszer túlterhelése, a gyakori emelés, a helytelen testtartás vagy a nehéz egyéni védőeszközök fokozhatják a fizikai túlterhelés kockázatát ezekben a szakmákban. A biomechanikus külső vázak ebben az összefüggésben számos lehetőséget kínálhatnak a munkakörülmények javítására.



Inc/MONOPOLY919, ©Shutterstock

A legfontosabb szempont az, hogy elővigyázatosan kell eljárni, ha az emberi testhez ilyen közel alkalmaznak egy technológiát. Mielőtt a munkavállalókat felszerelnék biomechanikus külső vázakkal, a munkahelyek kialakításakor technikai és szervezési intézkedéseket is figyelembe kell venni. Általánosságban elmondható, hogy a biomechanikus külső vázakat mindig utolsó lehetőségként kell számításba venni a munkahelyek ergonómikus kialakításának javításához. Az ergonómia és a munkatudomány jelenleg kevés tudományos adattal rendelkezik a biomechanikus külső vázakról. Az

egyik kihívást a biomechanikus külső vázak által a humán biomechanikára és fiziológiára gyakorolt hosszú távú hatások értékelése jelenti, amit a gyakorlatban nehéz elvégezni (Liedtke és Glitsch, 2018), mivel figyelembe kell venni a biomechanikus külső váz típusát, a munkafeladatot és a használat időtartamát. Ráadásul a fiziológiai és biomechanikai szempontokkal kapcsolatos egészségügyi hatások vizsgálata csak most kezdődött el, mivel az emberek és a biomechanikus külső vázak közötti kölcsönhatás vizsgálata összetett és időigényes feladat. Ugyanakkor új megközelítéseket kell kidolgozni a biomechanikus külső vázak hatékonyságának bizonyítására, hogy jobban fel lehessen becsülni e technológia előnyeit és hátrányait. Ez a cikk áttekintést ad arról a vitáról, amely jelenleg a munkahelyi egészségvédelem és biztonság összefüggésében a biomechanikus külső vázak használatáról és értékeléséről folyik.

## Biomechanikus külső vázak

### Meghatározás

A biomechanikus külső váz olyan egyéni segítő rendszerként határozható meg, amely mechanikus úton hat a testre (Liedtke és Glitsch, 2018). Szűkebb értelemben a biomechanikus külső vázak olyan hordozható robottechnológiák, amelyek módosítják a testre ható belső és külső erőket. Röviden összefoglalva a biomechanikus külső vázak olyan hordható eszközök, amelyek javítják vagy támogatják a felhasználó erejét. Az alkalmazások és különböző funkciók nagy száma miatt még nem létezik általánosan bevett fogalom meghatározás. A szakirodalomban általános egyetértés van arról, hogy a biomechanikus külső vázak testen viselt külső mechanikus szerkezetként határozhatók meg (Herr, 2009; De Looze et al., 2016). Aktív vagy passzív rendszerekként kategorizálhatók.

Az aktív biomechanikus külső vázak működtető szerkezeteket (mechanikus meghajtó elemeket) használnak az emberi mozgás támogatására. Ezek a mechanikus alkatrészek villanymotorokból állnak, de hidraulikus vagy pneumatikus meghajtásúak is lehetnek (Gopura és Kiguchi, 2009). Ezzel a támogatással többetérőt biztosítanak a munkavállalónak, és ezáltal növelik a teljesítményét. Ezzel szemben a passzív biomechanikus külső vázak a rugók, csillapító berendezések vagy egyéb anyagok visszaállító erejét használják fel az emberi mozgás támogatására. A passzív biomechanikus külső vázakban tárolt energiát kizárólag a felhasználó mozgása állítja elő (De Looze et al., 2016). Emellett az adott testrész védelme érdekében a külső váz újra elosztja az erőhatásokat. A felhasználó teljesítménye nem az újabb fizikai erő kifejtés hatására változik meg, hanem annak köszönhetően, hogy hosszabb ideig képes fenntartani a fárasztó testhelyzetet, például fej felett végzett munka esetén.

A hibrid biomechanikus külső vázak – amelyek aktív vagy passzív rendszerek is lehetnek – továbbra is csak kivételesen fordulnak elő. Ezek az agyhullámok aktivitását (EEG-jelek) vagy az izmok aktiválását használják fel a mozgás kezdeményezésére. Ipari felhasználásuk azonban jelenleg nem valószínű, ezért ebben a dokumentumban ezeket nem fogjuk részletesebben taglalni.

### A biomechanikus külső vázak típusai

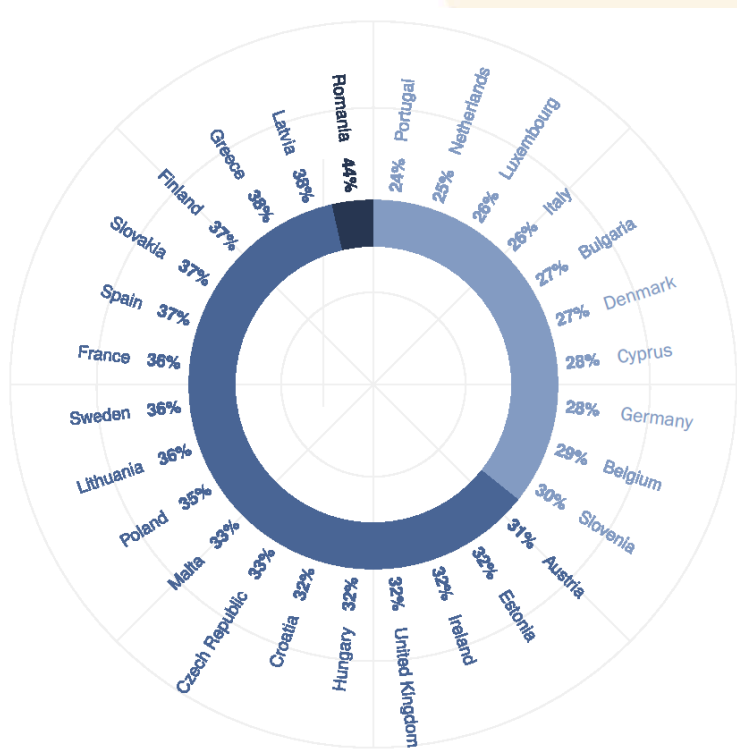
A biomechanikus külső vázak három csoportba sorolhatók: az alsótesten, a felsőtesten és a teljes testen használt biomechanikus külső vázak. A szakirodalom megemlíti az egyetlen ízületet támogató biomechanikus külső vázakat is (Gams et al., 2013), ezeket azonban a továbbiakban nem tárgyaljuk ebben a cikkben, mivel rendkívül egyéni kialakításúak és egyedi esetekben alkalmazzák őket. A felsőtesten használt biomechanikus külső vázak rendszerint szilárd mechanikus szerkezetekkel osztják el a felső végtagokra és a törzsre (például a felkarra, az alkarra, a vállakra vagy a derékra) kifejtett erőhatásokat. Ebben az esetben az erőhatások újraelosztása azt jelenti, hogy más testrészek, például a csípő vagy a lábak veszik át a többletterhelést. Az alsótesten használt biomechanikus külső vázak alkalmasak arra, hogy a földre vigyék át az erőhatásokat, és ezzel csökkentik a váz- és izomrendszer terhelését. Fontos azonban megemlíteni, hogy ezek az elvek nagyban függenek a biomechanikus külső váz kialakításától és működésétől. A felsőtestet és az alsótestet egyszerre támogató segédrendszerek teljes testen használt biomechanikus külső vázként határozhatók meg.

## Munkahelyi alkalmazási területek

Nem új keletű elképzelés, hogy műszaki eszközökkel kívánják támogatni az emberi mozgást. Az orvosi ellátásban már régóta használnak hordozható segédeszközöket, például biomechanikus külső vázakat, rehabilitációs célból például ortózisokkal segítik elő a sérült beteg fizikai felépülését (Viteckova et al., 2013). Mindazonáltal az ortózisokat külön lehet választani a biomechanikus külső vázaktól, mivel az előbbiek a váz- és izomrendszeri megbetegedésben szenvedő emberek támogatására szolgálnak. Katonai alkalmazásokra is fejlesztettek ki biomechanikus külső vázakat (De Looze et al., 2016). Az azonban új fejlemény, hogy a munkavállalók fizikai egészségének megőrzésére vagy védelmére használják a biomechanikus külső vázakat. Bár jelenleg vitatott kérdés, hogy segédeszközökkel, például biomechanikus külső vázakkal javítsák a munkakörülményeket, azonban ezek még mindig új lehetőségeket kínálnak a munkavállalók biztonsága és egészsége szempontjából (Schick, 2018). Ráadásul az ergonómikus munkahelyekkel kapcsolatos követelmények a jövőben fontos szerepet fognak játszani a demográfiai változás miatt idősödő munkaerő fizikai egészségének biztosításában. Ebből a szempontból létfontosságú az új ergonómikus eszközök fejlesztése, mivel a lehetőségek jelenleg korlátozottak (Hensel et al., 2018; Schick, 2018).

Számos olyan alkalmazási terület van, ahol a biomechanikus külső vázak csökkenthetik a munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedéseket. Európában a munkafeladatok több mint 30%-a a kézi anyagmozgatáshoz kapcsolódik (Eurofound, 2012), ami jelentős egészségügyi kockázatot jelent. Az ismétlődő feladatokkal, nehéz terhek kezelésével, fej felett végzett munkával vagy veszélyes testhelyzettel járó munka számos lehetőséget kínál a biomechanikus külső vázak alkalmazására. A 2. ábra azt szemlélteti, hogy a nehéz terhek mozgatása és hordása minden európai országban jelentős részét teszi ki a munkának. Különösen Romániában a munkavállalók csaknem felének (44%) kell néha nehéz terheket mozgatnia. Ebből a szempontból az ipari munkahelyek, a bútorszállító vállalkozások, a sürgősségi segélyszolgálatok és a kórházak érdekesekek. Fontos azonban elismerni az ergonómikus kialakítás jelentőségét, nevezetesen a helyhez kötött munkahelyeken. Amíg a technikai vagy szervezeti intézkedések lehetőséget adnak az ergonómikus kialakítás javítására, addig nem szabad előnyben részesíteni a biomechanikus külső vázakat (Schick, 2018). Ugy tűnik viszont, hogy a munkavállalók teljesítményét növelő biomechanikus külső vázak nagyobb érdeklődésre tarthatnak számot, mint a munkahelyek emberközpontú kialakításának előtérbe helyezése (Baltrusch et al., 2018).

**2. ábra: Azoknak a munkavállalóknak a százalékos aránya Európában minden korcsoportban, akik idejük egynegyedét nehéz terhek hordásával vagy mozgatásával töltik (Eurofound, 2019)**



24%	Portugal	24%	Portugália
25%	Netherlands	25%	Hollandia
26%	Luxembourg	26%	Luxemburg
26%	Italy	26%	Olaszország
27%	Bulgaria	27%	Bulgária
27%	Denmark	27%	Dánia
28%	Cyprus	28%	Ciprus
28%	Germany	28%	Németország
29%	Belgium	29%	Belgium
30%	Slovenia	30%	Szlovénia
31%	Austria	31%	Ausztria
32%	Estonia	32%	Észtország
32%	Ireland	32%	Írország
32%	United Kingdom	32%	Egyesült Királyság
32%	Hungary	32%	Magyarország
32%	Croatia	32%	Horvátország
33%	Czech Republic	33%	Cseh Köztársaság
33%	Malta	33%	Málta
35%	Poland	35%	Lengyelország
36%	Lithuania	36%	Litvánia
36%	Sweden	36%	Svédország
36%	France	36%	Franciaország
37%	Spain	37%	Spanyolország
37%	Slovakia	37%	Szlovákia
37%	Finland	37%	Finnország
38%	Greece	38%	Görögország
38%	Latvia	38%	Lettország
44%	Romania	44%	Románia

Technikai jellegű problémák miatt az aktív biomechanikus külső vázaknak kevés gyakorlati jelentőségük van. Számos beszámoló mutat rá az aktív biomechanikus külső vázak súlyával, mechanikai szerkezetével, akkumulátoros támogatásával és a hajtásmechanika kialakításával kapcsolatos problémákra (Yang et al., 2008; Herr, 2009; De Looze et al., 2016). Ezzel szemben néhány passzív biomechanikus külső váz már kereskedelmi forgalomban is elérhető. Ugyanakkor ezek a passzív rendszerek korlátozott támogatást nyújtanak, mivel kezdetben csak néhány testrészt tehermentesíthető. Még mindig csak korlátozott segítséget tudnak nyújtani a nehéz terhek emelése során.

A biomechanikus külső vázak rendeltetészerű felhasználása nagyban függ az alkalmazási területüktől. A műszaki intézkedésként való alkalmazásuk mellett a biomechanikus külső vázak felhasználhatók egyéni védőeszközként vagy gyógyászati termékként is. A tervezett felhasználástól függően különböző tanúsításokat kell beszerezni. Ezek a tanúsítások szorosan összefüggnek a munkahelyi egészségvédelmi és biztonsági kérdésekkel.

## A biomechanikus külső vázak tanúsítása

A sokféle alkalmazási terület – rehabilitáció, ipar és katonaság – és az eltérő konstrukciós típusok miatt a biomechanikus külső vázaknak még mindig nincs egységes szabályozása vagy tanúsítása. E hiányosság megszüntetése érdekében először a funkcionális kialakításukat és rendeltetészerű felhasználásukat kell figyelembe venni. E tekintetben egy biomechanikus külső váz a munkavállalót a feladatainak ellátásában támogató műszaki eszközként sorolható be. Emellett meghatározható egyéni védőeszközként is. Ebben az esetben a biomechanikus külső váz védi a munkavállalókat az olyan

fizikai terheléstől, amely munkahelyi megbetegedést, például túlterheléses szindrómákat okozhat. Jelenleg nincs konszenzus arról, hogy a biomechanikus külső vázak védelmet tudnak nyújtani a váz- és izomrendszeri megbetegedésekkel szemben, ami még nehezebbé teszi a besorolást.

A biomechanikus külső vázak gyakorlati alkalmazása szorosan összefügg az adott tanúsítással. Ahogy már említettük, egy biomechanikus külső váz a gépekről szóló uniós irányelv (2006/42/EK irányelv) szerinti szabályozás alapján besorolható műszaki segédeszközként. Az aktív rendszerek meghatározhatók továbbá a robotokra és robotszerkezetekre vonatkozó nemzetközi szabvány (ISO 10218-1:2011) és a személysegítő robotok biztonsági követelményeire vonatkozó nemzetközi szabvány (ISO 13482:2014) alapján.

Ha egy biomechanikus külső vázat a 89/686/EGK európai irányelv alapján egyéni védőeszközként tanúsítanak, akkor az megelőzési célokra használható fel a munkahelyi és túlterheléses sérülések elkerülése érdekében. Megemlítendő, hogy a 89/686/EGK irányelvet fokozatosan beépítették az egyéni védőeszközökről szóló (EU) 2016/425 rendeletbe.

Végezetül pedig egy biomechanikus külső váz a vonatkozó európai szabályozás (a 93/42/EGK irányelv) szerint orvostechikai eszköznek tekinthető. Az orvostechikai eszközök biztonságosságára és teljesítőképességére szigorú előírások vonatkoznak. Kihívást jelent az orvosi hatékonyság klinikai értékelése, amit még mindig nehéz bizonyítani. Mindezek a követelmények azonban szükségesek ahhoz, hogy a biomechanikus külső vázakat rehabilitációs célokra vagy orvosi alkalmazásokban lehessen felhasználni, illetve integrációs célokra lehessen hasznosítani (Schick, 2018).

## A biomechanikus külső vázakkal kapcsolatos munkahelyi kockázatértékelés

A munkáltatók általános kötelezettsége, hogy biztonságos és egészséges munkakörnyezetet kell biztosítaniuk, és a munkavégzés során korlátozniuk kell a lehetséges kockázatokat. Kötelező a minden lehetséges foglalkozási veszélyt figyelembe vevő munkahelyi kockázatértékelés, és azt Európában minden munkáltatónak el kell végeznie. A 89/391/EGK keretirányelv szerinti kockázatértékelési feladatok kezelésére vonatkozó európai iránymutatás konkrét intézkedéseket ír elő. Ezen intézkedések közé tartozik a foglalkozási kockázatok megelőzése, a munkavállalók és szervezetek tájékoztatása és képzése, valamint a szükséges intézkedések végrehajtására szolgáló eszközök biztosítása. E szabályozások alapján mérlegelni kell a biomechanikus külső vázakkal kapcsolatban konkrét munkahelyeken felmerülő lehetséges kockázatokat.

A biomechanikus külső vázaknak számos lehetséges kockázata van a munkakörnyezetben, amelyek a kialakításukkal és a működésükkel függenek össze. Az aktív rendszerek mechanikailag és műszakilag meghibásodhatnak. Ebben az esetben a működési hiba sérüléseket okozhat, mivel az aktív biomechanikus külső vázak hajtásmechanizmusa többlet erőhatásokat fejthet ki a munkavállaló testére. Jelenleg nehéz kategorizálni a testen viselt eszközök erőhatásait és azt, hogy ezek hogyan függenek össze a sérülésekkel. Általános viszonyítási alapnak lehet tekinteni a kollaboratív robotok biomechanikai küszöbértékeit (ISO/TS 15066:2016) (Schick, 2018). Elképzelhető, hogy a biomechanikus külső vázak a megcsúszásos, megbotlásos vagy eleséses balesetek során növelhetik a sérülés kockázatát. Ugyanakkor ezek hatását jelenleg csekély mértékűnek tartják, ha a felsőtesten használt biomechanikus külső vázakat vízszintes járás közben viselik (Kim et al., 2018). Mindazonáltal a biomechanikus külső vázak – konstrukciójuktól és súlyuktól függően – korlátozhatják a munkavállalók természetes mozgási szabadságát. Ez elesés esetén megnehezíti, hogy a munkavállaló kompenzáló mozgásokkal újra megtalálja az egyensúlyát. A következmények így súlyosabbak lehetnek annál, mint ha nem viselt volna biomechanikus külső vázat. Emellett figyelembe kell venni a biomechanikus külső váz, valamint a munkafelszerelés, a robotok vagy gyártó gépek összeütközésének lehetőségét. Ezzel kapcsolatban számítógépes szimulációkat végeztek, hogy megvizsgálják a biomechanikus külső vázak gyakorlati alkalmazásait virtuális gyári környezetben (Constantinescu et al., 2016). Összességében tehát számos korlátozást említettek meg azzal kapcsolatban, hogy a biomechanikus külső vázak integrálása céljából áttervezzék a munkahelyeket. Vészhelyzet esetén az épületek a munkavállalók biztonságának és egészségének biztosítása érdekében gyorsan evakuálni kell. A biomechanikus külső vázak gyors eltávolítása ezért létfontosságú. A tervezőknek az olyan helyzeteket is figyelembe kell venniük, amikor a munkavállalók esetleg egyedül vannak.

Összefoglalva tehát a biomechanikus külső vázak biztonságot és egészséget érintő veszélyeit különböző forgatókönyvek alapján meg lehet becsülni, de még nem tudták pontosan meghatározni. Ennek egyik oka az, hogy korlátozottan állnak rendelkezésre tudományos adatok (Schick, 2018), és

nincsenek gyakorlati tapasztalatok. Főként a biomechanikus külső vázak váz- és izomrendszerre gyakorolt hosszú távú hatásai ismeretlenek. Emiatt még mindig szükség van olyan átfogó vizsgálatokra, amelyek figyelembe veszik a biomechanikus külső vázak személyfüggő, fiziológiai, orvosi és biomechanikai szempontjait.

## A biomechanikus külső vázak értékelése

A biomechanikus külső vázak előnyeiről és hátrányairól jelenleg is vita folyik a szakirodalomban. Általában a kutatócsoportok ígéretes lehetőségnek tekintik őket az ergonómiai munkakörülmények javítására és a munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedések csökkentésére, amelyek gyakran a kézi anyagmozgatással vannak összefüggésben (Hensel et al., 2018). A váz- és izomrendszert érintő fizikai igénybevétel azonban nem az egyetlen vizsgálandó szempont. A biomechanikus külső vázak érinthetik a szociális környezetet is, továbbá más fiziológiai paramétereket is befolyásolhatnak, mint amilyen a vérnyomás, az oxigénfogyasztás és a szívritmus.

### Fiziológiai szempontok

Negatív fiziológiai hatásai lehetnek annak, ha egy külső szerkezetet, például biomechanikus külső vázat teszünk a munkavállaló testére. A szakirodalom már bemutatta, hogy a biomechanikus külső váz többletsúlya fokozhatja a szív- és érrendszer igénybevételét (Theurel et al., 2018), bár ezek a hatások még kevésbé ismertek. Egy korábbi vizsgálat kimutatta a súly által a mozgás közbeni energiaigényre gyakorolt hatásokat: a szállított súlynak megfelelően nőtt az oxigénfogyasztás. Ugyanakkor az energiaráfordítás nagymértékben függ a nemtől, a járás sebességétől és a testsúlytól (Holewijn et al., 1992). Ezzel szemben Whitfield és szerzőtársai (2014) bizonyítani tudták, hogy egy ergonomikus emelő segédeszköz nem növeli az oxigénfogyasztást az ismétlődő feladatok során, pedig az emelőeszköz többletsúlyát is mozgatni kellett. Ezek az eredmények összhangban vannak a különböző kutatócsoportok megállapításaival is, akik nem találtak eltérést az egyéni emelőeszközt viselő alanyok pulzusában (Godwin et al., 2009; Lotz et al., 2009). Az ipari alkalmazásokkal kapcsolatban tehát Whitfield és szerzőtársai (2014) arra a következtetésre jutottak, hogy az egyéni emelőeszközöket nem szabad a munkafeladatok körének bővítésére használni. Ezen eltérő következtetéseknek a korábban vizsgált biomechanikus külső vázak sokfélesége lehet az alapja. A biomechanikus külső váz mechanikai szerkezetén és működésén túl a munkafeladatok, például a dinamikus vagy statikus feltételek is befolyásolják a metabolikus költséget, ami még inkább megnehezíti az általános megállapítások megfogalmazását. Bizonyos körülmények között viszont a biomechanikus külső vázak csökkenthetik az izomfáradtságot, és ezért nagymértékben javíthatják a munkavállalók egészségvédelmét, mivel feltételezések szerint az izomfáradtság növeli a sérülések kockázatát (Godwin et al., 2009; Lotz et al., 2009). Az állandó támasztás hosszú távon negatív hatást gyakorolhat a vázizomzatra is. Elképzelhető, hogy csökken az izomtömeg és ebből adódóan a testi erő is, ezek a hatások azonban szorosan összefüggenek azzal is, hogy mennyi izom támogatja a biomechanikus külső vázat.

Emellett nyomáspontok alakulhatnak ki azokon a területeken, ahol a biomechanikus külső vázat a testhez rögzítik. Ez idővel kellemetlen érzést okozhat. Az is elképzelhető, hogy a pántok vagy övek által a véredényekre kifejtett nyomás korlátozza a véráramlást az adott testrészben. Emellett a pulzus és a vérnyomás módosulhat, ha az ismétlődő fej feletti munkavégzéshez biomechanikus külső vázat használnak. Végezetül pedig a eszköznek a testhez való dörzsölődése bőrirritációt vagy allergiás reakciókat válthat ki. Ezek azonban spekulatív tényezők, amelyeket csak kellő óvatossággal lehet figyelembe venni.

### A felhasználók általi elfogadottság és pszichoszociális hatások

Figyelembe kell venni, hogy a biomechanikus külső vázak fizikai hatásai befolyásolhatják ugyan a munkavállalókat, azonban a felhasználók általi elfogadottság is fontos szerepet játszhat a munkakörnyezetben. Alapvető fontosságú a biomechanikus külső vázak elfogadhatósága, ha hosszú ideig kívánják használni azokat. A technológia elfogadottságának vizsgálata érdekében napjainkban néhány kutatást végeztek, amelyek figyelembe veszik a biomechanikus külső vázak szubjektív értékeléseit (Gilotta et al., 2018; Hensel et al., 2018). Bár a biomechanikus külső vázakat sok felhasználó pozitívan ítéli meg, Hensel és szerzőtársai (2018) rámutattak arra, hogy elfogadottságuk

idővel csökkenhet, és szorosan összefügg a kényelmetlenséggel és a használhatósággal. A kényelmetlenség az egyik legnagyobb kihívást jelentő szempont, és akadályozhatja a biomechanikus külső vázak széles körű alkalmazását az ipari munkahelyeken (Bosch et al., 2016). Ismét meg kell említeni, hogy ezek az értékelések szorosan az adott feladathoz és a biomechanikus külső vázhoz kapcsolódnak, és ezért nem általánosíthatók. Mindazonáltal a megállapítások jelzik, hogy a fejlesztőknek figyelembe kell venniük a biomechanikus külső vázak funkcionalitását és súlyát, valamint ergonómiai kialakítását. Emellett a munkavállalók alsóbbrendűnek érezhetik magukat, amikor a mindennapi feladataikhoz biomechanikus külső vázakat használnak, mivel a teljesítőképesség fizikai szempontja is összekapcsolódik az eszközzel. Gilotta és szerzőtársai (2018) az elfogadhatóságot csökkentő tényezőként említették meg a szociális szempontokat. A biomechanikus külső vázak megbélyegzést okozhatnak a munkahelyen, mivel úgy tűnhet, hogy a munkavállalók ezen eszközök támogatásától függenek.

## Biomechanikai szempontok

Napjainkban számos tanulmány szemlélteti, hogy a biomechanikus külső vázak csökkenteni tudják egyes testrészek, például a vállízületek vagy az alsó gerincoszlop fizikai terhelését (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). Ugyanakkor az is fontos lehet, hogy a fizikai terhelés elosztása esetén más testrészek nagyobb terhelésnek lesznek kitéve, ha az erőhatásokat nem viszik át a talajra (Theurel et al., 2018; Weston et al., 2018). Ebben az összefüggésben Weston és szerzőtársai (2018) megállapították, hogy a felsőtesten viselt biomechanikus külső váz növeli az ágyéki gerincoszlop terhelését. Theurel és szerzőtársai (2018) azt mutatták ki, hogy a felsőtesten viselt biomechanikus külső váz csökkenteni tudja az izmok munkáját a vállízületekben. Ugyanakkor megemlítették a fizikai következményeket is, többek között más testrészek nagyobb izommunkáját vagy az eltérő mozgásmintákat. Ráadásul a biomechanikus külső váz többletsúlya nemcsak szív- és érrendszeri igénybevétellel járhat, hanem eltolja a testtömeg középpontját is, ami befolyásolja a viselőjének izommozgását. Fontos megemlíteni, hogy a biomechanikus külső vázak emberi testre gyakorolt hatásairól nem lehet általános kijelentéseket tenni. A biomechanikai kutatás kérdései gyakran speciális mozgásokkal és izomtevékenységekkel vannak összefüggésben, és nem veszik figyelembe az összes lehetséges felhasználási esetet és váztypust. Ugyanakkor kezelni tudják az adott biomechanikus külső vázak mechanikai hatásainak betudható funkcióhiányt és ezeknek a test terhelését és megerőltetését érintő következményeit.

## A munkahelyi biztonság és egészségvédelem előtt álló kihívások

Az új technológiák munkahelyi bevezetése mindig együtt jár azzal, hogy az érdekeltek kritikusan értékelik a munkahelyi egészségvédelmet és biztonságot. Általában véve alapvető előfeltétel a keretirányelv (89/391/EGK irányelv) szerinti emberközpontú kialakítás. Szűkebb értelemben ez azt vonja maga után, hogy a normáknak megfelelő munkahelyeken nincs szükség további intézkedésekre. A jelenlegi európai munkaügyi helyzet, valamint az új technológiák és a váz- és izomrendszeri megbetegedések kapcsolata miatt azonban az ergonómiai feltételek nem maguktól értetődőek. A jó munkakörnyezet biztosítása érdekében figyelembe kell venni a keretirányelv (89/391/EGK irányelv) szerinti műszaki, szervezeti és egyéni intézkedéseket. A munkahelyi egészségvédelemre és biztonságra gyakorolt hatásukat illetően kötelező a hierarchikus alkalmazás. Amikor már minden műszaki intézkedést kimerítettek, például emelő segédeszközöket alkalmaztak, illetve áttervezték a munkahelyet, figyelembe kell venni a szervezési szempontokat, például a munkafolyamatok átszervezését. Végezetül pedig egyéni intézkedéseket lehet fontolóra venni a munkavállalók védelme érdekében.

A korábban bemutatottak szerint a biomechanikus külső vázak leírhatók műszaki vagy orvostechnikai eszközként, és meghatározhatók védőeszközként is. Besorolásuk nagyban függ az alkalmazásuktól, kialakításuktól és rendeltetés szerű felhasználásuktól. Emiatt a biomechanikus külső vázak jelenleg csak eseti alapon értékelhetők. A gyakorlatban elképzelhető, hogy a munkafolyamatok elősegítése érdekében műszaki eszközként használják a biomechanikus külső vázakat. Ha azonban a munkahely kialakításának javítására használatosak, ahol a munkavállalók túlterhelésből adódó sérülésekkel szembeni védelme érdekében ergonómiai intézkedésekre van szükség, akkor egyéni védőeszköznek kell tekinteni ezeket az eszközöket.



A jövőben a biomechanikus külső vázakat integrálni kell a hagyományos ergonómiai megközelítésbe (emberközpontú kialakítás), mivel hatást gyakorolnak a munkahelyi helyzetre és a szervezeti szempontokra.

## Munkavállalók

A munkavállalók felhasználói követelménye nagyban függ a szóban forgó biomechanikus külső váz konkrét besorolásától. Ha a biomechanikus külső vázakat műszaki eszközként tanúsítják, akkor a munkahelyhez kötődnek, és nem használhatók fel minden elképzelhető munkahelyzetben, kivéve ha erre az alkalmazásra számításba vették őket. A műszaki eszközök azonban nem személyi intézkedések, használatuk pedig önkéntes. Ha a biomechanikus külső vázat egyéni védőeszközként tanúsítják, akkor használatuk jogilag kötelező. Ebben az esetben a munkavállalót mindaddig el kell látni biomechanikus külső vázzal, amíg megnövekedett munkatehernek van kitéve.

## Munkáltatók

A bevezetés és a működtetés során a munkáltatóknak különböző szempontokat kell figyelembe venniük. A műszaki segédeszközökhöz képest az egyéni védőeszközökre vonatkozó higiéniai követelmények átfogóbbak. Ebben az esetben a biomechanikus külső vázak használata kötelezővé válik. E követelmények teljesítése érdekében legalább mindazokat a munkavállalókat fel kell szerelni biomechanikus külső vázzal, akik olyan munkahelyen dolgoznak, amely megköveteli a biomechanikus külső váz mint egyéni védőeszköz alkalmazását. Ez pedig tárolási problémákat okozhat. Figyelembe kell venni az állandó beállításokat, a váz- és izomrendszeri megbetegedéseket, a szív- és érrendszeri reakciókat és a teljesítményszempontokat is. Emellett a higiéniai előírások teljesítése érdekében elegendő tisztítószerek és mosógépek kell rendelkezésre állnia. A műszaki segédeszközként meghatározott biomechanikus külső vázak opcionálisak, és azokat nem kell minden munkavállaló rendelkezésére bocsátani a munkahelyen. Használatuk során azonban segédeszköznek (támogatásnak) kell tekinteni őket, nem pedig a munkavállalók teljesítőképeségét és hatékonyságát fokozó módszereknek.

## Politikai döntéshozók

A jövőben a politikai döntéshozóknak az új technológia tanúsításának elősegítése érdekében figyelembe kell venniük a biomechanikus külső vázak műszaki szempontjainak és alkalmazásának szabályozását. Ez lehetővé teszi, hogy a gyártók egyértelműbben osztályozzák a termékeiket, a munkáltatók pedig rendeltetésszerűen használják a biomechanikus külső vázakat. Meg kell azonban említeni, hogy a termék rendeltetésszerű felhasználása és ennek megfelelő tanúsítása mindig a gyártó felelőssége.

## Összefoglalás

A biomechanikus külső vázak témája nagy figyelmet kapott az utóbbi időben. Ugyanakkor a bennük rejlő, láthatóan ígéretes lehetőségek ellenére kérdéses, hogy a biomechanikus külső vázak sokféle területen alkalmazhatók-e. Még nem világos, hogy a biomechanikus külső vázakat széles körben fel lehet-e majd használni a munkavállalók túlterhelés által okozott sérülésekkel szembeni védelmére vagy a munkafolyamatok gazdasági optimalizálására. A műszaki fejlődéstől függően a biomechanikus külső vázak a manuális munkafolyamatok alapvető eszközévé válhatnak, de az is előfordulhat, hogy nagyon speciális alkalmazásokat kiszolgáló réstermékek maradnak. A biomechanikus külső vázakkal kapcsolatos jelenlegi üzleti érdek azonban problémát okozhat a jövőbeli fejlődés szempontjából, mivel elsőbbséget kaphat a teljesítményorientált vagy gazdasági szemlélet, ami a munkahelyi biztonság elhanyagolását okozhatja. Mindazonáltal a tervezett munkahelyi felhasználástól függően a biomechanikus külső vázak alkalmazhatók műszaki, orvosi vagy egyéni védőeszközként. A sokféle funkcionalitás, kialakítás és alkalmazási terület miatt azonban nincs egységes meghatározásuk, ami az ilyen eszközök tanúsítását illetően megnehezíti a gyakorlati bevezetésüket. Bár számos olyan tanulmány készült a biomechanikus külső vázokról, amelyek figyelembe veszik a használhatóság és a funkcionalitás különböző szempontjait, jelenleg keveset tudunk a munkavállalók egészségét érintő hatásokról. Főként a biomechanikus külső vázak fiziológiai, pszichológiai és biomechanikai paraméterekre gyakorolt hosszú távú hatásai ismeretlenek. A jövőben készülő tanulmányoknak a

megbízhatóbb eredmények érdekében a biomechanikus külső vázak gyakorlati, hosszú távú munkahelyi hatásaival kell foglalkozniuk. Megemlítendő, hogy a helyhez kötött munkahelyeken nem javasolható, hogy az ergonómiai kialakítás javítására használják a biomechanikus külső vázakat, viszont számos olyan nem helyhez kötött vagy mobil munkahely van, ahol nem lehet ergonómiai intézkedéseket bevezetni. Ezeken a területeken a biomechanikus külső vázak ígéretes megközelítést kínálnak a munkahelyi váz- és izomrendszeri megbetegedések csökkentésére.

*Szerzők: Peters, M. és Wischniewski, S. (2019). Szövetségi Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Intézet, Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund, Németország.*

*Projektvezető: Annick Starren, Emmanuelle Brun, Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA), 2109*

*Köszönetet mondunk Dr. Lars Adolphnak, Prof. Dr. Ute Latzanak és az EU-OSHA kapcsolattartó pontjainak kritikai észrevételeikért és hasznos javaslataikért. Szeretnénk köszönetet mondani az EUROFOUND-nak is, hogy engedélyezte a képek felhasználását ebben a dokumentumban.*

*Ez a cikk az Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA) megbízásából készült. Tartalmáért, beleértve a benne megfogalmazott véleményeket és/vagy következtetéseket, kizárólag a szerzők felelnek, és az nem feltétlenül tükrözi az EU-OSHA álláspontját.*

## Hivatkozások

- 89/391/EGK. A Tanács 89/391/EGK irányelve (1989. június 12.) a munkavállalók munkahelyi biztonságának és egészségvédelmének javítását ösztönző intézkedések bevezetéséről. Az Európai Közösségek Tanácsa.
- 89/686/EGK. A Tanács irányelve (1989. december 21.) az egyéni védőeszközökre vonatkozó tagállami jogszabályok közelítéséről. Az Európai Közösségek Tanácsa.
- 93/42/EGK. A Tanács 93/42/EGK irányelve (1993. június 14.) az orvostechikai eszközökről. Az Európai Közösségek Tanácsa.
- 2006/42/EK. Az Európai Parlament és a Tanács 2006/42/EK irányelve (2006. május 17.) a gépekről és a 95/16/EK irányelv módosításáról (átdolgozás). Az Európai Parlament és az Európai Unió Tanácsa.
- (EU) 2016/425. Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2016/425 rendelete (2016. március 9.) az egyéni védőeszközökről és a 89/686/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről. Az Európai Parlament és az Európai Unió Tanácsa.
- Abdoli-E, M., Agnew, M. J. és 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. és 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. és 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. és 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. és 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. és 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. Párizs: Institut National de Recherche et de Sécurité. Letöltve az INRS honlapjáról: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>
- INRS. (2019). Acquisition et integration d'un exosquelette en entreprise: Guide pour les préventeurs. Párizs: Institut National de Recherche et de Sécurité. Letöltve az INRS honlapjáról: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>
- Eurofound: (2012). *Az ötödik európai munkakörülmény-felmérés*. Luxembourg: Az Európai Unió Kiadóhivatala.
- Eurofound: (2019). *Európai munkakörülmény-felmérés, 2015*. Brüsszel: Eurofound. Letöltve az Eurofound honlapjáról: <https://www.eurofound.europa.eu/data/european-working-conditions-survey>.
- Gams, A., Petrič, T., Debevec, T. és 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., Ghibaud, L., Isoardi, M. és Mosso, C. (2018). *Acceptability beyond Usability: A Manufacturing Case Study*. A Nemzetközi Ergonómiai Szövetség kongresszusán bemutatott dokumentum.

- Godwin, A. A., Stevenson, J. M., Agnew, M. J., Twiddy, A. L., Abdoli-Eramaki, M. és 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. és Kiguchi, K. (2009). *Mechanical Designs of Active Upper-limb Exoskeleton Robots: State-of-the-art and Design Difficulties*. Az IEEE rehabilitációs robotikáról tartott 11. nemzetközi konferenciáján (ICORR 2009) bemutatott dokumentum.
- Graham, R. B., Agnew, M. J. és 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. és 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. és 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. Robotok és robotszerkezetek. Ipari robotok biztonsági követelményei. 1. rész: Robotok Genf: Nemzetközi Szabványügyi Szervezet.
- ISO 13482:2014. Robotok és robotszerkezetek. Személysegítő robotok biztonsági követelményei. Genf: Nemzetközi Szabványügyi Szervezet.
- ISO/TS 15066:2016. Robotok és robotszerkezetek. Kollaboratív robotok. Genf: Nemzetközi Szabványügyi Szervezet.
- Kim, S., Nussbaum, M. A., Mokhlespour Esfahani, M. I., Alemi, M. M., Jia, B. és 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. és Glitsch, U. (2018). Exoskelette — Verordnung für persönliche Schutzausrüstung. *sicher ist sicher*, 3, 110-113.
- Lotz, C. A., Agnew, M. J., Godwin, A. A. és 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. és 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. és 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. és 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. és 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.