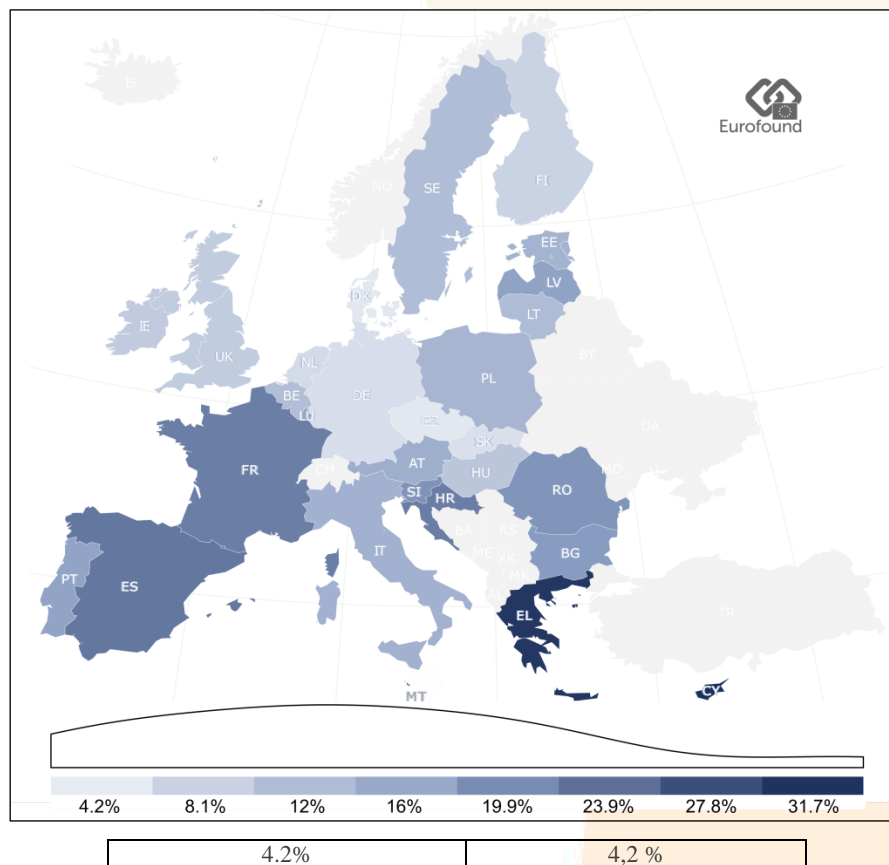


ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται στους χώρους εργασίας φορετές στο σώμα των εργαζομένων βοηθητικές συσκευές, γνωστές ως εξωσκελετικές δομές. Η χρήση τους αναμένεται ότι θα αυξηθεί στο μέλλον, καθώς τα πρωτότυπα εξωσκελετικών δομών έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν οφέλη σε κλάδους όπως η ιατρική περίθαλψη. Ειδικότερα, φαίνεται ότι οι εξωσκελετικές δομές αποτελούν μια νέα προσέγγιση για την αντιμετώπιση του ζητήματος των μυοσκελετικών παθήσεων (ΜΣΠ) που σχετίζονται με την εργασία. Οι ΜΣΠ που σχετίζονται με την εργασία αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τους χώρους εργασίας στην Ευρώπη¹. Στο σχήμα 1 απεικονίζονται τα ποσοστά των απασχολούμενων που εργάζονται σε κουραστικές και επίπονες στάσεις του σώματος, οι οποίες μπορεί να συνδέονται με πλημμελή σχεδιασμό των χώρων εργασίας, καθώς οι συνθήκες εργασίας εξακολουθούν να αποτελούν μείζον πρόβλημα σε ολόκληρη την Ευρώπη. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος αναπτύχθηκαν οι εξωσκελετικές δομές.

Σχήμα 1. Τα ποσοστά επί του συνόλου των απασχολούμενων στην Ευρώπη που εργάζονται σε κουραστικές ή επίπονες στάσεις (προσαρμογή από Eurofound 2019)



¹ Πάνω από το 40 % των εργαζομένων στην Ευρώπη πάσχουν από οσφυαλγία ή καταπόνηση των ώμων. Επιπλέον, το 63 % των εργαζομένων εκτελούν επαναλαμβανόμενες κινήσεις ή συχνά εργάζονται (46 %) σε δυνητικά επικίνδυνες στάσεις (Eurofound, 2012). Το ετήσιο κόστος των προβλημάτων υγείας που οφείλονται σε αυτές τις συνθήκες εργασίας ανέρχεται περίπου στο 2 % του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) (Bevan, 2015). Πολλά από αυτά τα προβλήματα προκαλούνται από εργασίες χειρωνακτικής διακίνησης υλικών (ΧΔΥ) που περιλαμβάνουν ανύψωση, απόθεση, κράτημα ή μεταφορά φορτίων (Zurada, 2012· Collins και O'Sullivan, 2015). Η περιστροφή, η κάμψη και η εργασία πάνω από το ύψος του κεφαλιού αυξάνουν επίσης τον κίνδυνο βλαβών σχετιζόμενων με την εργασία. Συνεπώς, οι ΜΣΠ που συνδέονται με την εργασία δεν αποτελούν μόνο πρόβλημα για την υγεία, αλλά έχουν και σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο.

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

Οι εξωσκελετικές δομές είναι φορετές στο σώμα των εργαζομένων συσκευές, που μπορούν να στηρίζουν το μυοσκελετικό σύστημα, χρησιμοποιώντας διάφορες αρχές της μηχανικής. Όσον αφορά τις ΜΣΠ που σχετίζονται με την εργασία, οι συσκευές αυτές μπορούν να μειώσουν τη μυϊκή καταπόνηση σε μέρη του σώματος που προσβάλλονται συχνά, όπως η οσφυϊκή χώρα ή οι ώμοι. Μολονότι το δυνητικό όφελος των εξωσκελετικών δομών οι οποίες προστατεύουν από ΜΣΠ που σχετίζονται με την εργασία θα μπορούσε να είναι σημαντικό, είναι επίσης απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη ότι τέτοιου είδους βοηθητικές συσκευές εγείρουν νέα ζητήματα αναφορικά με την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία (ΕΑΥ). Στο πλαίσιο αυτό, το Εθνικό Ινστιτούτο Έρευνας και Ασφάλειας της Γαλλίας για την προστασία από εργατικά ατυχήματα και επαγγελματικές ασθένειες (INRS) δημοσίευσε μια επισκόπηση των νέων παραγόντων κινδύνου στους χώρους εργασίας κατά τη χρήση εξωσκελετικών δομών (INRS, 2019). Από τη μία πλευρά, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι εξωσκελετικές δομές βοηθούν στη μείωση της μυϊκής καταπόνησης κατά την εργασία, καθώς υποβοηθούν σωματικά τους εργαζόμενους και δυνητικά τους προστατεύουν από ΜΣΠ που σχετίζονται με την εργασία ή υποστηρίζουν εργαζόμενους με σωματικές δυσλειτουργίες. Από την άλλη πλευρά, θα μπορούσαν να προκύψουν νέοι δυνητικοί κίνδυνοι για την υγεία, λόγω της ανακατανομής της καταπόνησης σε άλλα μέρη του σώματος. Επηρεάζονται, επίσης, ο έλεγχος της κίνησης, η σταθερότητα των αρθρώσεων και η μεταβαλλόμενη κινηματική (INRS, 2018). Επιπλέον, ενδέχεται να παραμεληθεί ο εργονομικός σχεδιασμός των χώρων εργασίας, ο οποίος βασίζεται στις αρχές ενός ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού. Υπάρχουν, ωστόσο, πολλοί χώροι εργασίας που δεν συνδέονται με μια συγκεκριμένη τοποθεσία, για παράδειγμα εκείνοι που αφορούν την παράδοση επίπλων ή την παροχή υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, όπου δεν είναι δυνατή η εφαρμογή μέτρων εργονομικού σχεδιασμού λόγω των μεταβαλλόμενων περιβαλλοντικών απαιτήσεων (Schick, 2018). Επιπλέον, η μυϊκή υπερπροσπάθεια, η συχνή ανύψωση, οι λανθασμένες στάσεις του σώματος ή τα βαριά μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο σωματικής υπερέντασης σε τέτοιου είδους επαγγέλματα. Υπό αυτήν την έννοια, οι εξωσκελετικές δομές ενδέχεται να παρέχουν πολλές δυνατότητες βελτίωσης των συνθηκών εργασίας.



Inc/MONOPOLY919, ©Shutterstock

Η σημαντικότερη ανησυχία είναι ότι πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή όταν χρησιμοποιείται τεχνολογία σε τέτοια στενή επαφή με το ανθρώπινο σώμα. Κατά τον σχεδιασμό των χώρων εργασίας θα πρέπει πρώτα να λαμβάνεται υπόψη η λήψη τεχνικών και οργανωτικών μέτρων, προτού οι εργαζόμενοι εφοδιαστούν με εξωσκελετικές δομές. Γενικά, η χρήση εξωσκελετικών δομών για τη

βελτίωση του εργονομικού σχεδιασμού των χώρων εργασίας θα πρέπει πάντοτε να αποτελεί την τελευταία λύση. Επί του παρόντος υπάρχουν ελάχιστες επιστημονικές αποδείξεις όσον αφορά τις εξωσκελετικές δομές στον τομέα της εργονομίας και στην επιστήμη της εργασίας. Μια πρόκληση είναι η αξιολόγηση των μακροπρόθεσμων επιδράσεων των εξωσκελετικών δομών στην ανθρώπινη βιομηχανική και φυσιολογία, η οποία είναι δύσκολο να εφαρμοστεί στην πράξη (Liedtke and Glitsch, 2018) καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψη το είδος της εξωσκελετικής δομής, τα εργασιακά καθήκοντα και τα διαστήματα εφαρμογής. Επιπλέον, η διερεύνηση των επιδράσεων στην υγεία αναφορικά με φυσιολογικές ή βιο-μηχανικές πτυχές έχει μόλις ξεκινήσει, καθώς η εξέταση της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με τις εξωσκελετικές δομές είναι περίπλοκη και χρονοβόρα. Εντούτοις, πρέπει να αναπτυχθούν νέες προσεγγίσεις ώστε να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα των εξωσκελετικών δομών και να εκτιμηθούν καλύτερα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας. Το παρόν άρθρο παρουσιάζει μια επισκόπηση της συζήτησης που βρίσκεται σε εξέλιξη σχετικά με τη χρήση και την αξιολόγηση των εξωσκελετικών δομών στο πλαίσιο της ΕΑΥ.

Εξωσκελετικές δομές

Ορισμός

Μια εξωσκελετική δομή μπορεί να οριστεί ως ένα ατομικό σύστημα υποβοήθησης που επηρεάζει το σώμα μηχανικά (Liedtke and Glitsch, 2018). Με τη στενότερη έννοια, οι εξωσκελετικές δομές είναι φορητές συσκευές ρομποτικής τεχνολογίας οι οποίες μεταβάλλουν τις εσωτερικές ή εξωτερικές δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα. Με λίγα λόγια, οι εξωσκελετικές δομές είναι φορητές συσκευές που ενισχύουν ή υποστηρίζουν την δύναμη του χρήστη. Λόγω του μεγάλου αριθμού εφαρμογών και των διαφορετικών λειτουργιών, δεν υπάρχει ακόμα κοινός ορισμός. Στη βιβλιογραφία, υπάρχει γενική συμφωνία ως προς το ότι οι εξωσκελετικές δομές μπορούν να οριστούν ως εξωτερικές μηχανικές δομές σε απευθείας επαφή με το σώμα (Herr, 2009· De Looze et al., 2016). Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ενεργητικά ή παθητικά συστήματα.

Οι ενεργητικές εξωσκελετικές δομές χρησιμοποιούν ενεργοποιητές (μηχανικά εξαρτήματα κίνησης) για την υποστήριξη των ανθρώπινων κινήσεων. Αυτά τα μηχανικά εξαρτήματα συνίστανται σε ηλεκτρικούς κινητήρες, αλλά μπορούν επίσης να κινούνται υδραυλικά ή με συμπιεσμένο αέρα (Gopura and Kiguchi, 2009). Με αυτή την υποστήριξη, παρέχουν επιπλέον δύναμη και αυξάνουν με αυτόν τον τρόπο τις επιδόσεις του εργαζόμενου. Αντιθέτως, οι παθητικές εξωσκελετικές δομές χρησιμοποιούν τις δυνάμεις επαναφοράς των ελατηρίων, των αποσβεστήρων (αμορτισέρ) ή άλλων υλικών, για την υποστήριξη της ανθρώπινης κίνησης. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια παθητική εξωσκελετική δομή παράγεται αποκλειστικά από την κίνηση του χρήστη (De Looze et al., 2016). Επιπλέον, γίνεται ανακατανομή των δυνάμεων για την προστασία συγκεκριμένων μερών του σώματος. Η αλλαγή στις επιδόσεις του χρήστη είναι αποτέλεσμα όχι μόνο της επιπρόσθετης σωματικής δύναμης, αλλά και της ικανότητας διατήρησης εξαντλητικών στάσεων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα σε εργασίες που πραγματοποιούνται πάνω από το ύψος του κεφαλιού.

Οι υβριδικές εξωσκελετικές δομές, που μπορεί να είναι ενεργητικά ή παθητικά συστήματα, αποτελούν προς το παρόν εξαίρεση. Χρησιμοποιούν δραστηριότητες εγκεφαλικών κυμάτων (HEΓ σήματα) ή ενεργοποίηση των μυών για την πρόκληση κινήσεων. Ωστόσο, η χρήση τους στη βιομηχανία δεν είναι πιθανή επί του παρόντος, επομένως δεν θα συζητηθούν περαιτέρω στο παρόν έγγραφο.

Είδη εξωσκελετικών δομών

Οι εξωσκελετικές δομές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες: εξωσκελετικές δομές του κάτω μέρους του σώματος, του άνω μέρους του σώματος και ολόσωμες. Εξωσκελετικές δομές μίας άρθρωσης έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία (Gams et al., 2013), αλλά δεν θα συζητηθούν περαιτέρω στο παρόν άρθρο λόγω των εξαιρετικά εξατομικευμένων πτυχών τους και των μεμονωμένων εφαρμογών τους. Στις εξωσκελετικές δομές του άνω μέρους του σώματος συνήθως χρησιμοποιούνται στερεές μηχανικές δομές για την ανακατανομή των δυνάμεων που ασκούνται στα άνω άκρα και τον κορμό (π.χ. άνω βραχίονας, αντιβράχιο, ώμος ή οσφυϊκή χώρα). Στην περίπτωση αυτή, η ανακατανομή των δυνάμεων σημαίνει ότι άλλα μέρη του σώματος, όπως τα ισχία ή τα πόδια, αναλαμβάνουν πρόσθετα φορτία. Οι εξωσκελετικές δομές του κάτω μέρους του σώματος έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν τις δυνάμεις στο έδαφος μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το φορτίο στο

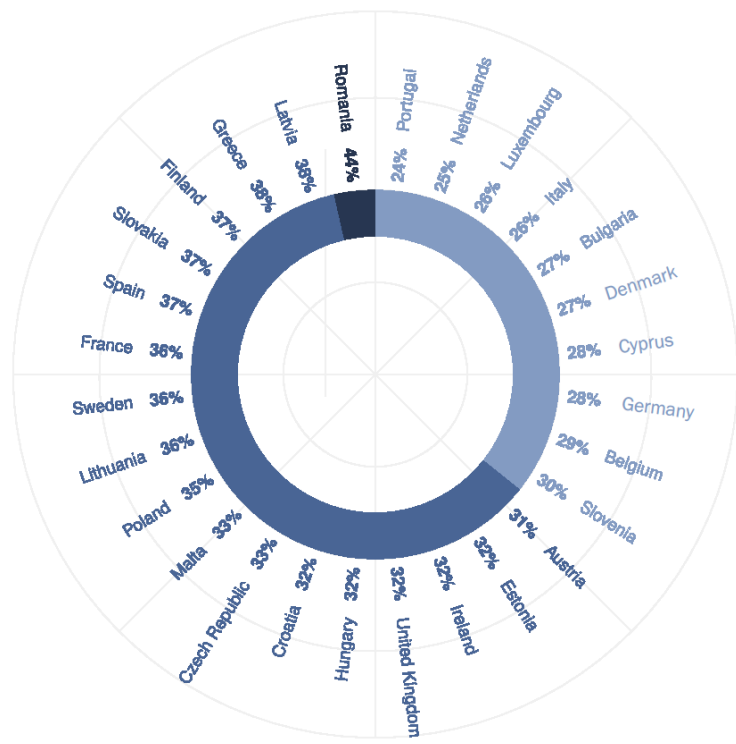
μυοσκελετικό σύστημα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτές οι αρχές εξαρτώνται στενά από τον σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα της εξωσκελετικής δομής. Βοηθητικά συστήματα που παρέχουν υποστήριξη ταυτόχρονα στο άνω και το κάτω μέρος του σώματος μπορούν να οριστούν ως ολόσωμες εξωσκελετικές δομές.

Τομείς εφαρμογής στους χώρους εργασίας

Η ιδέα της υποστήριξης των ανθρώπινων κινήσεων με τεχνικά βοηθητικά μέσα δεν αποτελεί πρόσφατη εξέλιξη. Φορετές στο σώμα βοηθητικές συσκευές παρόμοιες με τις εξωσκελετικές δομές έχουν χρησιμοποιηθεί στην ιατρική περίθαλψη επί μακρόν, για παράδειγμα έχουν χρησιμοποιηθεί ορθωτικά βοηθήματα για σκοπούς αποκατάστασης προκειμένου τραυματισμένοι ασθενείς να ανακτήσουν τη σωματική τους υγεία (Viteckova et al., 2013). Εντούτοις, τα ορθωτικά βοηθήματα διαφοροποιούνται από τις εξωσκελετικές δομές, καθώς χρησιμεύουν στην υποστήριξη ατόμων με μυοσκελετικά προβλήματα. Εξωσκελετικές δομές έχουν αναπτυχθεί και για στρατιωτικές εφαρμογές (De Looze et al., 2016). Ωστόσο, η χρήση εξωσκελετικών δομών για τη διατήρηση ή την προστασία της σωματικής υγείας των εργαζόμενων αποτελεί νέα εξέλιξη. Μολονότι η βελτίωση των εργονομικών συνθηκών εργασίας με βοηθητικά μέσα, όπως οι εξωσκελετικές δομές, αποτελεί σήμερα αντικείμενο αντιπαράθεσης, εξακολουθούν να παρέχουν νέες δυνατότητες για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζόμενων (Schick, 2018). Επιπλέον, οι απαιτήσεις για εργονομικούς χώρους εργασίας θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον για τη διασφάλιση της σωματικής υγείας του γηράσκοντος, λόγω δημογραφικών αλλαγών, εργατικού δυναμικού. Υπό αυτό το πρίσμα, είναι σημαντικό να αναπτυχθούν νέα εργονομικά εργαλεία, εφόσον οι επιλογές είναι επί του παρόντος περιορισμένες (Hensel et al., 2018· Schick, 2018).

Οι τομείς εφαρμογής των εξωσκελετικών δομών για τη μείωση των ΜΣΠ που σχετίζονται με την εργασία είναι πολυάριθμοι. Σε ολόκληρη την Ευρώπη, πάνω από το 30 % των εργασιακών καθηκόντων αφορούν χειρωνακτική διακίνηση υλικών (ΧΔΥ) (Eurofound, 2012), που αποτελεί μείζονα κίνδυνο για την υγεία. Εργασία που περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενες κινήσεις, χειρισμό μεγάλου βάρους, κινήσεις πάνω από το ύψος του κεφαλιού ή επικίνδυνες στάσεις του σώματος δίνει πολλές δυνατότητες χρήσης εξωσκελετικών δομών. Στο σχήμα 2 απεικονίζεται το γεγονός ότι, σε κάθε ευρωπαϊκή χώρα, η μετακίνηση και μεταφορά μεγάλου βάρους αποτελεί σημαντικό μέρος της εργασίας. Στη Ρουμανία, συγκεκριμένα, οι μισοί περίπου από τους εργαζόμενους (44 %) χειρίζονται ορισμένες φορές μεγάλα βάρη. Στο πλαίσιο αυτό παρουσιάζουν ενδιαφέρον οι βιομηχανικοί χώροι εργασίας, οι υπηρεσίες παράδοσης επίπλων, οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και τα νοσοκομεία. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί η σημασία του εργονομικού σχεδιασμού, ειδικά σε σταθερούς χώρους εργασίας. Στο μέτρο όπου τα τεχνικά ή οργανωτικά μέτρα παρέχουν δυνατότητες βελτίωσης του εργονομικού σχεδιασμού, δεν θα πρέπει να προτιμάται η χρήση εξωσκελετικών δομών (Schick, 2018). Φαίνεται όμως ότι η εστίαση στις εξωσκελετικές δομές που αυξάνουν τις επιδόσεις των εργαζόμενων ενδέχεται να έχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον από την εστίαση στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό των χώρων εργασίας (Baltrusch et al., 2018).

Σχήμα 2. Ποσοστό εργαζομένων όλων των ηλικιών στη Ευρώπη οι οποίοι κατά το ένα τέταρτο του χρόνου τους μεταφέρουν ή μετακινούν μεγάλα βάρη (Eurofound, 2019)



24%	Portugal	24 %	Πορτογαλία
25%	Netherlands	25 %	Κάτω Χώρες
26%	Luxembourg	26 %	Λουξεμβούργο
26%	Italy	26 %	Ιταλία
27%	Bulgaria	27 %	Βουλγαρία
27%	Denmark	27 %	Δανία
28%	Cyprus	28 %	Κύπρος
28%	Germany	28 %	Γερμανία
29%	Belgium	29 %	Βέλγιο
30%	Slovenia	30 %	Σλοβενία
31%	Austria	31 %	Αυστρία
32%	Estonia	32 %	Εσθονία
32%	Ireland	32 %	Ιρλανδία
32%	United Kingdom	32 %	Ηνωμένο Βασίλειο
32%	Hungary	32 %	Ουγγαρία
32%	Croatia	32 %	Κροατία
33%	Czech Republic	33 %	Τσεχική Δημοκρατία
33%	Malta	33 %	Μάλτα
35%	Poland	35 %	Πολωνία
36%	Lithuania	36 %	Λιθουανία
36%	Sweden	36 %	Σουηδία
36%	France	36 %	Γαλλία
37%	Spain	37 %	Ισπανία
37%	Slovakia	37 %	Σλοβακία
37%	Finland	37 %	Φινλανδία
38%	Greece	38 %	Ελλάδα
38%	Latvia	38 %	Λετονία
44%	Romania	44 %	Ρουμανία

Λόγω τεχνικών ζητημάτων, οι ενεργητικές εξωσκελετικές δομές έχουν περιορισμένη πρακτική εφαρμογή. Σε ορισμένες εκθέσεις επισημαίνονται ζητήματα που αφορούν το βάρος, τη μηχανική δομή, την υποστήριξη από μπαταρία και τον σχεδιασμό της μηχανικής της κίνησης των ενεργητικών εξωσκελετικών δομών (Yang et al., 2008· Herr, 2009· De Looze et al., 2016). Αντιθέτως, κάποιες παθητικές εξωσκελετικές δομές διατίθενται ήδη στο εμπόριο. Ωστόσο, η υποστήριξη αυτών των

παθητικών συστημάτων είναι περιορισμένη, αφού αρχικά μπορούν να προσφέρουν ανακούφιση σε ορισμένα μόνο μέρη του σώματος. Η υποβοήθηση κατά την άρση βαρέων φορτίων εξακολουθεί να είναι περιορισμένη.

Η χρήση για την οποία προορίζονται οι εξωσκελετικές δομές εξαρτάται στενά από τον τομέα εφαρμογής τους. Πέραν της χρήσης τους ως τεχνικού μέτρου, οι εξωσκελετικές δομές θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως ατομικά προστατευτικά μέσα ή ιατροτεχνολογικά προϊόντα. Ανάλογα με τις προβλεπόμενες εφαρμογές, πρέπει να εκδίδονται διαφορετικές πιστοποιήσεις. Αυτές οι πιστοποιήσεις συνδέονται στενά με ζητήματα ΕΑΥ.

Πιστοποιήσεις εξωσκελετικών δομών

Λόγω του εύρους των εφαρμογών τους στον χώρο της αποκατάστασης της υγείας, στη βιομηχανία και στον στρατιωτικό τομέα, καθώς και λόγω των διαφορετικών τύπων κατασκευής τους, δεν υφίσταται ακόμα ενιαίος κανονισμός ή πιστοποίηση για τις εξωσκελετικές δομές. Για να καλυφθεί αυτό το κενό, πρέπει να ληφθούν αρχικά υπόψη ο λειτουργικός σχεδιασμός τους και η χρήση για την οποία προορίζονται. Υπό αυτήν την έννοια, μια εξωσκελετική δομή μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως τεχνική συσκευή που υποστηρίζει έναν εργαζόμενο κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του. Επιπλέον, μπορεί να οριστεί ως μέσο ατομικής προστασίας. Σε αυτήν την περίπτωση, η εξωσκελετική δομή προστατεύει τον εργαζόμενο από σωματικά φορτία που ενδέχεται να προκαλέσουν ασθένειες που σχετίζονται με την εργασία, όπως τραυματισμούς λόγω υπερκόπωσης. Δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή συναίνεση ως προς το ότι οι εξωσκελετικές δομές μπορούν να προστατεύσουν από τις ΜΣΠ και αυτό δυσχεραίνει περισσότερο την κατηγοριοποίησή τους.

Η πρακτική εφαρμογή των εξωσκελετικών δομών συνδέεται στενά με τη συγκεκριμένη πιστοποίηση. Όπως προαναφέρθηκε, μια εξωσκελετική δομή μπορεί να οριστεί ως τεχνικό βοήθημα βάσει των διατάξεων της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τα μηχανήματα (2006/42/EK). Τα ενεργητικά συστήματα μπορούν να προσδιοριστούν περαιτέρω με βάση τα διεθνή πρότυπα για τα ρομπότ και τις ρομποτικές διατάξεις (ISO 10218-1:2011) και για τις απαιτήσεις ασφάλειας για ρομπότ προσωπικής φροντίδας (ISO 13482:2014).

Εάν μια εξωσκελετική δομή πιστοποιηθεί ως μέσο ατομικής προστασίας, βάσει του ευρωπαϊκού κανονισμού 89/686/ΕΟΚ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προληπτικούς σκοπούς για την προστασία από τραυματισμούς που συνδέονται με την εργασία ή οφείλονται σε υπερκόπωση. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο κανονισμός 89/686/ΕΟΚ μεταφέρεται σταδιακά στον νέο κανονισμό (ΕΕ) 2016/425 σχετικά με τα μέσα ατομικής προστασίας.

Τέλος, μια εξωσκελετική δομή μπορεί να θεωρηθεί ιατροτεχνολογικό προϊόν σύμφωνα με την αντίστοιχη ευρωπαϊκή οδηγία (93/42/ΕΟΚ). Τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα πρέπει να ανταποκρίνονται σε υψηλά πρότυπα ασφάλειας και αποδοτικότητας. Πρόκληση αποτελεί η κλινική αξιολόγηση της ιατρικής αποτελεσματικότητας που εξακολουθεί να είναι δύσκολο να αποδειχθεί. Ωστόσο, όλες αυτές οι απαιτήσεις είναι απαραίτητες για τη χρήση εξωσκελετικών δομών για σκοπούς αποκατάστασης της υγείας, για ιατρικές εφαρμογές ή για τη χρήση τους στο πλαίσιο της ένταξης στην εργασία (Schick, 2018).

Εκτίμηση των κινδύνων στους χώρους εργασίας σε σχέση με τις εξωσκελετικές δομές

Οι εργοδότες έχουν τη γενική υποχρέωση να παρέχουν ένα ασφαλές και υγιές εργασιακό περιβάλλον και να περιορίζουν τους δυνητικούς κινδύνους κατά τη διάρκεια της εργασίας. Οι εκτιμήσεις των κινδύνων στους χώρους εργασίας, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη όλους τους πιθανούς επαγγελματικούς κινδύνους, είναι υποχρεωτικές και πρέπει να πραγματοποιούνται από όλους τους εργοδότες στην Ευρώπη. Στην ευρωπαϊκή κατευθυντήρια γραμμή σχετικά με τα καθήκοντα εκτίμησης των κινδύνων δυνάμει της οδηγίας-πλαίσιου (89/391/ΕΟΚ) περιγράφονται ειδικά μέτρα. Στα μέτρα αυτά περιλαμβάνονται η πρόληψη των επαγγελματικών κινδύνων, η ενημέρωση και η κατάρτιση των εργαζομένων και των οργανισμών, καθώς και τα μέσα εφαρμογής των απαραίτητων μέτρων. Βάσει αυτών των κανονιστικών ρυθμίσεων, πρέπει να εξεταστούν οι πιθανοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τις εξωσκελετικές δομές σε συγκεκριμένους χώρους εργασίας.

Οι δυνητικοί κίνδυνοι που ενέχει η χρήση εξωσκελετικών δομών σε χώρους εργασίας είναι πολλοί και σχετίζονται με τον σχεδιασμό και τη λειτουργικότητά τους. Τα ενεργητικά συστήματα ενδέχεται να

παρουσιάζουν μηχανικά και τεχνικά ελαττώματα. Σε αυτή την περίπτωση, η κακή λειτουργία μπορεί να οδηγήσει σε τραυματισμούς, αφού ο μηχανισμός κίνησης των ενεργητικών εξωσκελετικών δομών μπορεί να ασκεί επιπρόσθετες δυνάμεις στο σώμα του εργαζόμενου. Επί του παρόντος, είναι δύσκολο να ταξινομηθούν οι δυνάμεις των φορετών στο σώμα συσκευών και η σύνδεσή τους με τραυματισμούς. Ως γενική αναφορά, μπορούν να ληφθούν υπόψη οι βιο-μηχανικές κατώτατες τιμές για τα συνεργατικά ρομπότ (ISO/TS 15066:2016) (Schick, 2018). Είναι κατανοητό ότι οι εξωσκελετικές δομές μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο τραυματισμού σε περίπτωση που κάποιος γλιστρήσει, σκοντάψει ή πέσει. Εντούτοις, η επίδρασή τους χαρακτηρίζεται επί του παρόντος χαμηλή όταν οι εξωσκελετικές δομές φοριούνται στο πάνω μέρος του σώματος, κατά το περπάτημα σε επίπεδη επιφάνεια (Kim et al., 2018). Όμως, ανάλογα με την κατασκευή και το βάρος της εξωσκελετικής δομής, ενδέχεται να περιορίζεται η φυσική ελευθερία κίνησης του εργαζόμενου. Αυτό δυσκολεύει την αποκατάσταση της ισορροπίας με κινήσεις αντιστάθμισης σε περίπτωση πτώσης. Οι επιπτώσεις θα μπορούσαν να είναι σοβαρότερες απ' ό,τι αν δεν φορούσε εξωσκελετική δομή. Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πιθανές συγκρούσεις μεταξύ εξωσκελετικής δομής και εξοπλισμού εργασίας, ρομπότ ή κατασκευαστικών μηχανών. Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις σε υπολογιστή προκειμένου να διερευνηθούν οι πρακτικές εφαρμογές των εξωσκελετικών δομών σε εικονικά εργοστασιακά περιβάλλοντα (Constantinescu et al., 2016). Συμπερασματικά, έχουν αναφερθεί διάφοροι περιορισμοί όσον αφορά τον επανασχεδιασμό των χώρων εργασίας με ενσωματωμένες εξωσκελετικές δομές. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, τα κτίρια πρέπει να εκκενώνονται ταχέως ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η υγεία όλων των εργαζόμενων. Είναι επομένως σημαντική η δυνατότητα ταχείας απομάκρυνσης μιας εξωσκελετικής δομής. Οι σχεδιαστές θα πρέπει επίσης να λάβουν υπόψη καταστάσεις στις οποίες οι εργαζόμενοι ενδέχεται να είναι μόνοι τους.

Εν συντομία, οι κίνδυνοι που ενέχουν οι εξωσκελετικές δομές για την ασφάλεια και την υγεία μπορούν να εκτιμηθούν βάσει σεναρίων, αλλά δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί. Ένας λόγος είναι τα περιορισμένα επιστημονικά αποδεικτικά στοιχεία (Schick, 2018) και η έλλειψη πρακτικής εμπειρίας. Συγκεκριμένα, δεν είναι γνωστές οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις των εξωσκελετικών δομών στο μυοσκελετικό σύστημα. Κατά συνέπεια, υπάρχει ακόμα ανάγκη για ολοκληρωμένες μελέτες στις οποίες θα ληφθούν υπόψη τα σχετιζόμενα με το άτομο, φυσιολογικά, ιατρικά και βιο-μηχανικά θέματα.

Αξιολόγηση των εξωσκελετικών δομών

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των εξωσκελετικών δομών αποτελούν σήμερα αντικείμενο αντιπαράθεσης στη βιβλιογραφία. Γενικά, αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη ευκαιρία για τις ερευνητικές ομάδες να βελτιώσουν τις εργονομικές συνθήκες εργασίας και να μειώσουν τις ΜΣΠ που σχετίζονται με την εργασία και συχνά με τη χειρωνακτική διακίνηση υλικών (Hensel et al., 2018). Ωστόσο, οι σωματικές απαιτήσεις αναφορικά με το μυοσκελετικό σύστημα δεν είναι οι μοναδικές πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι εξωσκελετικές δομές ενδέχεται να επηρεάσουν και τα κοινωνικά περιβάλλοντα ή να επιδράσουν σε άλλες φυσιολογικές παραμέτρους, όπως η αρτηριακή πίεση, η κατανάλωση οξυγόνου και ο καρδιακός ρυθμός.

Θέματα φυσιολογίας

Η τοποθέτηση μιας εξωτερικής δομής, όπως είναι η εξωσκελετική δομή, στο σώμα ενός εργαζόμενου ενδέχεται να έχει αρνητικές επιδράσεις στη φυσιολογία του. Στη βιβλιογραφία έχει ήδη καταδειχθεί ότι το πρόσθετο βάρος μιας εξωσκελετικής δομής είναι πιθανό να αυξάνει τις καρδιαγγειακές απαιτήσεις (Theurel et al., 2018), αν και οι επιδράσεις αυτές εξακολουθούν να είναι ελάχιστα γνωστές. Σε προηγούμενη έρευνα αποκαλύφθηκε ο αντίκτυπος του βάρους στις ενεργειακές ανάγκες κατά την κίνηση: η υψηλότερη κατανάλωση οξυγόνου καταδείχθηκε ότι αντιστοιχεί στο μεταφερόμενο βάρος. Εντούτοις, η ενεργειακή δαπάνη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το φύλο, την ταχύτητα βαδίσματος και το σωματικό βάρος (Holewijn et al., 1992). Αντιθέτως, οι Whitfield et al. (2014) μπόρεσαν να αποδείξουν ότι ένα εργονομικό βοήθημα ανύψωσης δεν αυξάνει την κατανάλωση οξυγόνου κατά τις επαναλαμβανόμενες εργασίες, παρότι συμπεριλήφθηκε η πρόσθετη μάζα της συσκευής ανύψωσης. Επιπλέον, αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με τα ευρήματα διαφόρων ερευνητικών ομάδων, τα οποία δεν κατέδειξαν μεταβολές του καρδιακού ρυθμού σε άτομα που φορούσαν ατομική συσκευή ανύψωσης (Godwin et al., 2009· Lotz et al., 2009). Ως συμπέρασμα για τις βιομηχανικές εφαρμογές, οι Whitfield et al. (2014) υπέδειξαν ότι οι ατομικές συσκευές ανύψωσης δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την αύξηση της έκτασης των εργασιών. Αυτά τα διαφορετικά συμπεράσματα

είναι πιθανό να βασίζονται στην ποικιλομορφία των εξωσκελετικών δομών που είχαν προηγουμένως μελετηθεί. Εκτός από τη μηχανική δομή και λειτουργία μιας εξωσκελετικής δομής, τα εργασιακά καθήκοντα, π.χ. οι δυναμικές ή στατικές συνθήκες, έχουν επίσης αντίκτυπο στο μεταβολικό κόστος και δυσκολεύουν ακόμη περισσότερο τη διατύπωση γενικών δηλώσεων. Ωστόσο, σε συγκεκριμένες συνθήκες, οι εξωσκελετικές δομές μπορούν να μειώσουν τη μυϊκή κόπωση και να ωφελήσουν σε μεγάλο βαθμό την υγεία των εργαζομένων, αφού θεωρείται ότι η μυϊκή κόπωση αυξάνει τον κίνδυνο τραυματισμού (Godwin et al., 2009· Lotz et al., 2009). Η μόνιμη υποστήριξη μπορεί επίσης να έχει αρνητικές μακροπρόθεσμες επιδράσεις στο μυοσκελετικό σύστημα. Μπορεί να σημειωθεί μείωση της μυϊκής μάζας και, κατά συνέπεια, μείωση της σωματικής αντοχής, αλλά οι επιδράσεις αυτές σχετίζονται στενά με το μέγεθος της μυϊκής υποστήριξης της εξωσκελετικής δομής.

Επιπλέον, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν σημεία πίεσης στις περιοχές όπου οι εξωσκελετικές δομές προσαρτώνται στο σώμα. Με την πάροδο του χρόνου, κάτι τέτοιο μπορεί να προκαλέσει ενόχληση. Είναι επίσης κατανοητό ότι η εξωτερική πίεση στα αιμοφόρα αγγεία, που προκαλείται από ιμάντες ή ζώνες, θα μειώνει τη ροή του αίματος στα αντίστοιχα μέρη του σώματος. Επιπλέον, μπορεί να μεταβληθούν ο καρδιακός ρυθμός και η αρτηριακή πίεση από τη χρήση εξωσκελετικής δομής σε επαναλαμβανόμενες εργασίες πάνω από το ύψος του κεφαλιού. Τέλος, είναι πιθανό να εκδηλωθεί ερεθισμός του δέρματος λόγω τριβής ή αλλεργικής αντίδρασης. Ωστόσο, πρόκειται για υποθετικούς παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν με προσοχή.

Αποδοχή από τον χρήστη και ψυχοκοινωνικές επιδράσεις

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι, ενώ οι επιδράσεις των εξωσκελετικών δομών στο σώμα μπορούν να επηρεάζουν τους εργαζόμενους, η αποδοχή από τον χρήστη μπορεί επίσης να διαδραματίσει μείζονα ρόλο στο εργασιακό περιβάλλον. Η αποδοχή μιας εξωσκελετικής δομής είναι σημαντική εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επί του παρόντος έχει διενεργηθεί κάποια έρευνα στην οποία λαμβάνονται υπόψη υποκειμενικές αξιολογήσεις των εξωσκελετικών δομών, προκειμένου να εξεταστεί η αποδοχή αυτής της τεχνολογίας (Gilotta et al., 2018· Hensel et al., 2018). Παρότι οι σκληρές εξωσκελετικές δομές κρίνονται θετικά από πολλούς χρήστες, οι Hensel et al. (2018) έδειξαν ότι η αποδοχή τους μπορεί να μειωθεί με την πάροδο του χρόνου και συνδέεται στενά με τη δυσφορία και τη χρησιμότητα. Η δυσφορία είναι μία από τις πιο δύσκολες πτυχές και μπορεί να εμποδίσει την ευρεία εφαρμογή των εξωσκελετικών δομών σε βιομηχανικούς χώρους εργασίας (Bosch et al., 2016). Πρέπει και πάλι να αναφερθεί ότι αυτές οι αξιολογήσεις συνδέονται στενά με συγκεκριμένα καθήκοντα και εξωσκελετικές δομές και δεν μπορούν, επομένως, να γενικευτούν. Ωστόσο, τα ευρήματα δείχνουν ότι οι υπεύθυνοι ανάπτυξης πρέπει να λάβουν υπόψη τη λειτουργικότητα και το βάρος, καθώς και τον εργονομικό σχεδιασμό των εξωσκελετικών δομών. Επιπλέον, οι εργαζόμενοι ενδέχεται να αισθάνονται κατώτεροι όταν χρησιμοποιούν εξωσκελετική δομή για να εκτελέσουν τα καθημερινά τους καθήκοντα, αφού οι σωματικές τους επιδόσεις συνδέονται επίσης με τη συσκευή. Οι Gilotta et al. (2018) ανέφεραν τις κοινωνικές πτυχές ως παράγοντα που μπορεί να μειώσει την αποδοχή. Η χρήση εξωσκελετικών δομών μπορεί να οδηγήσει και σε στιγματισμό στον χώρο εργασίας, καθώς μπορεί να φαίνεται ότι οι εργαζόμενοι εξαρτώνται από τη στήριξή τους.

Βιο-μηχανικά θέματα

Υπάρχουν σήμερα πολυάριθμες μελέτες που δείχνουν ότι οι εξωσκελετικές δομές μπορούν να μειώσουν τη σωματική καταπόνηση σε σημεία του σώματος όπως οι αρθρώσεις των ώμων ή η οσφυϊκή χώρα (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). Ωστόσο, ταυτόχρονα, η ανακατανομή της σωματικής έντασης είναι πιθανόν να έχει ως αποτέλεσμα την άσκηση μεγαλύτερης καταπόνησης σε άλλα μέρη του σώματος εάν οι δυνάμεις δεν διοχετεύονται στο έδαφος (Theurel et al., 2018· Weston et al., 2018). Στο πλαίσιο αυτό, οι Weston et al. (2018) διαπίστωσαν ότι μια εξωσκελετική δομή για το πάνω μέρος του σώματος αυξάνει το φορτίο στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης. Οι Theurel et al. (2018) κατέδειξαν ότι μια εξωσκελετική δομή για το πάνω μέρος του σώματος μπορεί να μειώσει τη μυϊκή δραστηριότητα στις αρθρώσεις των ώμων. Έχουν όμως αναφερθεί επιπτώσεις στο σώμα, που περιλαμβάνουν υψηλότερα επίπεδα μυϊκής δραστηριότητας σε άλλα μέρη του σώματος ή διαφορετικά μοντέλα κίνησης. Επίσης, το πρόσθετο βάρος μιας εξωσκελετικής δομής δεν επηρεάζει μόνο τις καρδιαγγειακές απαιτήσεις, αλλά μετατοπίζει και το κέντρο βάρους της μάζας του σώματος, γεγονός που επηρεάζει τη μυϊκή δραστηριότητα του ατόμου που τη φορά. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι

δεν μπορούν να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα για τις επιδράσεις των εξωσκελετικών δομών στο ανθρώπινο σώμα. Τα ζητήματα που θέτει η βιο-μηχανική έρευνα συχνά σχετίζονται με πολύ συγκεκριμένες κινήσεις και μυϊκές δραστηριότητες και δεν εξετάζουν όλες τις πιθανές περιπτώσεις χρήσης και τους τύπους εξωσκελετικών δομών. Μπορούν ωστόσο να εξετάζουν την έλλειψη λειτουργικότητας λόγω των μηχανικών επιδράσεων συγκεκριμένων εξωσκελετικών δομών και των επιπτώσεών τους στην υπερένταση και την καταπόνηση του σώματος.

Προκλήσεις για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία

Η εφαρμογή νέων τεχνολογιών στους χώρους εργασίας πάντα περιλαμβάνει μια κριτική αξιολόγηση της ΕΑΥ για τους ενδιαφερόμενους. Γενικά, ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός, σύμφωνα με την οδηγία-πλαίσιο (89/391/ΕΟΚ), αποτελεί βασική προϋπόθεση. Με τη στενότερη έννοια, αυτό σημαίνει ότι στους τυπικούς χώρους εργασίας δεν απαιτούνται πρόσθετα μέτρα. Ωστόσο, λόγω της τρέχουσας εργασιακής κατάστασης στην Ευρώπη και της σύνδεσης των νέων τεχνολογιών με τις μυοσκελετικές παθήσεις, οι εργονομικές συνθήκες δεν είναι αυτονόητες. Για τη διασφάλιση καλού εργασιακού περιβάλλοντος, πρέπει να εξετάζονται τεχνικά, οργανωτικά και εξατομικευμένα μέτρα, σύμφωνα με την οδηγία-πλαίσιο (89/391/ΕΟΚ). Σε ό,τι αφορά τον αντίκτυπό τους στην ΕΑΥ, είναι υποχρεωτικό να εφαρμόζονται ιεραρχικά. Όταν έχουν εξαντληθεί όλα τα τεχνικά μέτρα, για παράδειγμα η χρήση ανυψωτικών βοηθητικών μέσων ή ο επανασχεδιασμός ενός χώρου εργασίας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οργανωτικά θέματα, όπως η αναδιάρθρωση των εργασιακών διαδικασιών. Στο τέλος, θα πρέπει να εξετάζονται εξατομικευμένα μέτρα για την προστασία των εργαζομένων.

Όπως προαναφέρθηκε, οι εξωσκελετικές δομές μπορούν να περιγραφούν ως τεχνικά ή ιατροτεχνολογικά προϊόντα και μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν ως προστατευτικός εξοπλισμός. Η κατηγοριοποίησή τους εξαρτάται στενά από την εφαρμογή, τον σχεδιασμό και την προβλεπόμενη χρήση τους. Επομένως, οι εξωσκελετικές δομές μπορούν επί του παρόντος να αξιολογηθούν μόνο κατά περίπτωση. Στην πράξη, γίνεται κατανοητό ότι οι εξωσκελετικές δομές χρησιμοποιούνται ως τεχνικές συσκευές για τη διευκόλυνση εργασιακών διαδικασιών. Ωστόσο, εάν χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση του σχεδιασμού ενός χώρου εργασίας όπου απαιτείται λήψη εργονομικών μέτρων για την προστασία των εργαζομένων, πρέπει να θεωρούνται μέσα ατομικής προστασίας.

Στο μέλλον, η αξιολόγηση των εξωσκελετικών δομών θα πρέπει να ενσωματωθεί στην παραδοσιακή εργονομική προσέγγιση (ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός) καθώς έχουν αντίκτυπο σε εργασιακές καταστάσεις και οργανωτικά θέματα.

Εργαζόμενοι

Σε ό,τι αφορά τους εργαζόμενους, οι απαιτήσεις για τον χρήστη εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση της εκάστοτε εξωσκελετικής δομής. Εάν οι εξωσκελετικές δομές είναι πιστοποιημένες ως τεχνικές συσκευές, σχετίζονται με τους χώρους εργασίας και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε πιθανή κατάσταση εργασίας, εκτός εάν έχει εξεταστεί η χρήση τους για τέτοιου είδους εφαρμογή. Ωστόσο, οι τεχνικές συσκευές δεν αποτελούν μέτρα ατομικής προστασίας και η χρήση τους γίνεται οικειοθελώς. Εάν κάποια εξωσκελετική δομή είναι πιστοποιημένη ως μέσο ατομικής προστασίας, η χρήση της απαιτείται εκ του νόμου. Σε αυτή την περίπτωση, ένας εργαζόμενος πρέπει να είναι εξοπλισμένος με εξωσκελετική δομή για όσο διάστημα είναι εκτεθειμένος σε αυξημένο εργασιακό φορτίο.

Εργοδότες

Κατά την εφαρμογή και τη διαδικασία λειτουργίας, οι εργοδότες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη διάφορα θέματα. Σε σύγκριση με τα τεχνικά βοηθήματα, οι απαιτήσεις υγιεινής για τα μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) είναι πληρέστερες. Υπό αυτό το πρίσμα, η χρήση εξωσκελετικών δομών καθίσταται αναγκαία. Για την εκπλήρωση αυτών των απαιτήσεων, τουλάχιστον κάθε εργαζόμενος σε χώρο εργασίας που απαιτεί τη χρήση εξωσκελετικής δομής τύπου ΜΑΠ πρέπει να είναι εξοπλισμένος με μια εξωσκελετική δομή, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αποθήκευσης. Περαιτέρω, πρέπει να εξεταστούν ζητήματα όπως χρόνιες προσαρμογές, μυοσκελετικές παθήσεις (ΜΣΠ), καρδιαγγειακή ανταπόκριση και επιδόσεις. Επιπλέον, πρέπει να διατίθενται επαρκή μέσα καθαρισμού ή πλυντήρια προκειμένου να πληρούνται τα πρότυπα υγιεινής. Οι εξωσκελετικές δομές

που χαρακτηρίζονται ως τεχνικά βοηθήματα είναι προαιρετικές και δεν είναι απαραίτητο να διατίθενται σε κάθε εργαζόμενο στον χώρο εργασίας. Όταν όμως χρησιμοποιούνται, θα πρέπει να θεωρούνται βοήθημα (υποστήριξη) και όχι τρόπος αύξησης των επιδόσεων ή της αποτελεσματικότητας των εργαζομένων.

Φορείς χάραξης πολιτικής

Στο μέλλον, οι φορείς χάραξης πολιτικής θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τον κανονισμό για τις εξωσκελετικές δομές αναφορικά με τεχνικά θέματα και τη σχετική εφαρμογή, ώστε να διευκολύνεται η πιστοποίηση της νέας τεχνολογίας. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να κατηγοριοποιούν με μεγαλύτερη σαφήνεια τα προϊόντα τους και στους εργοδότες να χρησιμοποιούν εξωσκελετικές δομές βάσει του σκοπού για τον οποίο προορίζονται. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι η σκοπούμενη χρήση του προϊόντος και η αντίστοιχη πιστοποίηση αποτελούν πάντοτε ευθύνη του κατασκευαστή.

Σύνοψη

Το θέμα των εξωσκελετικών δομών προσελκύει σήμερα ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ωστόσο, παρά το προφανές πολλά υποσχόμενο δυναμικό τους, η εφαρμογή των εξωσκελετικών δομών σε ευρύ φάσμα πεδίων θα πρέπει να ελεγχθεί. Μένει να δούμε εάν οι εξωσκελετικές δομές θα χρησιμοποιηθούν ή όχι εκτεταμένα στο μέλλον για την προστασία των εργαζομένων από τραυματισμούς λόγω υπερκόπωσης ή για την οικονομία εργασιακών διαδικασιών. Ανάλογα με τις τεχνικές εξελίξεις, οι εξωσκελετικές δομές ενδέχεται να αποτελέσουν τυπικό εργαλείο για χειρωνακτικές εργασιακές διαδικασίες ή να παραμείνουν ένα εξειδικευμένο προϊόν για πολύ συγκεκριμένες εφαρμογές. Ωστόσο, το υφιστάμενο εμπορικό ενδιαφέρον για τις εξωσκελετικές δομές ενδέχεται επίσης να προκαλέσει πρόβλημα στις μελλοντικές εξελίξεις, καθώς μπορεί να δοθεί προτεραιότητα σε προσεγγίσεις προσανατολισμένες στις επιδόσεις ή σε οικονομικές προσεγγίσεις εις βάρος της ασφάλειας κατά την εργασία. Παρά ταύτα, οι εξωσκελετικές δομές μπορούν να εφαρμοστούν ως τεχνικά, ιατρικά ή προστατευτικά μέσα, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται στους χώρους εργασίας. Ωστόσο, λόγω της ποικιλίας στη λειτουργικότητα, τον σχεδιασμό και τις εφαρμογές, δεν υπάρχει διαθέσιμος ενιαίος ορισμός, γεγονός που περιπλέκει την εφαρμογή τους στην πράξη σε σχέση με την πιστοποίησή τους. Παρότι υφίστανται πολυάριθμες μελέτες σχετικά με τις εξωσκελετικές δομές στις οποίες λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές πτυχές χρησιμότητας και λειτουργικότητας, δεν έχουν γίνει ακόμα επαρκώς κατανοητές οι επιδράσεις τους στην υγεία των εργαζομένων. Συγκεκριμένα, οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις των εξωσκελετικών δομών σε φυσιολογικές, ψυχοκοινωνικές και βιο-μηχανικές παραμέτρους δεν είναι γνωστές. Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να εξετάσουν τις πρακτικές μακροπρόθεσμες επιδράσεις των εξωσκελετικών δομών στους χώρους εργασίας για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν μπορεί να συστηθεί η χρήση εξωσκελετικών δομών για τη βελτίωση του εργονομικού σχεδιασμού σε σταθερούς χώρους εργασίας, όμως υπάρχει μεγάλος αριθμός μη σταθερών ή κινητών χώρων εργασίας όπου δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν εργονομικά μέτρα. Στο πλαίσιο αυτό, οι εξωσκελετικές δομές ενδέχεται να αποτελέσουν μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τη μείωση των ΜΣΠ που σχετίζονται με την εργασία στο μέλλον.

Συντάκτες: Peters, M. and Wischniewski, S. (2019). Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας, Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund, Γερμανία.

Διαχείριση έργου: Annick Starren, Emmanuelle Brun, Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία (EU-OSHA)

Ευχαριστούμε τους Dr Lars Adolph, Professor Dr Ute Latza και την ομάδα των εθνικών εστιακών πόλων του EU-OSHA για τις σημαντικές αναθεωρήσεις και χρήσιμες υποδείξεις τους. Θα θέλαμε, επίσης, να ευχαριστήσουμε το EUROFOUND για τη χρήση των εικονογραφήσεων στο παρόν έγγραφο.

Το παρόν άρθρο συντάχθηκε για λογαριασμό του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία (EU-OSHA). Το περιεχόμενό του, συμπεριλαμβανομένων τυχόν απόψεων και/ή συμπερασμάτων που διατυπώνονται σε αυτό, εκφράζει αποκλειστικά τις απόψεις των συντακτών και δεν αντιπροσωπεύει κατ' ανάγκη τις απόψεις του EU-OSHA.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- 89/391/ΕΟΚ. Οδηγία 89/391/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 12ης Ιουνίου 1989, σχετικά με την εφαρμογή μέτρων για την προώθηση της βελτίωσης της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία. Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.
- 89/686/ΕΟΚ. Οδηγία 89/686/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 21ης Δεκεμβρίου 1989, για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα μέσα ατομικής προστασίας. Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.
- 93/42/ΕΟΚ. Οδηγία 93/42/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 14ης Ιουνίου 1993, περί των ιατροτεχνολογικών προϊόντων. Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.
- 2006/42/ΕΚ. Οδηγία 2006/42/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 17ης Μαΐου 2006, σχετικά με τα μηχανήματα και την τροποποίηση της οδηγίας 95/16/ΕΚ (αναδιτύπωση). Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- 2016/425. Κανονισμός (ΕΕ) 2016/425 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 9ης Μαρτίου 2016, σχετικά με τα μέσα ατομικής προστασίας και για την κατάργηση της οδηγίας 89/686/ΕΟΚ του Συμβουλίου. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Abdoli-E, M., Agnew, M. J. και 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. και 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. και 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. και 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. και 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. και 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. Παρίσι: Institut National de Recherche et de Sécurité. Ανάκτηση από INRS: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>
- INRS. (2019). Acquisition et integration d'un exosquelette en entreprise: Guide pour les préventeurs. Παρίσι: Institut National de Recherche et de Sécurité. Ανάκτηση από INRS: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>
- Eurofound. (2012). *Πέμπτη Ευρωπαϊκή Έρευνα για τις Συνθήκες Εργασίας* Λουξεμβούργο: Υπηρεσία Εκδόσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Eurofound. (2019). *Ευρωπαϊκή έρευνα για τις συνθήκες εργασίας, 2015* Βρυξέλλες: Eurofound. Ανάκτηση από Eurofound: <https://www.eurofound.europa.eu/data/european-working-conditions-survey>.
- Gams, A., Petrič, T., Debevec, T. και 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. και Mosso, C. (2018). *Acceptability beyond Usability: A Manufacturing Case Study.* Εργασία που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο της Διεθνούς Ένωσης Εργονομίας.
- Godwin, A. A., Stevenson, J. M., Agnew, M. J., Twiddy, A. L., Abdoli-Eramaki, M. και 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. και Kiguchi, K. (2009). *Mechanical Designs of Active Upper-limb Exoskeleton Robots: State-of-the-art and Design Difficulties*. Εργασία που παρουσιάστηκε στο ICORR 2009: 11η Διεθνής Διάσκεψη για τη Ρομποτική Αποκατάσταση του ΙΕΕΕ (Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών)
- Graham, R. B., Agnew, M. J. και 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. και 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. και 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. Γενεύη: Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης.
- ISO 13482:2014. Robots and robotic devices — safety requirements for personal care robots. Γενεύη: Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης.
- ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices — collaborative robots. Γενεύη: Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης.
- Kim, S., Nussbaum, M. A., Mokhlespour Esfahani, M. I., Alemi, M. M., Jia, B. και 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. και Glitsch, U. (2018). Exoskelette — Verordnung für persönliche Schutzausrüstung. *sicher ist sicher*, 3, 110-113.
- Lotz, C. A., Agnew, M. J., Godwin, A. A. και 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. και 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. και 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. και 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. και 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.