



Η εκμάθηση της βάδισης είναι μια φιλόδοξη δραστηριότητα από την προοπτική της εμβιομηχανικής.

Ariel Skelly / Getty Images.

- Οι σπουδές στην ανατομία, στη φυσιολογία, στα μαθηματικά, στη φυσική και στη μηχανική παρέχουν βασικές γνώσεις στους εμβιομηχανικούς.

#### **Εμβιομηχανική**

εφαρμογή των μηχανικών αρχών για τη μετέπειτα των έμβιων οργανισμών

#### **μηχανική**

κλάδος της φυσικής για την ανάπτυξη των ενεργειών των δυνάμεων στα σωματίδια και στα μηχανικά συστήματα

Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά ενδέχεται να προδιαθέτουν έναν αθλητή για να είναι επιτυχημένος σε ένα άθλημα ή να αποτελούν μειονέκτημα για έναν άλλο. (Και οι δύο φωτογραφίες) Χωρίς δικαιώματα / CORBIS.

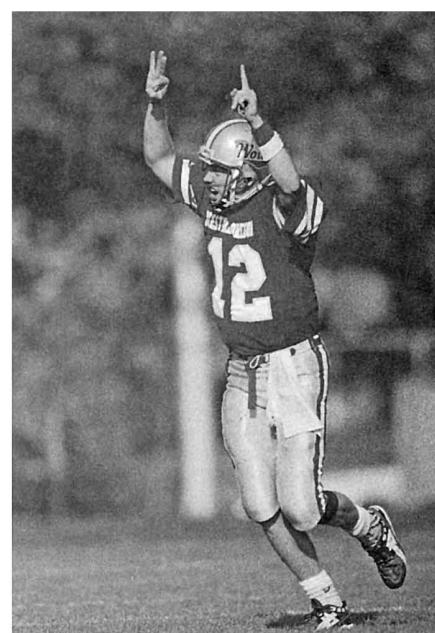
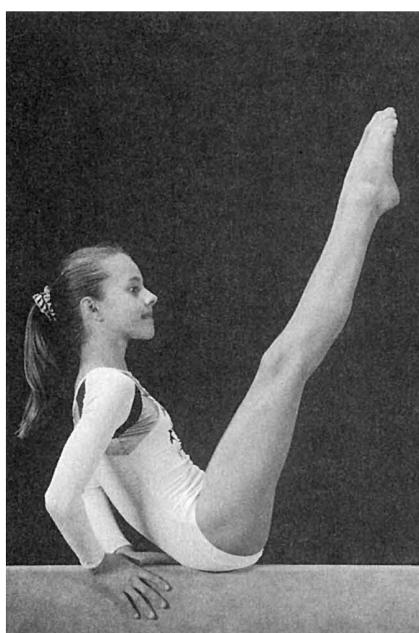
Γιατί κάποιοι παίκτες του γκολφ δεν χτυπούν ολόκληρο το μπαλάκι; Πώς μπορεί ένας εργάτης να αποφύγει την οσφυαλγία; Ποια στοιχεία μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας γυμναστής, για να βοηθήσει τους μαθητές να καταλάβουν την τεχνική της επαναφοράς στην πετοσφαιρίση; Γιατί κάποιοι ηλικιωμένοι έχουν την τάση να πέφτουν; Όλοι έχουμε θαυμάσει τις ρευστές και γεμάτες χάρη κινήσεις αθλητών υψηλού επιπέδου. Επίσης έχουμε παρατηρήσει τα αδέξια πρώτα βήματα ενός μικρού παιδιού, την αργή βάδιση ενός τραυματισμένου ατόμου με γυψονάρθηκα και τη διστακτική, άνιση βάδιση ενός ηλικιωμένου ατόμου που χρησιμοποιεί μια βακτηρία. Ουσιαστικά, σε κάθε τάξη σωματικής δραστηριότητας περιλαμβάνεται ένας φοιτητής που μαθαίνει νέες δεξιότητες με εξαιρετική ευκολία και ένας φοιτητής που παραπατά, όταν εκτελεί ένα άλμα, ή που δεν πετυχαίνει την μπάλα, όταν προσπαθεί να τη χτυπήσει, να την επαναφέρει κτλ. Τι επιτρέπει σε κάποια άτομα να εκτελούν πολύπλοκες κινήσεις τόσο εύκολα, ενώ άλλα έχουν προφανείς δυσκολίες για σχετικά απλές κινητικές δεξιότητες;

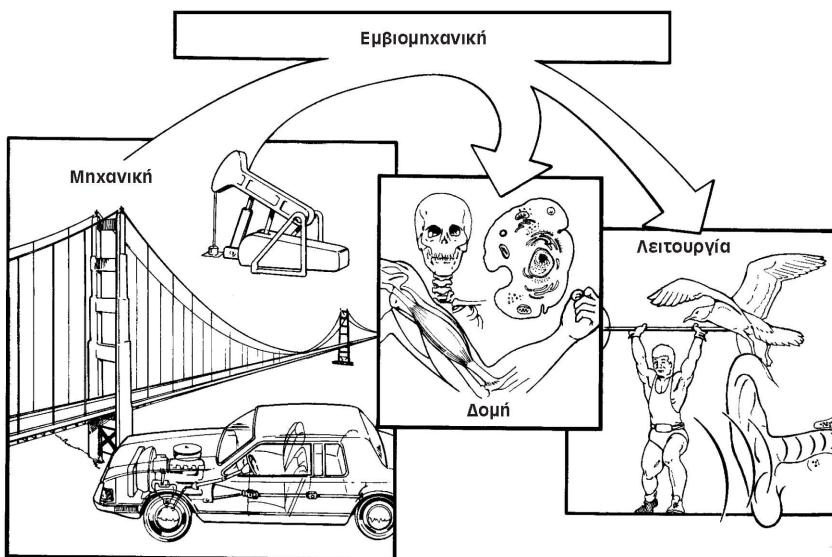
Αν και οι απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά ενδέχεται να έχουν τη ρίζα τους στη φυσιολογία, στην ψυχολογία ή στην κοινωνιολογία, αυτά τα προβλήματα είναι εμβιομηχανικής φύσης. Το παρόν βιβλίο αποτελεί μια βάση για τον εντοπισμό, την ανάλυση και την επίλυση προβλημάτων σχετικά με την εμβιομηχανική της ανθρώπινης κίνησης.

## **ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ: ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ**

Ο όρος **εμβιομηχανική** συνδυάζει το πρόθεμα **εμβιο-**, που αφορά στη «ζωή», με το πεδίο της μηχανικής, που αφορά στη μελέτη της δράσης των δυνάμεων. Η διεθνής επιστημονική κοινότητα υιοθέτησε τον όρο εμβιομηχανική κατά τη διάρκεια της αρχής της δεκαετίας του 1970, για να περιγράψει την επιστήμη σχετικά με τη μελέτη των μηχανικών παραμέτρων των έμβιων οργανισμών. Για το πεδίο της κινησιολογίας και της επιστήμης της άσκησης ο έμβιος οργανισμός με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι το ανθρώπινο σώμα. Στις δυνάμεις υπό μελέτη περιλαμβάνονται οι εσωτερικές δυνάμεις που παράγονται από τους μυς και οι εξωτερικές δυνάμεις που δρουν στο σώμα.

Οι εμβιομηχανικοί χρησιμοποιούν τα εργαλεία της **μηχανικής**, του κλάδου της φυσικής που αφορά στην ανάλυση της ενέργειας των δυνάμεων, για τη μελέτη των ανατομικών και λειτουργικών παραμέτρων





## ΕΙΚΟΝΑ 1-1

Η εμβιομηχανική αφορά στην εφαρμογή των αρχών της μηχανικής για την επίλυση προβλημάτων σχετικά με τη δομή και τη λειτουργία των έμβιων οργανισμών.

των έμβιων οργανισμών (Εικόνα 1-1). Η **στατική** και η **δυναμική** είναι δύο βασικοί υποκλάδοι της μηχανικής. Η στατική αφορά στη μελέτη των συστημάτων που είναι σε μια κατάσταση σταθερής κίνησης, δηλαδή είτε σε ηρεμία (χωρίς καθόλου κίνηση) είτε σε κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Η δυναμική αφορά στη μελέτη των συστημάτων στα οποία υπάρχει επιτάχυνση.

Η **κινηματική** και η **κινητική** είναι περαιτέρω υποδιαιρέσεις της εμβιομηχανικής μελέτης. Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί οπικά κατά την παρακολούθηση ενός κινούμενου σώματος ονομάζεται **κινηματική** της κίνησης. Η κινηματική αφορά στη μελέτη του μεγέθους, της ακολουθίας και του χρονισμού της κίνησης, χωρίς αναφορά στις δυνάμεις που προκαλούν ή προκύπτουν από την κίνηση. Η κινηματική μιας άσκησης ή η εκτέλεσης μιας αθλητικής δεξιότητας είναι γνωστή και ως φόρμα ή τεχνική. Ενώ με την κινηματική περιγράφεται η εμφάνιση της κίνησης, η κινητική αφορά στη μελέτη των δυνάμεων που σχετίζονται με την κίνηση. Η δύναμη μπορεί να είναι μια έλξη ή μια άθληση που δρα σε ένα σώμα. Η μελέτη της ανθρώπινης εμβιομηχανικής μπορεί να αφορά σε ερωτήματα, όπως αν η ποσότητα της δύναμης που παράγουν οι μύες είναι η ιδανική για τον επιθυμητό σκοπό της κίνησης.

Αν και η εμβιομηχανική είναι ένα σχετικά νέο πεδίο επιστημονικής έρευνας, τα εμβιομηχανικά ζητήματα ενδιαφέρουν πολλούς επιστημονικούς κλάδους και επαγγελματικά πεδία. Οι εμβιομηχανικοί μπορεί να προέρχονται από την επιστήμη της ζωολογίας, την ορθοπαιδική, την καρδιολογία, την αθλητιατρική, τη βιοϊατρική τεχνολογία, τη φυσικοθεραπεία ή την κινησιολογία. Ο κοινός παρανομαστής είναι το ενδιαφέρον για τις εμβιομηχανικές παραμέτρους της δομής και της λειτουργίας των έμβιων οργανισμών.

Η εμβιομηχανική της ανθρώπινης κίνησης είναι μια υποκατηγορία της **κινησιολογίας**, της μελέτης της ανθρώπινης κίνησης. Αν και κάποιοι εμβιομηχανικοί μελετούν θέματα, όπως η μετακίνηση της στρουθοκαμήλου, η αιματική ροή μέσα από στενωτικές αρτηρίες ή η μικροχαρτογράφηση των οδοντικών κοιλοτήτων, το παρόν βιβλίο επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο στην εμβιομηχανική της ανθρώπινης κίνησης από την προοπτική του αναλυτή της κίνησης.

Η εμβιομηχανική, επίσης, είναι ένας επιστημονικός κλάδος της **αθλητιατρικής**. Η αθλητιατρική είναι ένας γενικός όρος-ομπρέλα, ο οποίος εμπεριέχει τις κλινικές και επιστημονικές παραμέτρους της άσκησης και της άθλησης. Το Αμερικανικό Κολέγιο Αθλητιατρικής (American College of Sports Medicine, ACSM) αποτελεί ένα παράδειγμα οργανισμού για την αλληλεπίδραση μεταξύ επιστημόνων και κλινικών που ενδιαφέρονται για ζητήματα σχετικά με την αθλητιατρική.

### στατική

κλάδος της μηχανικής σχετικά με τα συστήματα σε κατάσταση σταθερής κίνησης

### δυναμική

κλάδος της μηχανικής σχετικά με τα συστήματα που υπόκεινται σε επιτάχυνση

### κινηματική

μελέτη της περιγραφής της κίνησης, περιπλανασμάτων των ζητημάτων του χρόνου και του χώρου

### κινητική

μελέτη της ενέργειας των δυνάμεων

### κινησιολογία

μελέτη της ανθρώπινης κίνησης

### αθλητιατρική

κλινικές και επιστημονικές παράμετροι της άθλησης και της άσκησης

## Ποια προβλήματα μελετούν οι εμβιομηχανικοί επιστήμονες;

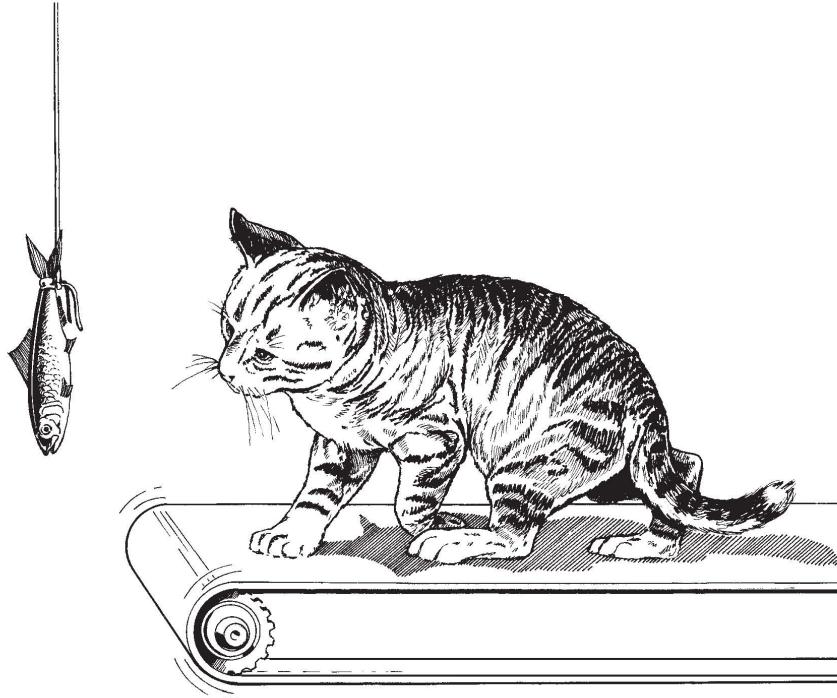
Όπως είναι αναμενόμενο, δεδομένων των διάφορων επιστημονικών και επαγγελματικών πεδίων που αντιπροσωπεύονται, οι εμβιομηχανικοί μελετούν ποικίλα ερωτήματα ή προβλήματα. Για παράδειγμα, οι ζωολόγοι έχουν εξετάσει τα πρότυπα κίνησης δεκάδων ειδών ζώων, τα οποία βαδίζουν, τρέχουν, τριποδίζουν και καλπάζουν με ελεγχόμενες ταχύτητες πάνω σε κυλιόμενο τάπητα, προκειμένου να προσδιορίσουν γιατί τα ζώα επιλέγουν ένα συγκεκριμένο μήκος και συχνότητα διασκελισμού για μια δεδομένη ταχύτητα. Έχουν βρει ότι με το τρέξιμο καταναλώνεται τελικά λιγότερη ενέργεια απ' ότι με τη βάδιση σε μικρά ζώα με μέγεθος μέχρι αυτό του οκύλου, αλλά ότι το τρέξιμο είναι πιο ενεργοβόρο από τη βάδιση για μεγαλύτερα ζώα, όπως είναι τα άλογα (16). Μία από τις προκλήσεις αυτού του είδους έρευνας είναι να ανευρεθεί ο τρόπος να πειστεί μια γάτα, ένας οκύλος ή μια γαλοπούλα να τρέξουν πάνω σε έναν κυλιόμενο τάπητα (Εικόνα 1-2).

Στους ανθρώπους το ενεργειακό κόστος του τρεξίματος αυξάνεται με την ταχύτητα, όπως και με την ποσότητα του βάρους που μεταφέρει ο δρομέας. Έχει παρατηρθεί ότι οι αρχάριοι δρομείς αναπτύσσουν ένα πιο οικονομικό τρέξιμο με την πάροδο μερικών εβδομάδων, καθώς προσαρμόζονται στην προπόνηση (13). Είναι ενδιαφέρον ότι οι ερευνητές έχουν δείξει ότι το τρέξιμο χωρίς υποδήματα ή με τα ελάχιστα δυνατά υποδήματα είναι πιο οικονομικό από το τρέξιμο με συμβατικά αθλητικά υποδήματα, πιθανώς λόγω της αποθήκευσης και της επιστροφής της ελαστικής ενέργειας μέσω του ποδιού (14).

Η NASA (National Aeronautics and Space Administration) των Η.Π.Α. προωθεί μια άλλη διεπιστημονική έρευνητική εμβιομηχανική γραμμή για την κατανόηση της επίδρασης της μικροβαρύτητας στο ανθρώπινο μυοσκελετικό σύστημα. Είναι ιδιαιτέρως ενδιαφέρον το γεγονός ότι οι αστροναύτες, οι οποίοι έχουν παραμείνει εκτός του βαρυτικού πεδίου της Γης για λίγες μόλις ημέρες, επιστρέφουν με μυϊκή ατροφία, μεταβολές στο καρδιαγγειακό και ανοσοποιητικό σύστημα, με μειωμένη οστική πυκνότητα και αντοχή, ιδίως στα κάτω άκρα (20). Πιο συγκεκριμένα, το ζήτημα της οστικής απώλειας αποτελεί περιοριστικό παράγοντα

### ΕΙΚΟΝΑ 1-2

Από την έρευνα της εμβιομηχανικής σχετικά με τη βάδιση των ζώων ανακύπτουν κάποια ενδιαφέροντα προβλήματα.



για μακροχρόνιες διαστημικές πτήσεις. Η αυξημένη επαναρρόφηση οστού και η μειωμένη απορρόφηση ασθεσίου φαίνεται ότι αποτελούν τις αιτίες του προβλήματος (βλ. Κεφάλαιο 4) (19).

Από τις πρώτες ημέρες των διαστημικών πτήσεων, οι εμβιομηχανικοί έχουν σχεδιάσει και κατασκευάσει διάφορα μηχανήματα άσκησης για χρήση στο διάστημα, προκειμένου να αντικαταστήσουν τις επίγειες δραστηριότητες διατήρησης του φυσιολογικού οστού. Ένα μέρος της έρευνας έχει επικεντρωθεί στον σχεδιασμό διαδρόμων για χρήση στο διάστημα, με τους οποίους φορτίζονται τα οστά των κάτω άκρων με ρυθμό παραμόρφωσης και μηχανικής υπερφόρτισης που είναι ιδιαίτεροι για τη διέγερση του σχηματισμού νέου οστού. Μια άλλη προσέγγιση αφορά στον συνδυασμό εκούσιας μυϊκής συστολής με ηλεκτρικό ερεθισμό για τη διατήρηση της μυϊκής μάζας και του μυϊκού τόνου (25). Μέχρι τώρα, ωστόσο, δεν έχει βρεθεί κάποιο επαρκές υποκατάστατο για τη φόρτιση του σωματικού βάρους, προκειμένου να προληφθεί η οστική και μυϊκή απώλεια στο διάστημα.

Η διατήρηση της επαρκούς οστικής πυκνότητας είναι ένα ζήτημα και στη Γη. Η οστεοπόρωση είναι μια κατάσταση στην οποία η οστική πυκνότητα και αντοχή επηρεάζονται τόσο πολύ, ώστε οι καθημερινές δραστηριότητες ενδέχεται να προκαλέσουν οστικό πόνο και κάταγμα. Η κατάσταση αυτή εκδηλώνεται στους περισσότερους ηλικιωμένους, νωρίτερα στις γυναίκες και η επίπτωσή της αυξάνεται συνεχώς σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς αυξάνεται ο μέσος όρος ηλικίας του πληθυσμού. Περίπου το 40% των γυναικών θα παρουσιάσουν ένα ή περισσότερα οστεοπορωτικά κατάγματα μετά την ηλικία των 50 ετών, ενώ μετά την ηλικία των 60 ετών περίπου το 90% όλων των καταγμάτων σε άνδρες και γυναίκες σχετίζεται με την οστεοπόρωση. Το πιο συχνό σημείο κατάγματος είναι οι σπόνδυλοι, με την παρουσία ενός κατάγματος να αποτελεί ένδειξη για αυξημένο ενδεχόμενο κίνδυνο μελλοντικού κατάγματος σε σπόνδυλο ή στο ισχίο (8). Το ζήτημα αναλύεται σε βάθος στο Κεφάλαιο 4.

Ένα άλλο προβληματικό πεδίο για τους εμβιομηχανικούς που μελετούν τους ηλικιωμένους είναι η ελλειμματική κινητικότητα. Η ηλικία σχετίζεται με μειωμένη ισορροπιστική ικανότητα και οι ηλικιωμένοι πέφτουν πιο πολύ απ' ό,τι τα νεαρά άτομα, αν και οι λόγοι για τις μεταβολές αυτές δεν είναι επαρκώς κατανοητοί. Οι πτώσεις και ειδικότερα τα κατάγματα ισχίου λόγω πτώσεων είναι εξαιρετικά σοβαρά, συνήθη και δαπανηρά ιατρικά προβλήματα για τους ηλικιωμένους. Κάθε έτος οι πτώσεις προκαλούν υψηλά ποσοστά καταγμάτων καρπού, κρανιοεγκεφαλικών κακώσεων, σπονδυλικών καταγμάτων και κακώσεων, όπως και άνω του 90% των καταγμάτων ισχίου στις Η.Π.Α. (17). Διάφορες εμβιομηχανικές ερευνητικές ομάδες διερευνούν τους εμβιομηχανικούς παράγοντες που επιτρέπουν στα άτομα να αποφεύγουν τις πτώσεις, τα χαρακτηριστικά της ασφαλούς προσγείωσης μετά από πτώση, τις δυνάμεις που εφαρμόζονται στα διάφορα μέρη του σώματος κατά τη διάρκεια μιας πτώσης, όπως και τη δυνατότητα του προστατευτικού ρουχισμού και πατώματος να αποτρέπουν κακώσεις λόγω πτώσης (17). Από υποσχόμενες έρευνες για την ανάπτυξη στρατηγικών παρέμβασης προκύπτει ότι το σημείο κλειδί για την πρόληψη των πτώσεων ενδέχεται να είναι η ικανότητα περιορισμού της κίνησης του κορμού (7). Οι ηλικιωμένοι μπορούν να μάθουν γρήγορα στρατηγικές για τον περιορισμό της κίνησης του κορμού μέσω εργοειδικευμένης εκπαίδευσης σε συνδυασμό με ασκήσεις για ολόκληρο το σώμα.

Από την κλινική εμβιομηχανική έρευνα έχουν προκύψει αποτελέσματα για τη βελτίωση της βάδισης παιδιών με εγκεφαλική παράλυση, μια κατάσταση που αφορά σε υψηλά επίπεδα μυϊκής τάσης και σπαστικότητας. Η βάδιση ενός ατόμου με εγκεφαλική παράλυση χαρακτηρίζεται από υπερβολική κάμψη του γόνατος κατά τη διάρκεια της φάσης στάσης. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χειρουργική μετάθεση των τενόντων των γαστροκνημιαίων για τη βελτίωση της έκτασης του γόνατος κατά τη διάρκεια της βάδισης. Σε κάποιους αιθενείς, ωστόσο, με τη διαδικασία αυτή εξαλείφεται, επίσης, η κάμψη γόνατος

κατά τη διάρκεια της φάσης αιώρησης της βάδισης, με αποτέλεσμα το σύρσιμο του ποδιού. Από την έρευνα προέκυψε ότι οι ασθενείς με το πρόβλημα αυτό εκδήλωναν σημαντική συσύνταση του ορθού μηριαίου και των οπίσθιων μηριαίων κατά τη διάρκεια της φάσης αιώρησης, οπότε οι ορθοπαιδικοί άρχισαν να αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με τη χειρουργική μετάθεση του ορθού μηριαίου στην κατάφυση του ραπτικού. Με αυτήν τη δημιουργική, βασισμένη σε εμβιομηχανική έρευνα, προσέγγιση έγινε ένα μείζον βήμα για την ομαλοποίηση της βάδισης παιδιών με εγκεφαλική παράλυση.

Από την έρευνα βιοϊατρικών μηχανικών έχουν προκύψει αποτελέσματα για τη βελτίωση της βάδισης παιδιών και ενήλικων με ακρωτηριασμούς κάτω από το γόνατο. Η βάδιση με πρόθεση εμπεριέχει πρόσθετες μεταβολικές απαιτήσεις, οι οποίες μπορούν να είναι ιδιαιτέρως σημαντικές για ακρωτηριασμένους ήλικιωμένους και για νεαρούς, ενεργητικούς ακρωτηριασμένους που συμμετέχουν σε αθλήματα, όπου χρειάζεται υψηλή αερόβια ικανότητα. Προς επίλυση του προβλήματος αυτού, οι ερευνητές έχουν εξελίξει μια σειρά από προθέσεις για το κάτω άκρο και το πόδι, στις οποίες αποθηκεύεται και επιστρέφεται μηχανική ενέργεια κατά τη διάρκεια της βάδισης, οπότε μειώνεται το ενεργειακό κόστος της μετακίνησης. Από διάφορες μελέτες προκύπτει ότι οι ενδοτικές προθέσεις είναι πιο κατάλληλες για ενεργητικούς και γρήγορους βαδιστές, ενώ οι προθέσεις που παρέχουν μια πιο σταθερή βάση στήριξης, σε γενικές γραμμές, είναι πιο κατάλληλες για τους ηλικιωμένους. Οι ελεγχόμενες από μικροεπεξεργαστή «έξυπνες» προθέσεις υπόσχονται πολλά για τη μείωση του ενεργειακού κόστους της βάδισης σε μια ποικιλία ταχυτήτων (3). Οι ερευνητές αναπτύσσουν μια νέα κατηγορία «βιονικών» προθετικών ποδιών, τα οποία είναι σχεδιασμένα για την καλύτερη μίμηση της φυσιολογικής βάδισης (21).

Η εμβιομηχανική στην εργασία αφορά στην πρόληψη των κακώσεων λόγω εργασίας και στη βελτίωση των συνθηκών εργασίας και των εργασιακών επιδόσεων. Οι ερευνητές στο πεδίο αυτό έχουν μάθει ότι η σχετική με την εργασία οσφυαλγία δεν οφείλεται μόνο στον κειρισμό βαρέων αντικειμένων αλλά και σε μη φυσιολογικές στάσεις του ώματος, ξαφνικές και μη αναμενόμενες κινήσεις και στα χαρακτηριστικά κάθε εργαζόμενου (12). Χρησιμοποιούνται πλέον εξελιγμένα εμβιομηχανικά μοντέλα του κορμού για τον σχεδιασμό των δραστηριοτήτων κειρισμού αντικειμένων στη βιομηχανία, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δυνητικά τραυματικές επιβαρύνσεις στην οσφυϊκή μοίρα (1).

Οι εμβιομηχανικοί έχουν συμβάλει επίσης στη βελτίωση των επιδόσεων σε επιλεγμένα αθλήματα μέσω του σχεδιασμού καινοτόμου εξοπλισμού. Ένα άριστο σχετικό παράδειγμα είναι το πέδιλο Klapskate, ένα πέδιλο εξοπλισμένο με αρμό κοντά στα δάκτυλα του ποδιού, έτοι ώστε ο δρομέας να μπορεί να εκτελεί πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής κατά τη διάρκεια της προώθησης, με αποτέλεσμα μέχρι και 5% υψηλότερες ταχύτητες απ' ό,τι ήταν εφικτό με τα παραδοσιακά πέδιλα (9). Το Klapskate σχεδιάστηκε από τους van Ingen Schenau και de Groot, οι οποίοι βασίστηκαν σε μια μελέτη για την τεχνική της ολισθαίνουσας προώθησης στις πεδιλοδρομίες ταχύτητας από τους van Ingen Schenau και Baker, όπως και στο έργο για τον μυϊκό συντονισμό κατά τη διάρκεια του κατακόρυφου άλματος από τους Bobbert και van Ingen Schenau (4). Όταν το Klapskate χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στους Χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες το 1998, καταρρίφθηκαν οι παγκόσμιες επιδόσεις σε κάθε αγώνισμα.

Από ευρήματα πειραμάτων που έχουν διεξαχθεί σε πειραματικούς θαλάμους, τις αεροσήραγγες, σχετικά με την ελεγχόμενη προσομοίωση της αντίστασης του αέρα που παρατηρείται κατά τη διάρκεια συγκριμένων αθλημάτων, έχουν προκύψει πολυάριθμες καινοτομίες στον αθλητικό εξοπλισμό και στην ένδυση. Σχετικά παραδείγματα είναι τα αεροδυναμικά κράνη, ρουχισμός και σχεδιασμός ποδηλάτων που χρησιμοποιούνται στην αγωνιστική ποδηλασία, όπως και οι εντελώς λείες στολές σε άλλα αγωνίσματα ταχύτητας, όπως η κολύμβηση, οι δρόμοι ταχύτητας και τα άλματα με κινονόπεδιλα (22). Οι αθλητικοί εμβιομη-

### **σύνδρομο καρπιαίου σωλήνα**

*κατάσταση υπέρχρωσης που προκαλείται από τη συμπίεση του μέσου νεύρου στον καρπιαίο σωλήνα και αφορά σε αιμωδία, αίσθηση πλεκτρικού ρεύματος και πόνο στο χέρι*