

ΜΕΡΟΣ

1

ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ –
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ
ΣΤΟΝ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟ



Μικροφωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου στην οποία διακρίνονται οι περιοχές των σαρκομερών όπου βρίσκονται τα νημάτια ακτίνης και μυοσίνης, ενός σκελετικού μυός. © CMSP

Φυσιολογία του Σκελετικού Μυός

Gary R. Hunter

Μετά από τη μελέτη του παρόντος κεφαλαίου θα είστε σε θέση:

- να περιγράψετε τη μικροσκοπική και μακροσκοπική δομή του μυός,
- να περιγράψετε τη θεωρία ολίσθησης των μιονημάτων κατά τη μυϊκή συστολή,
- να ξεχωρίζετε τα είδη της μυϊκής συστολής,
- να γνωρίζετε τους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή της μυϊκής δύναμης.

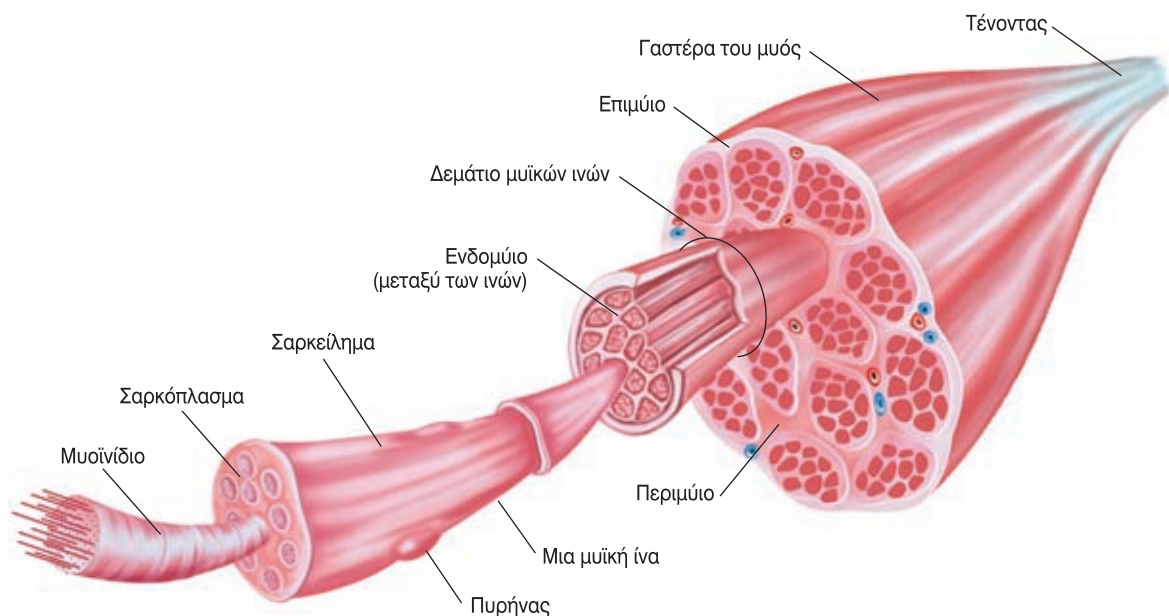
Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται μια ανασκόπηση του τρόπου λειτουργίας των σκελετικών μυών για την παραγωγή δύναμης και την πραγματοποίηση κινήσεων. Η κατανόηση της φυσιολογίας των μυών είναι βασικός παράγοντας για το σχεδιασμό και την εφαρμογή των προπονητικών προγραμμάτων. Πολλά οργανικά συστήματα, όπως το καρδιαγγειακό, το νευρικό και το ενδοκρινικό, επηρεάζουν τη μυϊκή λειτουργία. Ωστόσο, ο σκελετικός μυς είναι το όργανο το οποίο προκαλεί την κίνηση. Με άλλα λόγια, τα υπόλοιπα οργανικά συστήματα επηρεάζουν την απόδοση μεταβάλλοντας τη μυϊκή λειτουργία.

Μακροσκοπική και μικροσκοπική δομή του σκελετικού μύος

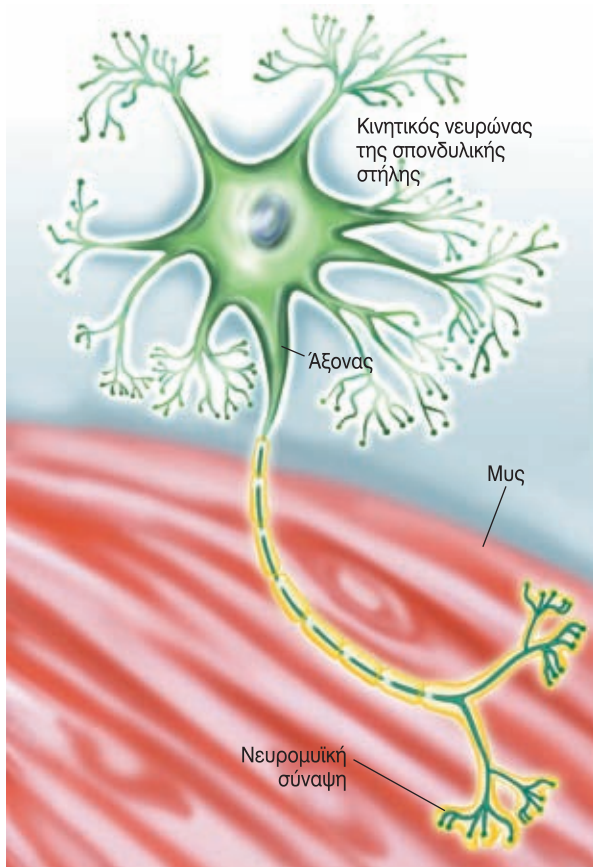
Ο σκελετικός μυς είναι ένα όργανο το οποίο περιλαμβάνει το μυϊκό ιστό, το συνδετικό ιστό, τα νεύρα και τα αιμοφόρα αγγεία. Κάθε ένας από τους περίπου 430 μύες του ανθρώπινου σώματος περιβάλλεται εξωτερικά από ινώδη συνδετικό ιστό που ονομάζεται **επιμύιο**. Το επιμύιο συνδέεται σε συνέχεια με τους τένοντες στα άκρα του μύος (Εικόνα 1.1). Οι τένοντες

συνδέονται με τα οστά μέσω του **περίσπεου**, ένα εξειδικευμένο είδος συνδετικού ιστού που περιβάλλει όλα τα οστά. Κάθε μυϊκή συστολή έλκει τον τένοντα και, συνεπώς, το οστό. Οι μύες των άκρων έχουν δύο σημεία σύνδεσης με τα οστά: την **εγγύς** (πλησιέστερη στον κορμό) και την **περιφερειακή** (μακρύτερα από τον κορμό). Τα αντίστοιχα σημεία σύνδεσης των μυών του κορμού ονομάζονται **ανώτερη** (πλησιέστερη στο κεφάλι) και **κατώτερη** (πλησιέστερη στα πόδια). Παραδοσιακά, ως **έκφυση** του μύος ορίζεται το σημείο σύνδεσης πλησιέστερα προς το κέντρο του σώματος και ως **κατάφυση** το πιο απομακρυσμένο (από το κέντρο του σώματος) σημείο σύνδεσης.

Τα μυϊκά κύτταρα, τα οποία συχνά ονομάζονται **μυϊκές ίνες**, έχουν σχετικά μεγάλο μήκος (μερικές φορές διανύουν όλο το μήκος ενός μύος), κυλινδρικό σχήμα και διάμετρο 50 ως 100 μm (περίπου τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας). Οι μυϊκές ίνες περιέχουν μεγάλο αριθμό πυρήνων οι οποίοι βρίσκονται στην περιφέρεια κάθε κυττάρου. Όταν παρατηρηθούν υπό υψηλή μεγέθυνση, οι μυϊκές ίνες παρουσιάζουν γραμμώσεις. Κάτω από το επιμύιο, οι μυϊκές ίνες οργανώνονται σε **δεμάτια**, που μπορούν να περιλαμβάνουν μέχρι και 150 ίνες, τα οποία περιβάλλονται από συνδετικό ιστό που ονομάζεται **περιμύιο**. Κάθε μυϊκή ίνα περιβάλλε-



Εικόνα 1.1. Σχηματική παράσταση ενός σκελετικού μύος στον οποίο παρουσιάζονται τα τρία είδη συνδετικού ιστού: επιμύιο (το εξωτερικό περίβλημα), περιμύιο (το οποίο περιβάλλει τα δεμάτια των μυϊκών ινών) και το ενδομύιο (το οποίο περιβάλλει κάθε μυϊκή ίνα).



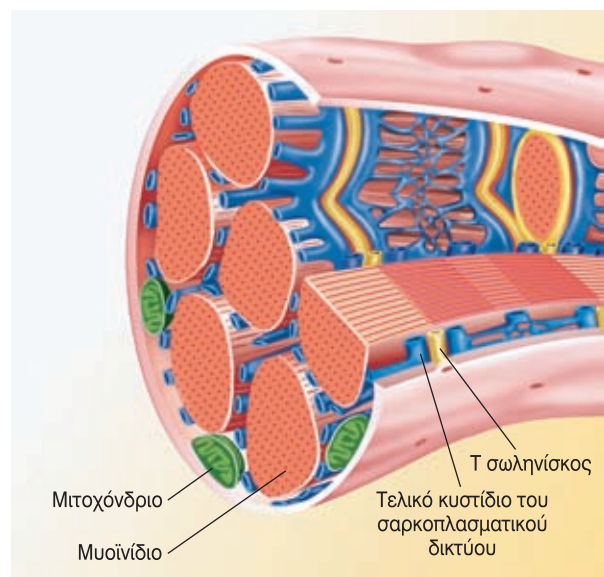
Εικόνα 1.2. Μια κινητική μονάδα αποτελείται από τον κινητικό νευρώνα και τις μυϊκές ίνες τις οποίες νευρώνει. Συνήθως, μια κινητική μονάδα περιέχει περισσότερες από τρεις μυϊκές ίνες.

ται από συνδετικό ιστό που ονομάζεται **ενδομύιο** το οποίο συνδέεται με την κυτταρική μεμβράνη της ίνας, το **σαρκείλημα**.³⁶ Όλα τα μέρη του συνδετικού ιστού τα οποία βρίσκονται σε ένα μυ – επιμύιο, περιμύιο και ενδομύιο – συνδέονται με τους τένοντες έτσι ώστε, η δύναμη η οποία αναπτύσσεται σε κάθε μια μυϊκή ίνα να μεταφέρεται σε αυτούς (Εικόνα 1.1).

Το σημείο συνάντησης μεταξύ ενός κινητικού νευρώνα (νευρικού κυττάρου) και των μυϊκών ινών που νευρώνει, ονομάζεται τελική κινητική πλάκα, ή συχνότερα, **νευρομυϊκή σύναψη** (Εικόνα 1.2). Κάθε μυϊκό κύτταρο έχει μόνο μια νευρομυϊκή σύναψη ενώ κάθε κινητικός νευρώνας, νευρώνει πολλούς μυϊκές ίνες, συχνά αρκετές εκατοντάδες. Ένας κινητικός νευρώνας μαζί με τις μυϊκές ίνες τις οποίες νευρώνει ονομάζονται **κινητική μονάδα**. Όλες οι μυϊκές ίνες μιας κινητικής μονάδας συστέλλονται ταυτόχρονα όταν δεχθούν ερέθισμα από τον κινητικό τους νευρώνα.

Η εσωτερική δομή μιας μυϊκής ίνας φαίνεται στην Εικόνα 1.3. Το **σαρκόπλασμα**, το κυτταρόπλασμα μιας μυϊκής ίνας, περιέχει τα συστατικά στοιχεία τα οποία αποτελούνται από νημάτια πρωτεϊνών, άλλες δομικές και μη πρωτεΐνες, αποθήκες γλυκογόνου και λιπών, ένζυμα και εξειδικευμένα οργανίδια όπως το σαρκόπλασματικό δίκτυο και τα μιτοχόνδρια.

Το σαρκόπλασμα μιας μυϊκής ίνας είναι οργανωμένο σε **μυοϊνίδια** (κάθε ένα από τα οποία έχει διάμετρο 1 μm, 1:100 της διαμέτρου μιας τρίχας). Τα μυοϊνίδια περιέχουν το μηχανισμό της μυϊκής συστολής που αποτελείται κυρίως από δύο είδη **μυονημάτων**: **μυοσίνης** και **ακτίνης**. Κάθε νημάτιο μυοσίνης (παχύ νημάτιο με διάμετρο περίπου 16 nm, 1:10.000 της διαμέτρου μιας τρίχας) περιέχει περίπου 200 μόρια μυοσίνης. Σε συγκεκριμένα διαστήματα, προεξέχουν από το νημάτιο μυοσίνης σφαιρικές κεφαλές που ονομάζονται **εγκάρσιες γέφυρες**. Κάθε νημάτιο ακτίνης (λεπτό νημάτιο με διάμετρο περίπου 6 nm) αποτελείται από δύο αλυσίδες οργανωμένες σε διπλή έλικα. Τα νημάτια ακτίνης και μυοσίνης είναι οργανωμένα σε παράλληλη και επιμήκη διάταξη στη μικρότερη λειτουργική μονάδα των σκελετικών μυών, το **σαρκομέριο**. Τα σαρκομέρια έχουν μήκος περίπου 2,2 μm σε μια χαλαρή μυϊκή ίνα (περίπου 4500 σαρκομέρια για κάθε εκατοστό του μέτρου) και είναι διατεταγμένα το ένα δίπλα στο άλλο σε όλο το μήκος μιας μυϊκής ίνας.²⁹

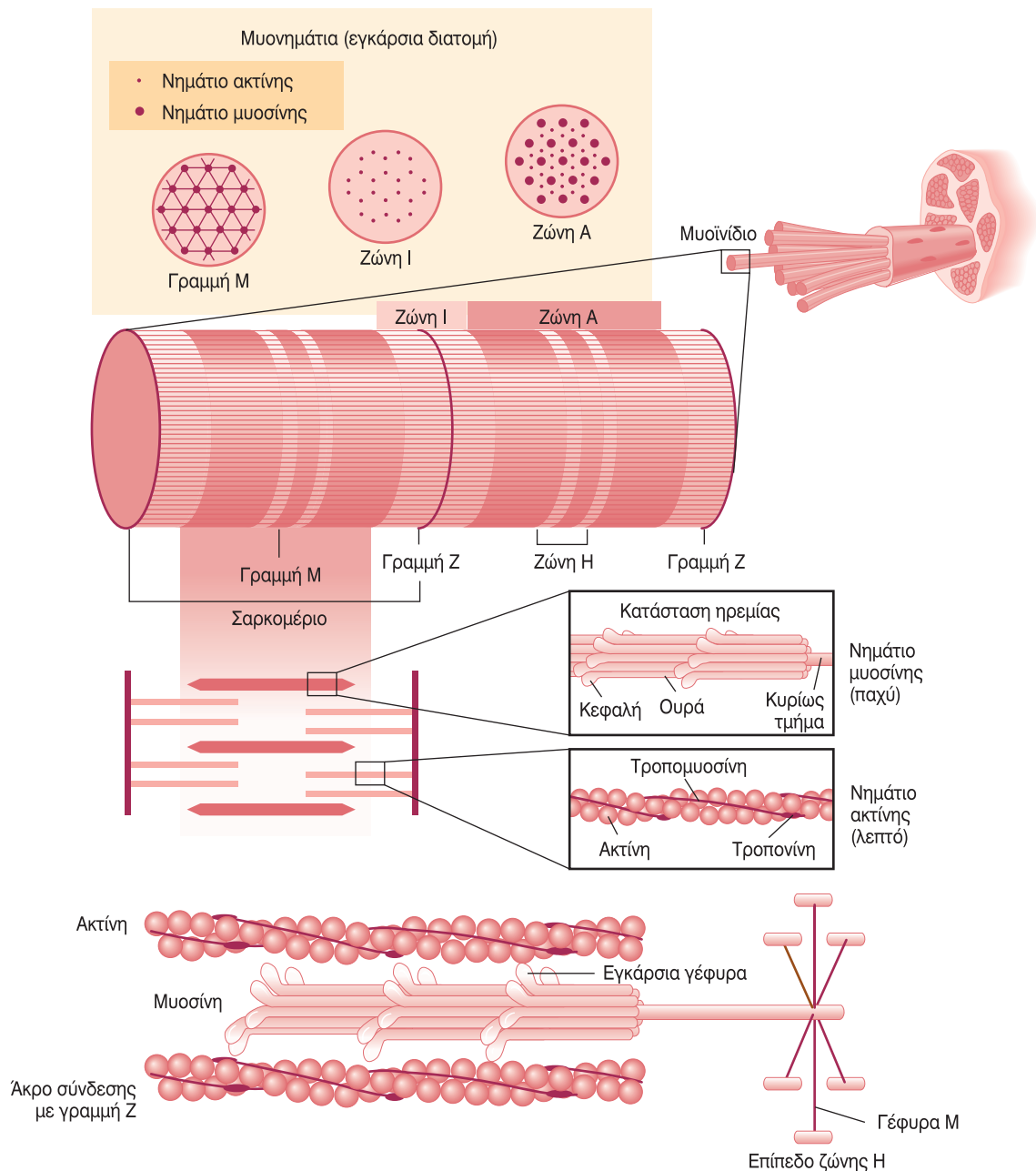


Εικόνα 1.3. Τομή μιας μυϊκής ίνας.

Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζεται η δομή και ο προσανατολισμός της ακτίνης και της μυοσίνης σε ένα σαρκομέριο. Τα νημάτια μυοσίνης τα οποία βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο, ενώνονται μεταξύ τους στη γραμμή M (**M γέφυρα**) στο κέντρο του σαρκομερίου (στο κέντρο της **ζώνης H**). Τα νημάτια ακτίνης παρατάσσονται στα δύο άκρα του σαρκομερίου και συνδέονται στη **γραμμή Z**. Οι γραμμές Z επαναλαμβάνονται

σε όλο το μήκος ενός μυοϊνιδίου. Έξι νημάτια ακτίνης περιβάλλουν κάθε νημάτιο μυοσίνης και κάθε νημάτιο ακτίνης περιβάλλεται από τρία νημάτια μυοσίνης.

Η δομή των νηματίων ακτίνης και μυοσίνης καθώς και της γραμμής Z των σαρκομερίων είναι εκείνη που προσδιορίζει την εναλλαγή ανοιχτόχρωμων και σκουρόχρωμων περιοχών με αποτέλεσμα την εμφάνιση γραμμώσεων της μυϊκής ίνας. Η σκούρα **ζώνη A** αντι-



Εικόνα 1.4. Λεπτομερής αναπαράσταση των νηματίων ακτίνης και μυοσίνης. Η διάταξη της μυοσίνης (παχιά νημάτια) και της ακτίνης (λεπτά νημάτια) προσδίδει στους σκελετικούς μύες τη γραμμωτή τους εμφάνιση.

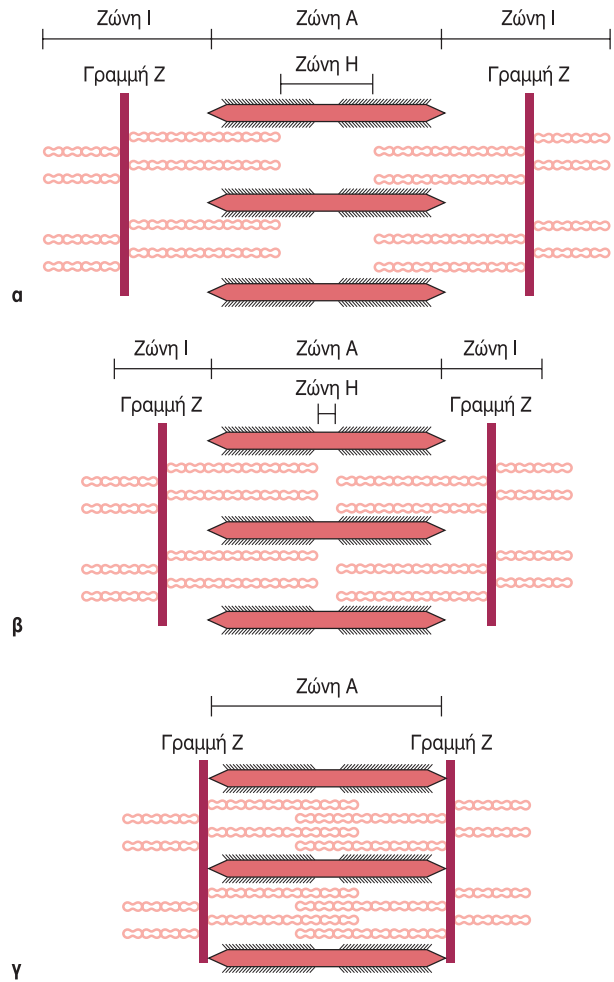
στοιχεί στην περιοχή την οποία καταλαμβάνουν τα νημάτια μυοσίνης ενώ η ανοιχτόχρωμη **ζώνη I** αντιστοιχεί στην περιοχή την οποία καταλαμβάνουν τα νημάτια ακτίνης σε δύο συνεχόμενα σαρκομέρια.⁵ Η γραμμή Z βρίσκεται στο μέσο της ζώνης I και φαίνεται σαν μια λεπτή σκούρα γραμμή κατά μήκος της ζώνης I. Η ζώνη H είναι η περιοχή στο κέντρο του σαρκομερίου στην οποία βρίσκονται μόνο νημάτια μυοσίνης. Κατά τη μυϊκή συστολή, το εύρος της ζώνης H μειώνεται, καθώς η ακτίνη ολισθαίνει προς τη μυοσίνη προς το κέντρο του σαρκομερίου. Ταυτόχρονα μειώνεται το εύρος της ζώνης I, καθώς οι γραμμές Z μετατοπίζονται προς το κέντρο του σαρκομερίου.

Κάθε μυοϊνίδιο περιβάλλεται από ένα πολύπλοκο σύστημα σωληνίσκων που ονομάζεται **σαρκοπλάσματικό δίκτυο** το οποίο φτάνει ως την περιοχή των γραμμών Z όπου μετατρέπεται σε σάκους-κυστίδια (βλ. Εικόνα 1.3). Στους σάκους αυτούς βρίσκονται αποθηκευμένα ιόντα ασβεστίου τα οποία είναι ρυθμιστές της μυϊκής συστολής. Οι εγκάρσιοι σωληνίσκοι, **T-σωληνίσκοι**, βρίσκονται κάθετα στο σαρκοπλάσματικό δίκτυο και φτάνουν ως την περιοχή των γραμμών Z, ανάμεσα σε δύο κυστίδια ασβεστίου. Ο σχηματισμός αυτός των δύο πλευρικών σάκων και του T-σωληνίσκου ονομάζεται **τριάδα**. Οι T-σωληνίσκοι περιβάλλουν τα μυοϊνίδια σε τακτά διαστήματα και έχουν επαφή με το σαρκείλημα έτσι ώστε, να μεταφέρουν το **δυναμικό ενέργειας** (τη νευρική ώση) από την επιφάνεια της μυϊκής ίνας σε όλα τα σημεία του εσωτερικού της σχεδόν ταυτόχρονα. Στη συνέχεια, το ασβέστιο απελευθερώνεται από τους σάκους σε όλη τη μυϊκή ίνα οδηγώντας σε μια συντονισμένη συστολή.

Θεωρία της ολίσθησης των μυονημάτων για την παραγωγή μυϊκής συστολής

Η **θεωρία της ολίσθησης των νημάτων** ορίζει ότι τα νημάτια ακτίνης στα δύο άκρα του σαρκομερίου

➡ Η απελευθέρωση ενός δυναμικού ενέργειας από ένα κινητικό νευρώνα σηματοδοτεί την απελευθέρωση ασβεστίου από το σαρκοπλάσματικό δίκτυο στο εσωτερικό του μυοϊνιδίου, προκαλώντας την παραγωγή μυϊκής δύναμης.



Εικόνα 1.5. Συστολή ενός μυοϊνιδίου. (α) Σε ένα μυ ο οποίος βρίσκεται σε διάταση, οι ζώνες I και H έχουν επιμηκυνθεί και η δυνατότητα παραγωγής δύναμης είναι μικρή εξαιτίας της μικρής αλληλοκάλυψης των εγκάρσιων γεφυρών και της ακτίνης. (β) Κατά τη μυϊκή συστολή οι ζώνες I και H στενεύουν. Η δυνατότητα παραγωγής δύναμης είναι υψηλή γιατί υπάρχει μέγιστη αλληλοκάλυψη εγκάρσιων γεφυρών και ακτίνης. (γ) Σε ένα μυ οποίος βρίσκεται σε πλήρη συστολή, η δυνατότητα παραγωγής δύναμης είναι χαμηλή λόγω της μικρής αλληλοκάλυψης εγκάρσιων γεφυρών και ακτίνης.

ου, ολισθαίνουν προς τα νημάτια μυοσίνης παρασύροντας μαζί τους τις γραμμές Z προς το κέντρο του σαρκομερίου, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το μήκος της μυϊκής ίνας (Εικόνα 1.5). Καθώς τα νημάτια ακτίνης ολισθαίνουν προς τα νημάτια μυοσίνης, οι γραμμές H και I συρρικνώνονται. Η κίνηση αυτή οφείλεται στην κάμψη των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης οι οποίες συνδέονται με τα νημάτια ακτίνης. Κάθε κάμψη μιας εγκάρσιας γέφυρας προκαλεί μια μικρή

κίνηση των νηματίων ακτίνης. Η κάμψη των εγκάρσιων γεφυρών είναι επαναλαμβανόμενη, ταχύτατη και γίνεται σε όλο το μήκος μιας μυϊκής ίνας έτσι ώστε, αθροιστικά, να παρατηρηθεί μια μετρήσιμη κίνηση.²⁸

Φάση ηρεμίας

Σε φυσιολογικές συνθήκες ηρεμίας, ελάχιστες ποσότητες ελεύθερου ασβεστίου βρίσκονται σε ένα μυοϊνίδιο (το περισσότερο είναι αποθηκευμένο στο σαρκοπλασματικό δίκτυο), με αποτέλεσμα ελάχιστες εγκάρσιες γέφυρες να είναι συνδεδεμένες στην ακτίνη. Συνεπώς, δεν αναπτύσσεται μυϊκή δύναμη και ο μυς θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας.

Φάση σύζευξης διέγερσης-συστολής

Βασική προϋπόθεση για την κίνηση των εγκάρσιων γεφυρών, είναι η ένωσή τους με τα νημάτια ακτίνης. Η έλλειψη της νευρικής ώσης ενεργοποιεί το σαρκοπλασματικό δίκτυο με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου. Το ασβέστιο ενώνεται με την **τροπονίνη**, μια πρωτεΐνη η οποία βρίσκεται σε τακτά διαστήματα πάνω στο νημάτιο της ακτίνης, και έχει μεγάλη χημική συγγένεια με το ασβέστιο (βλ. Εικόνα 1.4). Η ένωση αυτή προκαλεί μια μικρή μετατόπιση μιας άηλης πρωτεΐνης, της **τροπομυοσίνης**, η οποία είναι μια διπλή έλικα τυλιγμένη κατά μήκος ενός νηματίου ακτίνης. Έτσι, απελευθερώνονται τα σημεία σύνδεσης της ακτίνης πάνω στα οποία ενώνονται οι εγκάρσιες γέφυρες της μυοσίνης.⁶

Φάση συστολής

Η ενέργεια για την κίνηση των εγκάρσιων γεφυρών προέρχεται από την υδρόλυση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) σε διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και ανόργανο φώσφορο και καταλύεται από τη δράση του ενζύμου ATPάση της μυοσίνης. Ένα νέο μόριο ATP πρέπει να αντικαταστήσει την ADP στην κεφαλή της εγκάρσιας γέφυρας, προκειμένου αυτή να αποδεσμευτεί από την ακτίνη. Έτσι, η μυϊκή συστολή συνεχίζεται (παρουσία ιόντων ασβεστίου) ή ο μυς επανέρχεται σε κατάσταση ηρεμίας (απουσία ιόντων ασβεστίου). Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι, το ασβέστιο παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση ενός μεγάλου αριθμού κυτταρικών λειτουργιών των σκε-

➡ Το ασβέστιο και η ATP είναι απαραίτητα για την αλληλεπίδραση των εγκάρσιων γεφυρών με την ακτίνη.

λετικών μυών εκτός από τη μυϊκή συστολή. Οι λειτουργίες αυτές περιλαμβάνουν την οξειδωση και τη γλυκόλυση καθώς και την πρωτεϊνική σύνθεση και τον καταβολισμό.²¹

Φάση ανακύκλωσης

Προκειμένου να ολοκληρωθεί μια μυϊκή συστολή, είναι απαραίτητο να επαναληφθεί πολλές φορές η ακολουθία των μοριακών γεγονότων η οποία έχει περιγραφεί μέχρι τώρα (σύνδεση του ασβεστίου στη τροπονίνη, ένωση των εγκάρσιων γεφυρών με την ακτίνη, κίνηση των εγκάρσιων γεφυρών, αποσύνδεση ακτίνης και μυοσίνης και επαναφορά των εγκάρσιων γεφυρών σε θέση ετοιμότητας). Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει ασβέστιο στο μυοϊνίδιο, όταν υπάρχει ATP για την αποσύνδεση της μυοσίνης από την ακτίνη και όταν υπάρχει επάρκεια του ενεργού ενζύμου ATPάση της μυοσίνης για την υδρόλυση της ATP.

Φάση χαλάρωσης

Η χαλάρωση επέρχεται όταν σταματήσει ο νευρικός ερεθισμός από τον κινητικό νευρώνα. Το ασβέστιο επαναφέρεται (ενεργά) στο σαρκοπλασματικό δίκτυο με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η σύνδεση της μυοσίνης με την ακτίνη. Η χαλάρωση της μυϊκής ίνας σημαίνει ότι η ακτίνη και η μυοσίνη έχουν επανέλθει σε θέση αποδέσμευσης.

Ταξινόμηση των μυϊκών ινών

Οι μυϊκές ίνες παρουσιάζουν σημαντική ανομοιογένεια σε σχέση με τις μεταβολικές και τις συστατικές τους ιδιότητες. Με βάση ορισμένες ιστοχημικές μεθόδους ανάλυσης, έχουν προσδιοριστεί δύο κύρια είδη ινών, οι ίνες τύπου I (ή βραδείας συστολής) και οι ίνες τύπου II (ή ταχείας συστολής). Οι μυϊκές ίνες τύπου I έχουν υψηλή ικανότητα αντίστασης στην κόπωση, γιατί περιέχουν μεγάλο αριθμό μιτοχονδρίων, υ-

► Οι μυϊκές ίνες τύπου II, ταχείας συστολής, παράγουν υψηλότερη δύναμη σε υψηλές ταχύτητες συστολής, σε σχέση με τις τύπου I, βραδείας συστολής μυϊκές ίνες.

ψηλή δραστηριότητα αερόβιων ενζύμων και πυκνό δίκτυο τριχοειδών αγγείων. Οι μυϊκές ίνες τύπου II, μπορούν να διαιρεθούν σε δύο υποκατηγορίες (αν και κάποιοι ερευνητές έχουν αναφέρει περισσότερες υποκατηγορίες). Οι μυϊκές ίνες τύπου IIβ, ή ταχείας συστολής γλυκολυτικές, περιέχουν σχετικά μικρό αριθμό μιτοχονδρίων και τριχοειδών αγγείων, χαμηλή δραστηριότητα αερόβιων ενζύμων, ενώ η ικανότητα τους να αντιστέκονται στην κόπωση είναι περιορισμένη. Οι μυϊκές ίνες τύπου IIα, ή ταχείας συστολής οξειδωγλυκολυτικές, διατηρούν ένα μέρος από την ικανότητα αντοχής στην κόπωση των ινών τύπου I και περιέχουν σχετικά μεγαλύτερο αριθμό μιτοχονδρίων, τριχοειδών αγγείων και αερόβιων ενζύμων σε σχέση με εκείνη των ινών τύπου IIβ.^{14,29}

Είδη μυϊκής δραστηριότητας

Η **μυϊκή δραστηριότητα**, η οποία προκαλείται όταν η συνολική δύναμη η οποία παράγεται από όλες τις εγκάρσιες γέφυρες επαρκεί σε ένα μυ για την υπερνίκηση κάποιας εξωτερικής αντίστασης, ονομάζεται μειομετρική. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της κάμψης του αγκώνα, οι εγκάρσιες γέφυρες του δικέφαλου βραχιόνιου και των συνεργών μυών, υπερνικούν την εξωτερική αντίσταση του αθλήτη και του πήχη. Αντίθετα, όταν η δύναμη των εγκάρσιων γεφυρών είναι ίση με την εξωτερική αντίσταση και το μήκος του μυός παραμένει αμετάβλητο, η μυϊκή δραστηριότητα ονομάζεται **ισομετρική**. Στο προηγούμενο παράδειγμα, ισομετρική είναι η συστολή όταν η κίνηση σταματήσει, και η παραγωγή δύναμης από τους καμπήρες του αγκώνα ισοδυναμεί με την αντίσταση του αθλήτη και του πήχη. Όταν η δύναμη η οποία παράγεται από τις εγκάρσιες γέφυρες είναι μικρότερη από την εξωτερική αντίσταση, και το μήκος του μυός αυξάνεται ανεξάρτητα από τη συνεχή επαφή της ακτίνης με τη μασίνη, η μυϊκή δραστηριότητα ονομάζεται **πλειομετρική**.²⁶ Κατά τη διάρκεια μιας αργής, ελεγχόμενης, κίνησης του αθλήτη προς τα κάτω από τους καμπήρες του αγκώνα, οι εγκάρσιες γέφυρες παράγουν αρκετή δύναμη ώστε να μειώσουν την ταχύτητα πτώσης του αθλήτη αλλά όχι τόσο ώστε να αποτρέψουν την πτώση του ή να επιτρέψουν την ανύψωσή του.

Παραγωγή δύναμης

Το μέγεθος της παραγόμενης δύναμης ενός μυός καθορίζεται από τον αριθμό των εγκάρσιων γεφυρών μέσα στο συγκεκριμένο μυ, οι οποίες είναι συνδεδεμένες με την ακτίνη.³³ Ο σχεδιασμός προπονητικών προγραμμάτων μεγιστοποίησης της απόδοσης στα διάφορα αθλήματα προϋποθέτει την σε βάθος κατανόηση των παραγόντων εκείνων οι οποίοι επηρεάζουν την παραγωγή δύναμης. Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή της μυϊκής δύναμης.

Επιστράτευση κινητικών μονάδων

Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση ασβεστίου σε ένα μυοϊνίδιο, τόσες περισσότερες εγκάρσιες γέφυρες συνδέονται με την ακτίνη, συνεπώς, τόσο υψηλότερη η μυϊκή δύναμη που παράγεται. Η ποσότητα ασβεστίου η οποία απελευθερώνεται από το σαρκοπλάσματικό δίκτυο, σχετίζεται με τη συχνότητα των νευρικών ώσεων από τον κινητικό νευρώνα προς τη μυϊκή ίνα. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα των νευρικών ώσεων, τόσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη η οποία παράγει μια κινητική μονάδα. Η παραγωγή δύναμης σχετίζεται επίσης με τον αριθμό των κινητικών μονάδων που δραστηριοποιούνται (όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των ενεργών κινητικών μονάδων, τόσο μεγαλύτερη η μυϊκή δύναμη). Η παραγωγή της μυϊκής δύναμης ελέγχεται κυρίως με δύο τρόπους: με τη συχνότητα διέγερσης των κινητικών μονάδων και με τον αριθμό των ενεργοποιημένων κινητικών μονάδων. Είναι πιθανό, ένα μέρος των ασκισιογενών προσαρμογών της μυϊκής δύναμης να οφείλονται σε αύξηση της νευρικής δραστηριότητας των κινητικών μονάδων.^{23,32}

Προφόρτιση

Η απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου και η σύνδε-

ση της μυοσίνης με την ακτίνη συμβαίνει εξαιρετικά γρήγορα. Ωστόσο, δεν συμβαίνει ταυτόχρονα σε όλες τις κινητικές μονάδες και σε όλες τις εγκάρσιες γέφυρες. Υπάρχει μια μικρή χρονική καθυστέρηση, ώσπου όλες οι δυναμικά ικανές εγκάρσιες γέφυρες να συνδεθούν με τα νημάτια ακτίνης. Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή μέγιστης δύναμης σε ένα μυ δεν συμβαίνει αυτόματα με την ενεργοποίησή του. Συνεπώς, κατά τα αρχικά στάδια μιας κίνησης δεν είναι δυνατό να παραχθεί η μέγιστη μυϊκή δύναμη, ειδικά όταν η κίνηση είναι πολύ γρήγορη.

Η παραγωγή μυϊκής δύναμης όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά από την ενεργοποίηση ενός μυός (δηλαδή ο ρυθμός εφαρμογής την δύναμης), είναι σημαντικός παράγοντας απόδοσης σε ορισμένα αθλήματα. Αν κατά την προπόνηση μυϊκής ενδυνάμωσης δεν περιλαμβάνονται ασκήσεις για την παραγωγή μέγιστης δύναμης στα αρχικά στάδια μιας κίνησης (στα πρώτα χιλιοστά του δευτερολέπτου), δεν θα αναπτυχθεί επαρκώς η ικανότητα ταχείας εφαρμογής της δύναμης. Ένας μυς αναπτύσσει μεγάλη δύναμη, ακόμην και πριν από την έναρξη μιας κίνησης, προκειμένου να υποστηρίξει ισομετρικά την εξωτερική αντίσταση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **προφόρτιση**. Η εξωτερική αντίσταση δεν μετατοπίζεται ως τη στιγμή που ο μυς θα αναπτύξει αρκετή δύναμη ώστε να υπερνικηθεί η αδράνεια του συστήματος (βάρος του μέλους του σώματος και εξωτερική αντίσταση). Η προφόρτιση και η αδράνεια βοηθούν στην παραγωγή υψηλής δύναμης στα αρχικά στάδια μιας κίνησης. Κάποια σύγχρονα συστήματα προπόνησης δύναμης (π.χ. υδραυλικά, ισοκινητικά) δεν φορτίζουν τους μύες πριν από τη συστολή. Ωστόσο, επιστημονικές μελέτες έδειξαν ότι η προφόρτιση κατά τη διάρκεια της προπόνησης ίσως αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη της μυϊκής δύναμης στα αρχικά στάδια του εύρους μιας κίνησης, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται υψηλές ταχύτητες κίνησης.^{17,18,24}

Εγκάρσια επιφάνεια

Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να παράγει ένας μυς σχετίζεται άμεσα με την εγκάρσια επιφάνειά του⁷. Μύες οι οποίοι έχουν μεγάλη εγκάρσια επιφάνεια, έχουν μεγαλύτερο αριθμό σαρκομερίων σε παράλληλη διάταξη, συνεπώς, περισσότερες εγκάρσιες γέφυρες συνδεδεμένες με τα μόρια της ακτίνης, και

► Ο αριθμός των εγκάρσιων γεφυρών οι οποίες είναι συνδεδεμένες με νημάτια ακτίνης σε ένα ορισμένο χρονικό σημείο, προσδιορίζει την παραγωγή δύναμης ενός μυός.

μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής δύναμης. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός μυός τόσο μεγαλύτερη δύναμη μπορεί να παράγει.

Ταχύτητα συστολής

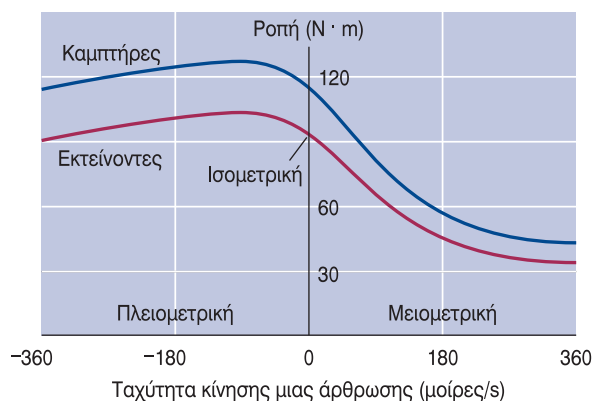
Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σαρκομερίων σε σειρά (δηλαδή όσο μακρύτερος είναι ένας μυς) τόσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα με την οποία μπορεί να συσταθεί.¹¹ Αυτό συμβαίνει γιατί, όλα τα σαρκομέρια συστέλλονται σχεδόν ταυτόχρονα (δύο σαρκομέρια σε σειρά μπορούν να φέρουν κοντά τα δύο άκρα ενός μυός δύο φορές περισσότερο στον ίδιο χρόνο σε σχέση με ένα μόνο σαρκομέριο). Συνεπώς, ένας μακρύτερος μυς που έχει περισσότερα σαρκομέρια σε σειρά μπορεί να συσταθεί ταχύτερα.

Η παραγωγή δύναμης είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας της μυϊκής συστολής σε μειομετρικές συστολές (Εικόνα 1.6). Με άλλα λόγια, σε γρήγορες κινήσεις παράγεται λιγότερη δύναμη ενώ η άρση υψηλών αντιστάσεων γίνεται αναγκαστικά με χαμηλή ταχύτητα¹⁰. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο μικρότερο αριθμό εγκάρσιων γεφυρών οι οποίες συνδέονται με τη ακτίνη όσο η ταχύτητα της συστολής αυξάνεται.⁶

Η σχέση αυτή είναι διαφορετική κατά τη διάρκεια των πλειομετρικών συστολών. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα μιας πλειομετρικής συστολής, τόσο αυξάνεται η παραγωγή μυϊκής δύναμης. Η ικανότητα παραγωγής δύναμης σε μια πλειομετρική συστολή είναι περίπου 120 ως 140% σε σχέση με μια μειομετρική συστολή.¹⁵ Αυτό σημαίνει ότι κατά την προπόνηση με πλειομετρικές συστολές πρέπει να χρησιμοποιούνται υψηλές αντιστάσεις ενώ η προπόνηση με εκρηκτικές μειομετρικές κινήσεις θα πρέπει να γίνεται με σχετικά χαμηλές αντιστάσεις.

Διάταξη των μυϊκών ινών

Η κατεύθυνση των σαρκομερίων δεν είναι σε ό-



Εικόνα 1.6. Ταχοδυναμική σχέση για μειομετρικές και πλειομετρικές μυϊκές συστολές. ΙΑπό: "Force-Velocity Relationship in Human Elbow Flexors and Extensors" by K. Jorgensen. In *Biomechanics V-A* (p. 147), edited by P.V. Komi, 1976. Baltimore: University Park Press).

Πους τους μύες παράλληλη με την κατεύθυνση της γαστέρας του μύος.^{26,27} Σε ορισμένους μύες οι μυϊκές ίνες έχουν λοξή διάταξη, ως προς την κατεύθυνση έλξης του μύος (Εικόνα 1.7β και γ). Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της κατεύθυνσης των ινών και των τενόντων επηρεάζει τον αριθμό των σαρκομερίων ανά εγκάρσια επιφάνεια και συνεπώς την παραγωγή δύναμης. Κρατώντας σταθερή την εγκάρσια επιφάνεια ενός μύος, οποιοσδήποτε παράγοντας επηρεάζει τη διάταξη των μυϊκών ινών, επιδρά άμεσα στην παραγωγή δύναμης και την ταχύτητα συστολής. Οι μύες οι οποίοι περιέχουν ίνες με μεγάλη γωνία ως προς την κατεύθυνση έλξης του μύος έχουν περισσότερα σαρκομέρια σε παράλληλη διάταξη και λιγότερα σε σειρά. Συνεπώς έχουν υψηλότερη ικανότητα για παραγωγή δύναμης αλλά μικρότερη ταχύτητα μυϊκής συστολής σε σχέση με μύες που περιέχουν ίνες σε παράλληλη διάταξη με την κατεύθυνση έλξης του μύος.³¹ Η διάταξη των μυϊκών ινών εξαρτάται τόσο από κληρονομικούς παράγοντες όσο και από την προπόνηση, γεγονός το οποίο εξηγεί κάποιες από τις διαφορές σε δύναμη και ταχύτητα που παρατηρούνται σε άτομα με παρόμοιο μέγεθος μυϊκής μάζας.

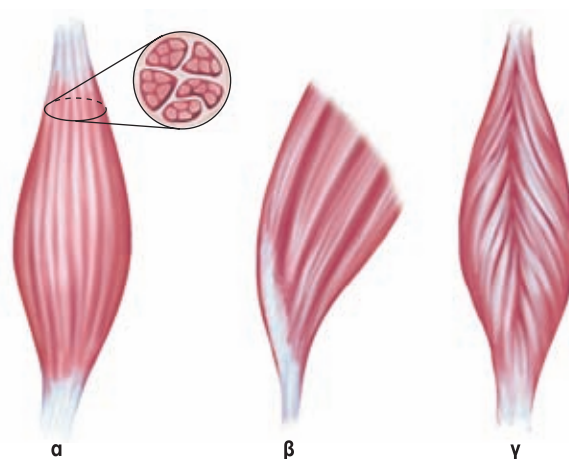
Μήκος σαρκομερίου και μύος

Ο αριθμός των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης ο οποίος μπορεί να συνδεθεί με τα νημάτια ακτίνης σε ένα δεδομένο χρονικό σημείο εξαρτάται από το σχετικό μήκος του σαρκομερίου ή το σχετικό μήκος του

μύος. Ένα σαρκομέριο το οποίο έχει συρρικνωθεί, δεν είναι σε θέση να παράγει τη μέγιστη δυναμική του δύναμη γιατί, τα νημάτια της ακτίνης υπερκαλύπτονται μεταξύ τους με συνέπεια τη μείωση των ενεργών θέσεων σύνδεσης της μυοσίνης με την ακτίνη. Το ίδιο συμβαίνει σε ένα σαρκομέριο το οποίο έχει επιμηκυνθεί υπερβολικά γιατί, πολλές από τις ενεργές θέσεις της ακτίνης έχουν απομακρυνθεί από την τελευταία εγκάρσια γέφυρα της μυοσίνης. Αντίθετα, σε ένα σαρκομέριο το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, ο μέγιστος αριθμός εγκάρσιων γεφυρών μπορεί να συνδεθεί με τις ενεργές θέσεις της ακτίνης με αποτέλεσμα τη δυνατότητα παραγωγής μέγιστης μυϊκής δύναμης (βλ. Εικόνα 1.5). Αυτό σημαίνει ότι η δύναμη που μπορεί να παράγει ένας μύς εξαρτάται από το μήκος του. Η μέγιστη δύναμη μπορεί να επιτευχθεί σε μήκος ηρεμίας ή λίγο μεγαλύτερο. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **μυοδυναμική σχέση** του μύος.¹²

Προδιάταση

Η προδιάταση ενός μύος ακριβώς πριν την εκτέλεση μιας μειομετρικής συστολής, μπορεί να αυξήσει την παραγωγή δύναμης κατά τη συστολή αυτή.²² Η αύξηση στην παραγωγή δύναμης ονομάζεται διευ-



Εικόνα 1.7. Τρεις από τις πιθανές διατάξεις των μυϊκών ινών. (α) Μυϊκές ίνες παράλληλες στον τένοντα. (β) Ημιπτεροειδής μύς. Οι μυϊκές ίνες έχουν λοξή διάταξη ως προς την κατεύθυνση έλξης του μύος. (γ) Πτεροειδής μύς. Οι μυϊκές ίνες βρίσκονται και από τις δύο πλευρές ενός μυ και έχουν λοξή διάταξη ως προς την κατεύθυνση έλξης του μύος.

κόλληση διάτασης-βράχυσης, ή συνηθέστερα, **κύκλος διάτασης-βράχυσης**. Η αύξηση στην απόδοση προκαλείται πιθανά από το συνδυασμό της χρήσης της ελαστικής ενέργειας του μυός (κυρίως από την διάταση των εγκάρσιων γεφυρών) και τη λειτουργία του μυοστατικού αντανακλαστικού (η οποία προκαλείται από την απότομη διάταση) του μυός.²² Ο κύκλος διάτασης-βράχυσης αποτελεί ένα σημαντικό φαινόμενο στον αθλητισμό γιατί, συμβαίνει πολύ συχνά και αποτελεί αναπόσπαστο παράγοντα σε δραστηριότητες όπως το τρέξιμο, τα άλματα και οι ρίψεις (για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον κύκλο διάτασης-βράχυσης, βλ. Κεφάλαιο 19).

Η διάταση ενός διαρθρικού μυ, στη μια άρθρωση, είναι δυνατό να προκαλέσει αύξηση της παραγωγής δύναμης στην άλλη άρθρωση. Για παράδειγμα οι οπίσθιοι μηριαίοι παράγουν μεγαλύτερη δύναμη και χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια κατά την κάμψη του γόνατος με το ισχίο σε κάμψη, παρά όταν το ισχίο είναι σε έκταση.¹⁹ Η βελτιωμένη απόδοση των οπίσθιων μηριαίων φαίνεται να σχετίζεται όχι μόνο με τη μηχανική σχέση αυτών των μυών, αλλά και με τη χρήση ελαστικής ενέργειας στον μυ που βρίσκεται σε διάταση.¹⁹ Φαίνεται ότι οι μύες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ελαστική ενέργεια που προέρχεται ακόμη και από μια παθητική διάταση.

Ασκησιογενής μυϊκή καταστροφή

Η έντονη άσκηση, μπορεί να προκαλέσει καθυστερημένο μυϊκό πόνο, ο οποίος εμφανίζεται συνήθως 24 ως 72 ώρες μετά την άσκηση. Τα αίτια του καθυστερημένου μυϊκού πόνου παραμένουν ασαφή. Ωστόσο, ένα μέρος από τη μυϊκή δυσφορία οφείλεται σε ασκησιογενή μυϊκή καταστροφή η οποία προκαλεί οίδημα λόγω φλεγμονής στους μύες.²⁸ Οι πλειομετρικές ασκήσεις προκαλούν κυρίως τον καθυστερημένο μυϊκό πόνο, ο οποίος σχετίζεται με μειωμένη ικανότητα παραγωγής δύναμης, ενώ όταν προκαλείται από αερόβιο τρέξιμο μεγάλης διάρκειας είναι δυνατό να διαταράξει την ικανότητα παραγωγής ATP μέσω των οξειδωτικών διαδικασιών, για αρκετές εβδομάδες.³⁰ Επίσης, το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με ανωμαλίες του σαρκοπλάσματικού δικτύου, αποδόμηση των ινιδίων τιτίνης, ρήξη των γραμμών Z και διόγκωση των μιτοχονδρίων.^{28,35}

Γήρανση

Στα ηλικιωμένα άτομα η λειτουργικότητα του μυϊκού ιστού είναι μειωμένη. Η ικανότητα εκτέλεσης των καθημερινών δραστηριοτήτων, αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα για τα υπερήλικα άτομα. Η **σαρκοπενία** (η μείωση της μυϊκής μάζας και δύναμης), η οποία οφείλεται τόσο στην γήρανση όσο και στη αδράνεια των ατόμων αυτών, είναι μεγαλύτερη στους εκτεινόμενους μύες που υποστηρίζουν τη στάση του σώματος.^{2,4} Κατά συνέπεια, η απώλεια της λειτουργικότητας είναι εντονότερη στα κάτω άκρα και τους εκτεινόμενους μύες του κορμού. Έπονται οι καμπτήρες μύες των κάτω άκρων ενώ τελευταίοι επηρεάζονται οι μύες των άνω άκρων. Η μυϊκή ατροφία οφείλεται τόσο σε απώλεια μυϊκών ινών όσο και σε μείωση της εγκάρσιας επιφάνειας των ινών. Οι μυϊκές ίνες τύπου II, φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο από τις τύπου I.²⁵ Η προπόνηση με αντίσταση προκαλεί αύξηση της μυϊκής μάζας και της δύναμης στα ηλικιωμένα άτομα,³⁴ γεγονός που υποδηλώνει ότι η αδράνεια παίζει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της σαρκοπενίας.

Προκειμένου να αυξηθεί η μυϊκή δύναμη σε μια κίνηση

- ◆ Χρησιμοποιήστε την αρχή της προφόρτισης κατά την προπόνηση, προκειμένου να επιτύχετε υψηλά μεγέθη δύναμης στα αρχικά στάδια της κίνησης. Η χρήση μηχανημάτων, όπως τα υδραυλικά και τα ισοκινητικά, δεν φορτίζει τους μύς πριν από τη συστολή.
- ◆ Αυξήστε την εγκάρσια επιφάνεια των μυών χρησιμοποιώντας μέτρια αντίσταση (65% ως 80% της μέγιστης δύναμης).
- ◆ Χρησιμοποιήστε πολύ υψηλή αντίσταση όταν εκτελείτε πλειομετρικές συστολές. Όταν προπονεύστε για εκρηκτικές μειομετρικές κινήσεις, χρησιμοποιήστε σχετικά χαμηλή αντίσταση.
- ◆ Αμέσως πριν από μια μειομετρική συστολή, χρησιμοποιήστε την αρχή της προδιάτασης προκειμένου να αυξήσετε την παραγωγή της μυϊκής δύναμης.
- ◆ Ενσωματώστε ημέρες ανάπαυσης στο προπονητικό πρόγραμμα έτσι ώστε, να αποφευχθεί η εμφάνιση καθυστερημένου μυϊκού πόνου και να επιτρέψετε στους μύς να αποκατασταθούν.

➔ Αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν τον ρυθμό σύνδεσης και αποσύνδεσης των εγκάρσιων γεφυρών και, συνεπώς, την παραγωγή μυϊκής δύναμης. Κάποιοι από αυτούς είναι η νευρική διέγερση, η συγκέντρωση ασβεστίου, η δραστηριότητα της ATPάσης της μυοσίνης, η προφόρτιση, η προδιάταση, η κατανομή των μυϊκών ινών και η υπερμικροσκοπική τους δομή, η κόπωση καθώς και τα συστατικά στοιχεία τα οποία βρίσκονται σε σειρά (μυοσίνη και ακτίνη).

Κατανομή μυϊκών ινών

Οι μυϊκές ίνες τύπου II (ταχείας συστολής), έχουν την ικανότητα παραγωγής ταχύτερων και δυνατότερων συστολών, αν και έχουν χαμηλότερη ικανότητα παραγωγής ATP μέσα από οξειδωτικές διαδικασίες. Άτομα τα οποία έχουν ένα υψηλό ποσοστό ινών ταχείας συστολής στους μύες τους, έχουν ένα πλεονέκτημα σε εκρηκτικά αθλήματα μικρής διάρκειας, αθλήματα που απαιτούν αερόβια αντοχή και υψηλή ενεργειακή απόδοση (παραγόμενο έργο/δαπάνη ενέργειας).

Παράλληλα, οι ίνες ταχείας συστολής φαίνεται ότι είναι περισσότερο ευαίσθητες στην εμφάνιση κα-

θυστερημένου μυϊκού πόνου μετά από άσκηση υψηλής έντασης, που σημαίνει ότι τουλάχιστον θεωρητικά, οι αθλητές αγωνισμάτων ισχύος είναι περισσότερο ευαίσθητοι στην εμφάνιση καθυστερημένου μυϊκού πόνου.

Συμπέρασμα

Οι προπονητές που ασχολούνται με την προπόνηση δύναμης, πρέπει να είναι ενήμεροι για τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την συστολή των μυϊκών ινών. Πριν από τον σχεδιασμό ενός προγράμματος άσκησης πρέπει να απαντηθούν αρκετά ερωτήματα: Ποια είναι η ταχύτητα του αγωνίσματος; Το άθλημα περιλαμβάνει μειομετρικές, ισομετρικές ή πλειομετρικές συστολές; Υπάρχει διάταση πριν από την κύρια δράση μιας κίνησης; Ποιο είναι το εύρος κίνησης; Φορτίζεται ο μυς πριν από τη μυϊκή δραστηριότητα; Η απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα, θα βοηθήσει τους επαγγελματίες προπονητές να κατανοήσουν την μυϊκή λειτουργία σε κάθε αθλητική δραστηριότητα και θα τους δώσει τη δυνατότητα να σχεδιάσουν προγράμματα προπόνησης που θα βοηθήσουν τους αθλητές τους να επιτύχουν εξειδικευμένες προπονητικές προσαρμογές.

Λέξεις κλειδιά

ακτίνη
γραμμή Z
γραμμή M
δεμάτιο μυϊκών ινών
δυναμικό ενέργειας
εγκάρσια γέφυρα
έκφυση
ενδομύιο
επιμύιο
ζώνη A
ζώνη H
ζώνη I
ισομετρική συστολή

κατάφυση
κινητική μονάδα
κύκλος διάτασης-βράχυσης
μειομετρική συστολή
μηκοδυναμική σχέση
μυϊκή ίνα
μυοϊνίδιο
μυονημάτιο
μυοσίνη
νευρομυϊκή σύναψη
περιμύιο
περίοστεο
πλειομετρική μυϊκή συστολή

προφόρτιση
σαρκείλημα
σαρκομέριο
σαρκοπενία
σαρκόπλασμα
σαρκοπλάσματικό δίκτυο
τένοντας
τροπομυοσίνη
τροπονίνη
T-σωληνίσκος
υπόθεση ολίσθησης των
μυονημάτων

Ερωτήσεις

- Μια δέσμη μυϊκών ινών ονομάζεται
 - περίστρεο
 - ενδομύιο
 - δεμάτιο
 - σαρκείλημα
- Σε ποια από τις παρακάτω δομές συνδέονται οι εγκάρσιες γέφυρες;
 - ακτίνη
 - μυοσίνη
 - γραμμή M
 - σαρκείλημα
- Ποια από τις παρακάτω χημικές ουσίες ρυθμίζει τη μυϊκή δραστηριότητα;
 - κάλιο
 - ασβέστιο
 - φώσφορος
 - σελήνιο
- Ποιο από τα παρακάτω περιγράφει καλύτερα μια μειομετρική συστολή;
 - Η εξωτερική αντίσταση είναι ίση με τη μυϊκή δύναμη
 - Η εξωτερική αντίσταση είναι μεγαλύτερη από τη μυϊκή δύναμη
 - Η εξωτερική αντίσταση είναι μικρότερη από τη μυϊκή δύναμη
 - Παράγεται αρνητική ενέργεια
- Ποια από τις παρακάτω συνθήκες προκαλεί αύξηση της μυϊκής δύναμης η οποία παράγεται κατά τη διάρκεια μιας μειομετρικής συστολής;
 - προδιάταση των αγωνιστών μυών
 - απελευθέρωση μεγαλύτερης ποσότητας ασβεστίου στο μυοσίνδιο
 - μειωμένη δραστηριότητα των ανταγωνιστών μυών
 - ταχύτερη μυϊκή δράση
 - μόνο το I και το II
 - μόνο το II και το IV
 - μόνο το I, το II και το III
 - μόνο το II, το III και το IV
- Η σαρκοπενία ορίζεται ως η
 - αδράνεια κατά την τρίτη ηλικία
 - μειωμένη μυϊκή μάζα και δύναμη
 - μειωμένη μυϊκή λειτουργικότητα
 - αυξημένη χρήση των μυϊκών ινών τύπου I

Πρακτικές εφαρμογές

Πρόβλημα 1

Ένας άντρας ηλικίας 57 ετών ακολουθεί ένα πρόγραμμα προπόνησης με αντίσταση για 10 χρόνια με καλά αποτελέσματα, σε γενικές γραμμές. Ικανοποιημένος από το πρόγραμμα που ακολουθεί αποφασίζει να αυξήσει την προπονητική ένταση, προσθέτοντας ορισμένες επαναλήψεις με έμφαση στο πλειομετρικό τμήμα της κίνησης, στην πίεση πάγκου, σε μια προσπάθεια να αυξήσει τη μέγιστη δύναμή του. Δύο μέρες μετά από την αθληγή αυτή, παραπονείται για πό-

νο στους θωρακικούς, τους τρικέφαλους βραχιόνιους και του μύες της ώμικής ζώνης. Πώς ονομάζεται ο πόνος αυτός; Ποια είναι η πιο πιθανή αιτία που τον προκάλεσε; Τι έχει αλλιάξει στους μύες αυτούς ώστε να προκαλείται ο πόνος;

Πρόβλημα 2

Περιγράψτε την υπόθεση ολίσθησης των μυονηματίων. Ποιες είναι οι πέντε φάσεις; Ποιος είναι ο ρόλος του ασβεστίου και της ATP κατά τη μυϊκή συστολή;