

Στοιχεία Φυσιολογίας των μυών - Εμβιομηχανικής και Κινησιολογίας

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α΄

ΜΥΙΚΗ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ, ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΥΩΝ

Η σύσπαση που πραγματοποιεί ένας μυς προκειμένου να παράξει έργο εξαρτάται από τη λειτουργική τοποθέτηση του στο ανθρώπινο σώμα. Με τον όρο λειτουργική τοποθέτηση, αναφερόμαστε στις φυσιολογικές, δομικές και εμβιομηχανικές ιδιότητες του ιστού, καθώς και τις ιδιαιτερότητες του μυ καθεαυτού.

Στα **φυσιολογικά χαρακτηριστικά** του μυϊκού ιστού ανήκουν:

- Η **διεγερσιμότητα**, δηλαδή η ικανότητα σύσπασης του μυός όταν δέχεται κάποιο ερέθισμα
- Η **συσταλτικότητα**, δηλαδή η ικανότητά του να μειώνει το μήκος του
- Η **διατασιμότητα**, που αναφέρεται στην επιμήκυνση του μυός όταν του ασκείται έλξη
- Η **ελαστικότητα**, αφού ο μυς τείνει να επιστρέψει στο αρχικό σχήμα και μήκος μετά από μια συστολή ή διαστολή.

Οι **δομικές ιδιότητες** των μυών σχετίζονται με τα ανατομικά χαρακτηριστικά τους. Η ιεραρχία συνίσταται αρχικά από το μυ, έπειτα από την κινητική μονάδα, τη μυϊκή ίνα, τα μυοϊνίδια και τα νημάτια ακτίνης-μυοσύνης.

Οι **εμβιομηχανικές ιδιότητες** ενός μυ εξαρτώνται από την ανατομική τοποθέτησή του επί των οστών. Το σημείο έκφυσης και κατάφυσης του μυ καθορίζει το μήκος του και αποτελεί σημείο αναφοράς για τον υπολογισμό των δυνάμεων που ασκούνται. Άλλα καθοριστικά στοιχεία αφορούν τις παραμέτρους της φυσικής μηχανικής και πως αυτή εκφράζεται κατά τη διάρκεια και μέσω της κίνησης. Αλληλένδετα, σημαντικό ρόλο στη συνολική κινητική συμπεριφορά του μυός παίζουν οι τένοντες μέσω των οποίων πραγματοποιείται η σύνδεση με τα οστά. Οι περιτονίες τέλος, προσδιορίζουν το μέγεθος της μυϊκής γαστέρας και της συνοχής του μυ στο σύνολο του.

ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΥ/ΜΥΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά διαφοροποιούνται σε επίπεδο ανατομίας και φυσιολογίας για κάθε μυ, δίνοντάς του λειτουργικές ικανότητες ανάλογα με το ρόλο που υπηρετεί.

Έτσι, κάθε μυς στο ανθρώπινο σώμα είναι όμοιος με τον ετερόπλευρό του αλλά διαφορετικός από κάθε άλλο μυ.

Για παράδειγμα, ο τετρακέφαλος μηριαίος μυς αποτελείται ανατομικά από μεγάλο αριθμό ινών βραδείας συστολής (τύπου I), αφού ο ρόλος του σε μια μαζική Κινητική

έκφραση είναι να σηκώνει μεγάλα φορτία. Σε περιπτώσεις τραυματισμών ή βλαβών του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος τείνει να ατροφεί. Ταυτόχρονα, άλλοι μύες που έχουν κυρίως δράση ενάντια στη βαρύτητα, όπως είναι ο γαστροκνήμιος, αποτελούνται επι το πλείστον από ταχείας συστολής μυικές ίνες (τύπου ΙΙα & β), γιατί λόγω της λειτουργίας τους απαιτείται να έχουν πιο άμεσες κινητικές αποκρίσεις.

Τις παρατηρήσεις αυτές εντόπισε για πρώτη φορά ο Janda (1987), και διαχώρισε τους μύς σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την εξελικτική τους ανάπτυξη (φυλογένεση), στους **τονικούς** και **φασικούς** μύς.

Το **τονικό** σύστημα αποτελείται από τους "καμπτήρες" και είναι φυλογενετικά παλαιότερο και κυρίαρχο. Αυτοί οι μύς συμμετέχουν σε επαναλαμβανόμενη ρυθμική δραστηριότητα (Umphred, 2001), και ενεργοποιούν καμπτικές συνέργιες. Το **φασικό** σύστημα αποτελείται από τους "εκτείνοντες" και προκύπτει αμέσως μετά τη γέννηση. Αυτοί οι μύς δρουν έκκεντρα, ενάντια στη δύναμη της βαρύτητας και ενεργοποιούν εκτατικές συνέργιες (Umphred, 2001).

Είναι σημαντικό να τονιστεί πως αυτή η κατηγοριοποίηση δεν είναι τελείως απόλυτη, καθώς σε μερικούς μύς μπορεί να υπάρχουν απο κοινού τονικά και φασικά χαρακτηριστικά. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί πως επιπρόσθετα στην νευρολογική προδιάθεση του κάθε μυ ως προς την σύσφιξη ή την αδυναμία, δομικές αλλαγές μέσα στον ίδιο το μυ μπορούν επίσης να συνεισφέρουν σε μυϊκή ανισορροπία.

Τονικοί μύς Με τάση σφίξιματος και βράχυνσης	Φασικοί μύς Με τάση αδυναμίας και αναστολής
<i>Υποκνημίδιος</i>	<i>Μακρός και Βραχύς περνιαίος</i>
<i>Οπίσθιος Κνημιαίος</i>	<i>Πρόσθιος κνημιαίος</i>
<i>Απαγωγί του Ισχίου</i>	<i>Έσω και Έξω πλατύς</i>
<i>Οπ. Μηριαίοι</i>	<i>Μέγας γλουτιαίος, Μέσος και Μικρός</i>
<i>Ορθός Μηριαίος</i>	<i>Ορθός κοιλιακός</i>
<i>Λαγονοψωίτης</i>	<i>Πρόσθιος οδοντωτός</i>
<i>Τείνων την παλτειά περιτονία</i>	<i>Ρομβοειδής</i>
<i>Απιοειδής</i>	<i>Κάτω μοίρα Τραπεζοειδούς</i>
<i>Θωρακο - οσφυϊκοί εκτείνοντες</i>	<i>Εν τω βάθει κάμπτηρες του αυχένα</i>
<i>Τετράγωνος οσφυϊκός</i>	<i>Εκτείνοντες του άνω άκρου</i>
<i>Μέγας θωρακικός</i>	
<i>Άνω μοίρα Τραπεζοειδούς</i>	
<i>Ανεκτύρας της ομωπλάτης</i>	
<i>Σκαληνοί</i>	
<i>Στερνοκλειδομαστοειδής</i>	
<i>Οι κάμπτηρες του άνω άκρου</i>	

Πίνακας .1 Τονικοί και Φασικοί μύς στο ανθρώπινο σώμα (Jada, 1987)

Τα μοτίβα λειτουργίας των παραπάνω δυο μυικών κατηγοριών αποδεικνυονται τόσο σε βλάβες του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος, όπως για παράδειγμα ένα αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, όσο και σε άτομα χωρίς τέτοιες βλάβες. Στη δεύτερη περίπτωση οι ανισορροπίες στο μυικό τόνο διαπιστώνονται πιο εύκολα ηλεκτρομυογραφικά.

Γνωρίζοντας την παραπάνω μυική κατάταξη και την κατανομή των διάφορων τύπων μυικών ινών στη μυική γαστέρα, ο θεραπευτής διαθέτει ένα σημαντικό εργαλείο για να αξιολογήσει και να καθορίσει το πλάνο της ισοκινητικής παρέμβασής του. Η αξιολόγηση αυτή συγκαταλέγεται στη διαδικασία του ισοκινητικού ελέγχου (τεστ) που θα αναλυθεί στο κεφάλαιο Γ'.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

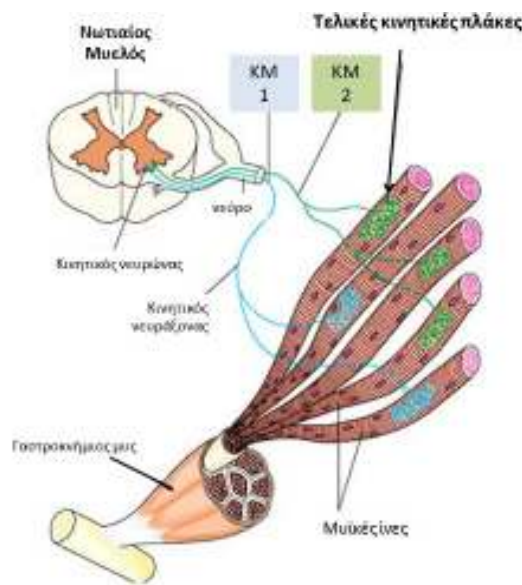
ΝΕΥΡΟΜΥΙΚΗ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Για να ξεκινήσει η συστολή ενός μύος, απαιτείται ένα εξωτερικό ερέθισμα το οποίο προέρχεται από το νευρικό σύστημα. Συγκεκριμένα το σήμα παράγεται από τον κινητικό φλοιό του εγκεφάλου και στη συνέχεια μεταβιβάζεται μέσω των σπονδυλικών νευραξόνων που διέρχονται από τον νωτιαίο μυελό και εξέρχονται από τις κοιλιακές ρίζες. Τέλος οι κινητικοί νευρώνες διακλαδίζονται και καταλήγουν σε μια Κινητική μονάδα του μύος όπου δίνουν το σήμα για να συσπασθεί ο μύς. Κάθε κλάδος του νευράξονα οδηγεί σε μια μυική ίνα, ένα μυικό κύτταρο δηλαδή.

Η “ένωση” του νευράξονα με τον μύ γίνεται στην νευρομυική σύναψη.

Συνοπτικά η διαδικασία έχει ως εξής:

Το δυναμικό ενέργειας “ταξιδεύει” στο νευρικό κύτταρο και προκαλεί την απελευθέρωση ακετυλοχολίνης (που είναι ο νευροδιαβιβαστής). Αυτή περνάει το στενό διάστημα ανάμεσα στα δυο κύτταρα και δεσμεύεται από ειδικούς υποδοχείς στην μεμβράνη του μυικού κυττάρου. Έτσι, οδηγεί σε δημιουργία διαφοράς δυναμικού στην μυική ίνα και συνεπώς στη σύσπασή της.



Σχ. 1.: Περιγραφή της Κινητικής Μονάδας (ΚΜ)

- Νευρικό Ερέθισμα – Παλμός
- Μηχανική απάντηση της κινητικής μονάδας

$$F(t) = F_0 \frac{t}{T} e^{-\frac{t}{T}}$$

T: χρόνος συστολής, ο χρόνος που χρειάζεται η τάση να φτάσει το μέγιστο

F₀: η σταθερά μία κινητικής μονάδας

Μέσες τιμές του T

- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| •Τρικέφαλος βραχιόνιος 44.5 ms | υποκνημίδιος 74.0 ms |
| •Δικέφαλος βραχιόνιος 52.0 ms | έσω γαστροκνήμιος 79.0 ms |
| •Πρόσθιος κνημιαίος 58.0 ms | |

εικ. 1. Η νευρο-μηχανική της μυϊκής συστολής

ΠΩΣ ΕΝΑΣ ΜΥΣ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΝΕΤΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΟΥ ΑΛΛΑΖΕΙ ?

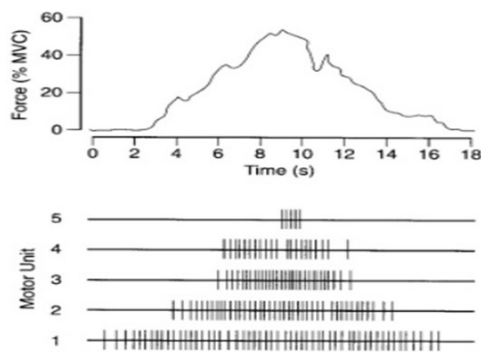
Ο μυς ενεργοποιείται παράγοντας τάση με δύο τρόπους:

1. Επιστράτευση κινητικής μονάδας
2. Ρυθμός ενεργοποίησης νευρικού μηχανισμού

Επιστράτευση της κινητικής μονάδας

Οι μυς νευρώνονται από καθορισμένα (ονοματισμένα) νεύρα τα οποία με τη σειρά τους είναι συλλογές από άλφα κινητικούς νευρώνες. Όταν το νευρικό σύστημα ενεργοποιεί ομάδες από άλφα κινητικούς νευρώνες στο κοιλιακό (πρόσθιο) κέρασ του νωτιαίου μυελού, οι κινητικοί νευρώνες με τα μικρότερα κυτταρικά σώματα εκπολώνονται πρώτοι. Επειδή οι μικρότεροι κινητικοί νευρώνες γενικότερα νευρώνουν τις κινητικές μονάδες με μικρότερο αριθμό μυϊκών ινών, αυτή η διακεκριμένη σειρά εκπόλωσης προκαλεί τις μικρότερες κινητικές μονάδες να επιστρατευτούν πρώτες κάθε φορά που το κινητικό σύστημα ενεργοποιεί ομάδες κινητικών νευρώνων (σχ 1.).

Ο κινητικός νευρώνας μαζί με τις μυϊκές ίνες που νευρώνει αποτελούν μια λειτουργική μονάδα, που λέγεται **Κινητική μονάδα** (σχ. 1). Έτσι, όταν διεγείρεται ένας κινητικός νευρώνας, συσπώνται όλες οι μυϊκές ίνες που ανήκουν σε αυτή την Κινητική μονάδα. Οι μυϊκές ίνες που ανήκουν σε μια Κινητική μονάδα έχουν τέτοια κατανομή στο μύ, ώστε κοντινές μυϊκές ίνες να προέρχονται από διαφορετικές κινητικές μονάδες.



Kamen & DeLuca 1989

Οι Κινητικές Μονάδες (ΚΜ)
διαφέρουν ως προς το
κατώφλι επιστράτευσης

•ΚΜ με χαμηλό κατώφλι,
χρειάζονται χαμηλή δύναμη
(ασθενές νευρικό ερέθισμα) για
να ενεργοποιηθούν

•ΚΜ με υψηλό κατώφλι,
χρειάζονται υψηλή δύναμη
(δυνατό νευρικό ερέθισμα) για
να ενεργοποιηθούν

•Μεγάλη Δύναμη παράγεται
όταν ενεργοποιείται μεγάλος
αριθμός ΚΜ

εικ. 2.Επιστράτευση των διαφορετικών κινητικών μονάδων, ανάλογα με το κατώφλι ενεργοποίησής τους

Ο ρυθμός ενεργοποίησης του νευρικού μηχανισμού

Όταν ο άλφα κινητικός νευρώνας «πυροδοτεί» ή αποφορτίζει ένα δυναμικό δράσης, δεν ενεργοποιεί έναν ολόκληρο μυ αλλά μόνο μία κινητική μονάδα.

Όταν είναι απαραίτητη επιπλέον δύναμη, το νευροκινητικό σύστημα εκπολώνει περισσότερους και μεγαλύτερους άλφα κινητικούς νευρώνες και με αυτό επιστρατεύει με επιτυχία μεγαλύτερες κινητικές μονάδες. Αυτή η στερεότυπη σειρά της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων ακολουθεί την «αρχή του μεγέθους» (εικ. 1 & 2)

Ο αριθμός των μυικών κυττάρων που αποτελούν μια Κινητική μονάδα δεν είναι σταθερός και εξαρτάται από τη λειτουργία του μυός στον οποίο ανήκει. Μυς που χρησιμοποιούνται για λεπτές κινήσεις (όπως τα δάκτυλα) έχουν λίγες μυικές ίνες ανα Κινητική μονάδα, ενώ μυς που είναι επιφορτισμένοι με κινήσεις που απαιτούν μεγάλη δύναμη έχουν κινητικές μονάδες που αποτελούνται από πολλές μυικές ίνες.

Οι κινητικές μονάδες ενός μυός διαφέρουν μορφολογικά και λειτουργικά και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις μικρότερες σε μέγεθος κινητικές μονάδες που είναι πιο βραδείες και διεγείρονται ευκολότερα από το δυναμικό ενέργειας του νευρώνα και τις μεγαλύτερες που είναι πιο ταχείες και είναι πιο δύσκολο να διεγερθούν.

Έτσι στην πράξη, όταν δίνεται σήμα για τη σύσπαση ενός μυός δεν διεγείρονται όλες οι κινητικές ομάδες. Πρώτα διεγείρονται οι βραδείες κινητικές μονάδες. Αν η απαίτηση σε δύναμη και ταχύτητα της σύσπασης αυξηθεί τότε ενεργοποιούνται όλο και μεγαλύτερες κινητικές μονάδες. Θα πρέπει λοιπόν να θυμόμαστε ότι η συμβολή μιας Κινητικής μονάδας στη συνολική δύναμη σύσπασης εξαρτάται από δύο παράγοντες. Από το μέγεθός της και από τη συχνότητα των δυναμικών ενέργειας που τη διεγείρουν.

ΤΙ ΑΛΛΟ ΕΠΗΡΕΑΖΕΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΥΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ?

το μήκος

Ένας μυς αναπτύσσει μεγαλύτερη δύναμη όταν είναι σε επιμήκυνση και λιγότερη όταν είναι βραχυμένος, ακόμα και αν ο αριθμός των ενεργών κινητικών μονάδων (και ο ρυθμός ενεργοποίησής τους) είναι σταθερός.

η μακροσκοπική δομή του μύος

Τα παραδοσιακά κείμενα κινησιολογίας συχνά διαφοροποιούν μεταξύ τους τους πτερυγοειδής μυς και τους παράλληλους.

- *Η δομή των πτερυγοειδών ή δι-πτερωτών μυών τους επιτρέπει να συγκεντρώνουν μεγάλα νούμερα από ίνες σε έναν τένοντα, ο οποίος με τη σειρά του μεταφέρει τη μυϊκή δύναμη στο οστό. Ένα παράδειγμα είναι ο γαστροκνήμιος μυς .*
- *Οι παράλληλοι μυς, επειδή οι ίνες τους προσανατολίζονται περισσότερο παράλληλα στον τένοντα στον οποίο προσφύονται, συγκεντρώνουν λιγότερες ίνες στον τένοντα και συνεπώς αναπτύσσουν λιγότερη δύναμη. Ένα παράδειγμα είναι ο ραπτικός μυς ή ο δικέφαλος βραχιόνιος*
- *Μερικοί μεγάλοι μυς, όπως ο μέγας γλουτιαίος, είναι οργανωμένοι έτσι ώστε να έχουν μεγάλες επιφάνειες πρόσφυσης*
- *Πολλοί μυς μπορεί να δρουν σε μία κοινή κατάφυση, όπως κάνουν ο μέσος και ο μικρός γλουτιαίος στο μείζονα τροχαντήρα του μηριαίου.*

Πως ένας μυς «γνωρίζει» πόση δύναμη απαιτείται?

Οι μυς αισθάνονται, όπως το ίδιο μπορούν οι τένοντες και οι θύλακοι. Ο καθένας περιέχει αισθητικούς υποδοχείς των οποίων η ενεργοποίηση ενημερώνει το κινητικό σύστημα για το βαθμό ενεργοποίησης.

Οι πιο σημαντικοί αισθητικοί υποδοχείς στους μυς και τους τένοντες είναι οι μυϊκές άτρακτοι και τα τενόντια όργανα του Golgi, αντίστοιχα (Smith, Weiss, & Lehmkuhl, 1996).

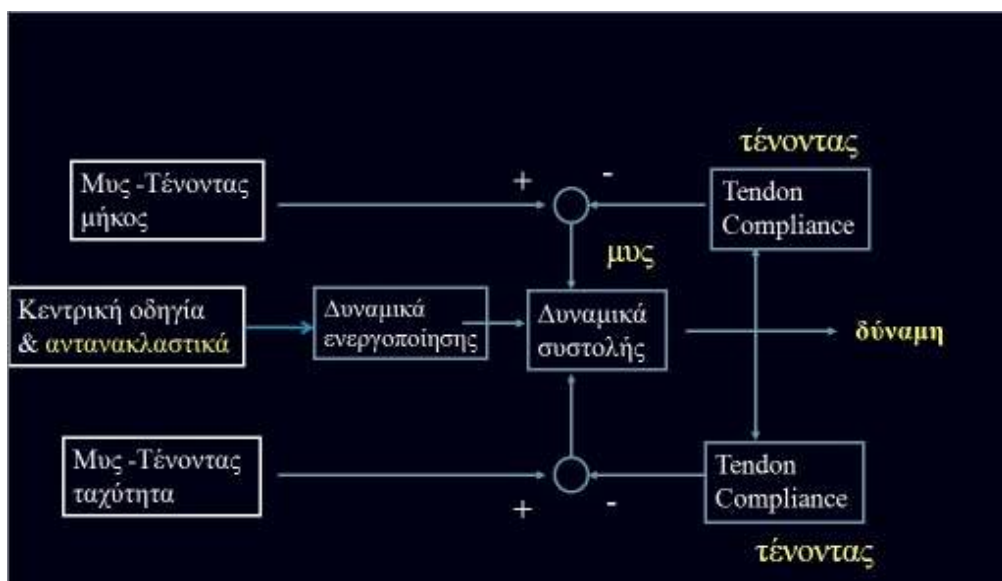
Η μνήμη και η εμπειρία μαθαίνουν το κινητικό σύστημα να αναμένει το ποσό της δύναμης που πρέπει να παράγει για να πραγματοποιήσει συγκεκριμένες δραστηριότητες. Για παράδειγμα, αναπροσαρμόζουμε τη στάση μας πριν κινηθούμε και όχι κατά τη διάρκεια της κίνησης.

Ένα άλλο καθοριστικό φαινόμενο, είναι αυτό της **Αμοιβαίας Αναστολής**. Εμπεριέχει αντανακλαστικά, στα οποία μεσολαβούν αλυσίδες νευρώνων στη σπονδυλική στήλη που συνδέουν αγωνιστές με τους ανταγωνιστές τους. Δραστηριότητα σε έναν αγωνιστή παράγει μία ομοβροντία από νευρωνική δραστηριότητα που αναστέλλει τον ανταγωνιστή. Η αντανακλαστική αναστολή δεν είναι απόλυτη αλλά είναι ένας από τους πολλούς νευρωνικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη μυϊκή δραστηριότητα. Ωστόσο το αποτέλεσμα της αμοιβαίας αναστολής είναι ότι οι αγωνιστές και ανταγωνιστές δεν είναι γενικά δραστήριοι την ίδια στιγμή (*Smith, Weiss, & Lehmkuhl, 1996*).

Με βάση τις παραπάνω προϋποθέσεις, έχουμε την έναρξη μίας ακολουθίας, που άρχεται ως οδηγία από τον κινητικό φλοιό του εγκεφάλου, καθορίζει τα δυναμικά ενεργοποίησης (επιστράτευση των ΚΜ), καταλήγει σε ένα δυναμικό συστολής (τάση) η οποία όμως εξαρτάται και από τις εμβιομηχανικές ιδιότητες του συγκεκριμένου μυ (μυκο-ταχυ-δυναμικά χαρακτηριστικά) και του τένοντα του, έτσι ώστε, το τελικό αποτέλεσμα να είναι η προσδοκόμενη απόδοση δύναμης και έργου (*εικ. 3*)

Η εμπειρία μας μπορεί να δουλέψει ενάντια μας σε περιπτώσεις όπως:

- Όταν σηκώνουμε ένα άδειο δοχείο ενώ νομίζουμε ότι είναι γεμάτο και βαρύ
- Αποτυγχάνουμε να αναμένουμε ένα ακόμα σκαλοπάτι σε μία σκοτεινή σκάλα



εικ. 3. Μοντελοποίηση του ΝευροΜυϊκού μηχανισμού

Τυποι μυϊκών ινών

Είναι γνωστό ότι οι τύποι των μυϊκών ινών συνθέτουν ένα μυ σε διαφορετικές αναλογίες μεταξύ τους (ανάλογα με το ρόλο που καλείται από τη φύση να παίξει ο μυς: τονικός, φασικός κ.ά.).

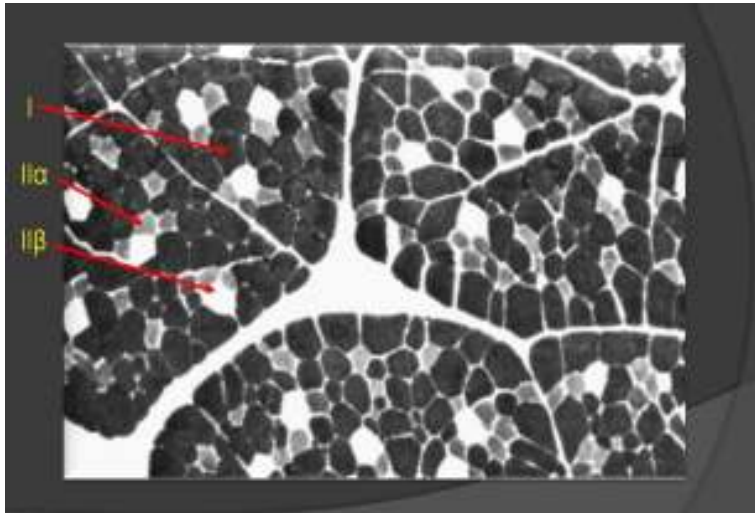
Ανάλογα με την ταχύτητα συστολής (απάντηση στο κινητικό ερέθισμα), διακρίνουμε τις ίνες **βραδείας** και τις ίνες **ταχείας συστολής**.

Με βάση όμως τις ιστοχημικές τους ιδιότητες και το ρόλο τους στην παραγωγή έργου, τις διακρίνουμε σε **οξειδωτικές ίνες (τύπος I)**, σε **οξειδωγλυκολυτικές (τύπος IIα)** και σε **γλυκολυτικές ίνες (τύπος IIβ)**.

Το ποσοστό ινών βραδείας συστολής στους σκελετικούς μύες του ανθρώπου μπορεί να

κυμαίνεται από 10-95% αν και κατα μέσο όρο το ποσοστό αυτό στους μύες των χεριών και ποδιών είναι 45-55%. Οι ίνες ταχείας συστολής μοιράζονται ίσα σε τύπου IIα και IIβ.

Όμως σε αθλητές αντοχής το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι δραματικά διαφορετικό με τις ίνες βραδείας συστολής να φτάνουν το 90-95% πχ. στον γαστροκνήμιο. Αντίθετα στους αθλητές ισχύος όπως οι σπρίντερς οι ίνες ταχείας συστολής καταλαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό.



εικ. 4. Ιστολογική απεικόνιση των τριών τύπων μυϊκών ινών: I-οξειδωτικές, IIα-οξειδωγλυκολυτικές, IIβ-γλυκολυτικές

Οι οξειδωτικές ή ερυθρές ή ίνες βραδείας συστολής (τύπος I) έχουν τη βιοχημική σύνθεση και τον εργοφυσιολογικό ρόλο της λειτουργίας με βάση την αερόβια οδό παραγωγής ενέργειας και την απόδοση μυϊκού έργου αντοχής. Έχουν πλούσια αιμάτωση και περιεκτικότητα σε μιτοχόνδρια και το κόκκινο χρώμα τους το οφείλουν στις υψηλές συγκεντρώσεις μυοσφαιρίνης (εικ. 5).

Οι γλυκολυτικές ή λευκές ή ίνες ταχείας συστολής (τύπος II β) επιφορτίζονται το ρόλο της παραγωγής έντονου μυϊκού έργου, το οποίο και παράγουν μέσω της αναερόβιας οδού. Έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από τις ερυθρές και νευρώνονται από κινητικούς νευρώνες με μεγαλύτερη διάμετρο από αυτών των ερυθρών και η αναλογία του αριθμού ινών που αντιστοιχούν στον κάθε νευράξονα είναι πολύ μικρότερη από αυτόν που αναλογεί για τις ερυθρές ίνες (εικ. 5).

Οι οξειδωγλυκολυτικές ίνες (τύπος II α) είναι ένας ενδιάμεσος τύπος μυϊκών ινών με κοινά χαρακτηριστικά των δύο προηγούμενων τύπων και το ποσοστό τους δεν είναι πολύ μεγάλο. Επιστρατεύονται ανάλογα με το έργο που απαιτείται να παραχθεί και λειτουργούν είτε ως αργές, είτε ως γρήγορες.

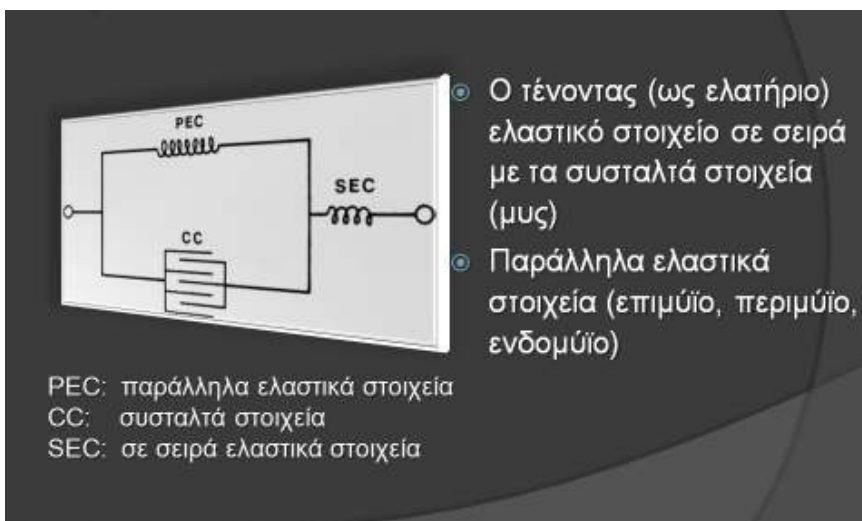
Μετά από έναν τραυματισμό του μυοσκελετικού συστήματος, οι μύες ατροφούν υποχρεωμένοι σε ακινησία λόγω του πόνου ή περιοριστικών στοιχείων (π.χ. γύψος). Πρώτες ατροφούν οι ίνες βραδείας συστολής (Haggmark και συν.). Ακολουθεί και η ατροφία των ινών ταχείας συστολής. Ο πόνος και το οίδημα είναι δύο από τις αιτίες της ατροφίας των ινών ταχείας συστολής, αφού μετά τον τραυματισμό δε γίνεται να παραχθεί έργο υψηλών ταχυτήτων για τη λειτουργική επανεκπαίδευσή τους, ούτε όμως και υψηλές εντάσεις προπόνησης σε χαμηλές γωνιακές ταχύτητες, με υψηλές αντιστάσεις, που όπως θα δούμε σε προσεχές κεφάλαιο απαιτούνται για την επιστράτευση των ινών της ταχείας συστολής, λόγω του υψηλού σημείου ερεθιστότητας τους.

Μυϊκή Διαφοροποίηση (τύποι μυϊκών ινών)	I (Αργής ενεργοποίησης Οξειδωτικές)	IIA (Ταχείας ενεργοποίησης Οξειδο-Γλυκολυτικές)	IIIB (Ταχείας ενεργοποίησης Γλυκολυτικές)
Ταχύτητα συστολής	Αργή	Γρήγορη	Γρήγορη
Δράση Myosin-ATPase	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή
Κύρια πηγή παραγωγής ATP	Οξειδωτική φωσφορυλίωση	Οξειδωτική φωσφορυλίωση	Αναερόβια γλυκόλυση
Δράση Γλυκολυτικών ενζύμων	Χαμηλή	Μεσαία	Υψηλή
Αριθμός μιτοχονδρίων	Πολλά	Πολλά	Λίγα
Αγγεία	Πολλά	Πολλά	Λίγα
Ποσοστό Μυοσφαιρίνης	Υψηλό	Υψηλό	Χαμηλό
Χρώμα ίνας	Ερυθρή	Ερυθρή	Λευκή
Ποσότητα Γλυκογόνου	Χαμηλή	Μεσαία	Υψηλή
Διάμετρος Ίνας	Μικρή	Μεσαία	Μεγάλη
Ρυθμός κόπωσης	Αργός	Μέσος	Ταχύς

εικ. 5. Διαφοροποίηση των 3 τύπων των μυϊκών ινών, βάσει της ιστολογίας και της βιοχημικής τους δράσης

Μυοτενόντια μονάδα

Η λειτουργική μονάδα που προκαλεί κίνηση στις αρθρώσεις αποτελείται από τον μύ και τον τένοντα που προσκολλά τον μύ στο οστό. Αυτή καλείται μυοτενόντια μονάδα. Ο μύς αποτελείται από μυϊκές ίνες που ενώνονται μεταξύ τους με συνδετικό ιστό σε τρία επίπεδα (παράλληλα ελαστικά στοιχεία). Το ενδομύιο περιβάλλει ξεχωριστές μυϊκές ίνες. Το περιμύιο που περιβάλλει ομάδες απο μυϊκές ίνες, τις μυϊκές δέσμες και το επιμύιο που περιβάλλει ολόκληρο το μύ. Ο συνδετικός ιστός ενώνει τον μύ με τον τένοντα. Μπορούμε να πούμε ότι οι τρεις παραπάνω δομές ενώνονται παράλληλα με τον μύ ενώ ο τένοντας ενώνεται σε σειρά (εικ. 6).



εικ. 6. Μυοτενόντια μονάδα, εν σειρά και παράλληλα ελαστικά στοιχεία

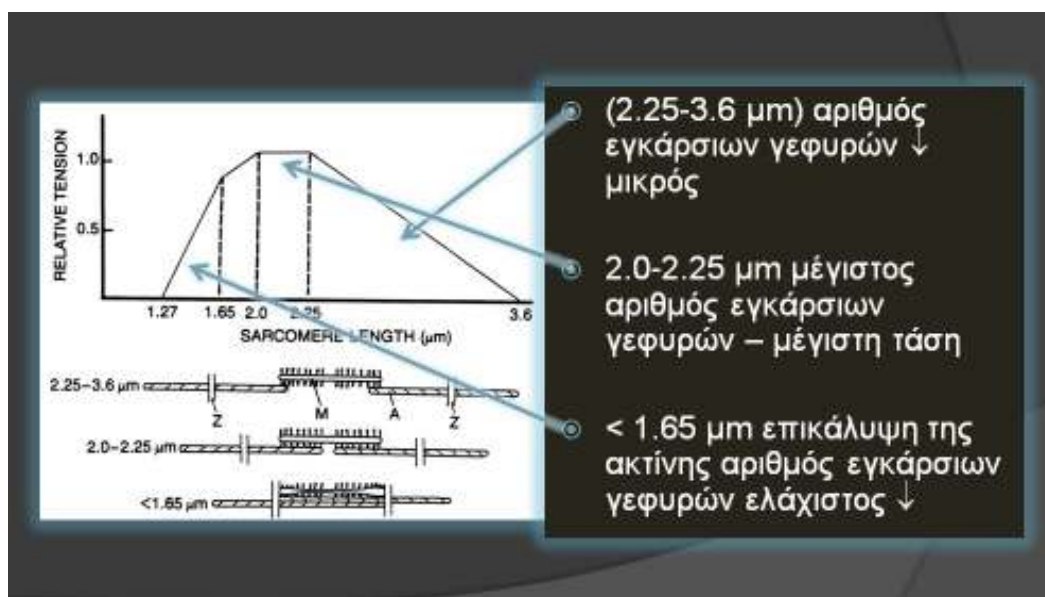
ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΟ ΜΥ

- ⊙ Μήκο -Δυναμικά Χαρακτηριστικά
- ⊙ Ταχυ – Δυναμικά Χαρακτηριστικά

Μηκοδυναμικά χαρακτηριστικά

Η δύναμη που μπορεί να παράγει ένας μυς είναι εξαρτημένη από το μήκος που έχει εκείνη τη στιγμή. Έτσι λοιπόν η μέγιστη δύναμη παράγεται όταν ο μυς έχει το βέλτιστο μήκος (l_0) (εικ. 9). Βέλτιστο μήκος είναι αυτό στο οποίο υπάρχει ο βέλτιστος βαθμός αλληλεπικάλυψης των νηματίων ακτίνης και μυοσίνης των σαρκομεριδίων (εικ. 7).

Αυτή η σχέση έχει αποδειχθεί σε πειράματα σε μεμονωμένους μύες, έχει όμως εφαρμογή και σε άθικτους μύες στον άνθρωπο.

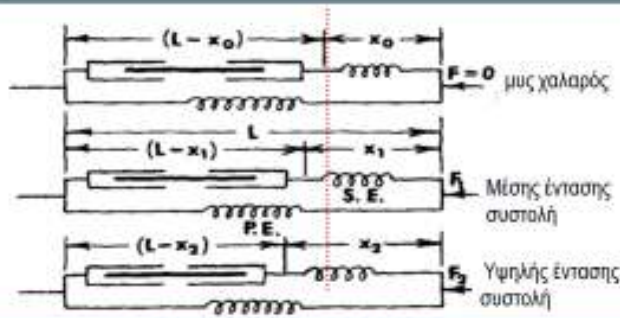


εικ. 7. Καμπύλη δύναμης-μήκους του συστατικού στοιχείου (μηκο-δυναμικά χαρακτηριστικά) (τροποποιημένο από Nordin & Frankel 2018)

Στην πραγματικότητα είναι δύσκολο να προβλεφθεί το βέλτιστο μήκος ενός μύος για να παράγει τη μέγιστη δύναμη επειδή στο σώμα οι μύες δεν δρουν μεμονωμένα αλλά συνεργικά, δηλαδή η σύσπαση ενός μύ συνοδεύεται από χαλάρωση του ανταγωνιστή μύος, γεγονός που αλλάζει τις σχέσεις των δυνάμεων που ασκούνται και της θέσης του άκρου.

Τα εν σειρά ελαστικά στοιχεία του μύος εμφανίζουν μια μικρή επιμήκυνση κατά την ισομετρική σύσπαση και μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια με την επιμήκυνσή τους πριν από μια εκρηκτική σύσπαση (εικ. 8)

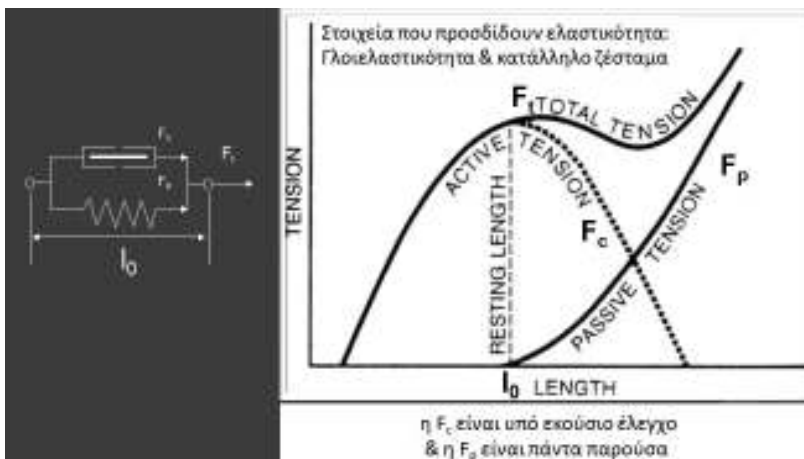
Εν σειρά ελαστικά στοιχεία...



- Ο τένοντας και οι άλλοι εν σειρά ιστοί επιμηκύνονται ελαφρώς κατά την ισομετρική συστολή
- Τα εν σειρά στοιχεία μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια όταν διατείνονται πριν από μία εκρηκτική συστολή

εικ. 8. Συμπεριφορά των εν σειρά ελαστικών στοιχείων σε σχέση με την ένταση της συστολής

Σημαντικό είναι επίσης να δούμε την επίδραση των παράλληλων ελαστικών στοιχείων σε σχέση με το μήκος και την παραγόμενη δύναμη.



εικ. 9. Προϋποθέσεις μέγιστης διατακτικότητας - η μέγιστη δύναμη παράγεται όταν ο μύς έχει το βέλτιστο μήκος (l_0) (τροποποιημένο από Nordin & Frankel 2018)

Ταχυδυναμικά χαρακτηριστικά

Οι μύς γενικά αναπτύσσουν δυνάμεις επαρκείς να διατηρήσουν μία στροφική ισορροπία γύρω από μία άρθρωση.

Προφανώς οι αρθρώσεις δεν παραμένουν σε ισορροπία επ' αόριστο. Αν το κάνανε, δεν θα κινούνταν ποτέ ή τουλάχιστον δεν θα άλλαζαν ποτέ θέση. Ακόμα, για να κάνουμε κατά προσέγγιση υπολογισμούς αλλά με νόημα, υποθέτουμε ότι οι δυνάμεις γύρω από την άρθρωση είναι κοντά στη στροφική ισορροπία. Υποθέτουμε με άλλα λόγια ότι οι ροπές που παράγονται από τη βαρύτητα και τους μύς είναι ίσες ή σχεδόν ίσες και αντίθετες.

Αυτές οι υποθέσεις δημιουργούν τρεις πιθανές καταστάσεις:

1. Οι αντίθετες ροπές να είναι ακριβώς ίσες

$$M_m = M_g$$

Η άρθρωση δεν κινείται, έτσι το μήκος του μυός παραμένει σταθερό. Αυτή είναι **ισομετρική μυϊκή δράση**

2. Οι μυς παράγουν μία ροπή που αντιτίθεται στο αποτέλεσμα της βαρύτητας και είναι μεγαλύτερη από την ροπή την οποία η βαρύτητα παράγει

$$M_m > M_g$$

Σε αυτή την περίπτωση η άρθρωση κινείται καθώς ο μυς βραχύνεται σε μία **μειομετρική δράση**

3. Ο μυς παράγει μία ροπή που αντιτίθεται στο αποτέλεσμα της βαρύτητας, ωστόσο όμως είναι μικρότερη από την ροπή που η βαρύτητα παράγει

$$M_m < M_g$$

Σε αυτή την περίπτωση η άρθρωση κινείται στη διεύθυνση που ορίζει η ροπή της βαρύτητας. Ενώ η μυϊκή δραστηριότητα υπερβαίνει μία δύναμη στις προσφύσεις και ελέγχει το αποτέλεσμα της βαρύτητας στην άρθρωση, ο μυς συνεχίζει να επιμηκώνεται. Αυτή είναι μία **έκκεντρη δράση**.

Να σημειωθεί ότι ο ίδιος μυς είναι ενεργός ανεξάρτητα από τη διεύθυνση της κίνησης της άρθρωσης. Ο μυς αναπτύσσει μία δύναμη σε κατεύθυνση που προσεγγίζει τις προσφύσεις του ακόμα και αν αυτές οι προσφύσεις απομακρύνονται μεταξύ τους.

Προτιμούμε να μιλάμε για μυϊκή δράση και όχι σύσπαση, γιατί ο όρος σύσπαση ίσως σημαίνει για μερικούς ότι ο μυς μπορεί να αναπτύξει δυνάμεις μόνο όταν βραχύνεται.

Μετρήσεις που έγιναν έχουν δείξει ότι ένας μυς παράγει τη μέγιστη δύναμη όταν δεν βραχύνεται (ισομετρική σύσπαση), δηλαδή όταν η ταχύτητα σύσπασής του είναι μηδενική, ενώ αντίθετα παράγει μηδενική δύναμη όταν η ταχύτητα συστολής του είναι μέγιστη (εικ. 10).

Συμπερασματικά από τα παραπάνω προκύπτει ότι η μέγιστη ισχύς του μυός, σημειώνεται όταν η ταχύτητα βράχυνσης είναι περίπου στο 30% της μέγιστης. Στην ακριβή μέτρηση της δύναμης ενός μυός βοηθάει το ισοκινητικό δυναμόμετρο, που επιτρέπει τη μέτρηση της μυϊκής δύναμης σε σταθερή ταχύτητα.



εικ. 10. Σχέση μεταξύ ταχύτητας συστολής και τάσης που αποδίδεται

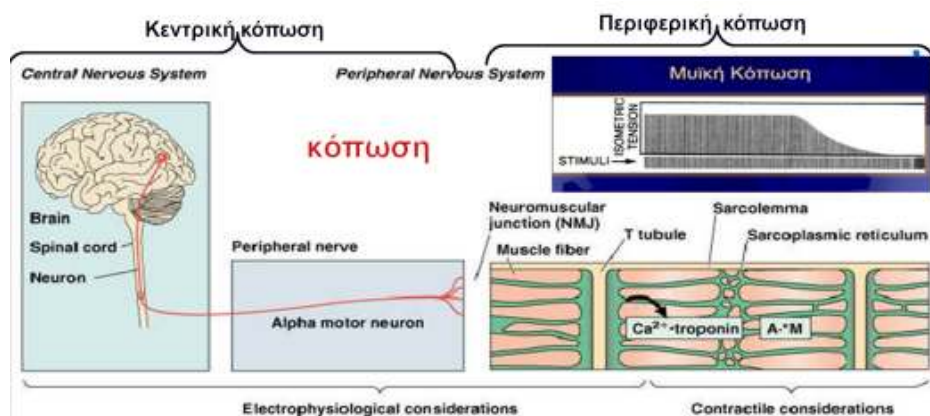
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΥΙΚΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ

Η μυϊκή κόπωση ή αλλιώς μυϊκός κάματος είναι η αδυναμία του μυός να παράγει την ίδια δύναμη μετά από μεγάλης διάρκειας ισχυρή σύσπαση. Ο μηχανισμός του φαινομένου αυτού είναι αρκετά περίπλοκος και οφείλεται σε πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με τους μύες (περιφερική κόπωση) αλλά και με το νευρικό σύστημα (κεντρική κόπωση) (εικ. 12). Αίτια του μυϊκού κάματος στους μύες είναι η εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων στις μυϊκές ίνες και η συσσώρευση παραγώγων του μεταβολισμού τους. Αυτά προκύπτουν από την αδυναμία του κυκλοφορικού συστήματος να εφοδιάσει με καύσιμα και να απομακρύνει τους μεταβολίτες αντίστοιχα κατά τη διάρκεια παρατεταμένης ισχυρής σύσπασης (G. Elcadi, P. Tsaklis et.al 2016). Άλλοι λόγοι που συμμετέχουν στο μηχανισμό της μυϊκής κόπωσης είναι η μείωση της αποδοτικότητας των νευρομυϊκών συνάψεων καθώς και αλλαγές που συμβαίνουν σε όλη τη διαδρομή του νευρικού σήματος από τον εγκέφαλο μέχρι τη σύναψη (πχ. α- κινητικός νευρώνας) (K.Kotsa, P. Tsaklis et.al, 2017). Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης, ότι υπάρχει ποικιλία παραγόντων που επηρεάζουν τη φυσιολογία και δυναμική ικανότητα ενός μυ και καθίστανται πιθανοί προδιαθετικοί παράγοντες μυϊκών τραυματισμών, καθώς επίσης και πολλοί περιβαλλοντικοί παράγοντες που συμβάλλουν στο φαινόμενο της κόπωσης (P.Tsaklis et.al., 2015) (εικ. 11).

Είναι σημαντικό, στις επιλεγμένες διαδικασίες δυναμομετρίας και αξιολόγησης της απόδοσης του μυϊκού έργου, να περιλαμβάνεται μεθοδικά και στοχευμένα η αξιολόγηση της παραμέτρου της μυϊκής αντοχής (αντοχή στη δύναμη). Ο αντίστοιχος υπολογισμός του δείκτη κόπωσης (Fatigue Index), δηλαδή του ποσοστού πτώσης της ισχύος και του παραγόμενου έργου σε σειρά επαναλήψεων μυϊκής σύσπασης, θα δώσει χρήσιμα στοιχεία για την εικόνα της διαχείρισης από τον μυ της ενέργειας του και εν γένει της τάσης του προς εύκολη κόπωση.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη μυϊκή δύναμη και αντοχή	
<ul style="list-style-type: none">ηλικίαφύλοσωματότυποςκόπωσηάσκησηζέστηψύχοςρούχα & εξοπλισμός	Παράγοντες μυϊκών κακώσεων <ul style="list-style-type: none">... ο μυς δεν είναι έτοιμος λόγω πλημμελούς ζεστάματος...... ο μυς μπορεί να είναι αδύναμος λόγω προηγούμενου τραύματος ή ελλιπούς αποκατάστασης...... ο μυς μπορεί να έχει αναπτύξει ουλώδη ιστό σε περιοχή προηγούμενου τραύματος...... ο μυς μπορεί να έχει υπερφορτωθεί και να εμφανίζει ακραία κόπωση...... σφικτοί μύες ή μύες που δρουν σε ψυχρό περιβάλλον φαίνεται να τραυματίζονται ευκολότερα...
<ul style="list-style-type: none">+Αδυναμία ή ανισορροπία με τους ανταγωνιστές μύες+Πλημμελής προπόνηση+Κακή τεχνική+Λανθασμένη στάση του σώματος+Κακή φυσική κατάσταση+Πτωχή διαίτα και πρόσληψη βασικών στοιχείων (Κ, Mg, Na κλπ)	

εικ. 11. Παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσιολογία και δυναμική ικανότητα ενός μυ και πιθανοί προδιαθετικοί παράγοντες μυϊκών τραυματισμών



εικ. 12. Η κόπωση αφορά διττά τον Κεντρικό (central fatigue) και τον Περιφερικό (peripheral fatigue) μηχανισμό παραγωγής της μυϊκής δράσης

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Brunnstrom's Κλινική Κινησιολογία, 6η έκδοση 2014, Παρισσιάνου ΑΕ.; ISBN 978-960-583-0038
2. Guilherme H Elcadi, Panagiotis Tsaklis et.al: A Strong Correlation Between Dorsolateral Prefrontal Cortex And Vastus Lateralis Activity During Running To Fatigue; *Medicine and science in sports and exercise*, (2016) Volume: 48 No .5, suppl. S663
3. Janda V. 1987. Muscles and motor control in low back pain: Assessment and management. In Twomey LT (Ed.) *Physical therapy of the low back*. Churchill Livingstone: New York. Pp. 253-278.
4. Kotsa K, Elcadi G, Grammatiki M, Xergia S and Tsaklis P: Dorsolateral prefrontal cortex activity towards fatigue, of Diabetic type2 patients with macro-angiopathy and peripheral neuropathy (pilot study); *Diabetologia* (2017) 60:S446-447
5. Margareta Nordin & Victor H. Frankel : Βασική Εμβιομηχανική του Μυοσκελετικού Συστήματος, 4η έκδοση 2018, , Ιατρικές Εκδόσεις Δ. Λαγός; ISBN: 978-618-5296-0
6. Raven, Wasserman, Squires, Murray: Φυσιολογία της Άσκησης 2015, Ιατρικές Εκδόσεις Δ. Λαγός : ISBN: 978-960-7875-90-7
7. Tsaklis P, Malliaropoulos N, et.al.: Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise selection during rehabilitation; *Open Access Journal of Sports Medicine* June 2015 Volume 2015:6 Pages 209—217
8. Umphred DA, Byl N, Lazaro RT, Roller M. 2001. Interventions for neurological disabilities. In *Neurological Rehabilitation* (Umphred DA, ed). 4th ed. Mosby: St. Louis. pp. 56-134