

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ**



**Αξιολόγηση, θεραπεία και αποκατάσταση
μυϊκών κακώσεων**

Επιμέλεια: Στυλιανός Εμ. Φουντουλάκης
Αλκιβιάδης Ν. Κάλτσιος

Εισηγητής: Πορφυριάδου Ανθούλα

Θεσσαλονίκη 2008

Πρόλογος

Από τον καιρό που ο άνθρωπος εμφανίστηκε πάνω στη Γη, και μέχρι πριν από 200 περίπου χρόνια, αν εξαιρέσουμε τη δύναμη του ανέμου, που την εκμεταλλεύτηκε για την κίνηση πλοίων και ανεμόμυλων, καθώς και τη δύναμη των υδατοπτώσεων, με τοπική μόνο, πολύ περιορισμένη εκμετάλλευση, δεν διέθετε άλλη πηγή μηχανικής ενέργειας, εκτός από τη μυϊκή δύναμη. Με τη χρήση της μυϊκής δύναμης, της δικής του και των ζώων, όργανε, για πολλές χιλιετίες, τα χωράφια, και κατασκεύαζε όλα όσα χρειαζόνταν για τις καθημερινές του ανάγκες.. Από την ίδια πηγή ενέργειας αντλούσε τη δύναμη για το κυνήγι ή για τη μάχη. Ο μυϊκός ιστός είναι η βιολογική μηχανή, με την οποία η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, σε ολόκληρο το ζωικό βασίλειο και βέβαια και στον άνθρωπο. Εδώ όμως θα εξετάσουμε, σε αδρές γραμμές, τη δομή και τη λειτουργία των σκελετικών ή γραμμωτών μυών, δηλαδή των μυών εκείνων, με την ενέργεια των οποίων κινούμε τα χέρια και τα πόδια μας, τον κορμό και το κεφάλι μας. Επίσης θα δούμε πως προκαλούνται οι διάφοροι μυϊκοί τραυματισμοί και ορισμένες μεθόδους αποκατάστασης των μυϊκών τραυματισμών στους διάφορους μύες του σώματος. Το σύνολο των γραμμωτών (ή σκελετικών) μυών, σε ένα καλά αναπτυγμένο άτομο, είναι γύρω στα 40 ως 50% του σωματικού του βάρους, δηλαδή σε ένα άτομο με σωματικό βάρος γύρω στα 65 κιλά, οι μύες του ζυγίζουν γύρω στα 25 ως 30 κιλά. Στη γυναίκα αντιστοιχεί το χαμηλότερο και στον άνδρα το ψηλότερο ποσοστό μέσα στο παραπάνω πλαίσιο. Οι μύες αποτελούνται από μυϊκές ίνες οι οποίες φέρονται παράλληλα η μία με την άλλη και συνδέονται μεταξύ τους με συνδετικό ιστό. Οι μύες προσφύονται με τους τένοντες στα οστά του σώματος εκτός από μερικές εξαιρέσεις. Τα κύρια μέρη του μυός είναι η έκφυση, η κατάφυση και η γαστέρα

Οι μυϊκές κακώσεις είναι πολύ συχνές στην καθημερινότητα. Ειδικά στους αθλητές που καταπονούν το μυϊκό τους σύστημα πιο συχνά και πιο έντονα απ τους καθημερινούς ανθρώπους. Ως μυϊκές κακώσεις θεωρούμε το σύνολο των προβλημάτων που υφίσταται ένας μυς ή ομάδα μυών εξ' αιτίας κόπωσης ή τραυματισμού. Οι μυϊκές κακώσεις διακρίνονται σε λειτουργικές που προέρχονται κατά βάση από υπερφόρτιση της μυϊκής ομάδας και εμφανίζονται κυρίως ως μυϊκές κράμπες και μυϊκές θλάσεις και σε μηχανικές που αφορούν βλάβες από απ' ευθείας τραυματισμό του μυός ή της μυϊκής ομάδας. Ο τραυματισμός μπορεί να προκληθεί είτε από άμεση πλήξη είτε από διάταση.

Γενικό Μέρος

Η ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΜΥΪΚΟΥ ΙΣΤΟΥ

1. Εισαγωγή

Οι μύες είναι συσταλά όργανα που χρησιμεύουν για να επιτελούνται οι ενεργητικές κινήσεις του οργανισμού. Οι μύες αποτελούνται από μυϊκό ιστό ο οποίος διακρίνεται σε δύο είδη:

1. Στο **γραμμωτό μυϊκό ιστό**, που εξυπηρετεί την κίνηση του σώματος (σκελετικοί μύες) και την κυκλοφορία του αίματος (καρδιακός μυς).
2. Στο **λείο μυϊκό ιστό**, που εξυπηρετεί τη σπλαχνική κινητικότητα.

Κοινή ιδιότητα όλων των μυϊκών ινών είναι η συσταλτότητα, δηλαδή η ανάπτυξη τάσεως κατά τη διέγερση.

2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά των σκελετικών μυών.

Οι σκελετικοί ή γραμμωτοί μύες αποτελούνται από κυτταρικές μονάδες, τις **μυϊκές ίνες**, οι οποίες φέρονται παράλληλα η μία με την άλλη και συνδέονται μεταξύ τους με συνδετικό ιστό.

Οι μύες προσφύονται με τα άκρα τους (τους τένοντες), στα οστά του σκελετού, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις. Τα κύρια μέρη του μυός είναι:

- 1) Η έκφυση
- 2) Η κατάφυση
- 1) Η γαστέρα.

Κάθε γαστέρα περιβάλλεται από ένα συνδετικό υμένα, το **περιμύιο**, προσεκβολές του οποίου σχηματίζουν το **έσω περιμύιο** που χωρίζει τις μυϊκές ίνες σε λεπτές (πρωτογενείς) ή σε αδρότερες (δευτερογενείς και τριτογενείς) δεσμίδες. Το έσω περιμύιο χρησιμεύει για την διολίσθηση των μυϊκών δεσμίδων και την μεταφορά των τριχοειδών αγγείων και των νεύρων στους μυς. Γύρω από κάθε μυϊκή ίνα το έσω περιμύιο σχηματίζει ένα δίκτυο από λεπτές προσεκβολές, το **ενδομύιο**, που φέρει τα αγγεία και τα νεύρα και χρησιμεύει για τη συνοχή και τη θρέψη των μυϊκών ινών.

Τα νεύρα των μυών διακρίνονται σε τρία είδη: κινητικά, αισθητικά και συμπαθητικά.

1. **Τα κινητικά νεύρα.** Χρησιμεύουν για να μεταβιβάζουν στους μυς τις κινητικές ώσεις από το Κ.Ν.Σ. Τα κινητικά νεύρα απολήγουν σε κάθε μυϊκή ίνα με ένα ειδικό σχηματισμό, την τελική κινητική πλάκα.

- 2. Τα αισθητικά νεύρα.** Τα νεύρα αυτά μεταβιβάζουν τις διεγέρσεις από τους μυς προς το Κ.Ν.Σ. εξυπηρετώντας: i) Τη μυϊκή αίσθηση, δηλαδή την αντίληψη της θέσεως των μελών του σώματος στο χώρο, ii) το βαθμό συστολής των μυών και iii) την αντανακλαστική ρύθμιση του τόνου των μυών του σώματος. Τα αισθητικά νεύρα απολήγουν στους μυς συνήθως με τις μυϊκές ατράκτους και τα τενόντια όργανα του Golgi και λιγότερο συχνά με τις ελεύθερες απολήξεις (βλέπε σχετικό κεφάλαιο).
- 3. Τα συμπαθητικά νεύρα.** Η κατηγορία αυτή των νεύρων διανέμεται στα αγγεία των μυών.

Η χημική σύσταση των μυών είναι περίπου 75% ύδωρ, 20% πρωτεΐνες και το υπόλοιπο 5% ανόργανα άλατα και ουσίες υψηλής ενέργειας, ουρία, γαλακτικό οξύ, ασβέστιο, μαγνήσιο, φώσφορος, ηλεκτρολύτες, ένζυμα, αμινοξέα, λίπη και υδατάνθρακες.

Οι γραμμωτοί μύες στο σύνολό τους αντιστοιχούν κατά μέσο όρο στο 35-40% του συνολικού βάρους του σώματος (περίπου 30 χιλιόγραμμα στον ενήλικο οργανισμό). Τα μυϊκά τους κύτταρα μετατρέπουν τη χημική ενέργεια, που εμπεριέχεται στο ATP, σε μηχανική ενέργεια και με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζουν την κίνηση στον οργανισμό.

2.1. Λειτουργική μορφολογία των σκελετικών μυϊκών ινών.

Οι γραμμωτές μυϊκές ίνες, που αποτελούν το κύριο στοιχείο των σκελετικών μυών, είναι πολυπύρηννα κύτταρα με κυλινδρικό σχήμα τα οποία έχουν μήκος 4-15 cm και πλάτος 10-100 μ. Κάθε γραμμωτή μυϊκή ίνα αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους στοιχεία.

- 1. Το σαρκείλημα.** Είναι ένας λεπτός, ελαστικός υμένας, ο οποίος περιβάλλει κάθε μυϊκή ίνα και ακολουθεί τις μεταβολές του σχήματός της κατά τη συστολή της. Το σαρκείλημα επεκτείνεται πέρα από τα δύο άκρα των μυϊκών ινών και μεταπίπτει στις τενόντιες ίνες.
- 2. Το σαρκόπλασμα.** Πρόκειται για το πρωτόπλασμα των μυϊκών κυττάρων στο οποίο περιέχονται οι πυρήνες και τα διάφορα οργανίδια, οι πρωτεΐνες της συστολής, τα ένζυμα, τα λίπη και το γλυκογόνο.
- 3. Τα μυϊκά ινίδια.** Είναι το κυριότερο στοιχείο της μυϊκής ίνας και αντιστοιχεί στο διαφοροποιημένο τμήμα του πρωτοπλάσματος, ενώ το αμετάπλαστο τμήμα σχηματίζει το σαρκόπλασμα. Κάθε μυϊκή ίνα περιέχει άφθονα μυϊκά ινίδια (fibrils), τα οποία είναι λεπτότατα, συσταλτά και φέρονται παράλληλα προς τον επιμήκη άξονά της.

Κάθε μυϊκό ινίδιο περιέχει πολυάριθμα νημάτια (filaments) **ακτίνης** (3.000 περίπου) και **μυοσίνης** (1.500 περίπου), διαταγμένα σε ειδικούς παράλληλους σχηματισμούς, έτσι ώστε το ένα να διολισθαίνει επάνω στο άλλο. Εξαιτίας της ειδικής αυτής οργανώσεως κατά μήκος των μυϊκών ινών παρατηρείται στο μικροσκόπιο μία συνεχής εναλλαγή από *φωτεινές* και *σκοτεινές ζώνες*, στις

οποίες οφείλεται η εγκάρσια γράμμωση των μυϊκών ινών. Οι ζώνες αυτές, ανάλογα με την οπτική συμπεριφορά που παρουσιάζει το διερχόμενο φως, ονομάζονται ζώνη I (Ισότροπη = φωτεινή ζώνη) και ζώνη A (Ανισότροπη = σκοτεινή ζώνη).

- **Η φωτεινή ζώνη I.** Αποτελείται μόνο από λεπτά νημάτια ακτίνης και διαπερνάται στο μέσον της από μία λεπτή σκοτεινή ταινία, το **δίσκο** ή **γραμμή Z**, επάνω στην οποία προσφύονται με τα άκρα τους τα νημάτια της ακτίνης. Το τμήμα της μυϊκής ίνας που βρίσκεται μεταξύ δύο δίσκων Z ονομάζεται **σαρκομέριο** και αποτελεί τη στοιχειώδη συστατή μονάδα της μυϊκής ίνας. Το σαρκομέριο αποτελείται από αλληλοϋπερκαλυπτόμενα νημάτια ακτίνης και μυοσίνης. Σε μία μέσου μεγέθους μυϊκή ίνα υπάρχουν περίπου 4.500 σαρκομέρια, 16 εκατομμύρια παχέα νημάτια μυοσίνης και 64 δισεκατομμύρια λεπτά νημάτια ακτίνης.
- **Η σκοτεινή ζώνη A.** Αποτελείται από τα παχέα νημάτια της μυοσίνης και από τμήμα (τα άκρα) των λεπτών νηματίων της ακτίνης. Στο κέντρο της ζώνης A, όπου υπάρχει μόνο μυοσίνη, εμφανίζεται μία πιο διαυγής περιοχή, η **ζώνη H**, η οποία φέρει στο μέσον της μία σκοτεινή ταινία, τη **γραμμή M**, που αντιστοιχεί στο κέντρο του σαρκομερίου και αποτελείται από δομικές πρωτεΐνες.

4. **Οι πυρήνες.** Είναι πολυάριθμοι και βρίσκονται στην περιφέρεια των γραμμωτών μυϊκών ινών.
5. **Το σαρκοσωληνωτό σύστημα.** Βρίσκεται μέσα στο σαρκόπλασμα και σχηματίζεται από εγκοιλώσεις του σαρκελήματος. Πρόκειται για ένα πυκνό και σύνθετο σύστημα σωληναρίων που περιλαμβάνει τα ακόλουθα δύο δίκτυα:

- 1) **Το δίκτυο των εγκάρσιων ή Τα σωληναρίων.** Το δίκτυο αυτό περιβάλλει τις μυϊκές ίνες, ενώ τα σωληνάριά του φέρονται εγκάρσια προς αυτές. Σε κάθε σαρκομέριο, αντίστοιχα προς τις ζώνες I και A, τα σωληνάρια σχηματίζουν από ένα κυκλικό σχηματισμό (κρίκο) και έτσι κάθε σαρκομέριο διαθέτει δύο τέτοιους κρίκους. Το σύστημα T χρησιμεύει ως οδός διαδόσεως του δυναμικού δράσεως προς το εσωτερικό του μυϊκού κυττάρου.
- 2) **Το σαρκολασματικό δίκτυο.** Είναι ένα ειδικά διαμορφωμένο και εξειδικευμένο ενδοπλασματικό δίκτυο, το οποίο συμβάλει ενεργά στη λειτουργία της μυϊκής συστολής. Το σαρκοπλασματικό δίκτυο αποτελούν:
 - Τα παράλληλα σωληνάρια, που φέρονται παράλληλα προς τα μυϊκά ινίδια, τα οποία συγχρόνως και τα περιβάλλουν,
 - Οι πλάγιες ή τελικές δεξαμενές, οι οποίες είναι αποπεπλατυσμένα κυστίδια, που φέρονται παράλληλα προς τα T σωληνάρια, και στις οποίες, εκβάλλουν τα παράλληλα σωληνάρια. Δύο διαδοχικές πλάγιες δεξαμενές, μαζί με το

μεταξύ τους παρεμβαλλόμενο εγκάρσιο σωληνάριο, δημιουργούν έναν ειδικό σχηματισμό, την **τριάδα**. Σε κάθε σαρκομέριο αντιστοιχούν δύο τριάδες, δηλαδή από μία σε κάθε I και A ζώνη.

2.2 Τύποι γραμμωτών μυϊκών ινών

Οι σκελετικοί μύες διακρίνονται σε κατηγορίες.

- 1) Ανάλογα με τον τύπο των μυϊκών ινών που περιέχουν διαιρούνται σε δύο τύπους: **βραδείς** (ερυθρούς) μυς και τους **ταχείς** (λευκούς) μυς.
 - 2) Ανάλογα με την ταχύτητα συστολής που παρουσιάζουν, δηλαδή εάν κάνουν παρατεταμένες ή γρήγορες κινήσεις, διαιρούνται σε *βραδείς* (τονικούς) και σε *ταχείς* (φασικούς) μύες. Αμιγείς βραδείς ή ταχείς μύες δεν υπάρχουν, διότι κάθε μυς περιέχει όλους τους τύπους των μυϊκών ινών σε διαφορετική, όμως, ποσοστιαία αναλογία, γεγονός που τους διαφοροποιεί σε ξεχωριστούς τύπους.
1. **Βραδείες ή ερυθρές ίνες (τύπος I).** Οι ίνες αυτές έχουν χρώμα σκούρο ερυθρό το οποίο οφείλεται στη μεγάλη ποσότητα μυοσφαιρίνης που περιέχουν και στο μεγάλο αριθμό μιτοχονδρίων που φέρουν. Οι ερυθρές ίνες παρουσιάζουν μικρή ταχύτητα συστολής (μικρότερη από 17 mm/sec), υψηλή οξειδωτική ικανότητα και είναι ανθεκτικές στον κάματο.
 2. **Ταχείες ή λευκές ίνες (τύπος II).** Πρόκειται για ανοιχτόχρωμες ίνες, οι οποίες έχουν μεγάλη διάμετρο, και αναπτύσσουν μεγάλη τάση. Οι λευκές ίνες παρουσιάζουν μεγάλη ταχύτητα συστολής (περίπου 42 mm/sec) και περιέχουν μεγάλες ποσότητες γλυκογόνου, γλυκολυτικών ενζύμων και φωσφορυλάσης.

Στον άνθρωπο ο τύπος II των μυϊκών ινών υποδιαιρείται σε τρεις επί μέρους τύπους. (Ia, Ib, και II c).

- **Τύπος Ia.** Περιλαμβάνει ίνες ανθεκτικές στον κάματο.
- **Τύπος Ib.** Αφορά μυϊκές ίνες που αναπτύσσουν μεγάλη τάση, έχουν λίγα μιτοχόνδρια, μικρά αποθέματα γλυκογόνου και δεν είναι ανθεκτικές στον κάματο.
- **Τύπος IIc.** Περιλαμβάνει αδιαφοροποίητες ίνες που φυσιολογικά απαντώνται σπάνια.

2.3. Κινητική μονάδα

Ο νευράξονας ενός α-κινητικού νευρώνα που νευρώνει ένα μυ, συνάπτεται συγχρόνως με πολλές μυϊκές ίνες. Οποιαδήποτε διακοπή της επαφής αυτής (νεύρου-μυός) διαταράσσει τη φυσιολογική λειτουργία του μυός και οδηγεί στην παράλυση και την ατροφία του.

Το λειτουργικά σύνολο του α-κινητικού νευρώνα και των μυϊκών ινών, που αυτός νευρώνει, ονομάζεται **κινητική μονάδα**. Κάθε μυς έχει πολλές κινητικές μονάδες. Ο αριθμός των κινητικών μονάδων δεν είναι σταθερός για όλους τους

μυς αλλά εξαρτάται από τον αριθμό των μυϊκών ινών που συμμετέχει σε κάθε κινητική μονάδα.

Οι μύες που εκτελούν πολύ λεπτές κινήσεις, όπως είναι οι μύες του οφθαλμού και των δακτύλων, διαθέτουν μικρές κινητικές μονάδες. Οι μυϊκές ίνες μία κινητικής μονάδας βρίσκονται διάσπαρτες μέσα στο μυ και όχι ενωμένες μεταξύ τους, με αποτέλεσμα η διέγερση ενός μόνο κινητικού νευρώνα να επιφέρει μία ασθενή μόνο διέγερση σε ολόκληρο το μυ. Η σχέση μεταξύ του αριθμού των κινητικών μονάδων και του αριθμού των μυϊκών ινών ονομάζεται **πηλίκιο νευρώσεως**.

Κάθε κινητική ίνα νευρώνει τελικά ένα μόνο είδος μυϊκών ινών και επομένως όλες οι μυϊκές ίνες μίας κινητικής μονάδας είναι του ίδιου τύπου. Πρόκειται για μικρές ή μεγάλες ομάδες ινών, στις διαφορετικές ιστοχημικές ιδιότητες των οποίων οφείλεται η εικόνα του μωσαϊκού που δίνει ο μυς κατά την εγκάρσια διατομή του. Σε ένα γραμμωτό μυ οι διαφορετικές κινητικές μονάδες συστέλλονται ασύγχρονα και η ένταση της συστολής τους είναι ανάλογη με τον αριθμό των ενεργοποιημένων κινητικών μονάδων.

Ο *τύπος* της κινητικής μονάδας καθορίζεται από τα μεταβολικά χαρακτηριστικά των μυϊκών ινών της.

Με την μελέτη του τρόπου διεγέρσεως της κινητικής μονάδας ασχολείται η ηλεκτρομυογραφία. Για τον σκοπό αυτό τοποθετούνται ειδικά ηλεκτρόδια κάτω από το δέρμα (βελόνες) ή πάνω σ' αυτό (μεταλλικοί δίσκοι) και καταγράφεται η μυϊκή δραστηριότητα. Η καμπύλη που λαμβάνεται με τη μέθοδο αυτή ονομάζεται **ηλεκτρομυογράφημα** (EMG, ElectroMyoGram).

3. Οι πρωτεΐνες των μυϊκών ινών.

Οι πρωτεΐνες που περιέχονται στις μυϊκές ίνες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: Στις *δομικές πρωτεΐνες*, που συμβάλλουν στη διατήρηση της μορφολογικής υφής του σαρκομερίου, και στις *πρωτεΐνες συστολής*.

3.1. Δομικές πρωτεΐνες

Στην κατηγορία των δομικών πρωτεϊνών ανήκουν οι ακόλουθες πρωτεΐνες:

- 1. Τουμουλίνη ή τιτίνη.** Συμβάλλει στην ελαστικότητα του σαρκομερίου και στη διατήρηση της ζώνης A στο κέντρο του σαρκομερίου κατά τη διάτασή του. Η τουμπουλίνη συνδέει τα νημέτια της μυοσίνης με τη γραμμή Z.
- 2. Δεσμίνη.** Συμβάλλει στη σύνδεση των Z γραμμών γειτονικών μυϊκών ινιδίων.
- 3. α-Ακτινίνη.** Συγκρατεί τα νημάτια της ακτίνης μεταξύ τους και αποτελεί μέρος της γραμμής Z.
- 4. Δυστροφίνη και σπεκτρίνη.** Είναι πρωτεΐνες της κυτταρικής μεμβράνης.

3.2 Πρωτεΐνες συστολής

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η *ακτίνη* και *μυοσίνη* καθώς και οι ρυθμιστικές πρωτεΐνες της συστολής *τροπομυοσίνη* και *τροπονίνη*. Η ακτίνη μαζί με τις δύο ρυθμιστικές πρωτεΐνες σχηματίζουν λεπτά νημάτια, ενώ η μυοσίνη σχηματίζει παχέα νημάτια.

- 1. Τα νημάτια της ακτίνης.** Είναι λεπτά και σχηματίζονται από δύο δίκλωνες παράλληλες έλικες, από τις οποίες η μία αποτελείται από ακτίνη και η άλλη από τροπομυοσίνη, ενώ επάνω τους κατά διάστημα βρίσκεται και η τροπονίνη.
 - 1) **Η ακτίνη** (M.B. 43.000). Είναι μία σφαιροειδής πρωτεΐνη (G-ακτίνη), η οποία πολυμερίζεται *in vivo* και σχηματίζει μία ινώδη άλυσσο, την F- ακτίνη, που ενσωματώνει σε ειδικές θέσεις κάθε μορίου της από ένα ADP. Οι θέσεις αυτές ονομάζονται **ενεργές θέσεις συνδέσεως** και αντιστοιχούν στα σημεία όπου οι κεφαλές της μυοσίνης συνδέονται με την ακτίνη.
 - 2) **Η τροπομυοσίνη** (M.B. 70.000). Είναι μία επιμήκης πρωτεΐνη η οποία περιβάλλει ελικοειδώς την ακτίνη. Με την παρεμβολή της η τροπομυοσίνη αποκλείει τη σύνδεση της ακτίνης με τις κεφαλές της μυοσίνης.
 - 3) **Η τροπονίνη.** Είναι μία σφαιροειδής πρωτεΐνη, που αποτελείται από τρεις υπομονάδες: Την *τροπονίνη C*, την *τροπονίνη I* και την *τροπονίνη T*. Η τροπονίνη βρίσκεται σε κανονικά διαστήματα κατά μήκος των νηματίων της ακτίνης, παρουσιάζει μεγάλη χημική συγγένεια με τα ιόντα Ca^{2+} και φέρει ειδικούς υποδοχείς για τη δέσμευσή τους.
- 2. Τα νημάτια της μυοσίνης.** Το μόριο της *μυοσίνης II* (M.B. 480.000), αποτελείται από ένα μακρύ επίμηκες τμήμα και δύο κεφαλές. Υπάρχει και η *μυοσίνη I* το μόριο της οποίας φέρει επίσης ένα επίμηκες τμήμα με μία όμως μόνο κεφαλή.

Έτσι, κάθε νημάτιο μυοσίνης αποτελείται από δύο τμήματα:

1. Τον *κύριο άξονα*, που συγκροτείται από ένα επίμηκες τμήμα.
2. Τις *εγκάρσιες γέφυρες* που απολήγουν στις αποστρογγυλομένες κεφαλές, οι οποίες προεξέχουν από τον άξονα των νηματίων και περιέχουν το ένζυμο μυοσίνη - ATPάση. Οι κεφαλές επαναλαμβάνονται κατά μήκος των νηματίων σε διαστήματα των 450 Å

Τα μόρια της μυοσίνης βρίσκονται συμμετρικά εκατέρωθεν του κέντρο του σαρκομερίου δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τη φωτεινή ζώνη H,

Η μυοσίνη II αποτελείται από δύο βαριές (M.B. 200.000) και τέσσερις ελαφρές (M.B. 20.000) πολυπεπτικές αλύσους. Τα τμήματα των αζωτούχων απολήξεων των βαριών αλύσων συνδέονται με τις ελαφρές αλύσους, για να σχηματίσουν τις σφαιρικές κεφαλές, που περιέχουν μία θέση συνδέσεως με την ακτίνη και μία καταλυτική θέση που υδρολύει το ATP. Οι κεφαλές της μυοσίνης είναι κατά τέτοιο τρόπο διαταγμένες ώστε να σχηματίζουν εγκάρσιες γέφυρες με το μόριο της ακτίνης. Η μυοσίνη II συνδέεται με την ακτίνη και σχηματίζει το σύμπλοκο της *ακτομυοσίνης*.

4. Μηχανισμός διεγέρσεως και συστολής των μυϊκών ινών.

Στο μυ επισυμβαίνουν φαινόμενα ηλεκτρικά και μηχανικά. Η μυϊκή συστολή αρχίζει περίπου 2 msec μετά την εκπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης και η διάρκειά της εξαρτάται από τον τύπο του μυός, δηλαδή είναι παρατεταμένη στους βραδείς μυς (100 msec) και σύντομη στους ταχείς (7,5 msec). Οι μυϊκές ίνες διεγείρονται όταν εκπολωθούν κατά +40 mV (έχουν δυναμικό ηρεμίας περίπου -90 mV και κρίσιμο δυναμικό -50 mV). Η συστολή τους επιτυγχάνεται με την λειτουργία ενός κυκλικού μηχανισμού, ο οποίος στηρίζεται στις ακόλουθες δύο θεωρίες:

1. **Θεωρία των εγκάρσιων γεφυρών.** Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι ο αριθμός των γεφυρών που δημιουργούνται εξαρτάται από το βαθμό αλληλοεπικάλυψης της ακτίνης με τη μυοσίνη και από τον αριθμό των ενεργών θέσεων δεσμεύσεως της ακτίνης, που αποκαλύπτονται όταν η τροπονίνη δεσμεύει Ca^{2+} . Επίσης, η θεωρία των εγκάρσιων γεφυρών υποστηρίζει ότι η σύνδεση ακτίνης - μυοσίνης είναι μία αντιστρεπτική διαδικασία και ότι η ενέργεια του ATP μετασχηματίζεται σε δομικές αλλαγές των εγκάρσιων γεφυρών.
2. **Θεωρία του πρότυπου της μυοσίνης.** Σύμφωνα με τη δεύτερη αυτή θεωρία οι κεφαλές των εγκαρσίων γεφυρών της μυοσίνης εκτελούν παλινδρομικές κινήσεις.

4.1 Η διέγερση των μυϊκών ινών

Οι μυϊκές ίνες διεγείρονται από κινητικές ώσεις που φτάνουν στη νευρομυϊκή σύναψη, η οποία βρίσκεται στο κέντρο της μυϊκής ίνας. Το δυναμικό δράσεως που παράγεται, και μεταδίδεται ως εκπολωτικό κύμα της μεμβράνης, ξεκινάει

από την κεντρική μοίρα της μυϊκής ίνας και διαδίδεται προς τα δύο άκρα της. Το δυναμικό δράσεως της μυϊκής ίνας, συγκριτικά με εκείνο του νευρώνα, έχει διάρκεια (1-5msec) αλλά μικρότερη ταχύτητα αγωγής (3-5m/sec)

Στη μυϊκή ίνα το δυναμικό δράσεως μεταδίδεται όχι μόνο στην εξωτερική μεμβράνη, το σαρκείλλημα, αλλά και στο εσωτερικό του κυττάρου, στη μεμβράνη των σωληναρίων του σαρκοσωληνωτού συστήματος, εκπολώντας με τον τρόπο αυτό, ταυτόχρονα, όλο το πάχος της μυϊκής ίνας.

4.2 Η συστολή των μυϊκών ινών

Οι κεφαλές των εγκαρσίων γεφυρών της μυοσίνης βρίσκονται σε μία συνεχή κίνηση συνδεδεμένες, αποσυνδεδεμένες και επανασυνδεδεμένες, αλληλοδιάδοχοι, με νέες συνεχώς ενεργές θέσεις δεσμεύσεως του μορίου της ακτίνης. Με τον τρόπο αυτό προάγεται η μηχανική λειτουργία με την οποία τα νημάτια της ακτίνης και της μυοσίνης διολισθαίνουν το ένα μέσα στο άλλο. Η κίνηση των κεφαλών παρομοιάζεται με την κίνηση που κάνουν τα κουπιά μέσα στο νερό, με την διαφορά όμως ότι εδώ δεν υπάρχει συγχρονισμός. Έτσι, σε μία οποιαδήποτε στιγμή, μόνο το 50% περίπου του συνόλου των κεφαλών των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης βρίσκονται σε επαφή με τα λεπτά νημάτια της ακτίνης, με τα οποία σχηματίζουν ένα πρωτεϊνικό σύμπλοκο με συσταλτές ιδιότητες, την **ακτομυοσίνη**. Οι υπόλοιπες κεφαλές βρίσκονται σε κάποια άλλη ενδιάμεση θέση του κύκλου που διαγράφουν παλλόμενες.

Ο **μηχανισμός συστολής** των μυϊκών ινών με το πρότυπο του κύκλου των εγκαρσίων γεφυρών ολοκληρώνεται στα ακόλουθα τέσσερα, αλληλοδιάδοχα στάδια.

- 1. Πρώτο στάδιο.** Αφορά τον προσανατολισμό των εγκαρσίων γεφυρών. Το ATP, που είναι συνδεδεμένο με τη μυοσίνη, διασπάται υδρολυτικά, με τη βοήθεια της **μυοσίνης – ATPάσης**, στο σύμπλοκο **μυοσίνη – ADP – Pi** (Pi= ελεύθερη φωσφορική ρίζα με υψηλό επίπεδο ελεύθερης ενέργειας). Αποτέλεσμα της αντιδράσεως αυτής είναι ο κάθετος προσανατολισμός της κεφαλής και η μεγάλη τάση του σύμπλοκου προς σύνδεση με τις ενεργές θέσεις δεσμεύσεως της ακτίνης.
- 2. Δεύτερο στάδιο.** Οι κεφαλές των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης συνδέονται με την ακτίνη, στις ακάλυπτες ενεργές θέσεις δεσμεύσεώς της. Από τη σύνδεση αυτή των κεφαλών προκύπτει το σύμπλοκο **ακτίνη – μυοσίνη (ακτομυοσίνη)**. Η όλη διαδικασία είναι αντιστρεπτή.
- 3. Τρίτο στάδιο.** Με τη σύνδεση **μυοσίνης – ακτίνης** απελευθερώνεται **ADP-Pi** και ξεκινούν δομικές αλλαγές στην κεφαλή και τον άξονα των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης που έχει ως αποτέλεσμα την κάμψη της κεφαλής προς τον άξονα, ο οποίος διατείνεται και στη συνέχεια επανέρχεται αυτόματα στο αρχικό του μήκος. Με τη διεργασία αυτή

παρασύρονται και μετακινούνται (*δυναμική μετακίνηση*) τα νηματία της ακτίνης κατά μήκος των νηματίων της μυοσίνης και διολισθαίνουν προς το κέντρο του σαρκομερίου.

- 4. Τέταρτο στάδιο.** Η κεφαλή της μυοσίνης (στο σύμπλεγμα ακτίνη-μυοσίνη) δεσμεύει νέο ATP και αυτή είναι ακριβώς η στιγμή της αποκολλήσεώς της από τις ενεργές θέσεις της ακτίνης, επειδή το νέο σύμπλοκο ακτίνη - μυοσίνη - ATP δεν έχει ισχυρή δεσμευτική ικανότητα.

Ο άξονας της εγκάρσιας γέφυρας, επειδή το επίπεδο της ελεύθερης ενέργειας βρίσκεται σε χαμηλό επίπεδο, επανέρχεται, τελικά, στη σταθερότερη διαμόρφωσή του, σχηματίζει δηλαδή γωνία 45° με τον άξονα της ακτίνης, ενώ συγχρόνως ενεργοποιείται το ένζυμο μυοσίνη - ATPάση για την υδρολιτική διάσπαση του ATP (πρώτο στάδιο). Με τον τρόπο αυτό συμπληρώνεται ο κύκλος λειτουργίας της κεφαλής της μυοσίνης και αρχίζει ένας νέος, με τη διαφορά όμως ότι η νέα σύνδεση της κεφαλής της μυοσίνης θα γίνει όχι με την ίδια αλλά με μία από τις επόμενες ενεργές θέσεις δεσμεύσεως που διαθέτει η ακτίνη. Η όλη κίνηση ομοιάζει με εκείνη που εκτελεί ένας οδοντωτός τροχός.

Συνοπτικά, το σαρκομέριο ανάλογα με τον τύπο των μυϊκών ινών, και επομένως τη δομή του, μετατρέπει μέρος της χημικής ενέργειας (διάσπαση ATP) σε μηχανικό έργο (παλινδρομική κίνηση των κεφαλών) με τελικό αποτέλεσμα τη μετακίνηση των νηματίων της ακτίνης προς το κέντρο του.

Στην περίπτωση που τα αποθέματα του ATP των μυϊκών ινών καταναλωθούν χωρίς να υπάρχει δυνατότητα να αντικατασταθούν, ο οργανισμός οδηγείται σε ακαμψία (rigor). Η κατάσταση αυτή μετά την επέλευση του θανάτου ονομάζεται νεκρική ακαμψία (rigor mortis) κατά την οποία σχεδόν όλες οι κεφαλές της μυοσίνης είναι συνδεδεμένες με την ακτίνη με ένα ιδιαίζοντα, επίμονο, και μη φυσιολογικό, τρόπο.

4.3 Η σύνδεση διεγέρσεως – συστολής

Το εκπολωτικό κύμα, που προκαλείται με τη διέγερση των μυϊκών ινών, επιφέρει χημικές μεταβολές που οδηγούν στη συστολή τους. Βασικό ρόλο στο μηχανισμό αυτό διαδραματίζουν τα ιόντα Ca^{2+} τα οποία απελευθερώνονται σε μεγάλες ποσότητες από τις δεξαμενές του σαρκοπλασματικού δικτύου, κατά την έναρξη της συστολής, καθώς το εκπολωτικό κύμα μεταδίδεται στις μεμβράνες του.

Το σαρκοσωληνωτό σύστημα αποτελεί το συνδετικό κρίκο ανάμεσα στη διέγερση και τη συστολή των μυϊκών ινών και συμβάλλει στη σχεδόν σύγχρονη συστολή όλων των ινιδίων της μυϊκής ίνας διότι είναι η οδός που μεταφέρει ταχύτατα τη διέγερση στο εσωτερικό της μυϊκής ίνας.

Τα Ca^{2+} δρουν ως ενεργοποιητές της συσπάσεως διότι ενεργοποιούν την τροπονίνη, καθώς δεσμεύονται από τους ειδικούς υποδομείς Ca^{2+} , που αυτή διαθέτει, και επιφέρουν δομική αλλαγή του συμπλέγματος τροπονίνη - τροπομυοσίνη και αναστολή της δράσεως του συμπλέγματος αυτού επί της ακτίνης. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η μετακίνηση της τροπομυοσίνης

προς τη μία πλευρά και η αποκάλυψη των ενεργών θέσεων συνδέσεως. Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η σύνδεση της ακτίνης με τις κεφαλές της μυοσίνης και η επίτευξη της μυϊκής συστολής. Η μυϊκή συστολή παύει και επέρχεται μυοχαλάρωση, μόνο όταν τα Ca^{2+} αποσυνδεθούν από την τροπονίνη και απομακρυνθούν από το σαρκόπλάσμα προσλαμβάνόμενα και πάλι από το σαρκοσωληνωτό σύστημα. Στην περίπτωση αυτή (επέλευση της μυοχαλάρωσης) η τροπομυοσίνη *παρεμβάλλεται και καλύπτει* τις ενεργές θέσεις συνδέσεως της ακτίνης και με τον τρόπο αυτό τις αποκλείει από τη σύνδεσή τους με τις κεφαλές της μυοσίνης, οπότε ο μυς μεταπίπτει αναγκαστικά στην κατάσταση της χαλάρωσης. Τη δράση αυτή των ιόντων Ca^{2+} ανταγωνίζονται τα ιόντα Mg^{2+} .

4.4 Ελαστικά στοιχεία του μυός

Το μήκος που φυσιολογικά παρουσιάζει ένας μυς όταν βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας (χαλάρωσης) ονομάζεται **μήκος ηρεμίας ή άριστο μήκος**. Εάν ασκηθεί έλξη ο μυς παρουσιάζει αρχικά μία παθητική διάταση και στη συνέχεια αναπτύσσει **παθητική τάση**, που εκδηλώνεται **ως ελαστικότητα** του μυός μεταβάλλουν ορισμένα από τα χαρακτηριστικά τους. Η πλαστικότητα των μυϊκών ινών είναι γνωστό ότι περιορίζεται σημαντικά με την οντογενετική ανάπτυξη και την εξειδίκευση του μυϊκού ιστού.

5. Τύποι μυϊκής συστολής

Οι κύριοι τύποι της μυϊκής συστολής είναι δύο: Η ισομετρική και η ισοτονική συστολή.

5.1 Ισομετρική συστολή

Η μυϊκή συστολή συνεπάγεται τη βράχυνση των συσταλών στοιχείων του μυός. Ο μυς, όμως, διαθέτει και **ελαστικά στοιχεία** «εν σειρά» συνδεδεμένα με τα **συσταλά** του στοιχεία, τα οποία διατείνονται και έτσι αυξάνουν την τάση (δύναμη) του. Σε μία τέτοια περίπτωση η μυϊκή συστολή δε συνδέεται από βράχυνση, αλλά το μήκος του μυός διατηρείται σταθερό διότι μπορεί να βραχύνονται τα σαρκομέρια συγχρόνως, όμως, διατείνονται και τα ελαστικά στοιχεία, τα οποία είναι συνδεδεμένα «εν σειρά», και η συστολή αυτή ονομάζεται **ισομετρική συστολή**. Η αρχική φάση κάθε μυϊκής συστολής είναι ισομετρική.

Η ενεργητική τάση που αναπτύσσεται κατά την ισομετρική συστολή εξαρτάται από το μήκος που έχει ο μυς πριν από τη συστολή. Η μέγιστη τιμή καταγράφεται όταν ο μυς διεγερθεί ευρισκόμενος στο μήκος ηρεμίας του και ελαττώνεται σε μεγαλύτερα ή μικρότερα μήκη. Διάταση πέρα από το διπλάσιο του μήκους ισορροπίας προκαλεί ρήξη του μυός.

Η γραφική απεικόνιση της συσχέτισεως του μήκους-τάσεως ενός πειραματικά διεγερόμενου μυός, ονομάζεται **καμπύλη μήκους- τάσεως** και ομοιάζει με την αντίστοιχη καμπύλη τάσεως που αναπτύσσει το κάθε σαρκομέριο, σε διάφορους βαθμούς αλληλοεπικαλύψεως των συσταλών του στοιχείων. Η μικρή διαφορά που παρατηρείται αποδίδεται στην παραμόρφωση που προκαλείται από την παρεμβολή των ελαστικών στοιχείων του μυός. Έχει βρεθεί ότι, όταν το σαρκομέριο έχει μήκος περίπου 2 μm , τότε η αλληλοεπικάλυψη της ακτίνης και μυοσίνης είναι τέλεια και στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται η μέγιστη συστολή.

5.2 Ισοτονική συστολή

Η μυϊκή συστολή, που επιτυγχάνεται κάτω από σταθερή τάση (φορτίο) και κατά την οποία προκαλείται βράχυνση του μυός, ονομάζεται **ισοτονική συστολή**. Ο τύπος αυτός της συστολής εμφανίζει τις ακόλουθες δύο φάσεις:

1. **Ισομετρική φάση.** Αρχίζει με την έναρξη της συστολής και διαρκεί μέχρις ότου η αναπτυσσόμενη τάση εξισωθεί με το φορτίο, δηλαδή την αντίσταση που προβάλλεται.
2. **Φάση βραχύνσεως.** Μόλις η τάση του μυός ξεπεράσει την αντίσταση του φορτίου (όταν αυτό είναι μικρότερο από τη μέγιστη τάση που μπορεί να αναπτύξει ο συγκεκριμένος μυς) ο μυς αρχίζει να βραχύνεται και να ανυψώνει το φορτίο. Το μέγιστο που μπορεί να ανυψώσει ένας μυς είναι λίγο μικρότερο από τη μέγιστη τάση, που μπορεί να αναπτύξει κατά την ισομετρική συστολή του. Σε αντίθεση με την ισομετρική συστολή, η ισοτονική αποδίδει έργο.

Η **ταχύτητα συστολής** ενός μυός εξαρτάται από τον τύπο του μυός, την αντίσταση που προβάλλεται και το μήκος που έχει ο μυς κατά την έναρξη της ισοτονικής συστολής (αρχικό μήκος). Όσο αυξάνεται η δύναμη που πρέπει να υπερνικηθεί τόσο ελαττώνεται η ταχύτητα συστολής.

Εάν η ταχύτητα συστολής παραμείνει σταθερή σε όλη τη διάρκεια της ισοτονικής συστολής τότε η συστολή ονομάζεται **ισοκινητική**. Εάν η τάση της μυϊκής συστολής αυξάνει παράλληλα με τη βράχυνση του μυός τότε αυτή ονομάζεται **αυξοτονική συστολή**.

6. Άθροιση συσπάσεων

Ο μηχανισμός της μυϊκής Συστολής δεν περιλαμβάνει ανερέθιστη περίοδο. Όταν σε ένα μυ χορηγηθούν επαναλαμβανόμενα ερεθίσματα, πριν αυτός προλάβει να χαλαρώσει, τότε παρατηρείται μια επιπλέον δραστηριοποίηση των συσταλών στοιχείων του μυός, που προστίθεται στην ήδη υπάρχουσα μυϊκή συστολή. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **άθροιση συσπάσεων**.

Όταν οι κινητικές μονάδες του μυός διεγείρονται όλες ταυτόχρονα η άθροιση συσπάσεων ονομάζεται **σύγχρονη**, στην αντίθετη περίπτωση αυτή ονομάζεται **ασύγχρονη**.

Πειραματική μελέτη της μυϊκής συσπάσεως γίνεται στο νευρομυϊκό παρασκεύασμα (απομονωμένος μυς με το κινητικό νεύρο του). Απλή ηλεκτρική διέγερση του κινητικού νεύρου οδηγεί το μυ σε μονήρη μυϊκή σύσπαση (muscle twitch), ενώ επαναλαμβανόμενη σε τετανική σύσπαση (σύγχρονη άθροιση).

6.1 Μονήρης μυϊκή σύσπαση

Το είδος αυτό της μυϊκής συσπάσεως αφορά τη σύντομη βράχυνση και την επακολουθούσα χάλαση του σαρκομερίου, μετά από μία απλή διέγερση.

Η ένταση της μονήρους συσπάσεως είναι μικρή ή μεγάλη ανάλογα με τον αριθμό των κινητικών μονάδων που διεγείρονται. Προοδευτική αύξηση της εντάσεως του ερεθίσματος συνεπάγεται και αύξηση της εντάσεως της συνολικής μυϊκής συστολής (διότι διεγείρονται περισσότερες κινητικές μονάδες), η οποία συνεχίζεται μέχρις ότου το ερέθισμα γίνει βαλβιδικό για όλες τις κινητικές μονάδες (μέγιστο ερέθισμα, μέγιστη μονήρης σύσπαση). Χορήγηση οποιουδήποτε υπερμέγιστου ερεθίσματος δεν είναι δυνατό να αυξήσει περισσότερο την ένταση της συστολής του μύος.

Σε κάθε μυογράφημα μίας μονήρους μυϊκής συσπάσεως εμφανίζονται οι ακόλουθες τρεις περίοδοι.

5. *Η λανθάνουσα περίοδος*. Διαρκεί msec (2-3) και ουδεμία απάντηση υπάρχει στο μυογράφημα.
6. *Η περίοδος συσπάσεως*. Διαρκεί περίπου 10-100msec. Στο μυογράφημα η περίοδος συσπάσεως αρχίζει με την έναρξη της συσπάσεως και λήγει στην κορυφή της εντάσεως της συστολής.
7. *Η περίοδος χαλάσεως*. Κατά τη διάρκειά της η ένταση της συσπάσεως ελαττώνεται συνεχώς μέχρι μηδενισμού.

6.2 Τετανική συστολή (Κράμπα)

Η διάρκεια της διεγέρσεως των μυϊκών ινών (1-5 msec) είναι μικρότερη από εκείνη της συστολή τους (μέχρι και 100 msec) και συνεπώς κατά την διάρκεια μίας συστολής οι μυϊκές ίνες μπορούν να διεγερθούν αρκετές φορές.

Εάν σε ένα μυ χορηγηθούν αλληπάλληλα ερεθίσματα υψηλής συχνότητας, τότε κάθε νέα συστολή θα αρχίζει πριν ο μυς προλάβει να χαλαρώσει, με αποτέλεσμα την προοδευτική σύγχρονη άθροιση συσπάσεως που εκδηλώνεται με μία ισχυρή συστολή. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **μυϊκός τέτανος (τετανική συστολή)**.

Όταν μεταξύ των ερεθισμάτων δεν παρεμβάλλεται περίοδος χαλάσεως ο μυς βρίσκεται συνεχώς σε έντονη σύσπαση (οροπέδιο, plateau) και αυτό ο τέτανος ονομάζεται **τέλειος τέτανος**. Όταν μεταξύ των ερεθισμάτων παρεμβάλλεται περίοδος χαλάσεως (έστω και ατελής) τότε ο τέτανος ονομάζεται **ατελής**.

Η ένταση της τετανικής συστολής είναι η μέγιστη ένταση, που μπορεί να αναπτύξει ένας μυς. Η συχνότητα των χορηγούμενων ερεθισμάτων που απαιτείται για να επέλθει τέτανος δεν είναι η ίδια για όλους τους μυς, αλλά εξαρτάται από τον τύπο των μυών, π.χ. οι ταχείς μύες απαιτούν υψηλότερη συχνότητα από τους βραδείς.

Η τετανική συστολή οφείλεται στην υψηλή ενδοκυττάρια συγκέντρωση ιόντων Ca^{2+} εξαιτίας της αφίξεως αλληπάλληλων ώσεων υψηλής συχνότητας.

6.3 Φαινόμενο κλίμακας

Όταν σε ένα μυ, που βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, χορηγηθεί μία σειρά από μέγιστα μονήρη ερεθίσματα, με μικρότερη συχνότητα από την τετανική και σταθερή ένταση, παρατηρείται μία κλιμακωτή (βαθμιαία) αύξηση της εντάσεως των μυϊκών συσπάσεως, που παύει να αυξάνει και παραμένει σταθερή έπειτα από ορισμένο αριθμό ερεθισμάτων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *φαινόμενο της κλίμακας ή Treppe* (Treppe = κλίμαξ, σκάλα) και οφείλεται στην προοδευτική αύξηση των Ca^{2+} στο σαρκόπλασμα, διότι δεν προλαβαίνουν όλα να δεσμευθούν από την τροπονίνη C

6.4 Ασύγχρονη άθροιση συσπάσεων

Πρόκειται για την περίπτωση που οι κινητικές μονάδες δε διεγείρονται ταυτόχρονα. Η εκούσια και η αντανακλαστική κινητικότητα του οργανισμού αποτελούν περιπτώσεις ασύγχρονης αθρόισεως συσπάσεων των κινητικών μονάδων των μυών. Οι στοιχειώσεις αυτές συσπάσεις είναι το αποτέλεσμα κινητικών «εντολών», που ολοκληρώνονται στο Κ.Ν.Σ. και φτάνουν στους μυς με τη μορφή της α- και γ- κινητικής δραστηριότητας.

Οι κινήσεις που προκαλούνται από τις φυσιολογικές ασύγχρονες συσπάσεις των σκελετικών μυών δεν είναι τρομώδεις, όπως στον ατελή τέτανο, αλλά «πλαστικές»,

Οι σκελετικοί μύες σχεδόν ποτέ δεν βρίσκονται εντελώς σε χάλαση, ακόμα και όταν δεν υπάρχει εμφανής κινητική δραστηριότητα, αλλά διατηρούν ένα βαθμό αντανακλαστικής συστολής, που ονομάζεται *μυϊκός τόνος*.

7. Πηγές ενέργειας και μεταβολισμός του μυός

Η μυϊκή συστολή, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, απαιτεί ενέργεια και οι μύες (που παριστάνουν «χημειοδυναμικές μηχανές») μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε μηχανικό έργο. Κύρια πηγή ενέργειας είναι η υδρολυτική διάσπαση του ATP σε ADP+Pi. Επειδή, όμως, τα αποθέματα του μυός σε ATP

είναι σχετικά μικρά απαιτείται επανασύνθεση του ATP μέσα από ειδικές βιοσυνθετικές οδούς, οι οποίες περιγράφονται αμέσως παρακάτω.

7.1 . Φωσφοκρετίνη

Η ανασύνθεση του ATP επιτυγχάνεται με την φωσφορυλίωση του ADP, που γίνεται με τη βοήθεια μίας ουσίας, που περιέχεται στο μυ και έχει δεσμό υψηλής ενεργειακής στάθμης, τη **φωσφοκρεατίνη**.

Η φωσφοκρεατίνη κατά τη μυϊκή συστολή υδρολύεται σε κρεατίνη και φωσφορική ομάδα, απελευθερώνοντας συγχρόνως και ενέργεια υψηλής στάθμης στο σημείο επαφής των κεφαλών της μυοσίνης με την ακτίνη. Το ADP προσλαμβάνει από τη φωσφοκρεατίνη τον υψηλής ενέργειας φωσφορικό δεσμό και μετατρέπεται και πάλι σε ATP, επιτρέποντας έτσι τη συνέχιση της μυϊκής συστολής.

Κατά τη μυϊκή χάλαση η φωσφοκρεατίνη ανασυντίθεται στα μιτοχόνδρια χρησιμοποιώντας την ίδια αμφίδρομη αντίδραση, η οποία όμως αυτή τη φορά κινείται αντίθετα.

7.2 Γλυκόλυση και οξειδωτική φωσφορυλίωση

Η γλυκόλυση επιτελείται είτε χωρίς την παρουσία οξυγόνου, *αναερόβια γλυκόλυση*, είτε με την παρουσία οξυγόνου, *αερόβια γλυκόλυση*. Και στις δύο περιπτώσεις, ιδιαίτερα όμως στη δεύτερη, απελευθερώνεται ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται για την επανασύνθεση ATP από ADP.

Στην *αναερόβια γλυκόλυση* η γλυκόζη του αίματος που εισέρχεται στα κύτταρα, καθώς και το γλυκογόνο που υπάρχει μέσα σε αυτά, ακολουθώντας μία σειρά χημικών αντιδράσεων, χωρίς την παρουσία O₂, μετατρέπεται τελικά σε γαλακτικό οξύ.

Στην αερόβια γλυκόλυση η διάσπαση της γλυκόζης γίνεται στα μιτοχόνδρια παρουσία O₂ και το πυρουβικό (πυροσταφυλικό) οξύ που σχηματίζεται διασπάται τελικά σε CO₂ και H₂O.

7.3 Χρέος οξυγόνου

Κατά την έναρξη της μυϊκής εργασίας, οι μύες προσλαμβάνουν από το αίμα μικρότερη ποσότητα O₂ από εκείνη που απαιτούν οι ενεργειακές τους ανάγκες με συνέπεια την επίταση της αναερόβιας γλυκολύσεως, την αύξηση του παραγόμενου γαλακτικού οξέος και την πρόσκληση αγγειοδιαστολής, που όμως δεν καταφέρνει να προσφέρει στο μυ την απαιτούμενη ποσότητα O₂. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η δημιουργία *πλεονάσματος* γαλακτικού οξέος, το οποίο μεταβολίζεται μετά το τέλος της μυϊκής εργασίας. Η ποσότητα του O₂ που απαιτείται, ώστε να μεταβολισθεί αυτό το πλεόνασμα των προϊόντων της αναερόβιας γλυκολύσεως, το οποίο δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια της μυϊκής εργασίας ονομάζεται **χρέος οξυγόνου**. Η δυνατότητα των μυών να

χρησιμοποιούν την αναερόβια γλυκόλυση για να παράγουν ενέργεια, τους δίνει την ικανότητα να παράγουν πολύ έργο, σε μικρό χρονικό διάστημα.

Όταν η μυϊκή ενέργεια επιτελείται έντονα και χωρίς διακοπή τότε το γαλακτικό οξύ παράγεται σε μεγάλες ποσότητες, που συσσωρεύονται, με συνέπεια τη μετατόπιση του pH προς την όξινη πλευρά (οξέωση). Το όξινο περιβάλλον δυσχεραίνει τη λειτουργία των ενζυμικών συστημάτων και δεν είναι δυνατό να διατηρηθεί η δύναμη κατά τη μυϊκή συστολή. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται **κάματος**.

7.4 Παραγωγή θερμότητας στο μυ

Κατά την ηρεμία οι μυϊκές ίνες παράγουν ένα ποσό θερμότητας, που προέρχεται από τις βασικές μεταβολικές αντιδράσεις, τις απαραίτητες για τη διατήρηση των μυϊκών κυττάρων στη ζωή. Πρόκειται για τη **θερμότητα ηρεμίας** που παράγεται με σταθερό ρυθμό και αντιστοιχεί σε 10 cal/Kg/min.

Η μυϊκή δραστηριότητα, όπως απέδειξαν το 1992 οι Hill και Meyerhof με σχετική εργασία τους που τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ, συνοδεύεται πάντοτε από παραγωγή θερμότητας η οποία, εξαρτάται γενικά από το διαθέσιμο ποσό του οξυγόνου και είναι σε αερόβιες συνθήκες σχεδόν διπλάσια από εκείνη που σημειώνεται σε αναερόβιες συνθήκες. Η παραγόμενη θερμότητα σε αερόβιες συνθήκες διακρίνεται σε **αρχική θερμότητα** και σε **θερμότητα ανανήψεως**.

1. **Αρχική θερμότητα.** Πρόκειται για την θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της μυϊκής συσπάσεως.

Η θερμότητα που παράγεται κατά την ισοτονική συστολή, κατά την οποία εκτελείται και έργο, είναι μεγαλύτερη από εκείνη που παράγεται κατά την ισομετρική συστολή και μάλιστα σε ποσότητα ανάλογη με το παραγόμενο έργο.

Κατά την *ισοτονική συστολή* η αρχική θερμότητα αποτελείται από τρία επί μέρους τμήματα: Τη θερμότητα ενεργοποίησης, τη θερμότητα βραχύνσεως και τη θερμότητα χαλάσεως.

- 1) *Θερμότητα ενεργοποίησης.* Σχετίζεται με την αρχική φάση της ενεργοποίησης των μυϊκών ινών.
- 2) *Θερμότητα βραχύνσεως.* Παράγεται κατά τη βράχυνση του μυός, είναι ανάλογη με την μεταβολή του μήκους του και οφείλεται σε μεταβολές της δομής των μυϊκών ινών κατά τη βράχυνσή τους.

- 3) *Θερμότητα χαλάσεως*. Παράγεται μετά το τέλος της ισοτονικής συστολής, καθώς ο μυς επανέρχεται στο αρχικό του μήκος. Για την επάνοδο αυτή απαιτείται εξωτερικό έργο στο οποίο ακριβώς αντιστοιχεί η θερμότητα χαλάσεως.

Κατά την *ισομετρική συστολή*, που δε συνοδεύεται με ανάλογη κίνηση και όλη η ενέργεια ελευθερώνεται με τη θερμότητα, η αρχική θερμότητα αποτελείται μόνο από τη θερμότητα ενεργοποίησης.

2. **Θερμότητα ανανήψεως**. Είναι η θερμότητα που απελευθερώνεται μετά το τέλος της μυϊκής δραστηριότητα, για διάστημα 30 min περίπου, από τις μεταβολικές διεργασίες ανασυνθέσεως του ATP και την επάνοδο του μυός στη μεταβολική του ισορροπία. Η θερμότητα ανανήψεως ισούται, περίπου, με το ποσό της αρχικής θερμότητας.

ΟΙ ΥΠΟΔΟΧΕΙΣ ΤΩΝ ΜΥΩΝ

8.1. Γενικά

Η σύσπαση των μυών(μαζί με τις κινήσεις των άκρων) και η στάση του σώματος, γενικότερα, ελέγχονται από το κεντρικό νευρικό σύστημα το οποίο πληροφορείται συνεχώς τόσο για την αλλαγή του μήκους των μυών, όσο και για τις δυνάμεις που αναπτύσσονται και παράγουν αυτές τις αλλαγές. Τις ειδικές αυτές πληροφορίες τις καταγράφουν και τις αποστέλλουν σε όλα τα επίπεδα του εγκεφάλου τα δυο είδη των ιδιοδεκτικών υποδοχέων που διαθέτουν οι μύες. Πρόκειται για ειδικά διαμορφωμένα δεκτικά όργανα, τα οποία λειτουργούν ως τασεοϋποδοχείς από όπου ξεκινούν τρεις τύποι αισθητικών απολήξεων. Τα δεκτικά αυτά όργανα είναι οι μυϊκές άτρακτοι και τα τενόντια όργανα του Golgi.

Επομένως, οι αισθητικοί υποδοχείς αποτελούν την είσοδο από την οποία εισέρχεται στο νευρικό σύστημα η αισθητική πληροφορία, δηλαδή κάθε είδους εξωτερικό και εσωτερικό ερέθισμα που είναι δυνατό να διεγείρει τους αισθητικούς υποδοχείς.

Το ειδικό ερέθισμα που διεγείρει ένα ορισμένο τύπο υποδοχέα, αποτελεί το ομόλογο ερέθισμα για τον τύπο αυτό. Οι αισθητικοί υποδοχείς διεγείρονται και από μη ομόλογα ερεθίσματα, στην περίπτωση αυτή όμως η ένταση του ερεθίσματος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη. Οι αισθητικές πληροφορίες χρησιμοποιούνται για την αντίληψη της θέσης των άκρων και τον έλεγχο των εκούσιων κινήσεων από το φλοιό των δύο ημισφαιρίων του εγκεφάλου.

8.2. Οι μυϊκές άτρακτοι

Οι μυϊκές άτρακτοι έχουν μήκος 4-10mm και οφείλουν το όνομά τους σε δύο στοιχεία:

- 1) Στο σχήμα τους (είναι ατρακτοειδή όργανα με λεπτά άκρα και διογκωμένο κέντρο)
- 2) Στον εντοπισμό τους (βρίσκονται διεσπαρμένα στη γαστέρα των μυών ανάμεσα στις κύριες μυϊκές ίνες των μυών)

Ο αριθμός των ιδιοδεκτικών αυτών υποδοχέων κυμαίνεται από 5 μέχρι 120/g μυϊκής μάζας, ανάλογα με το είδος της λειτουργίας του σκελετικού μυός, δηλαδή με την ικανότητα διαβαθμίσεως της συσπάσεως του.

Το κεντρικό τμήμα της ατράκτου περιβάλλεται από ένα έλυτρο συνδετικού ιστού. Η μυϊκή άτρακτος παρουσιάζει παράλληλη διάταξη σε σχέση με τις κύριες μυϊκές ίνες και αντιδρά όταν διαταθούν τα εξειδικευμένα στοιχεία που περιέχει, τα οποία ανιχνεύουν το μήκος και την αλλαγή του μήκους του μυός. Δηλαδή, οι μυϊκές άτρακτοι αποτελούν τους υποδοχείς οι οποίοι βοηθούν ώστε να μπορέσει να διατηρηθεί σταθερό το μήκος ενός μυός.

Τα κύρια στοιχεία από τα οποία αποτελείται μια μυϊκή άτρακτος είναι οι ατρακτικές μυϊκές ίνες, οι αισθητικές νευρικές ίνες και οι κινητικές νευρικές ίνες.

- 1. Οι ατρακτικές μυϊκές ίνες.** Πρόκειται για μία ομάδα από 2-12 εξειδικευμένες λεπτές μυϊκές ίνες που διατρέχουν τη μυϊκή άτρακτο και περιέχουν μερικά μυϊκά ινίδια. Η κεντρική περιοχή τους περιέχει τους πυρήνες και είναι γεμάτη από ενδοκυττάριο υγρό. Η περιοχή αυτή δεν περιέχει συσταλλά στοιχεία και δε συστέλλεται, σε αντίθεση με τις δύο περιφερικές περιοχές τους που είναι πλούσιες σε συσταλλά στοιχεία και συστέλλονται έντονα. Οι περιφερικές περιοχές των ατρακτικών ινών συνδέονται με τα έλυτρα των κυρίως μυϊκών ινών.

Στον ανθρώπινο οργανισμό υπάρχουν οι ακόλουθοι δύο τύποι ατρακτικών μυϊκών ινών.

- 1) Οι ατρακτικές ίνες τύπου πυρηνικής αλύσου, οι πυρήνες στις ίνες αυτές βρίσκονται στο κέντρο της ίνας διατεταγμένοι σε μία σειρά, που μοιάζει με πυρηνική αλυσίδα.
 - 2) Οι ατρακτικές ίνες τύπου πυρηνικού σάκου, οι πυρήνες στον τύπο αυτών των ινών είναι πολυάριθμοι και βρίσκονται συγκεντρωμένοι στο κέντρο της ατρακτικής μυϊκής ίνας, το οποίο παρουσιάζεται διογκωμένος (σάκος)
- 2. Οι αισθητικές μυϊκές ίνες.** Πρόκειται για εμμύελες νευρικές ίνες οι οποίες εισέρχονται στη μυϊκή άτρακτο από την κεντρική περιοχή της. Οι απολήξεις των αισθητικών νευρικών ινών στις ατρακτικές μυϊκές ίνες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: Τις πρωτεύουσες και τις δευτερεύουσες.
 - 1) Οι πρωτεύουσες απολήξεις αποτελούν κλάδους προσαγωγών ινών τύπου Ia ή Aα οι οποίες περιτυλίσσονται γύρω από το μη συσταλλά κέντρο των ατρακτικών ινών. Οι απολήξεις αυτές ονομάζονται **σπυροδακτυλιοειδείς απολήξεις** και είναι ευαίσθητες στην διάταση της

μυϊκής ατράκτου. Καθώς επιμηκύνεται η κεντρική μοίρα των ατρακτικών ινών, ενεργοποιούνται οι ιοντικοί δίαυλοι και εκπολώνεται η κυτταρική μεμβράνη.

- 2) Οι δευτερεύουσες απολήξεις. Σε κάθε μυϊκή άτρακτο υπάρχει μία μόνο δευτερεύουσα απόληξη η οποία είναι κλάδος αισθητικής ίνας τόνοι II ή Αβ και έχει μορφή ταξιανθίας(ανθοδέσμης). Οι απολήξεις αυτές είναι γνωστές ως **απολήξεις ανθοδέσμης**.

Από τους δύο τύπους των αισθητικών νευρικών απολήξεων των μυϊκών ατράκτων, οι πρωτεύουσες απολήξεις συμπεριφέρονται ως **αναλογοδιαφορικοί** υποδοχείς και οι δευτερεύουσες κυρίως ως **αναλογικοί υποδοχείς**. Παράλληλα, η μορφολογία του υποδοχέα βοηθά, ώστε οι μεταβολές του μήκους των ατρακτικών ινών να προκαλούν παραμόρφωση (και επομένως ενεργοποίηση) των υποδοχέων, με αποτέλεσμα την παραγωγή νευρικών ώσεων στις αντίστοιχες αισθητικές ίνες.

Η διάταση των πρωτευουσών απολήξεων οδηγεί σε δύο τύπους αντιδράσεως.

- 1) Αρχικά, ο υποδοχέας αντιδρά για όσο χρονικό διάστημα **μεταβάλλεται** το μήκος των ατρακτικών ινών και η αντίδρασή του είναι ανάλογη προς την **ταχύτητα μεταβολής**.
- 2) Στη συνέχεια, η αντίδραση του υποδοχέα διαρκεί για όσο χρονικό διάστημα οι ατρακτικές ίνες διατηρούν το νέο μήκος τους και είναι ανάλογη προς το **στατικό μήκος** των ινών.

Κατά την επάνοδο των ατρακτικών ινών στο αρχικό τους μήκος, οι πρωτεύουσες απολήξεις "σιγούν" κατά τη διάρκεια της μεταβολής και επανέρχεται στον αρχικό ρυθμό παραγωγής ώσεων, μετά από την εγκατάσταση του αρχικού μήκους.

Η αντίδραση των δευτερευουσών απολήξεων στις μεταβολές του μήκους των ατρακτικών ινών, είναι σχεδόν καθαρά αναλογική, με αποτέλεσμα η συχνότητα της παραγωγής των νευρικών ώσεων στις ίνες τύπου II να είναι ανάλογη προς το **στατικό μήκος** των ινών, σε κάθε χρονική στιγμή.

3. **Οι κινητικές νευρικές ίνες.** Η κινητική νεύρωση των ατρακτικών ινών γίνεται από τις **γ-κινητικές** ή **ατρακτοκινητικές ίνες**. Οι ίνες αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο απολήξεων που διαθέτουν:

1. Ο πρώτος τύπος των γ-κινητικών νευρικών ινών απολήγει κυρίως στα ακραία τμήματα των ατρακτικών ινών με την μορφή των **τελικών κινητικών πλακών**.

2. Ο δεύτερος τύπος των γ-κινητικών νευρικών ιών απολήγει με τη μορφή δικτύου, το οποίο καλύπτει ολόκληρη την έκταση των περιφερικών περιοχών των ιών.

Και οι δύο τύποι των γ-κινητικών ιών απολήγουν και στις δύο κατηγορίες των ατρακτικών ιών, με την διαφορά ότι οι απολήξεις με τη μορφή δικτύου φτάνουν κυρίως στις ατρακτικές ίνες τύπου "πυρηνικής αλύσου".

Από λειτουργική άποψη οι γ-κινητικές νευρικές ίνες που φτάνουν στις ατρακτικές ίνες διακρίνονται σε δυναμικές και σε στατικές.

- 1) Οι γ-δυναμικές ίνες αυξάνουν την ευαισθησία κυρίως την διαφορικής αντιδράσεως των μυϊκών ατράκτων.
- 2) Οι γ-στατικές ίνες αυξάνουν την ευαισθησία της αναλογικής αντιδράσεως των μυϊκών ατράκτων.

Επομένως, η γ-κινητική δραστηριότητα διαμορφώνει, ουσιαστικά, την ευαισθησία των ατρακτικών υποδοχέων.

Η παθητική διάταση ενός μυός, π.χ. Μετά από κάποια μεταβολή της θέσεως μιας άρθρωσης, επιφέρει και παράλληλη διάταση των μυϊκών ατράκτων, οι ώσεις που αποστέλλουν οι μυϊκές άτρακτοι διεγείρουν τους νωτιαίους α-κινητικούς νευρώνες με τελικό αποτέλεσμα τη σύσπαση του μυός.

Η δραστηριοποίηση ενός γ-κινητικού νευρώνα προκαλεί σύσπαση και βράχυνση των άκρων της ατρακτικής ίνας με αποτέλεσμα την έλξη, επιμήκυνση και διάταση της μεσαίας μη συσταλτής περιοχής. Με τον τρόπο αυτό αυξάνει ο ρυθμός εκπολώσεως απολήξεων των ιδιοδεκτριών ιών και επέρχεται αύξηση του τόνου των α-κινητικών νευρώνων και γενικότερη σύσπαση του μυός.

Συνεπώς, η σύσπαση των σκελετικών μυών είναι δυνατό να προκληθεί με δύο τρόπους:

- 1) Άμεσα, με αύξηση της δραστηριότητας των μυοκινητικών νευρώνων
- 2) Έμμεσα, με αύξηση της δραστηριότητας των ατρακτοκινητικών νευρώνων.

Φυσιολογικά, ο οργανισμός δε χρησιμοποιεί χωριστά αυτούς τους δύο τρόπους, αλλά διαμορφώνει τελικά την κινητικότητα με συνδυασμένη α- και γ-κινητική δραστηριότητα, επιφυλάσσοντας διαφορετικό ρόλο στην κάθε μια από αυτές.

Η απλή λειτουργία του κυκλώματος αφορά μόνο στη διάταση του μυός. Στην περίπτωση όμως που ο μυς συσπαστεί από κεντρογενή αύξηση της α-κινητικής δραστηριότητας, οι ατρακτικές ίνες βραχύνονται, με αποτέλεσμα, από ένα σημείο και πέρα, οι υποδοχείς τους να σιγούν, γεγονός που σημαίνει κατάργηση των υποδοχέων και παύση της λειτουργίας του συστήματος. Αυτό το κενό, ακριβώς, συμπληρώνει η γ-κινητική νεύρωση.

Ο οργανισμός χρησιμοποιώντας, ταυτόχρονα, την α-κινητική και τη γ-κινητική δραστηριότητα εξασφαλίζει τη λειτουργία του συστήματος σε όλους τους

βαθμούς συσπάσεως των μυών, προσαρμόζοντας συνεχώς με τη βοήθεια της γ-κινητικής δραστηριότητας, την ευαισθησία των μυϊκών ατράκτων, στο συγκεκριμένο μήκος των μυών.

Συμπερασματικά, είναι φανερό ότι η μυϊκή άτρακτος ουσιαστικά μετράει την διαφορά στο μήκος, ανάμεσα στις κύριες μυϊκές ίνες και τις ατρακτικές ίνες του σκελετικού μυός και ότι το σύστημα των μυϊκών ατράκτων, με τη βοήθεια και της γ-κινητικής νευρώσεως που διαθέτουν, αποτελεί ένα **σερβομηχανισμό** ο οποίος ελέγχει το μήκος των μυών.

8.3. Τα τενόντια όργανα του Golgi

Τα τενόντια όργανα του Golgi αποτελούν ειδικά μορφώματα μήκους 1mm, τα οποία διατάσσονται "εν σειρά" σε σχέση με τις κύριες μυϊκές ίνες του σκελετικού μυός. Τα όργανα αυτά βρίσκονται στο σημείο που ο μυς ενώνεται με τον τένοντα, εκεί ακριβώς που οι κολλαγόνες ίνες των τενόντων προσφύονται στο άκρο των κυρίως μυϊκών ινών.

Η κατασκευή των τενόντιων οργάνων του Golgi είναι απλούστερη από εκείνη των μυϊκών ατράκτων. Από τη λεπτή κάψα, το έλυτρο που τους περιβάλλει ξεκινούν συνδεδεμένα πέταλα τα οποία διαιρούνται εσωτερικά σε πολλά επιμήκη διαμερίσματα. Τα όργανα του Golgi. Το όργανο του Golgi φέρνει μια ομάδα από τενόντια ινίδια από τα διάκενα των οποίων διέρχονται λεπτές αισθητικές απολήξεις. Το τενόντιο όργανο του Golgi δέχεται μια εμμύελη αισθητική ίνα τύπου Ιβ που ανήκει στον τρίτο τύπο ιδιοδεκτικών ινών η οποία χάνει το μυελώδες έλυτρο της με την είσοδό της μέσα στο όργανο όπου δίνει ένα πλούσιο δίκτυο τελικών απολήξεων.

Τόσο η μορφολογία όσο και η εντόπιση των τενόντιων οργάνων δεν επιτρέπουν στις αντίστοιχες νευρικές απολήξεις των Ιβ ινών να ενεργοποιούνται από την μεταβολή του μήκους στο μήκος του υποδοχέα. Αντίθετα οι απολήξεις αυτές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην **τάση** που αναπτύσσεται στα τενόντια ινίδια των οργάνων.

Η αντίδραση των απολήξεων των τύπου Ιβ ινών στις μεταβολές της τάσεως που αναπτύσσονται στον υποδοχέα είναι **αναλογοδιαφορική**. Η συχνότητα δηλαδή παραγωγής των ώσεων στις ίνες αυτές εξαρτάται τόσο από την **ταχύτητα μεταβολής** όσο και από το βαθμό της **στατικής τάσεως** που αναπτύσσεται στον υποδοχέα κάθε χρονική στιγμή.

Γενικότερα το πρότυπο της αντίδρασης των ινών τύπου Ιβ στις μεταβολές της τάσεως είναι όμοιο με το πρότυπο της αντιδράσεως των νευρικών ινών τύπου Ια στις μεταβολές του μήκους,

Αναλυτικότερα η παθητική διάταση του μυός μέσα σε φυσιολογικά πλαίσια ενώ αυξάνει το μήκος του δεν επηρεάζει αισθητά την τάση που αναπτύσσεται στα διάφορα στοιχεία του και ως εκ τούτου δε διεγείρει και τα τενόντια όργανα. Αντίθετα τα τενόντια όργανα διεγείρονται κυρίως μετά τη μυϊκή σύσπαση εμφανίζοντας ιδιαίτερη ευαισθησία στην ενεργητική τάση που αναπτύσσεται στον μυ. Μάλιστα τα τενόντια όργανα διεγείρονται εντονότερα

από μια ισομετρική σύσπαση παρά από μία αντίστοιχη ισοτονική συστολή επειδή η τάση που αναπτύσσεται στην πρώτη περίπτωση είναι μεγαλύτερη από τη δεύτερη.

Τα τενόντια όργανα ελέγχουν τόσο την απόλυτη τιμή της τάσεως όσο και την ταχύτητα με την οποία αυτή αναπτύσσεται.

Η διέγερση των τενόντιων οργάνων προκαλεί αύξηση του ρυθμού παραγωγής των ώσεων στις ίνες τύπου Ιβ οι οποίες με την μεσολάβηση ανασταλτικών και διεγερτικών ενδιάμεσων νευρώνων αντίστοιχα αναστέλλουν τους α-κινητικούς νευρώνες του αγωνιστή μυ και διεγείρουν τους ανάλογους νευρώνες των ανταγωνιστών του.

Το σύστημα των τενόντιων οργάνων αποτελεί μια συσκευή που λειτουργεί μέσα στο πλαίσιο του κυκλώματος των α-κινητικών νευρώνων η οποία μετράει την τάση που αναπτύσσεται σε ένα μυ και τον προστατεύει (αποτρέποντας την υπέρμετρη ανάπτυξή της) από μια ενδεχόμενη θλάση ή ρήξη του.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΚΩΣΗΣ

9. Γενικά

Οι τραυματισμοί στη μυοτενόντια περιοχή αποτελούν μια από τις συνηθέστερες καταστάσεις που αντιμετωπίζουν οι γιατροί οι ασχολούμενοι με τις αθλητικές κακώσεις. Ως μυϊκές κακώσεις θεωρούμε το σύνολο των προβλημάτων που υφίσταται ένας μυς ή ομάδα μυών εξ' αιτίας κόπωσης ή τραυματισμού. Οι μυϊκές κακώσεις διακρίνονται:

1) Λειτουργικές, που προέρχονται κατά βάση από υπερφόρτιση της μυϊκής ομάδας και εμφανίζονται κυρίως ως μυϊκές κράμπες και μυϊκές θλάσεις. **Μυϊκή κράμπα** είναι η έντονη παθολογική επώδυνη σύσταση ενός μυ και στιγμιαία ανικανότητα του να χαλαρώσει. Βασική αιτία είναι η συσσώρευση μεγάλης ποσότητας γαλακτικού οξέος στις μυϊκές ίνες. Μυϊκή θλάση μπορεί να ορισθεί η ρήξη (μερική, συνηθέστερα, ή ολική) των μυϊκών ινών. Παρόλη τη συχνότητα των μυϊκών θλάσεων, λίγες πληροφορίες έχουμε για την παθοφυσιολογία τους.

2) Μηχανικές, που αφορούν βλάβες από απ' ευθείας τραυματισμό του μυ ή της μυϊκής ομάδας. Στις περιπτώσεις αυτές το βασικό χαρακτηριστικό είναι εκτεταμένο οίδημα στην πληγωμένη περιοχή.

Η κλινική και εργαστηριακή έρευνα σε ό,τι αφορά στους τραυματισμούς των μυών είναι περιορισμένη, αν και σε αρκετά σπορ το 50% όλων των τραυματισμών είναι μυϊκές θλάσεις και αποτελούν τις δυο κύριες αιτίες αποχής από την άθληση. Ο μηχανισμός του τραυματισμού είναι δυνατό να προκληθεί μόνο με δυο τρόπους:

Άμεση επαφή. Συνήθως αυτός ο τραυματισμός παρουσιάζεται σε αθλήματα όπου υπάρχει επαφή του αθλητή με τον αντίπαλο και πολλές

φορές η έκταση βλάβης ποικίλει ανάλογα με το σπορ ή τον εξοπλισμό του αθλητή. Αποτέλεσμα του τραυματισμού είναι η ύπαρξη αιματώματος, αποτέλεσμα του τραυματισμού-ρήξεως αρκετών αιμοφόρων αγγείων στην επιφάνεια των μυών. Χαρακτηριστική σημειολογία στις περιπτώσεις τέτοιου τύπου αιματώματος είναι η ύπαρξη έντονου οιδήματος, πόνου και αδυναμία μυϊκής σύσπασης στην περιοχή.

Διάτασης. Συνήθης συμπτωματολογία του τραυματισμού σε τέτοιες περιπτώσεις παρουσιάζεται σε αθλήματα που δεν υπάρχει άμεση επαφή-πλήξη του αθλητή με τον αντίπαλο. Ασκούνται έτσι ανάλογα με την φυσιολογία του αθλήματος δυνάμεις ευελκισμού στην μυϊκή γαστέρα με αποτέλεσμα τον τραυματισμό-ρήξη των μυών που μπορεί να γίνει είτε στην γαστέρα του μυ, είτε στην μυοτενόντια σύναψη. Τα χαρακτηριστικά της βλάβης σε αυτή την περίπτωση είναι μικρότερα σε ένταση από την προηγούμενη. Συνυπάρχουν όμως και εδώ ο έντονος μυϊκός σπασμός, το αιμάτωμα (μικρότερου βαθμού) και η έντονη ευαισθησία της τραυματισμένης περιοχής.

Μυϊκές θλάσεις

10.1. Γενικά

Η μυϊκή θλάση προκαλείται από άμεσο ή έμμεσο τραύμα, οφειλόμενο σε πλήξη ή υπερβολική έλξη. Ανάλογα με τον αριθμό των μυϊκών ινών που έχουν σπάσει οι θλάσεις διακρίνονται σε 1^ο βαθμού, 2^ο βαθμού και 3^ο βαθμού.

1^ο βαθμού: Έχουμε ρήξη μεγάλου αριθμού μυϊκών ινών (5% περίπου). Δεν υπάρχει περιορισμός της δύναμης του μυός αλλά μια χαμηλού βαθμού διαδικασία φλεγμονή, δημιουργία μικροοιδήματος κ ύπαρξη πόνου επειδή το οίδημα που δημιουργείται ερεθίζει τις νευρικές απολήξεις.

2^ο βαθμού: Έχουμε ρήξη μεγαλύτερου μέρους μυϊκών ινών. Τα συμπτώματα είναι πόνος στην στιγμή του τραυματισμού, δημιουργία οιδήματος.

3^ο βαθμού: Έχουμε πλήρη ρήξη των μυϊκών ινών με ταυτόχρονη ρήξη αιμοφόρων αγγείων και εκτεταμένο αιμάτωμα στην περιοχή. Υπάρχει οξύς πόνος στην αρχή και το μέρος έχει πλήρη λειτουργική ανικανότητα.

α) Άμεση πλήξη

Απευθείας κτύπημα και τραυματισμός ενός μυός είναι πολύ συνήθης στα ομαδικά αθλήματα όπου υπάρχει επαφή μεταξύ των παικτών (εικόνα 4). Ο τραυματισμός προκαλεί έντονο πόνο και ανικανότητα και εξαρτάται από την ένταση του κτυπήματος και τον αριθμό των μυϊκών ομάδων που συμμετέχουν σε αυτόν. Μεγάλο αιμάτωμα στην περιοχή της βλάβης είναι το αποτέλεσμα μιας τέτοιας θλάσης(εικόνα 5) και οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη μεγάλης

αιμάτωσης στους μυς κατά τη διάρκεια της άθλησης. Η αντιμετώπιση αυτού του είδους των θλάσεων έχει ως αντικείμενο τον περιορισμό του δημιουργηθέντος αιματώματος και τη θεραπεία της τοπικής φλεγμονής. Φαίνεται ότι η μακροχρόνια ακινησία του σκέλους βλάπτει και ότι είναι αποδοτικότερη η γρήγορη κινητοποίηση.

β) Διατατικές θλάσεις

Όταν η ενέργεια που εξασκείται στο σκελετικό μυ κατά τη φάση της διάτασης ξεπερνά το όριο αντοχής του, προκαλεί μερική ή και ολική ρήξη αυτού (εικόνα 6). Είναι πλέον αποδεδειγμένο στο φυσιολογικό μυ ότι η ρήξη συμβαίνει σχεδόν πάντα στη μυοτενόντια σύνδεση, το σημείο δηλαδή συνδέσεως των μυϊκών ινών με τον τένοντα (εικόνα 7). Συνήθως στο διατατικό τραυματισμό του μυός προκαλείται μερική ρήξη στη μυοτενόντια σύνδεση. Αποτέλεσμα της ρήξης αυτής είναι η δημιουργία αιματώματος, η συγκέντρωση φλεγμονωδών στοιχείων και κατόπιν η προσπάθεια ανοικοδόμησης της φυσιολογικής μυϊκής υφής (εικόνα 8). Σε γενικές γραμμές η ακολουθία των γεγονότων στη μυϊκή επούλωση είναι καταρχήν η εκφύλιση και η απαλλαγή από τα τραυματισμένα ιστικά στοιχεία, ο πολλαπλασιασμός και η εποίκηση από εξειδικευμένα μυϊκά κύτταρα, η επανανεύρωση και η προσπάθεια να αφομοιωθεί ο νέος μυϊκός ιστός και να εναρμονισθεί με την κατασκευή και λειτουργία του ήδη υπάρχοντος και μη τραυματισθέντος μυϊκού ιστού.

10.2. Επιβαρυντικοί παράγοντες θλάσεων

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες επιβαρυντικοί για τη δημιουργία μυϊκής θλάσης. Ο μυς μπορεί να είναι κακώς προετοιμασμένος λόγω κακής εκγύμνασης ή πλημμελούς προθέρμανσης. Ο μυς μπορεί να είναι αδύναμος λόγω προηγούμενου τραυματισμού και πλημμελούς αποκατάστασης. Ο μυς μπορεί να έχει αναπτύξει ουλώδη ανελαστικό ιστό στο σημείο προηγούμενης θλάσης. Ο μυς μπορεί να έχει υπερφορτωθεί και να έχει φθάσει σε μεγάλο σημείο κόπωσης (εικόνα 1).

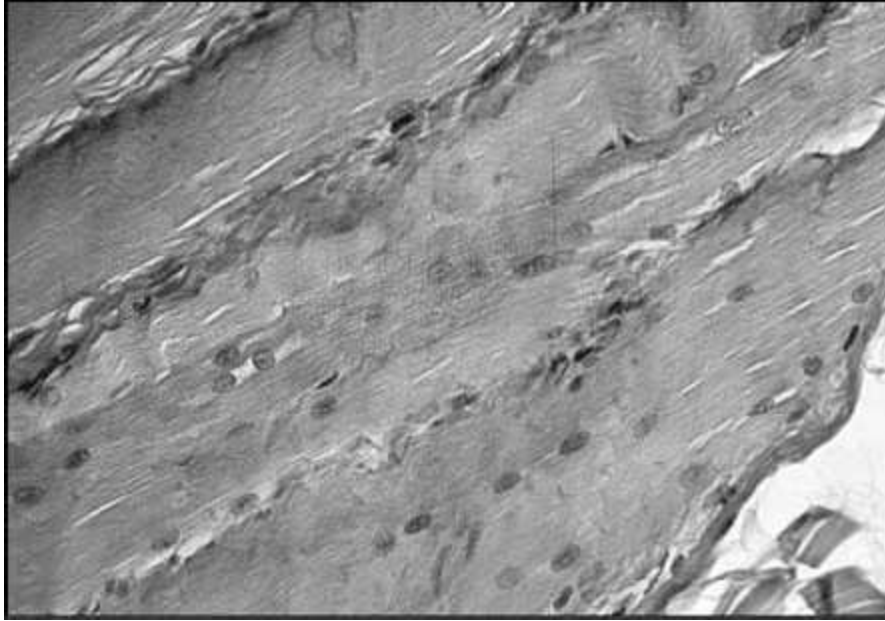


Εικόνα 1 : Μεγάλη μυϊκή κόπωση: προδιαθεσικός παράγοντας για θλάσεις.

Ακόμα οι σφικτοί μύες ή μύες εκτεθειμένοι σε ψύχος τραυματίζονται ευκολότερα. Επιπλέον αίτια των μυϊκών κακώσεων μπορεί να είναι οι αυξημένες αγωνιστικές απαιτήσεις. Ο έντονος ρυθμός προπονήσεων μετά από διακοπές ή τραυματισμό. Ο πολύ υψηλός όγκος έργου σε μέγιστη ή υπομέγιστη ένταση σε συνδυασμό με συχνές αλλαγές στο καθημερινό προπονητικό πρόγραμμα. Επίσης ο ακατάλληλος αγωνιστικός χώρος και ο τρόπος ζωής του αθλητή (αϋπνεία, αλκοόλ, ανεπαρκείς διατροφή, αύξηση βάρους κλπ) μπορούν να προκαλέσουν κάποια μυϊκή κάκωση.

10.3. Επιπλοκές

Επιπλοκές μετά από μυϊκή θλάση συνήθως συμβαίνουν σε περιπτώσεις ανεπαρκούς ή ελλιπούς θεραπείας. Αφορούν δε τον αυξανόμενο σχηματισμό ουλώδους ιστού στην περιοχή της θλάσης (**εικόνα 2**), τη δημιουργία εγκυστωμένου αιματώματος και τη δημιουργία οστικού ιστού (οστεοποιός μυοσίτις) που πολλές φορές οδηγεί στην περιορισμένη λειτουργικότητα του μυός και της άρθρωσης στην οποία επενεργεί. Η χειρουργική θεραπεία είναι συνήθως η μέθοδος επιλογής στις περιπτώσεις αυτές.



Εικόνα 2 : Η αυξημένη δημιουργία ουλώδους συνδετικού ιστού (πράσινο χρώμα) μετά από μυϊκές θλάσεις περιορίζει τη λειτουργικότητα του μύος και κατά συνέπεια της παρακείμενης άρθρωσης.

ΑΙΜΑΤΩΜΑΤΑ(Σχηματισμός και επέκταση)

11.1 Αιτίες

Έχουν αναφερθεί πολλές αιτίες , αλλά κυριότερη αιτία που προκαλεί εκτεταμένο αιμάτωμα είναι αυτή της ρήξης 3^{ου} βαθμού του μυοτενόντιου υλικού του συνδέσμου ή η κάκωση των οστών (κατάγματα) όπου υπάρχει άφθονη έκχυση αίματος από αιμοφόρα αγγεία.

Όταν το αιμάτωμα που δημιουργήθηκε δεν είναι δυνατόν να απορροφηθεί, περιβάλλεται τότε από ινώδη μεμβράνη σχηματίζοντας αιματική κύστη. Επίσης πολλές φορές οφείλεται και στην αδιαφορία του αθλητή να γνωστοποιήσει στον υπεύθυνο ιατρό την κατάσταση που δημιουργήθηκε και τις ενοχλήσεις που αισθάνεται.

11.2 Επιρρεπείς μύες

Εμφανίζεται σε μύες που εκτίθενται και λειτουργούν ως βασικοί, στα περισσότερα σπορ. Τέτοιοι μύες είναι ο τετρακέφαλος μηριαίος, οι προσαγωγοί, ο γαστροκνήμιος και οι καμπήρες του γόνατος.

11.3 Συμπτώματα

Κυριότερα συμπτώματα των ευμεγεθών αιματωμάτων είναι:

- Η ευαισθησία της περιοχής
- Η παρατεταμένη ενόχληση, λόγω ογκώματος
- Η μειωμένη κινητικότητα του μέλους και πιθανόν η κατάργησή της
- Η δημιουργία μη ευνοϊκών συνθηκών για τη φυσιολογική απορρόφηση του από τον οργανισμό
- Η δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για μόλυνση και φλεγμονή, Ιατρική αγωγή: Το κυστοποιηθέν αιμάτωμα θα πρέπει να αφαιρεθεί με μία ή δύο παρακεντήσεις κάτω από αυστηρές άσπυτες συνθήκες. Στης συνέχεια χρειάζεται άγρυπνη παρακολούθηση από τον υπεύθυνο αθλίατρο.

Τετανική Σύσπαση (Κράμπα)

12.1 Γενικά

Με αναφορά στον όρο κράμπα έχει καθιερωθεί να λέγεται η κατάσταση εκείνη των μυών κατά την οποία βρίσκονται σε συνεχή και επώδυνη σύσπαση. Αυτός ο σπασμός των μυών ή οι κράμπες είναι πολύ συχνό παράπονο των αθλητών. Η επώδυνος αυτή σύσπαση δύναται να αφορά ένα μυ αλλά μερικές φορές και ολόκληρη ομάδα συναγωνιστών μυών.

Αίτια:

Πραγματικά, η αιτιολογία και τα παθολογικά χαρακτηριστικά είναι συγκεχυμένα. Από την πολύχρονη εμπειρία των αθλητών, των προπονητών και των θεραπευόντων ιατρών διαπιστώθηκε ότι:

1. Η μυική σύσπαση συμβαίνει άλλοτε απότομα και άλλοτε προειδοποιεί.
2. Είναι συνήθης κατά τον ψυχρό καιρό ή μέσα στο νερό. Οι αλλαγές θερμοκρασίας ξαφνικό ψύχος ή ξαφνική απότομη υψηλή θερμοκρασία μπορεί εξίσου να είναι υπεύθυνες για την κράμπα. Οι συνθήκες μιας δίαιτας, η χειροτέρευση της τοπικής κυκλοφορίας από κάποια πίεση(στενά πιεστικά ρούχα ή ελαστική επίδεση) ευνοούν την πρόκληση κράμπας και η υπερκόπωση δημιουργεί τέτοιες συνθήκες.
3. Είναι δυνατόν να συμβεί από μία απότομη κίνηση ή εκκίνηση αθλητή, ή μετά από μεγάλη και παρατεταμένη προσπάθεια.
4. Οι αθλητές που αποβάλλουν μεγάλη ποσότητα ιδρώτα χωρίς να έχουμε προηγουμένως λάβει δισκία χλωριούχου νατρίου(NaCl), παθαίνουν συχνότερα και εντονότερα κράμπες.
5. Οι αθλητές που κάνουν κατάχρηση καφέ, αλκοόλ κ.λ.π.
6. Παρουσιάζεται περισσότερο σε άτομα-αθλητές που διακατέχονται από άγχος και έντονη ψυχολογική πίεση δηλαδή ότι έχει σχέση με νευρική ή νευρομυική βάση.
7. Έχει σχέση με την εξουδετέρωση της ακετυλοχονινης που εκκρίνεται στις τελικές κινητικές πλάκες και για την εξουδετέρωση της χρειάζεται η χολινεστεράση.

8. Η συγκέντρωση διαφόρων καματογόνων προϊόντων της ανταλλαγής της ύλης των ιστών(γαλακτικό οξύ) ή η έλλειψη ορισμένων ηλεκτρολυτών(χλωριούχα), φαίνεται ότι δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για κράμπα.

12.2 Επιρρεπείς μύες

Ορισμένες μυϊκές ομάδες ή ανεξάρτητες μύες είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς στις κράμπες, όπως

- Οι οπίσθιοι κνημιαίοι μύες(γαστροκνήμιος-υποκνημίδιος).
- Οι οπίσθιοι μηριαίοι (δικέφαλος, ημιτενοντώδης, ημιωμενώδης).
- Οι καμπτήρες των δακτύλων του άκρου ποδιού και χεριού.
- Οι ορθοί κοιλιακοί.
- Οι μύες στην περιοχή του λαιμού(στερνοκλειδωματοειδής).
- Οι μύες στην περιοχή της πλάτης(τραπεζοειδής, ρομβοειδής, ανελκτήρας της ωμοπλάτης).
- Ο τένοντας του ιγνυακού.
- Γενικά οι μύες που σηκώνουν βάρη(ραχιαίοι)

12.3 Συμπτώματα

- Η σύσπαση, πολλές φορές, είναι τόσο έντονη, ώστε οι αθλητές καταλαμβάνονται από δυνατό πόνο σαν να έχουν υποστεί μεγάλη μυϊκή ρήξη.
- Η έντονη σύσπαση δεν επιτρέπει κίνηση όχι μόνο του μέλους ή της περιοχής που εκδηλώθηκε, αλλά επιπρόσθετα μειώνει την αγωνιστική δραστηριότητα τόσο κατά τον χρόνο που ενεργεί όσο και μετά την υποχώρηση της.
- Ρήξη μυϊκών ινών ανάλογα με τον βαθμό σύσπασης και με την προσπάθεια συνέχισης της δραστηριότητας ή λύσης της κράμπας.
- Η έντονη σύσπαση με ρήξη ινών αφήνει να εκδηλωθούν φαινόμενα οιδήματος και αιματώματος από την αιμορραγία. Ιατρική αγωγή: Δεν έχει αποδειχθεί ότι κάποια συμβουλή είτε στο στάδιο της πρόληψης είτε μετά την εκδήλωση επιφέρει θετικά αποτελέσματα. Η χορήγηση φαρμάκων όπως κινίνη ή μεθενοξανόλη και άλλων μυοχαλαρωτικών έχουν κάποια επενέργεια.

Μηχανισμός αποκατάστασης

13.1. Γενικά

Παρόλο το γεγονός ότι έχει γίνει ικανοποιητικός αριθμός ερευνών για την αντίδραση του μυός σε τραυματισμούς σε διάφορα πειραματικά μοντέλα, τα ευρήματα τέτοιων εργασιών δεν έχουν δημοσιευθεί σε αθλητικά ιατρικά περιοδικά. Σε αντίθεση, η γενική παθολογική διαδικασία που περιλαμβάνει την αρχική αντίδραση και τον μηχανισμό επούλωσης των μαλακών ιστών (όχι

συγκεκριμένα των μυών) περιγράφεται αρκετά συχνά. Ακόμα και τα κείμενα που αναφέρονται στην παθολογία των μυών δεν αναφέρονται αρκετά στην συγκεκριμένη διαδικασία που περιλαμβάνει την αντίδραση σε έναν μυϊκό τραυματισμό.

Διάφοροι συγγραφείς χρησιμοποιούν διαφορετική ορολογία για να περιγράψουν τις φάσεις την γενικής παθοφυσιολογικής αντίδρασης των μαλακών ιστών στον τραυματισμό. Αυτές οι φάσεις περιγράφονται σύντομα παρακάτω.

13.2. 1^η φάση(Φάση φλεγμονής/ Φάση αντίδρασης) :

Αυτή η φάση χαρακτηρίζεται από την αρχική κυτταρική κ υδατοειδή αντίδραση στον τραυματισμό του ιστού. Δημιουργείται άμεσα αιμορραγία λόγω της ρήξης των τριχοειδών αγγείων. Η αρχική αγγειοσυστολή αντικαθιστάται από αγγειοδιαστολή μέσα σε λίγα λεπτά. Τα στοιχεία που βρίσκονται στο αίμα μετά από την υδατοειδή αντίδραση είναι υπεύθυνα για την αγγειοδιαστολή, για τον σχηματισμό θρόμβου, την χημειοταξίνη και την φαγοκυττάρωση. Τα συστήματα που εμπλέκονται είναι η κίνηση, ο ενδογενής πηκτικός μηχανισμός, η ινωδολυσίνη και το συμπληρωματικό σύστημα. Η κυτταρική αντίδραση περιλαμβάνει μαστικά κύτταρα (δημιουργία ισταμίνης και σεροτονίνης που έχει σαν αποτέλεσμα την διαστολή των αγγείων), κοκκιοκύτταρα (δημιουργία προσταγλαδίνης που έχει σαν αποτέλεσμα την αγγειοδιαστολή και την χημειοταξία) και μακροφάγα (χημειοταξία και φαγοκυττάρωση).

13.3. 2^η φάση (Φάση ινωπλασίας/ Φάση επούλωσης/ Φάση αναγέννησης)

Η δράση των μακροφάγων και των κοκκιοκυττάρων έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση των κυτταρικών υπολειμμάτων και των ινώδη θρόμβου. Δημιουργούνται νέα αγγεία με την βοήθεια του υπάρχοντος δικτύου των τριχοειδών αγγείων. Ο θρόμβος αντικαθίσταται από κοκκιώδη ιστό ο οποίος σχηματίζει ένα συνδετικό ιστό που περιέχει και αγγεία. Ο σχηματισμός ινώδους ιστού έχει ως αποτέλεσμα την σύνθεση και την εναπόθεση του συνδετικού κολλαγόνου ιστού.

13.4. 3^η φάση (Φάση αποκατάστασης)

Η φάση αυτή περιλαμβάνει την ενδυνάμωση του κολλαγόνου ιστού και την σύνθεση του στην κατεύθυνση που ο ιστός φορτίζεται .

Ενώ οι παθολογικές αντιδράσεις των διαφόρων τύπων μαλακού ιστού είναι παρόμοιες(ανεξάρτητα από το είδος του ιστού) υπάρχουν σημαντικές διαφορές που συχνά παραβλέπονται. Σε ότι αφορά τους μύες, λείπει η ικανότητα του

τραυματισμένου μυός να αναγεννήσει τα συστατικά στοιχεία του. Ενώ αυτό ήταν γνωστό από τις αρχές του 1865, το γεγονός αυτό όχι μόνο παραβλέπεται αλλά ακόμα και ορισμένες φορές δεν απορρίπτεται.

Ο Reid παρείχε ένα από τα πολλά σχέδια που αναφέρονται αποκλειστικά στον μυϊκό τραυματισμό και συμπεριλαμβάνουν την αναγεννητική ικανότητα.

1. **Περιτραυματική περίοδος** : Αιμορραγία, μυοϊνιδιακή αντίδραση, κυτταρική διάσπαση, οίδημα, χημειοταξία
2. **Έντονη φλεγμονή** : Ύπαρξη φλεγμονής και μακροφάγων, οίδημα.
3. **Φαγοκυττάρωση** : Έντονη φαγοκυτταρική δραστηριότητα, μηχανική αδυναμία του μυός, σημαντικό οίδημα
4. **Αρχική επούλωση** : Υπερπλασία ινωβλαστών, σχηματισμός κολλαγόνου, αναδημιουργία των γύρω κυττάρων και των μυϊκών ινών
5. **Κυρίως επούλωση** : Πλήρης ένωση των μυϊκών ινών. Επανέρχεται η ικανότητα συστολής του μυός(αν και ακόμα είναι περιορισμένη λόγω του οιδήματος και του πόνου), η τάση είναι ακόμα χαμηλή
6. **Αποκατάσταση της λειτουργίας** : Ωρίμανση του κολλαγόνου, αύξηση της τάσης.

Η διάρκεια αυτών των φάσεων εξαρτάται από την σοβαρότητα του τραυματισμού και την παθοφυσιολογία των διαφόρων μυϊκών ινών.

Ειδικό Μέρος

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

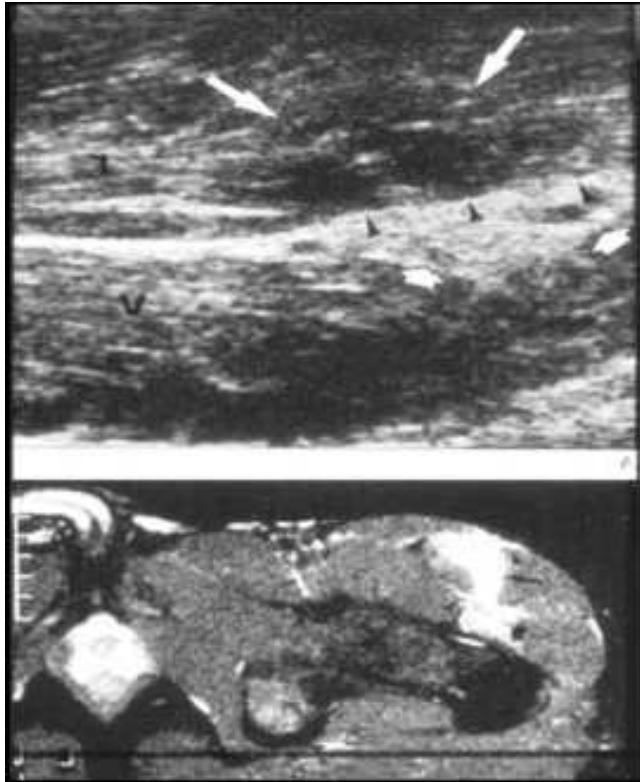
Η κλινική εξέταση αποτελεί το βασικό διαγνωστικό μέσο στις μυϊκές κακώσεις. Η αξιολόγηση αποτελεί ένα σημαντικότατο τμήμα της προσέγγισης. Με τον όρο αυτό εννοούμε την συστηματική, επιλεκτική συλλογή και ταξινόμηση των απαραίτητων στοιχείων και πληροφοριών που θα μας οδηγήσουν στην εξαγωγή συγκεκριμένων συμπερασμάτων.

Κατά τους Russell και Rosenbaum υπάρχουν πέντε κύριοι λόγοι για τους οποίους είναι απαραίτητη η αξιολόγηση. Αυτοί είναι:

1. Η εξατομίκευση της θεραπείας πάνω στον συγκεκριμένο ασθενή
2. Η έρευνα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της κάθε τεχνικής
3. Η αξιολόγηση του προγράμματος θεραπείας
4. Η ανάγκη για εξέλιξη κατά την πορεία του θεραπευτικού προγράμματος
5. Η δυνατότητα ιεράρχησης των στόχων της παρέμβασης του θεραπευτή

Κατά την αξιολόγηση ελέγχουμε αν υπάρχει πόνος, αν έχει δημιουργηθεί οίδημα ή φλεγμονή. Επίσης ελέγχουμε το εύρος της κίνησης στο μέλος που έχει τραυματιστεί.

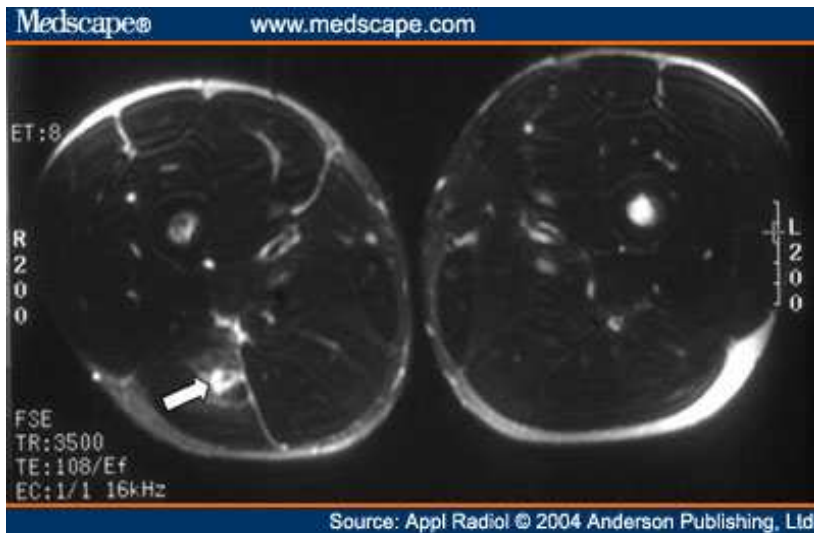
Η αξιολόγηση γίνεται με διάφορα εργαλεία αξιολόγησης. Στην πρώτη συνεδρία ο φυσιοθεραπευτής παίρνει το ιστορικό του ασθενή. Μέσα απ την λήψη του ιστορικού ο θεραπευτής βλέπει πως έγινε ο τραυματισμός και αν είχε τραυματιστεί στο ίδιο σημείο και προηγούμενη φορά αλλά καταγράφει και τα συμπτώματα που έχει ο ασθενής. Εκτός απ το ιστορικό ο θεραπευτής παρατηρεί οπτικά άλλα κ ψηλαφεί το σημείο που αισθάνεται πόνος ο ασθενής για να δει αν υπάρχει κάποιο οίδημα στην περιοχή του τραυματισμού. Για να προσδιορισθεί η μυϊκή ομάδα που έχει υποστεί την κάκωση ο θεραπευτής δίνει διάφορα παραγγέλματα στον ασθενή για να εκτελέσει ελεύθερα ενεργητικά ορισμένες κινήσεις. Στην συνέχεια ο θεραπευτής εκτελεί παθητικά ορισμένες κινήσεις στην τραυματισμένη περιοχή για να προσδιορίσει το ευρος κίνηση που υπάρχει και αν ο περιορισμός της κίνησης ή ο πόνος οφείλονται σε μυϊκή κάκωση ή σε κάταγμα ή σε κάποιο πρόβλημα στην άρθρωση. Επειδή όμως πολλές φορές είναι δύσκολο να εντοπιστεί ακριβώς η μυϊκή ομάδα που έχει τραυματιστεί, το μέγεθος του τραυματισμού αλλά ο πιθανός χρόνος αποχής του αθλητή από την αγωνιστική δραστηριότητα τα τελευταία χρόνια την κλινική εξέταση συμπληρώνουν η χρήση του υπερηχογραφήματος αλλά και η χρήση της μαγνητικής τομογραφίας. (εικόνα 1, 2, 3, 4)



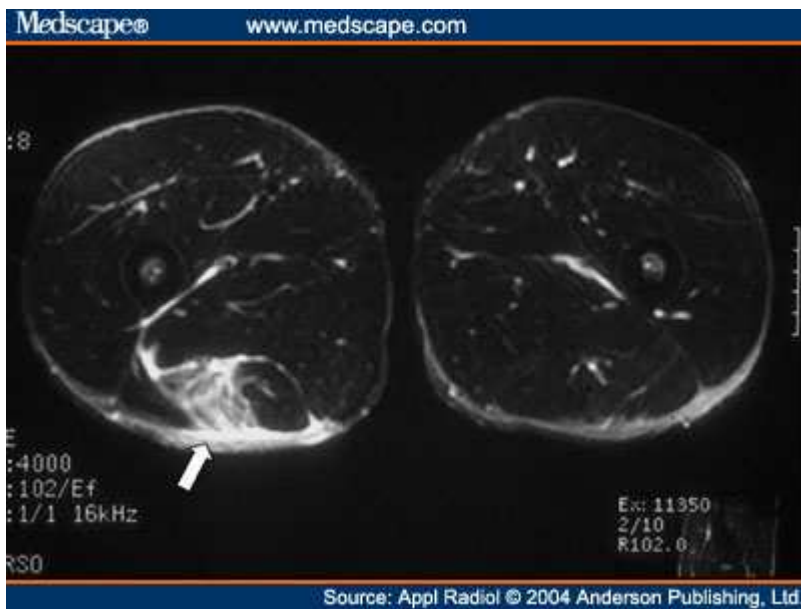
Εικόνα 1: Σημαντικά συμβάλλουν στην εκτίμηση της βαρύτητας της θλάσης το υπερηχογράφημα (πάνω) και η μαγνητική τομογραφία(κάτω).



Εικόνα 2: Θλάση 1^ο βαθμού στον δικέφαλο μηριαίο



Εικόνα 3: Θλάση 2^ο βαθμού στον δικέφαλο μηριαίο



Εικόνα 4: Θλάση 3^ο βαθμού στον δικέφαλο μηριαίο (πλήρης ρήξη)

Θεραπεία

Ο κυρίως στόχος την θεραπείας είναι να επιστρέψει ο αθλητής στην ενεργό δράση χωρίς να αισθάνεται πόνο και να είναι πλήρως λειτουργικός. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να δοθεί προσοχή στον περιορισμό της φλεγμονής και στην επαναφορά του φυσιολογικού εύρους κίνησης, της ελαστικότητας των μυών, της μυϊκής δύναμης και του συγχρονισμού των κινήσεων. Επιπλέον θα πρέπει να διατηρηθούν σε καλή κατάσταση τα μέρη του σώματος που δεν τραυματίστηκαν.

Σχεδιάζοντας ένα ατομικό θεραπευτικό πρόγραμμα, αρκετά επακόλουθα βήματα βοηθούν στον να αναγνωριστούν οι ανάγκες και η μεταχείριση των στόχων του ασθενούς.

- 1) Εκτίμηση του παρόντος επιπέδου λειτουργικότητας και δυσλειτουργίας από μετρήσεις της περιφέρειας , γωνιομετρική εκτίμηση, τεστ δύναμης, νευρολογική εκτίμηση, stress τεστ και λειτουργικές δραστηριότητες.
- 2) Οργανώνουμε και ερμηνεύουμε την εκτίμηση για να αναγνωρίσουμε τους παράγοντες πέρα από τα φυσιολογικά όρια του ασθενή.
- 3) Διατύπωση λίστας με τα προβλήματα του ασθενούς.
- 4) Θέτουμε μακροπρόθεσμους και βραχυπρόθεσμους στόχους.
- 5) Αναπτύσσουμε μια θεραπευτική αγωγή για να πετύχουμε αυτούς τους στόχους ενσωματώνοντας θεραπευτικές ασκήσεις και φαρμακευτική αγωγή.
- 6) Επιβλέπουμε τη θεραπευτική αγωγή και το πρόγραμμα των ασκήσεων.
- 7) Επανεκτιμούμε την πρόοδο της θεραπευτικής αγωγής και το πρόγραμμα των ασκήσεων.

1.1. Στόχοι θεραπείας

Οι στόχοι ενός προγράμματος αποκατάστασης χωρίζονται σε μακροπρόθεσμους και βραχυπρόθεσμους. Οι μακροπρόθεσμοι στόχοι είναι να επιστρέψει ο αθλητής στο επιθυμητό επίπεδο επιδόσεων στο τέλος του προγράμματος και οι βραχυπρόθεσμοι στόχοι είναι να αναπτυχθούν συγκεκριμένες δεξιότητες για να επιτευχθούν οι μακροπρόθεσμοι στόχοι. Οι μακροπρόθεσμοι στόχοι περιλαμβάνουν αμφοτερόπλευρα ίδιο εύρος κίνησης,

ελαστικότητα μυϊκή δύναμη και απόδοση στο συγκεκριμένο άθλημα. Οι βραχυπρόθεσμοι στόχοι είναι η εξάλειψη του πόνου, της φλεγμονής, του οιδήματος και του μυϊκού σπασμού. Όταν οι στόχοι καθοριστούν προσδιορίζουμε τις ασκήσεις και τα θεραπευτικά μέσα που θα χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθούν οι στόχοι.

5

6

6.2 ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΥΙΚΩΝ ΚΑΚΩΣΕΩΝ

2.1. Γενικά

Το θεραπευτικό πρόγραμμα χωρίζεται σε 4 στάδια:

1) **1^η Φάση: Ελέγχουμε την φλεγμονή**

Ελέγχουμε το στάδιο της φλεγμονής και ελαχιστοποιούμε τον ουλώδη ιστό με κρυοθεραπεία χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες αρχές(προστασία, περιορισμό της δραστηριότητας, πάγο, συμπίεση, ανύψωση). Δείχνουμε στον ασθενή τις τεχνικές της χαλάρωσης. Διατηρούμε το εύρος της κίνησης, την ελαστικότητα της άσκησης, τη δύναμη, την αντοχή και την κινητικότητα σε όλα τα μέλη του σώματος. Διατηρούμε την καρδιαγγειακή αντοχή.

2) **2^η Φάση: Αποκατάσταση της κίνησης**

Αποκατάσταση του ενεργητικού και του παθητικού εύρους μαζί με το 80% των φυσιολογικών άκρων. Αποκατάσταση της ελαστικότητας της άρθρωσης έτσι όπως παρατηρείται στο φυσιολογικό άκρο. Εφαρμογή ισομετρικών ασκήσεων ενδυνάμωσης στον τραυματισμένο άκρο. Εφαρμόζουμε λειτουργικές ασκήσεις χωρίς αντίσταση σύμφωνα με το φυσιολογικό πρότυπο κίνησης. Διατηρούμε την μυϊκή δύναμη, αντοχή και την λειτουργικότητα στους φυσιολογικούς μυς. Διατηρούμε την καρδιαγγειακή αντοχή.

3) **3^η Φάση: Μυϊκή επανεκπαίδευση**

Αποκατάσταση του ενεργητικού και παθητικού εύρους κίνησης στο τραυματισμένο άκρο. Αποκατάσταση της μυϊκής δύναμης, της αντοχής και της λειτουργικότητας χρησιμοποιώντας ισομετρικές, ισοτονικές και ισοκινητικές ασκήσεις. Αποκατάσταση της ιδιοδεκτικότητας με ασκήσεις κλειστής και ανοικτής κινητικής αλυσίδας. Διατηρούμε την καρδιαγγειακή αντοχή.

4) **4^η Φάση: Επιστροφή στις δραστηριότητες**

Βελτίωση της αντοχής, της μυϊκής δύναμης και λειτουργικότητας. Αποκατάσταση του συντονισμού και της ισορροπίας. Βελτίωση της καρδιαγγειακής αντοχής. Επιστροφή στην καθημερινή δραστηριότητα.

Φυσιοθεραπευτική αγωγή για θεραπεία μυϊκών θλάσεων

3.1. Γενικά

Η φυσικοθεραπευτική αγωγή εξαρτάται απ τον βαθμό της μυϊκής θλάσης(1^{ου}, 2^{ου}, 3^{ου}). Όσο πιο μεγάλου βαθμού είναι η θλάση τόσο πιο αργή θα είναι η αποκατάσταση. Οι πιο επιρρεπείς μύες είναι ο τετρακέφαλος, οι ισχιοκνημιαίοι, οι προσαγωγοί και ο γαστροκνήμιος.

3.2. 1^η Φάση(Ελεγχος της φλεγμονής)

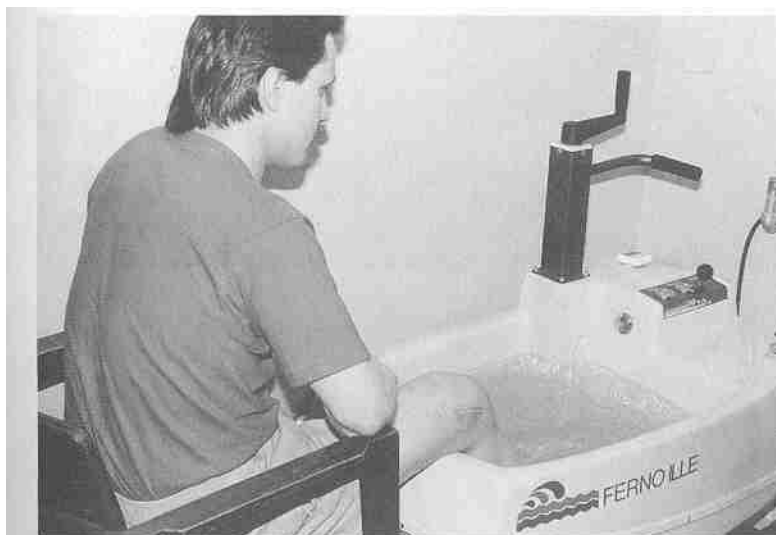
Η πρώτη φάση του προγράμματος θεραπείας ξεκινάει αμέσως μετά τον τραυματισμό. Ο κυρίως στόχος μας είναι να ελέγξουμε την φλεγμονή περιορίζοντας την αιμορραγία, το οίδημα, τον μυϊκό σπασμό και τον πόνο.

Η δημιουργία κολλαγόνου ιστού είναι μια φυσική διαδικασία της επιδιόρθωσης και της αναγέννησης του τραυματισμένου ιστού. Ο ιστός αυτός όμως είναι λιγότερο ανθεκτικός στις διατακτικές δυνάμεις απ τον αρχικό μυϊκό ιστό. Η διάρκεια της φλεγμονής είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την σταθερότητα και την λειτουργικότητα του ιστού. Όσο περισσότερο διαρκέσει η φλεγμονή τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να μη δημιουργηθεί δυνατός ιστός ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στην διάταση. Ακόμα η μακρόχρονη ακινησία μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία συμφύσεων στα αρθρώσεις που θα καθυστερήσει την επούλωση του τραυματισμού. Γι αυτό θα πρέπει να περιοριστούν τα συμπτώματα της φλεγμονής όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Για να πετύχουμε τον περιορισμό της φλεγμονής χρησιμοποιούμε παγοθεραπεία σε συνδυασμό με συμπίεση και ανύψωση του μέλους. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε την μείωση της κυκλοφορίας στην περιοχή και τον περιορισμό του οιδήματος. Ακόμα ο πάγος έχει αναλγητικά αποτελέσματα και βοηθάει στην μείωση του μυϊκού σπασμού.

Η εφαρμογή του πάγου θα πρέπει να είναι περιορισμένη σε διάρκεια(20 -30 λεπτά) διότι θα προκαλέσει δευτερογενή αγγειοδιαστολή και θα έχουμε αντίθετα αποτελέσματα από αυτά που θέλουμε. Στην εφαρμογή του πάγου περιλαμβάνεται μάλαξη της περιοχής με πάγο, εφαρμογή ψυχρών επιθεμάτων, χρήση ψυκτικού σπρέι, βύθιση του μέλους μέσα σε πάγο και χρήση δινόλουτρου με παγωμένο νερό(εικόνα 1). Η εφαρμογή του πάγου θα πρέπει να γίνεται κάθε 1/2 με 2 ώρες όταν ο είναι ξύπνιος και μπορεί να διαρκέσει από 1-3 μέρες μετά τον τραυματισμό του. Ο πάγος μπορεί να έχει απευθείας επαφή με το δέρμα αλλά είναι προτιμότερο να υπάρχει ανάμεσα ένα στρώμα υγρού ελαστικού επιδέσμου.

Ένας ελαστικός επίδεσμος μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό του οιδήματος, αλλά θα πρέπει να επιτρέπει την επέκταση σε περίπτωση που το δημιουργηθεί πρήξιμο. Ο ελαστικός επίδεσμος θα πρέπει να βγαίνει κατά την διάρκεια της νύχτας. Εκτός από τον πάγο και τον ελαστικό επίδεσμο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε *υπέρηχο* για την μείωση του οιδήματος. Επιπλέον τα ρεύματα *TENS* μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον περιορισμό του πόνου.

Επίσης εκτός από τα ρεύματα TENS χρησιμοποιούμε και διαδυναμικά (CP, DF, MF) και ιοντοφορά με voltaren για τον περιορισμό του πόνου. Ακόμα επειδή η ύπαρξη μυϊκού σπασμού μπορεί να προκαλέσει πόνο μπορούμε να χαλαρώσουμε τον μύ με την χρήση μηχανημάτων *Biofeedback* τα οποία σχετίζονται με την μυϊκή δραστηριότητα και μετατρέπει αυτήν την δραστηριότητα σε ηχητικά ή οπτικά σήματα.



Εικόνα 3: Χρήση δινόλουτρου για τον περιορισμό του οιδήματος

3.3. 2^η Φάση (Αποκατάσταση της κίνησης)

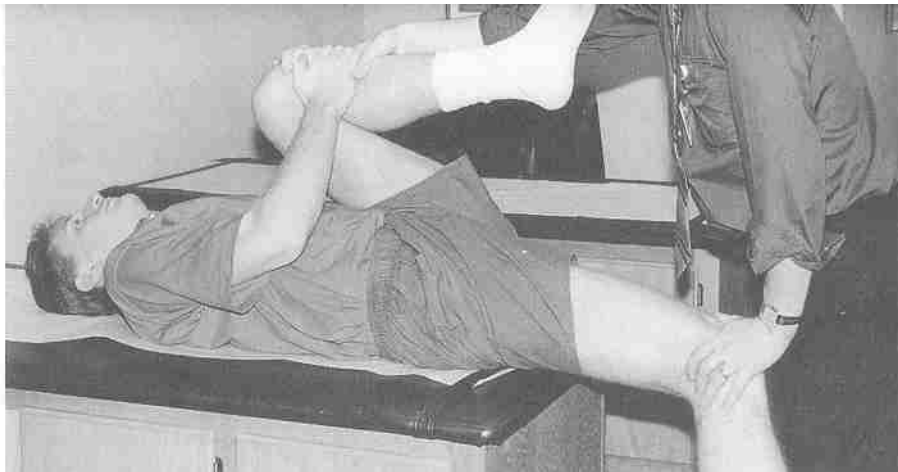
Αφού ελέγξουμε την φάση της φλεγμονής ξεκινάει αμέσως η 2^η φάση. Σε αυτή την φάση εστιάζουμε στην αποκατάσταση του εύρους κίνησης και της ελαστικότητας στην συγκεκριμένη περιοχή, αλλά και στην διατήρηση γενικά της κατάστασης του σώματος και της καρδιαγγειακής αντοχής. Αν ο ασθενής χρησιμοποιεί νάρθηκα τον αφαιρούμε κατά την διάρκεια της θεραπείας και της άσκησης. Στην συνέχεια μετά το τέλος την συνεδρίας τον επανατοποθετούμε για να στηρίξει και να προστατέψει την τραυματισμένη περιοχή. Πριν την άσκηση μπορούμε να κάνουμε εφαρμογή κρυοθεραπείας για την μείωση του υπάρχοντος πόνου ή θερμοθεραπεία, διαθερμίες και υπέρηχο για να θερμάνουμε τους ιστούς και να αυξήσουμε την τοπική κυκλοφορία του αίματος (εικόνα 2). Αφού γίνει η προθέρμανση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε *deep friction* για να διαλύσουμε τον ουλώδη ιστό. Η εξέλιξη αυτής της φάσης γίνεται σταδιακά με την αποκατάσταση του εύρους κίνησης. Η παρατεταμένη ακινητοποίηση του μυός τον οδηγεί να χάσει την ελαστικότητά του και να δημιουργηθούν βραχύνσεις που πιθανόν να περιορίζουν το εύρος κίνησης της άρθρωσης. Οι βραχυμένοι αυτοί μύες μπορούν να επιμηκυνθούν με παθητικές, ενεργητικές διατάσεις αλλά και με την χρήση ασκήσεων PNF.

Για να έχει αποτέλεσμα η χρήση της PNF προϋποθέτει οι ασκήσεις να γίνονται σε λειτουργικά κινητικά σχήματα και από σωστές θέσεις εκκίνησης. Ακόμα η PNF βοηθάει στην ανάπτυξη της μυϊκής συνέργειας

Οι διατάσεις χωρίζονται σε παθητικές οι οποίες γίνονται από τον θεραπευτή και σε μηχανικές που γίνονται με την βοήθεια κάποιας συσκευής. Ακόμα χωρίζονται σε στατικές και δυναμικές.



Εικόνα 4: Χρήση υπέρηχου για την μείωση του οιδήματος και της φλεγμονής



Εικόνα 5: Διάταση για την επιμύκνση των βραχυμενων μυών κ για την προετοιμασία τους για την άσκηση



Εικόνα 6: Διάταση ισchioκνημιαίων

3.4. **3^η Φάση(Μυϊκή επανεκπαίδευση)**

Η 3^η φάση επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της μυϊκής δύναμης, της αντοχής και της ισχύς στο τραυματισμένο άκρο σε σύγκριση με το υγιές. Ο ασθενής μπορεί να προχωρήσει στο 4^ο στάδιο της αποκατάστασης όταν έχουν επιτευχθεί οι παρακάτω στόχοι.

- 1) Το εύρος κίνησης στο τραυματισμένο άκρο να είναι ίδιο με του υγιούς
- 2) Η μυϊκή δύναμη, αντοχή και ισχύς να είναι ίδια ή περίπου ίδια με του υγιούς
- 3) Να μπορεί να εκτελέσει ασκήσεις προσομοίωσης του αθλήματος του με μικρή ή μέτρια αντίσταση.

3.4.1. **Μυϊκή δύναμη**

Η μυϊκή δύναμη είναι η ικανότητα του μυός ή της μυϊκής ομάδας να παράγει έργο σε μια μέγιστη προσπάθεια του είτε στατικά είτε δυναμικά. Η μυϊκή δύναμη μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας της αρχή της υπερφόρτωσης κατά την οποία φυσιολογικές βελτιώσεις γίνονται όταν το άτομο απαιτεί περισσότερα απ τους μυς του απ ότι απαιτεί φυσιολογικά. Η υπερφόρτωση επιτυγχάνεται τροποποιώντας την συχνότητα, την ένταση ή την διάρκεια του προγράμματος. Η συχνότητα αναφέρεται στον αριθμό της επανάληψης της άσκησης την ημέρα ή την εβδομάδα. Η ένταση αντικατοπτρίζει και την ενέργεια που χάνεται κατά την διάρκεια της άσκησης αλλά και τα ενεργειακά συστήματα που ενεργοποιούνται. Η διάρκεια αναφέρεται στον χρόνο ενός set. Η αύξηση της δύναμης εξαρτάται κυρίως από την ένταση της άσκησης και όχι από την μέθοδο της άσκησης που χρησιμοποιείται.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ασκήσεων για του μυϊκού συστήματος , οι οποίοι είναι στη διάθεση του θεραπευτή, όταν αποκαθιστά έναν ασθενή. Έως σήμερα υπάρχουν τύποι ασκήσεων για ένα πρόγραμμα συντήρησης ή αποκατάστασης. Οι 3 τύποι είναι οι εξής: Ισομετρικές – Ισοτονικές – Ισοκινητικές.

Ισομετρικές: Προκαθορισμένη ταχύτητα (0/sec)

Προκαθορισμένη αντίσταση.

Ισοτονικές: Ποικίλες ταχύτητες (περίπου ως 60/sec)

Προκαθορισμένη αντίσταση.

Ισοκινητικές: Προκαθορισμένη ταχύτητα(1/sec – 30/sec)

Δυναμική ταχύτητα προσαρμοσμένη αντίσταση.

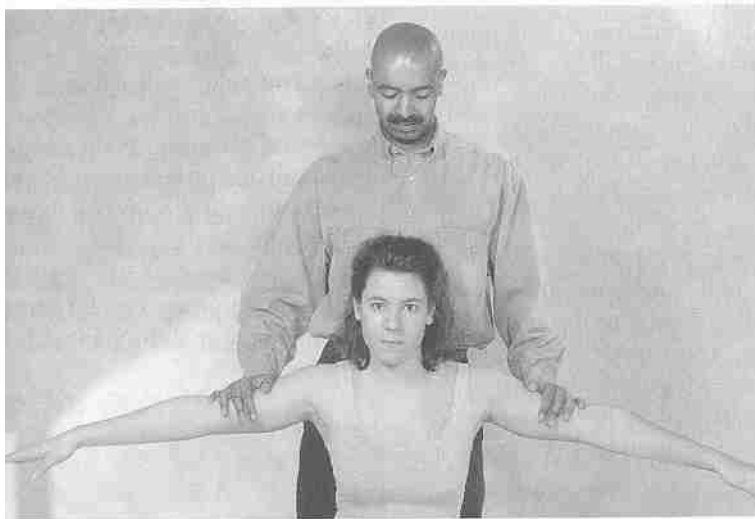
Επιπλέον μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ασκήσεις κλειστής ή ανοιχτής αλυσίδας. Ανεξάρτητα απ τον τύπο ασκήσεων που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να δουλέψουμε σε πιο υψηλό επίπεδο απ ότι συνήθως.

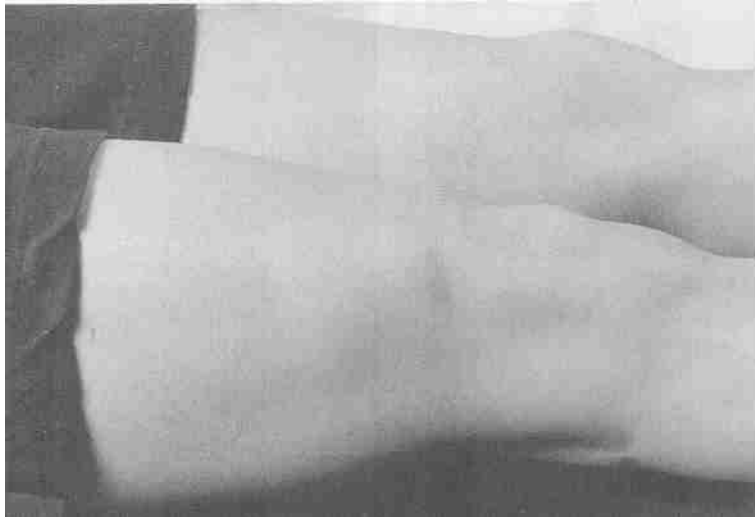
3.4.2. Μυϊκή αντοχή

Είναι η ικανότητα του μυός να αντιμετωπίζει την επαναλαμβανόμενη τάση σε μια μεγάλη περίοδο χρόνου. Η μυϊκή αντοχή κερδίζεται σηκώνοντας μικρά βάρη σε μικρές γωνίες σύσπασης με περισσότερες επαναλήψεις στο κάθε set ή με την χρήση ποδηλάτου ή με ασκήσεις μέσα σε νερό.

3.4.3. Μυϊκή ισχύς

Η μυϊκή ισχύς μπορεί να αναπτυχθεί όταν οι μύες συσπώνται ενάντια σε αντίσταση η οποία σταδιακά αυξάνει.





Εικόνα 7: Τρόποι εκγύμνασης με ισομετρικές ασκήσεις

3.5. Ισομετρικές ασκήσεις

Οι ισομετρικές ασκήσεις γίνονται με 0/sec, δηλαδή χωρίς καμία παρατηρούμενη κίνηση της άρθρωσης. Η παρατηρούμενη κίνηση που γίνεται με τις ισομετρικές ασκήσεις επιφέρει μια αύξηση του μεγέθους της γαστέρας του γυμναζόμενου μυός, καθώς οι μυϊκές ίνες συσπώνται και κονταίνουν. Η γωνιακή ταχύτητα είναι συνεχώς μηδενική συνεπώς αντίσταση ποικίλει με ένα και μόνο στόχο να θέτει υπό έλεγχο την εφαρμοζόμενη δύναμη, αλλά καμία λειτουργική κίνηση δεν είναι δυνατή

3.6. Ισοτονικές ασκήσεις

Οι ισοτονικές ασκήσεις ονομάζονται επίσης και ασκήσεις προοδευτικής αύξησης της αντίστασης ή ασκήσεις βάρους. Οι ισοτονικές ασκήσεις είναι δυνατόν να γίνουν μέσα από διάφορων ειδών μηχανήματα: ελεύθερα βάρη, υδραυλικά συστήματα (Hydra – Gym) και μηχανικά βάρη (Αετός++, Ναυτίλος+++, Universal ++++κ.λ.π.). Οι ισοτονικές ασκήσεις χωρίζονται στις μειομετρικές και στις πλειομετρικές μυϊκές συστολές.



Εικόνα 8: Άσκηση σε ισοκινητικό μηχάνημα

7 3.6.1. Μειομετρικές μυϊκές συστολές

Υποδηλώνουν ένα μάζεμα της γαστέρας του μυ όπου η έκφυση και η κατάφυση συμπλησιάζουν μεταξύ τους. Οι μυϊκές ίνες του μυ συσπώνται και κονταίνουν (+Hydra Fitness, Belton, Texas+++ Nautilus, Deland, Florida+++ Cybex, Ronkokoma, NY++++ Universal, Cobar Rapids, Iowa).

3.6.2. Πλειομετρική μυϊκή φόρτιση

Υποδηλώνει την επιμήκυνση της γαστέρας του μυός, όπου η έκφυση και η κατάφυση απομακρύνονται. Οι μυϊκές ίνες λόγω της ελαστικότητας τους τραβώνται και μακραίνουν με την πλειομετρική συστολή. Η περισσότερη δύναμη μπορεί να επιτευχθεί με τις πλειομετρικές συστολές. Οι κλινικές εφαρμογές αυτού είναι πάρα πολλές, όταν έχουμε να κάνουμε με έναν ασθενή ο οποίος δεν μπορεί να ξεκινήσει μια μειομετρική μυϊκή συστολή. Παράδειγμα θα μπορούσε να αποτελέσει η χρήση της άσκησης με ανύψωση του σκέλους με τεντωμένο γόνατο, σε ένα πρόγραμμα αποκατάστασης γόνατος. Αμέσως μετά από χειρουργείο και αφού και αφού ο ασθενής μπορεί να εκτελέσει σερ τετρακέφαλου, ασκήσεις μειομετρικές με ανύψωση του τεντωμένου σκέλους, είναι συχνά πολύ αποτελεσματικές για τον λαγονοψοϊτη.

Άσκηση επίσης μπορεί να γίνει είτε με το θεραπευτή να υποβοηθά την κάμψη του ισχίου, είτε με έναν ειδικό μηχανισμό ο οποίος θα επιτρέπει στον ασθενή να ασκείται μόνος του, σηκώνοντας το πόδι και κατόπιν πλειομετρικά να το κατεβάζει τεντωμένο.

3.7 Ισοκινητικές ασκήσεις

Υπάρχουν πολλοί τύποι ισοκινητικών προγραμμάτων οι οποίοι υπάρχουν στην βιβλιογραφία και κυμαίνονται από τις τελευταίες εργασίες του De Lorme (1), Mc Queen (2) και Oxford(3) και τις πρόσφατες του Knights(4). Επειδή πολλοί τρόποι υπάρχουν για την εκτέλεση των ισοκινητικών ασκήσεων (σετ, επαναλήψεις, ποσό βάρους κ.τ.λ.) υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ισοκινητικών προγραμμάτων για να διαλέξει κανείς.

Το πρόγραμμα του Knights Darpe είναι ένα από τα πιο αποτελεσματικά διότι εξειδικεύει τον υποβαλλόμενο σύμφωνα με τις λειτουργικές του ανάγκες. Η διαλειμματική άσκηση είναι ένας άλλος τρόπος ισοτονικών ασκήσεων.

Βασίζεται σε μια σειρά από σταθμούς με διάφορες ισοτονικές ασκήσεις να εκτελούνται στον καθένα. Ο αριθμός αυτών των επαναλήψεων μπορεί να αυξηθεί, ο χρόνος μπορεί να αυξηθεί, ο αριθμός των επαναλήψεων σε σχέση με το χρόνο επίσης, η πρόσθεση καινούργιων σετ ασκήσεων, ο ολικός χρόνος της επίτευξης του προγράμματος μπορεί να ελαττωθεί ή να αυξηθεί, η μπορεί να ελαττωθεί ο χρόνος ενώ το ποσό των επαναλήψεων παραμένει το ίδιο. Η διαλειμματική εφαρμογή των ισοκινητικών είναι μια από τις λίγες που μπορεί να παρέχει και καρδιαγγειακή εξάσκηση. Αυτό μπορεί να γίνει όταν εξασκούμε διαφορετικές μυϊκές ομάδες σε διάφορα στάδια αλλά εκτελεσμένα με τον ίδιο τρόπο, πράγμα που προφυλάσσει τον μυϊκό κάματο, παράγοντας ο οποίος φρενάρει την εξάσκηση του καρδιαγγειακού συστήματος. Η λειτουργική ικανότητα του σώματος καθώς και η ικανότητα για δουλειά αυξάνει σταδιακά μετά από μια μεγάλη περίοδο. Το σώμα αντιδρά ανατομικά, φυσιολογικά και ψυχολογικά στις απαιτήσεις του αυξανόμενου έργου. Ο βαθμός στον οποίο βελτιώνεται η επίδοση εξαρτάται άμεσα από τον ρυθμό και τον τρόπο με τον οποίο αυξάνεται το φορτίο.

3.71. Προγράμματα ισοτονικών ασκήσεων

De Lorme

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί 3set των 10 επαναλήψεων το καθένα. Πιο συγκεκριμένα πρώτα καθορίζουμε το 10RM και στην συνέχεια ο ασθενής εκτελεί:

10 επαναλήψεις με το $\frac{1}{2}$ του 10 RM

10 επαναλήψεις με τα $\frac{3}{4}$ του 10 RM

10 επαναλήψεις με ολόκληρο το 10 RM

Ο ασθενής εκτελεί τα παραπάνω τρία set ασκήσεων σε κάθε συνεδρία θεραπείας με σύντομα μεσοδιαστήματα ανάπαυσης μεταξύ αυτών. Καθώς αυξάνεται η ισχύς το 10 RM αυξάνεται κάθε εβδομάδα.

Mc Queen

Σε αυτή την τεχνική η αντίσταση παραμένει σταθερή σε κάθε set της άσκησης και δεν αυξομειώνεται όπως στις υπόλοιπες τεχνικές. Στην αρχή καθορίζουμε το 10 RM και στη συνέχεια ο ασθενής εκτελεί:

10 επαναλήψεις με το 10 RM

10 επαναλήψεις με το 10 RM

10 επαναλήψεις με το 10 RM

10 επαναλήψεις με το 10 RM

Με την τεχνική αυτή ασκείται ο ασθενής 3 φορές την εβδομάδα. Αήξηση του 10 RM γίνεται κάθε 1 ή 2 εβδομάδες.

Oxford

Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής διενεργούνται 100 επαναλήψεις με την διαδικασία των 10 set. Σε κάθε set που ακολουθεί η αντίσταση μειώνεται προκειμένου να συμβαδίσει με την επερχόμενη κόπωση την μυϊκής ομάδας που ασκούνταν.

10 επαναλήψεις με ολόκληρο το 10 RM

10 επαναλήψεις με τα $\frac{3}{4}$ του 10 RM

10 επαναλήψεις με το $\frac{1}{2}$ του 10 RM

Πριν την έναρξη της τεχνικής προηγείται προθέρμανση της μυϊκής ομάδας που ασκείται.

3.8. 4^η Φάση (Επιστροφή στην καθημερινή δραστηριότητα)

Ο αθλητής θα πρέπει να επιστρέψει στην ενεργό δράση αμέσως μόλις επανέλθει η μυϊκή δύναμη, η αντοχή και η ισχύς. Κατά την διάρκεια της 4^{ης} φάσης διορθώνουμε τον συγχρονισμό και την μυϊκή δύναμη, και αντοχή σε ασκήσεις που σχετίζονται με το άθλημα. Ο αθλητής επιστρέφει στην ενεργό δράση όταν οι παρακάτω στόχοι επιτευχθούν

- 1) Η φυσιολογική βιομηχανική λειτουργία και η λειτουργία σε ορισμένες ασκήσεις προσομοίωσης του αθλήματος αποκατασταθούν
- 2) Η μυϊκή δύναμη και αντοχή είναι ίδια και στα 2 άκρα
- 3) Ο συγχρονισμός και η ισορροπία είναι φυσιολογικά

Σε αυτή την φάση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πλειομετρικές ασκήσεις διότι έτσι αυξάνεται η ένταση καθώς επίσης βοηθάει στην προφύλαξη των reflex, διατηρώντας μια νευροφυσιολογική οδό για τη μυϊκή συστολή. Για παράδειγμα, συχνά χρησιμοποιούμε βηματάκια μπροστά-πίσω για την ενδυνάμωση του ισχίου και του μηρού με έναν λειτουργικό τρόπο ο οποίος μας δίνει την ευχέρεια για μειομετρικές και πλειομετρικές συστολές. Οι ισοκινητικές ασκήσεις με σταθερή ή ποικίλη αντίσταση.

4. Μυϊκός τραυματισμός στους Ισchioκνημιαίους

4.1. Γενικά

Οι ισchioκνημιαίοι αποτελούνται από 3 μύες: Τον ημιμυενόδη, τον ημιτενοντώδη και τον δικέφαλο μηριαίο. Αυτοί οι μύες λειτουργούν στην πρώτη φάση της στήριξης για την υποστήριξη του γόνατος και στην τελευταία φάση για την προώθηση του άκρου.

Στους τραυματισμούς των ισchioκνημιαίων συχνά έχουμε επανατραυματισμό εξαιτίας της ανεπαρκούς αποκατάστασης και βιασύνη να επιστρέψει ο αθλητής στην ενεργό δράση προτού αποκαταθεί πλήρως ο τραυματισμός.

Μηχανισμός Κάκωσης

Οι δύο πιο συχνοί λόγοι τραυματισμού των ισchioκνημιαίων είναι η έλλειψη επαρκούς ελαστικότητας και ανισορροπίας δύναμης στους ισchioκνημιαίους. Άλλοι παράγοντες μπορεί να είναι η έλλειψη σωστής προθέρμανσης, η γενική μυϊκή κατάσταση και η μυϊκή κούραση.

Ο τραυματισμός συνήθως συμβαίνει κατά την διάρκεια του σπρίντ ή ασκήσεις υψηλών ταχυτήτων.

Κλινική εξέταση

Η κλινική εξέταση γίνεται με τον ασθενή να βρίσκεται ξαπλωμένος σε πρινή θέση και το γόνατο σε κάμψη 90 μοιρών. Η έκταση του γόνατος μπορεί να προκαλέσει πόνο κ περιορισμό της εξέτασης. Ο μυς ψηλαφιέται ενώ βρίσκεται σε πλήρη χαλάρωση και στην συνέχεια με μικρή τάση. Η ψηλάφηση θα πρέπει να γίνεται και στην ισχιακή κοιλότητα για να ψηλαφηθεί μια πιθανή οστική απόσπαση. Η θέση την μέγιστης αντοχής για το SLR θα πρέπει να καταγράφεται γιατί είναι ένας χρήσιμος οδηγός για να προσδιοριστεί η τελική σοβαρότητα του τραυματισμού και η απόκριση στην αποκατάσταση.

4.2 Θεραπεία τραυματισμού των ισchioκνημιαίων

Η θεραπεία των ισchioκνημιαίων έχει σαν στόχο την αποκατάσταση της δύναμης και της ελαστικότητας της μυϊκής ομάδας. Αυτό είναι σημαντικό για την σωστή αποκατάσταση του μυός και την αποτροπή επανατραυματισμού.

1^ο Στάδιο

Στόχος είναι ο έλεγχος και η μείωση του οιδήματος, του πόνου και η χαλάρωση των συσπασμένων μυών. Αυτό το πετυχαίνουμε με χρήση πάγου, συμπίεσης, ανύψωσης του μέλους και με την χορήγηση φαρμάκων.

Πάγος: Ο πάγος τοποθετείται αμέσως μετά τον τραυματισμό για την επιβράδυνση του οιδήματος και της φλεγμονής. Ο πάγος τοποθετείται σε πλαστική σακούλα η οποία στερεώνεται πάνω στην οπίσθια πλευρά με έναν ελαστικό επίδεσμο. Ο πάγος παραμένει για 20-30 λεπτά και τον επανατοποθετούμε 4 φορές την ημέρα για τις πρώτες 2-3 μέρες.

Συμπίεση: Η ήπια συμπίεση επιτυγχάνεται με την χρήση ελαστικού επιδέσμου που τοποθετείται γύρω από την περιοχή.

Ανύψωση: Σε μία προσπάθεια να μειώσουμε το οίδημα και να επιτρέψουμε την επιστροφή του υγρού προς την καρδιά ο αθλητής ανυψώνει το άκρο 2-3 φορές την ημέρα όταν είναι δυνατόν.

2^ο Στάδιο

Επειδή το εύρος κίνησης στην αρχή είναι περιορισμένο και υπάρχει πόνος χρησιμοποιούμε ισομετρικές ασκήσεις οι οποίες περιλαμβάνουν υπομέγιστη ισομετρική σύσπαση. Χρησιμοποιούμε 3 set των 5 επαναλήψεων. Η σύσπαση θα διαρκεί για 5 δευτερόλεπτα. Θα πρέπει να προσέχουμε να περιορίσουμε την τάση στον τραυματισμένο μυ για να αποφύγουμε τον επανατραυματισμό του αυτή την περίοδο. Εκτελούνται κινήσεις ελεύθερες ενεργητικές κινήσεις μέχρι το σημείο πόνου του ασθενή. Επίσης ο ασθενής κάνει διατάσεις για να μην χάσουν οι μύες την ελαστικότητά τους η οποία είναι σημαντική για την μετά τραυματική περίοδο. Στην αρχή εκτελούνται ήπιες ενεργητικές διατάσεις και στην συνέχεια εξελίσσονται σε παθητικές στατικές καθώς ο πόνος υποχωρεί. Χρησιμοποιούμε το σχήμα της PNF για να βοηθήσουμε στις διατάσεις.



Εικόνα 9: Διατάσεις ισχιοκνημιαίων

3^ο Στάδιο

Με την βελτίωση του εύρους κίνησης οι ισομετρικές ασκήσεις αντικαθιστούνται από ισοτονικές ασκήσεις με ελαφριά βάρη. Το βάρος μπορεί να αυξάνει καθημερινά. Αποφεύγουμε την έκκεντρη μυϊκή σύσπαση για να αποφύγουμε την αύξηση της τάσης. Όταν δεν υπάρχει πια πόνος τότε ξεκινάμε τις ισοκινητικές ασκήσεις με χαμηλή αντίσταση. Χρησιμοποιούμε μηχανήματα που δημιουργούν μόνο μειωμετρική σύσπαση. Επίσης στα πρώτα στάδια χρησιμοποιούμε ποδήλατο χωρίς αντίσταση επειδή επιτρέπει την κίνηση χωρίς πόνο με ελεγχόμενη αντίσταση. Για την ενδυνάμωση χρησιμοποιούμε και ασκήσεις κλειστής αλυσίδας.

4° Στάδιο

Όταν ο ασθενής έχει φυσιολογικό βάδισμα με βελτιωμένη μυϊκή δύναμη ξεκινάμε 1 πρόγραμμα βάδισης σε διάδρομο που σταδιακά εξελίσσεται σε πρόγραμμα με ασκήσεις προσομοίωσης του αθλήματος που κάνει.

5. Μυϊκός τραυματισμός στον Τετρακέφαλο

5.1. Γενικά

Μηχανισμός κάκωσης

Οι τραυματισμοί του τετρακέφαλου είναι περίπου το 10% όλων των μυϊκών τραυματισμών στα διάφορα αθλήματα. Ο τραυματισμός διαφοροποιείται αν είναι από άμεση πλήξη ή αν είναι από διάταση. Από άμεση πλήξη προκαλείται αιμάτωμα ενώ θλάση έχουμε ύστερα από έμμεσο τραυματισμό. Ο ασθενής διαμαρτύρεται για «τράβηγμα». Συνήθως οι τραυματισμοί του τετρακέφαλου γίνονται λόγω ανεπαρκών διατάσεων, ανεπαρκής προθέρμανσης πριν από εντατική άσκηση και από μυϊκή ανισσοποπία στο κάτω άκρο. Η εξέταση φανερώνει ευαισθησία κατά την ψηλάφηση του ορθού μηριαίου. Συνήθως η ευαισθησία υπάρχει στην γαστέρα του μυός.

Κλινική εξέταση

Η κλινική εξέταση γίνεται συνήθως από πρηνή θέση. Η εξέταση φανερώνει ευαισθησία κατά την ψηλάφηση του ορθού μηριαίου. Συνήθως η ευαισθησία υπάρχει στην γαστέρα του μυός. Επειδή ο ορθός μηριαίος είναι το μοναδικό τμήμα του τετρακέφαλου που περνάει την άρθρωση του γόνατος η έκταση του ισχίου με το γόνατο σε έκταση προκαλεί περισσότερο πόνο απ ότι όταν το γόνατο είναι σε κάμψη.

5.2. Θεραπεία του τραυματισμού του τετρακέφαλου

1° Στάδιο

Στόχος είναι ο έλεγχος του οιδήματος και του πόνου. Αυτό το πετυχαίνουμε με χρήση πάγου, συμπίεσης, ανύψωσης του μέλους και με την χορήγηση φαρμάκων.

Πάγος: Ο πάγος τοποθετείται αμέσως μετά τον τραυματισμό για την επιβράδυνση του οιδήματος και της φλεγμονής. Ο πάγος τοποθετείται σε πλαστική σακούλα η οποία στερεώνεται πάνω στην οπίσθια πλευρά με έναν ελαστικό επίδεσμο. Ο πάγος παραμένει για 20-30 λεπτά και τον επανατοποθετούμε 4 φορές την ημέρα για τις πρώτες 2-3 μέρες.

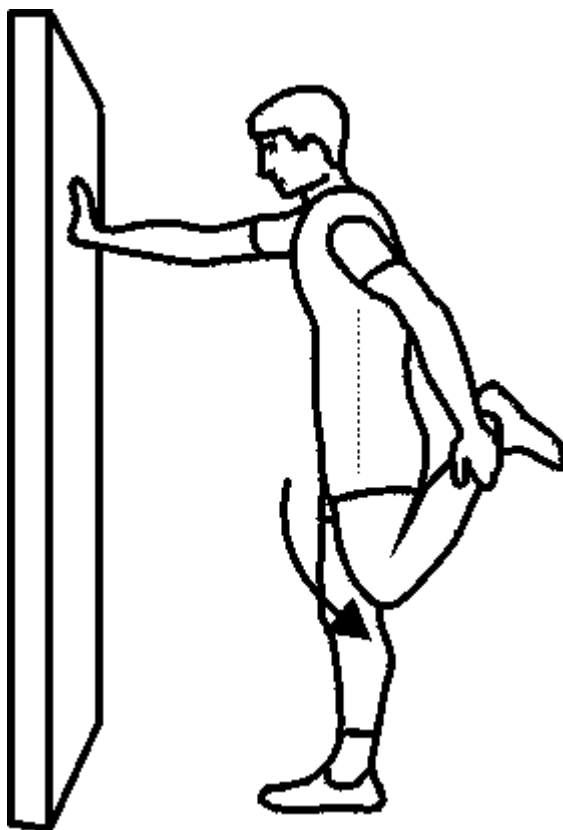
Συμπίεση: Η ήπια συμπίεση επιτυγχάνεται με την χρήση ελαστικού επιδέσμου που τοποθετείται γύρω από την περιοχή.

Ανύψωση: Σε μία προσπάθεια να μειώσουμε το οίδημα και να επιτρέψουμε την επιστροφή του υγρού προς την καρδιά ο αθλητής ανυψώνει το άκρο 2-3 φορές την ημέρα όταν είναι δυνατόν.

Επιπλέον προσπαθούμε να διατηρήσουμε τα κάτω άκρα στην φυσική κατάσταση που ήταν πριν τον τραυματισμό.

2° Στάδιο

Το 2° στάδιο είναι περίπου 3-10 μέρες μετά τον τραυματισμό, σε εξάρτηση με την σοβαρότητα του τραυματισμού. Στόχος είναι να επανακτήσει ο ασθενής το φυσιολογικό βάδισμα, να επανακτήσει την φυσιολογική κίνηση του γόνατος και του ισχίου. Στην αρχή ξεκινάμε με ασκήσεις ήπιες ασκήσεις για τον τετρακέφαλο και τους ισχιοκνημιαίους. Επίσης χρησιμοποιούμε τα σχήματα του PNF για το κάτω άκρο για διατάσεις, για ενδυνάμωση αλλά και για επανεκπαίδευση της κίνησης.



Εικόνα 10: Διάταση τετρακέφαλου

Μετά τις διατάσεις ο ασθενής εκτελεί 1 πρόγραμμα ασκήσεων στην πισίνα με την χρήση μίας ζώνης που του επιτρέπει να επιπλέει. Στο τέλος κάνει ποδήλατο χωρίς όμως αντίσταση.

3° Στάδιο

Στην αρχή αυτού του σταδίου ο ασθενής εκτελεί ενεργητικές ασκήσεις έκτασης του γόνατος στο πλήρες εύρος της άρθρωσης. Επίσης αυξάνεται η δυσκολία του προγράμματος που εκτελείται στο νερό. Απ την στιγμή που η

κίνηση στην άρθρωση του γόνατος εκτελείται σε πλήρες εύρος ο ασθενής μπορεί να εκτελέσει κινήσεις κλειστής αλυσίδας για την έκταση του γόνατος με την χρήση λάστιχου. Στη συνέχεια ξεκινάει να κάνει έκταση του γόνατος με την χρήση μικρού βάρους και εκτελεί ασκήσεις διαδοχικής αντίστασης. Για την βελτίωση της αντοχής και της δύναμης ο ασθενής κάνει ποδήλατο με αυξανόμενη αντίσταση. Επίσης εκτελεί ασκήσεις για την έκταση, κάμψη, απαγωγή και προσαγωγή των ισχίων. Στο τέλος εκτελεί ισοκινητικές ασκήσεις με υψηλές ταχύτητες με τον ασθενή να βρίσκεται σε ύπτια θέση. Πριν την έναρξη των ασκήσεων αλλά και στο τέλος αυτών ο ασθενής εκτελεί διατάσεις. Επίσης στην πριν αρχή των ασκήσεων κάνει ζέσταμα.



Εικόνα 11: Ασκήσεις τετρακέφαλου με αντίσταση

4^ο Στάδιο

Ο ασθενής εκτελεί ασκήσεις με αντίσταση και στα 2 πόδια. Ακόμα εκτελεί ασκήσεις προσομοίωσης του αθλήματος του. Για να μπορέσει να επιστρέψει στην ενεργό δράση ο αθλητής θα πρέπει να έχει οι τετρακέφαλοι του και στα 2 πόδια να έχουν την ίδια ευκαμψία. Ακόμα θα πρέπει όταν εκτελεί ασκήσεις με

μεγάλη αντίσταση να μην υπάρχει πόνος. Τέλος θα πρέπει η μυϊκή δύναμη του τετρακέφαλου να είναι στο 85%- 90% την δύναμης του υγιούς τετρακέφαλου.



Εικόνα 12: Άσκηση προσομοίωσης αθλήματος (χόκεϊ)

6. Φυσιοθεραπευτικό πρόγραμμα αποκατάστασης αθλητή με θλάση στον λαγονοψοίτη

6.1. Αξιολόγηση

Ο ασθενής είναι 30 χρονών και είναι αθλητής ποδοσφαίρου. Ο τραυματισμός έγινε κατά την διάρκεια της προπόνησης. Ο ασθενής πονάει στην περιοχή. Για καταλάβουμε ποιος μυς είναι τραυματισμένος και την σοβαρότητα του τραυματισμού λέμε στον ασθενή να εκτελέσει ενεργητικά ορισμένες κινήσεις και στην συνέχεια χρησιμοποιούμε παθητικές κινήσεις. Από πρηνή θέση λέμε στον ασθενή να κάνει κάμψη του ισχίου και να μας πεί αν αισθάνεται πόνο και σε ποιο ακριβώς σημείο. Στην συνέχεια εκτελούμε παθητικές κινήσεις στο ισχίο για να καταλάβουμε αν είναι μυϊκός ο πόνος ή κάποιο κάταγμα στην περιοχή. Με την εξέταση αυτή καταλάβαμε ότι έχει υποστεί θλάση στον λαγονοψοίτη. Δεν έχει υποστεί θλάση στο ίδιο σημείο προηγούμενη φορά.

Η θεραπεία ξεκινάει 2 μέρες μετά τον τραυματισμό

Στόχος της θεραπείας είναι να επιστρέψει ο αθλητής στο επιθυμητό επίπεδο επιδόσεων στο τέλος του προγράμματος. Αυτό θα επιτευχθεί όταν έχουμε μείωση του πόνου, του οιδήματος, της φλεγμονής και του μυϊκού σπασμού. Επίσης θα πρέπει να προσέξουμε να μην δημιουργηθούν συμφύσεις από την ακινησία του μέλους και να υπάρχει αμφοτερόπλευρα το ίδιο εύρος κίνησης, ελαστικότητα μυϊκή δύναμη και απόδοση στο συγκεκριμένο άθλημα

6.2. Θεραπεία

1ο Στάδιο

Στόχος μας σε αυτό το στάδιο είναι η μείωση του πόνου, η απορρόφηση του οιδήματος, της φλεγμονής και η μείωση του μυϊκού σπασμού

- 1) Χρησιμοποιούμε ρεύματα TENS και διαδυναμικά (Cp, Mp) για 10 λεπτά (το κάθε ρεύμα)
- 2) Χρησιμοποιούμε τον υπέρηχο για 5 λεπτά για την μείωση του οιδήματος και της φλεγμονής
- 3) Χρησιμοποιούμε ανατροφοδότηση για χαλάρωση των μυών που συσπώνται εξ αιτίας του πόνου
- 4) Τοποθετούμε παγοκύστη στην τραυματισμένη περιοχή για 15 λεπτά.
- 5) Παθητικές διατάσεις του λαγονοψοίτη

2ο Στάδιο

Σε αυτό το στάδιο στόχος μας είναι η διατήρηση του εύρους κίνησης στο υγιές σκέλος και η βελτίωση του στο τραυματισμένο με την εφαρμογή διατάσεων

- 1) Χρησιμοποιούμε ηλεκτροθεραπεία όπως και στο προηγούμενο στάδιο
- 2) Τοποθετούμε παγοκύστη στην τραυματισμένη περιοχή για 15 λεπτά.
- 3) Από την στιγμή που δεν υπάρχει πόνος στην περιοχή ο ασθενής εκτελεί αυτοδιατάσεις για τους ισχιοκνημιαίους, τον τετρακέφαλο και τους προσαγωγούς(και στα 2 ποδιά)
- 4) Μετά τις διατάσεις τοποθετούμε πάγο στην τραυματισμένη περιοχή για 10 λεπτά

3ο Στάδιο

Στόχος μας σε αυτό το στάδιο είναι η ενδυνάμωση του τραυματισμένου σκέλους αλλά και η διατήρηση της καλής μυϊκής κατάστασης του υγιούς σκέλους.

- 1) Τοποθετούμε παγοκύστη στην τραυματισμένη περιοχή για 15 λεπτά.
- 2) Ο ασθενής εκτελεί αυτοδιατάσεις για τους ισχιοκνημιαίους, τον τετρακέφαλο, τους γλουτιαίους και τους προσαγωγούς (και στα 2 ποδιά)
- 3) Χρησιμοποιεί το ποδήλατο για 10 λεπτά
- 4) Εκτελεί ασκήσεις ενδυνάμωσης των προσαγωγών, του λαγονοψοίτη, του τετρακέφαλου και των ισχιοκνημιαίων με την βοήθεια λάστιχου. Οι ασκήσεις εκτελούνται και με τα 2 πόδια(εναλλάξ)
- 5) Εκτελεί πάλι διατάσεις για τους ισχιοκνημιαίους, τον τετρακέφαλο και τους προσαγωγούς(και στα 2 ποδιά)
- 6) Μετά τις διατάσεις χρησιμοποιεί πάγο για 10 λεπτά

4ο Στάδιο

- 1) Τοποθετούμε παγοκύστη στην τραυματισμένη περιοχή για 15 λεπτά.
- 2) Ο ασθενής εκτελεί αυτοδιατάσεις για τους ισχιοκνημιαίους, τον τετρακέφαλο, γλουτιαίους και τους προσαγωγούς (και στα 2 ποδιά)
- 3) Χρησιμοποιεί το ποδήλατο για 10 λεπτά
- 4) Εκτελεί ασκήσεις ενδυνάμωσης των προσαγωγών, του λαγονοψοίτη, του τετρακέφαλου και των ισχιοκνημιαίων με την βοήθεια λάστιχου. Οι ασκήσεις εκτελούνται και με τα 2 πόδια(εναλλάξ).
- 5) Με την βοήθεια του λάστιχου ο ασθενής εκτελεί κινήσεις που χρησιμοποιεί στο άθλημα του δηλαδή την κίνηση του σουτ και επιτόπια άλματα
- 6) Στο τέλος την κάθε συνεδρίας εφαρμόζουμε παγοθεραπεία για 10 λεπτά

7. Φυσιοθεραπευτική αγωγή για θεραπεία αιματώματων

Η κυριότερη αιτία που προκαλεί εκτεταμένο αιμάτωμα είναι όταν έχουμε ρήξη 3^{ου} βαθμού του μυοτενόντιου υλικού του συνδέσμου ή κάταγμα των οστών. Οι πιο επιρρεπείς μυες είναι ο τετρακέφαλος μηριαίος, οι προσαγωγοί, ο γαστροκνήμιος και οι καμπτήρες του γόνατος

Στάδιο 1ο

Πριν γίνει η παρακέντηση για την αφαίρεση, εφαρμόζονται επιθέματα και επίδεση ελαστική για τον περιορισμό της περεταίρω επέκτασης της έντασης των συμπτωμάτων.

Στάδιο 2ο

Η κινησιοθεραπεία είναι η κύρια και περιλαμβάνει παθητικές και ενεργητικές κινήσεις προοδευτικά αυξανόμενες και οι οποίες έχουν σκοπό να επαναφέρουν την πάσχουσα μυική κατάσταση σε φυσιολογική και την λειτουργία του μέλους σε πλήρη αποκατάσταση.

8. Φυσικοθεραπευτική αγωγή για θεραπεία σε περιπτώσεις τετανικής σύσπασης (κράμπας)

Η διάρκεια και το είδος της θεραπείας εξαρτάται από τα συμπτώματα. Δεν μπορούμε να συμφωνήσουμε ότι η καλύτερη μεταχείριση για σπασμένες ίνες μυών με αιμάτωμα μέσα στους ιστούς είναι η άμεση χρησιμοποίηση ενέργειας(πίεση) αν και υπάρχει πόνος και σπασμοί. Μέχρις ότου ο θεραπευτής σιγουρευτεί ότι δεν θα προκληθεί ζημιά στον μι τον ίδιο, στη φύση της υπάρχουσας αιμορραγίας, ή στο οίδημα ή στα ραγέντα νεύρα των μυών δεν πρέπει να υπάρξει καμία περίπτωση άσκησης διατακτικής μορφής, μασάζ ή ενεργητικής άσκησης.

Η θεραπεία είναι συχνά απλή και στην πλειονότητα των περιπτώσεων μπορεί να δοθεί από τον ίδιο τον αθλητή.

- 1) Πρέπει να εφαρμοστεί τοπική πίεση στον μυ που παρουσιάζει επώδυνη σύσπαση. Ο αθλητής οφείλει να καθίσει στο έδαφος και με τα χέρια του να μαλάξει την περιοχή που έχει σύσπαση με ταυτόχρονη διάταση στις εργασίες συσπασθέντος μυός. Προκαλώντας συστολή των ανταγωνιστών μυών επέρχεται ανακούφιση από την ένταση.
- 2) Αν ο αθλητής χρειάζεται βοήθεια για να ανακουφίσει τον πόνο του ακολουθείται η ίδια αγωγή με σταθερή, αλλά ατραυματική τοπική πίεση. Συχνά δίνει δραματικό ξαλάφρωμα π.χ. αν υπάρξει μία

κράμπα σε πλευρά ή λαγόνα, τεντώνουμε τους μύες με το να γείρουμε απλά τον πάσχοντα στο αντίθετο πλευρό. Τότε επέρχεται ανακούφιση από την ένταση της κράμπας. Πρέπει να έχουμε σταθερά υπόψη ότι προσπαθούμε να ξαναφορμάρουμε την περιοχή και να την απαλλάξουμε από την ανεπιθύμητη ένταση. Δεν πρέπει να τεντώνουμε υπερβολικά τον μυ ή τους μύες π.χ. στον συσπασθέντα ιγνυακό τένοντα, το γόνατο πρέπει να έρθει σε έκταση, αλλά δεν πρέπει να ανυψώσουμε βίαια το πόδι.

- 3) Η διάταση του συσπασθέντα μυός πετυχαίνεται με βαθμιαία παθητική έλξη, η φορά της οποίας εξαρτάται από την θέση και την λειτουργία του μυός.
- 4) Παράλληλα με διάταση του προσβληθέντα μυ, πρέπει να γίνονται θωπίες, ανατρίψεις και πιέσεις της περιοχής με ανοικτή παλάμη αργά και βαθιά, προς την κατεύθυνση ροής της φλεβικής κυκλοφορίας, οι οποίες οδηγούν στη λύση της κράμπας. Οι χειρισμοί του μασάζ έχουν αξία στην επανόρθωση της σωστής κυκλοφορίας του μυός.
- 5) Στην συνέχεια εκτελούνται ήπιες παθητικές κινήσεις για επαναφορά του μυ σε φυσιολογικά επίπεδα. Πρέπει να εφαρμόζονται σταθερά και μαλακά χωρίς τινάγματα και σπασμωδικές συστολές.
- 6) Η ηλεκτρομάλαξη επιφέρει καλά αποτελέσματα, διότι οι δονήσεις οι οποίες είναι δύσκολο να γίνουν με το χέρι προκαλούν ταχεία χαλάρωση της σύσπασης των μυών και καταπραΰνουν σύντομα από τον πόνο.
- 7) Σε περίπτωση επιμονής της κράμπας χρειάζεται περαιτέρω περιποίηση. Εφαρμόζονται θερμά επιθέματα ή γίνεται θερμό λουτρό(δινόλουτρο). Μπάνιο σε ζεστό νερό με κυκλική ροή ή σε θερμαινόμενη πισίνα , διαθερμίες ή υπέρηχα. Η επαγωγική θερμοκρασία φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική από την θερμοκρασία με ακτίνες
- 8) Τέλος, ένα προσεκτικό πρόγραμμα ασκήσεων με ελαφρές κινήσεις που δεν προκαλούν πόνο επιφέρουν χαλάρωση και διαμορφώνουν συνθήκες ευεξίας.

8.1. Φυσικοθεραπευτική προσέγγιση για αντιμετώπιση βασικών περιπτώσεων κράμπας

- 1) Στο γαστροκνήμιο μυ.
- 2) Στους οπίσθιους μηριαίους.
- 3) Στους ορθούς κοιλιακούς

Πριν γίνει αναφορά στην αντιμετώπιση συγκεκριμένης κράμπας σε ορισμένους μύες πρέπει να λεχθεί ότι εκτός των απαιτούμενων χειρισμών,

βασική προϋπόθεση για θετική εξέλιξη αποτελεί και η κατάλληλη τοποθέτηση του πάσχοντος μέλους.

6. Κράμπα γαστροκνημίου.

Ο αθλητής τοποθετείται πρηνή θέση. Από την θέση αυτή κάμπτεται το γόνατο του πάσχοντος σκέλους και στην συνέχεια φέρεται το άκρο πόδι σε ραχιαία έκταση. Στην συνέχεια από την θέση αυτή εκτείνεται το γόνατο προσεκτικά. Η διάταση είναι παθητική και η υποχώρησης της σύσπασης συνήθως είναι βέβαια. Κατά την προσπάθεια λύσης της κράμπας συνίσταται στον αθλητή να παίρνει βαθιές εισπνοές για καλύτερη οξυγόνωση του οργανισμού και συμβολή στη χαλάρωση. Υπάρχει περίπτωση ο αθλητής να πάθει θλάση στον γαστροκνήμιο αλλά να πιστευει πως έχει πάθει κράμπα. Σε αυτή την περίπτωση αυτή πιθανόν να έχουμε ρήξη του μυός. Για να καταλάβουμε αν είναι κράμπα κ όχι θλάση βλέπουμε αν η γαστέρα του μυός βρίσκεται σε σύσπαση. Αν βρίσκεται τότε είναι κράμπα. Αλλιώς ο πόνος και ο περιορισμός της κίνησης προκαλείται από θλάση στον γαστροκνήμιο

7. Κράμπα οπίσθιων μηριαίων μυών.

Ο αθλητής τοποθετείται σε ύπτια θέση με τέλεια έκταση και των δυο κάτω άκρων . Από την θέση αυτή το πάσχον άκρο πόδι φέρεται σε ραχιαία έκταση. Στην συνέχεια ενώ το πόδι βρίσκεται με το γόνατο σε έκταση επιχειρείται βαθμιαία ανύψωση ολόκληρου του σκέλους διατηρώντας το άλλο πόδι σε έκταση. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνεται παθητική διάταση των οπίσθιων μηριαίων μυών και λύση της μυϊκής σύσπασης.

8. Κράμπα του ορθού κοιλιακού μυ.

Ο αθλητής τοποθετείται σε θέση πρηνή. Από τη θέση αυτή τοποθετείται το ένα χέρι κάτω από τα γόνατα του αθλητή και στη συνέχεια αφού ανασηκωθούν τεντωμένα πετυχαίνεται η παθητική υπερέκταση των κοιλιακών. Επειδή η κράμπα στην κοιλιακή χώρα είναι χαρακτηριστικό των κολυμβητών, καλό είναι να γίνονται οι ανωτέρω ενέργειες εντός του νερού, διότι επιδρά ευνοϊκά στη μείωση της σύσπασης. Κατά την προσπάθεια συνίσταται ο αθλητής να αναπνέει βαθειά για καλύτερη οξυγόνωση του οργανισμού, διότι συμβάλλει στη χαλάρωση.

Διατάσεις

Διατάσεις Τετρακεφάλου







Διατάσεις Ισχιοκνημιαίων





Διάταση Ραχιαίων και Γλουτιαίου



Διατάσεις Προσαγωγών και Απαγωγών



Βιβλιογραφία

- 1) Effects of a Static Stretching Program on the Incidence of Lower Extremity Musculotendinous Strains (Kevin M. Cross, MEd, ATC; Ted W. Worrell, EdD, PT, ATC) *Journal of Athletic Training* 1999;34(1):11-14
- 2) Conservative Treatment for Repetitive Strain Injury (Hester S. Konijnenberg, MSc, Nicole de Wilde, MSc) *Scand J Work Environ health* 2001;27(5):299-310
- 3) Longitudinal Study Comparing Sonographic and MRI Assessments of Acute and Healing Hamstring Injuries (David A. Connel, Michal E. Schneider-Kolsky, Jan Lukas Hoying, Frank Malara, Rachelle Buchbinder, George Koulouris, Frank Burke, Cheryl Bass) *American journal of Roentgenology* 2004;183:975-984
- 4) A Comparison of 2 Rehabilitation Programs in the Treatment of Acute Hamstring Strains (Mark A. Sherry, PT, LAT, Tomas M. Best, MD) *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2004;24:116-125
- 5) Concentric Versus Enhanced Eccentric Hamstring Strenght Training (Tomas W. Kaminski, PhD, Robert M. Murphy, ATC) *Journal of Athletic Training* 2004;39(3):278-279
- 6) Does Cryotherapy Improve Outcome with Soft Tissue Injury? (Tricia J. Hubbart, Craig R. Denegar) *Journal of Athletic Training* 2001;27(5):299-310
- 7) Effects of Partial Immobilitation After Eccentric Exercise on Recovery from Muscle Damage (Zainal Zainuddin, Peter Hope, Mike Newton, Paul Sacco, Kazunori Nosaka) *Journal of Athletic Training* 2005;40(3):197-202
- 8) Effects of Stretching before and after Exercising on Muscle Soreness and Risk of Injury (Robert D. Herbert, Michael Gabriel) *British Medical Journal* 2002;325
- 9) Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation, Cold and a Combination Treatment on Pain, Decreased Range of Motion and Strength Loss in Associated with Delayed Onset Muscle Soreness (Carl R. Denegar, PhD, David H. Perrin, PhD) *Journal of Athletic Training* 1992;27:200-206
- 10) Hyperthermia Induced by Microwave Diathermy in the Management of Muscle and Tendon Injuries (A. Giombini, V. Giovannini, A. Di Casare, P. Pacetti, Hisashi Naito and Nicola Maffulli) *British Medical Bulletin* 2007;83:379-386

- 11) Isokinetic Eccentric Exercise can Induce Skeletal Muscle Injury Within the Physiologic Excursion of Muscle-Tendon unit (Yang-Hwei Tsuang, Shui-Ling Lam, Lien-Chen Wu, Chang-Jung Chiang, Li-ting Chen) *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2007;2:13
- 12) Muscle Injury: Optimising Recovery (Tero A.H Jarvinen, Teppo L.N. Jarvinen, Hannu Kalimo, Markku Jarvinen) *Best Practice and Research Clinical* 2007;21(2):317-331
- 13) Precooling leg Muscle improves Intermittent Sprint in Hot, Humid Conditions (Paul C. Castle, Adam L. Macdonald) *Journal of Applied Physiology* 2006;100:1377-1384
- 14) Stretching to Prevent or Reduce Muscle Soreness After Exercise (R.H. Herbert, M. de Noronha) *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2007 Issue 4
- 15) Therapeutic Ultrasound Decreases Mechano-Growth Factor Messenger Ribonucleic Acid Expression After Muscle Contusion injury (Nicole M. McBrier, Jaimy M. Lekan, Lawrence J. Druhan, Steven T. Devor, Mark A. Merrick) *Arch Phys Med Rehabilitation* 2007;88:936-940
- 16) Ultrasound Therapy for Musculoskeletal Disorders: A systematic Review (Danniele A.W.M. van der Windt, Geert J.M.G. van der Heijden, Suzanne G.M van der Berg, Andrea F. de Winter) *International Association for the Study of Pain* 1999;99: 257–271
- 17) A Review of Therapeutic Ultrasound (Kitchen, S.S. and Partridge, J) *Physiotherapy* 1990;76:593–600.
- 18) Therapeutic Ultrasound: Its effects on the cellular and molecular mechanisms of Inflammation and Repair (Maxwell, L) *Physiotherapy* 1992;78:421-426
- 19) Thermal effects on skeletal muscle behaviour (Noonan TJ, Best TM, Seaber AV & Garrett Jr. WE) *American Journal of Sports Medicine*
- 20) The PRICE study (Protection Rest Ice Compression Elevation): design of a randomised controlled trial comparing standard versus cryokinetic ice applications in the management of acute ankle sprain ([Bleakley CM](#), [O'Connor S](#), [Tully MA](#), [Rocke LG](#), [Macauley DC](#), [McDonough SM](#)) *BMC Musculoskeletal Disorder*
- 21) Outcomes following plyometric rehabilitation for the young throwing athlete: a case report ([George SZ](#), [Peters C](#)) *Physiotherapy Theory & Practice*
- 22) Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload (Askling C, Karlsson J, Thorstensson A) *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2003;13:244-250

- 23) Hamstring muscle strain treated by mobilizing the sacroiliac joint (Cibulka MT, Rose SJ, Delitto A, Sinacore DR) *Physical Therapy* 2006;10: 230-237
- 24) Μυϊκές Θλάσεις (Παντελής Κ. Νικολάου)
- 25) Sport Injury Management (Marcia K. Anderson, Susan S. Hall)
- 26) Neurophysiological Basis of Movement (Mark L. Latash)
- 27) Handbook of Orthopaedic Rehabilitation (S. Brent, Kevin Ewik) *Mosby Elsevier second edition*
- 28) Η φυσιολογία του ανθρώπου (Ολυμπία Γκίμπα-Τζιαμπίρη) εκδόσεις Ζυγός δεύτερη έκδοση
- 29) Σύγχρονη Αθλητιατρική (Στάυρος Χάντζος) *University studio Press*
- 30) Αθλητικές Κακώσεις (Γεωργιάδου Ι. Απματζίδη)
- 31) Ιατρική της Άθλησης (Αστέριος Π. Δεληγιάννης)
- 32) Αθλητική Φυσικοθεραπεία (Αθανάσιος Θ. Κίτσιος)
- 33) Περιδέσεις στον Αθλητισμό και τη φυσικοθεραπεία (Στάθης Αθανασιάδης, Αστέριος Συλλόπουλος)
- 34) Κινησιοθεραπεία (Σοφία Ιωάννου-Παπαδοπούλου)
- 35) Αθλητιατρική (Πορφυριάδου Ανθούλα)
- 36) Ηλεκτροθεραπεία (Φραγκοράπτης Ελευθέριος)
- 37) <http://www.bodybuilding.com/fun>

Περιεχόμενα

	Σελίδα
A) Πρόλογος	1

Γενικό μέρος

Η Φυσιολογία του Μυϊκού Ιστού

1) Εισαγωγή	2
2) Μορφολογικά χαρακτηριστικά των σκελετικών μυών	2
2.1) Λειτουργική μορφολογία των σκελετικών μυϊκών ινών	3
2.2) Τύποι γραμμωτών μυϊκών ινών	5
2.3) Κινητική μονάδα	5
3) Οι πρωτεΐνες των μυϊκών ινών	6
3.2) Πρωτεΐνες συστολής	7
4) Μηχανισμός διεγέρσεως και συστολής των μυϊκών ινών	8
4.1) Η διέγερση των μυϊκών ινών	8
4.2) Η συστολή των μυϊκών ινών	9
4.3) Η σύνδεση διεγέρσεως – συστολής	10
4.4) Ελαστικά στοιχεία του μυός	11
5) Τύποι μυϊκής συστολής	11
5.1) Ισομετρική συστολή	11
5.2) Ισοτονική συστολή	12
6) Άθροιση συσπάσεων	12
6.1) Μονήρης μυϊκή σύσπαση	13
6.2) Τετανική συστολή (Κράμπα)	13
6.3) Φαινόμενο κλίμακας	14
6.4) Ασύγχρονη άθροιση συσπάσεων	14
7) Πηγές ενέργειας και μεταβολισμός του μυός	14
7.1) Φωσφοκρετίνη	15

7.2) Γλυκόλυση και οξειδωτική φωσφορυλίωση	15
	Σελίδα
7.3) Χρέος οξυγόνου	15
7.4) Παραγωγή θερμότητας στο μυ	16

Οι υποδοχείς των μυών

8.1) Γενικά	17
8.2) Οι μυϊκές άτρακτοι	17
8.3) Τα τενόντια όργανα του Golgi	21

Μηχανισμός Κάκωσης

9) Γενικά	22
10) Μυϊκές θλάσεις	23
10.1) Γενικά	23
10.2) Επιβαρυντικοί παράγοντες θλάσεων	24
10.3) Επιπλοκές	25
11) Αιματώματα (Σχηματισμός και επέκταση)	26
11.1) Αιτίες	26
11.2) Επιρρεπείς μύς	26
11.3) Συμπτώματα	27
12) Τετανική σύσπαση	28
12.1) Γενικά	28
12.2) Επιρρεπείς μύς	29
12.3) Συμπτώματα	29

Μηχανισμός αποκατάστασης

13.1) Γενικά	31
13.2) 1η φάση	31
13.3) 2η φάση	31

13.4) 3η φάση	31
	Σελίδα

Ειδικό Μέρος

Αξιολόγηση	32
Θεραπεία	33
1.1) Στόχοι θεραπείας	

ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΥΪΚΩΝ ΚΑΚΩΣΕΩΝ

2.1) Γενικά	34
3) Φυσιοθεραπευτική αγωγή για θεραπεία μυϊκών θλάσεων	35
3.1) Γενικά	35
3.2) 1 ^η φάση (Έλεγχος φλεγμονής)	35
3.3) 2 ^η φάση (Αποκατάσταση της κίνησης)	36
3.4) 3 ^η φάση (Μυϊκή επανεκπαίδευση)	38
3.4.1) Μυϊκή δύναμη	38
3.4.2) Μυϊκή αντοχή	39
3.4.3) Μυϊκή ισχύς	39
3.5) Ισομετρικές ασκήσεις	40
3.6) Ισοτονικές ασκήσεις	40
3.6.1) Μειωμετρικές μυϊκές συστολές	41
3.6.2) Πλειομετρική μυϊκή φόρτιση	41
3.7) Ισοκινητικές ασκήσεις	42
3.7.1) Πρόγραμμα ισοκινητικών ασκήσεων	42
3.8) 4 ^η φάση (Επιστροφή στην καθημερινή δραστηριότητα)	43
4) Μυϊκός τραυματισμός στους Ισchioκνημιαίους	43
4.1) Γενικά	44

4.2) Θεραπεία τραυματισμού των ισchioκνημιαίων	45
5) Μυϊκός τραυματισμός στον Τετρακέφαλο	47
5.1) Γενικά	47
5.2) Θεραπεία του τραυματισμού του τετρακέφαλου	47
6) Φυσιοθεραπευτικό πρόγραμμα αποκατάστασης αθλητή με θλάση στον λαγονοψοίτη	49
6.1) Αξιολόγηση	49
6.2) Θεραπεία	52
7) Φυσιοθεραπευτική αγωγή για θεραπεία αιματωμάτων	53
8) Φυσικοθεραπευτική αγωγή για θεραπεία σε περιπτώσεις τετανικής σύσπασης (κράμπας)	53
8.1) Φυσικοθεραπευτική προσέγγιση για αντιμετώπιση βασικών περιπτώσεων κράμπας	54
Διατάξεις	55
Βιβλιογραφία	63