

Κεφάλαιο 7: Παραγωγή και Αξιολόγηση της Δύναμης

Σύνοψη

Η έλευση ενός δυναμικού ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα τη σύσπαση του μυός η οποία συνοδεύεται από παραγωγή δύναμης που έλκει το οστό. Η μυϊκή δύναμη καθορίζεται τόσο από τη δύναμη που παράγεται από την ολίσθηση των νηματίων της ακτίνης και της μυοσίνης (ενεργητικός μηχανισμός) όσο και από τη δύναμη που παράγεται από την παθητική μετατόπιση του συνδετικού ιστού ο οποίος περιβάλλει τις μυϊκές ίνες ή συνθέτει τους τένοντες (παθητικά στοιχεία του μυός). Όταν ο μυς βρίσκεται στο μήκος ηρεμίας, τότε η δύναμη που παράγεται από το ενεργητικό στοιχείο είναι μέγιστη, ενώ όσο το μήκος αυξάνει τόσο η δύναμη από τα ενεργητικά στοιχεία μειώνεται. Αντίθετα η δύναμη η οποία προέρχεται από τη διάταση-επαναφορά των παθητικών στοιχείων αυξάνεται. Όταν ο μυς συσπάται με διαρκώς αυξανόμενη ταχύτητα, η δύναμή του μειώνεται, ενώ, όταν ο μυς διατείνεται με διαρκώς αυξανόμενη ταχύτητα, η δύναμή του μεταβάλλεται ελάχιστα. Η παραγωγή δύναμης επηρεάζεται και από τη διάταξη των μυϊκών και τενόντιων ινών κατά μήκος του μυός, ενώ η μετάδοση της δύναμης του μυός στην άρθρωση επηρεάζεται από το μοχλό δύναμης. Η ισομετρική αξιολόγηση της δύναμης αφορά την ικανότητα παραγωγής δύναμης σε στατικές συνθήκες. Αξιολογείται η ικανότητα παραγωγής μέγιστης δύναμης, ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης δύναμης, η εκρηκτική δύναμη και ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης σε μια συγκεκριμένη θέση του σώματος. Η ισοκινητική αξιολόγηση αναφέρεται στην αξιολόγηση της ροπής κατά την αρθρική κίνηση με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει την ικανότητα παραγωγής μέγιστης ροπής, τη γωνία επίτευξης της μέγιστης ροπής, το έργο και την ισχύ αλλά και την αναλογία ροπής μεταξύ ανταγωνιστικών ομάδων γύρω από μια άρθρωση ή μεταξύ δεξιάς και αριστερής πλευράς του σώματος. Τόσο η ισοκίνηση όσο και η ισομετρία παρουσιάζουν υψηλή εγκυρότητα και αξιοπιστία.

Προαπαιτούμενη γνώση

Για την κατανόηση του κεφαλαίου αυτού απαιτείται η γνώση της βασικής περιγραφικής ανατομικής και φυσιολογίας του νευρικού και του μυϊκού συστήματος. Οι γνώσεις που αφορούν τα παραπάνω γνωστικά αντικείμενα μπορούν να αντληθούν από κάθε σχετικό εισαγωγικό σύγγραμμα. Επιπλέον, πληροφορίες μπορούν να αναζητηθούν στα ακόλουθα συγγράμματα: Κέλλης Ε. (2008) *Νευρο-μηχανικές Αρχές Αξιολόγησης της Μυϊκής Δύναμης*, Εκδόσεις Τελέθριο και Εποκα R. (2007) *Αρχές εμβιομηχανικής και φυσιολογίας της κίνησης*, Εκδόσεις Πασχαλίδης.

Στόχοι κεφαλαίου

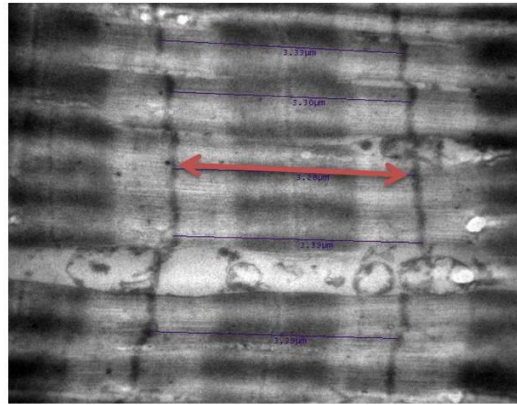
Μετά την ανάγνωση αυτού του κεφαλαίου θα είστε σε θέση να:

- Να γνωρίζετε τα βασικά χαρακτηριστικά παραγωγής μυϊκής δύναμης.
- Να σχεδιάσετε ένα βασικό πρωτόκολλο ισομετρικής αξιολόγησης της μυϊκής δύναμης.
- Να ερμηνεύσετε τα αποτελέσματα μιας δοκιμασίας ισομετρικής αξιολόγησης της δύναμης.
- Να σχεδιάσετε ένα βασικό πρωτόκολλο ισοκινητικής αξιολόγησης της μυϊκής δύναμης.
- Να ερμηνεύσετε τα αποτελέσματα μιας δοκιμασίας ισοκινητικής αξιολόγησης της δύναμης.

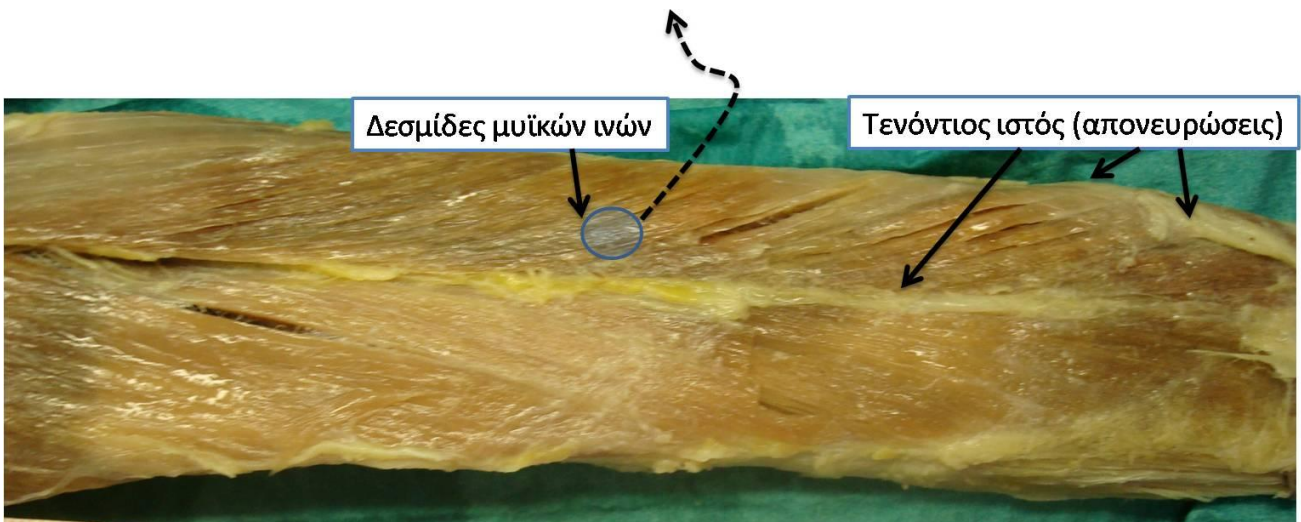
1. Εισαγωγή

Ένας από τους παράγοντες οι οποίοι προσδιορίζουν την αθλητική απόδοση είναι η ικανότητα του αθλητή να παράγει τη δύναμη η οποία είναι απαραίτητη για την επιτυχή εκτέλεση της αθλητικής κίνησης. Για αυτόν το λόγο, η αξιολόγηση της μυϊκής δύναμης αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της παρακολούθησης της φυσικής κατάστασης και της προόδου των αθλητών.

Η ικανότητα παραγωγής μυϊκής δύναμης προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του νευρικού, του μυϊκού και του ερειστικού συστήματος καθώς και της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης. Ο νευρικός μηχανισμός αναφέρεται στη διαδικασία σύλληψης, σχεδιασμού και εκτέλεσης της κίνησης, μέρος της οποίας αποτελεί η δημιουργία και η μετάδοση κινητικών εντολών με τη μορφή δυναμικών ενέργειας από το νευρικό σύστημα στο μυ. Ο μυϊκός μηχανισμός αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής δύναμης από τις ενεργοποιημένες μυϊκές ίνες μέσω της συστολής τους. Ο ρόλος του ερειστικού συστήματος αναφέρεται, κυρίως, στη διάταξη των οστών σε σχέση με τους μύες βάσει της οποίας προσδιορίζονται οι μοχλοί δύναμης των μυών ως προς τα κέντρα των αρθρώσεων.



Σαρκομέριο



Εικόνα 7.1: Στοιχεία του μυός. Οι μυϊκές ίνες περιβάλλονται από μεμβράνες συνδετικού ιστού σχηματίζοντας δεσμίδες. Οι δεσμίδες προσφύονται στις τενόντιες απνευρώσεις. Ο τενόντιος ιστός μαζί με το συνδετικό ιστό, ο οποίος βρίσκεται εντός των μυϊκών ινών, αποτελούν τα παθητικά στοιχεία του μυός. Η μεγέθυνση μιας μυϊκής ίνας με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο επιτρέπει την αναγνώριση του ενεργητικού στοιχείου του μυός, δηλαδή του σαρκομερίου.

Ο μυς αποτελείται από ίνες οι οποίες είναι οργανωμένες σε δεσμίδες που προσφύονται στους τένοντες. Ο μυϊκός ιστός πολύ συχνά αναφέρεται ως το συστατικό ή ενεργητικό στοιχείο του μυός, ενώ ο τένοντιος και λοιπός συνδετικός ιστός αποτελούν τα ελαστικά ή τα παθητικά στοιχεία (Εικόνα 7.1).

Αναλυτικότερα, κάθε μυϊκή ίνα αποτελείται από νηματία, καθένα από τα οποία φέρει μια συγκεκριμένη πρωτεϊνική σύνθεση. Η διάταξη των νηματίων της πρωτεΐνης ακτίνης και της μυοσΐνης προσδίδουν στη μυϊκή ίνα μια χαρακτηριστική γράμμωση, η οποία προέρχεται από τη διαφορετική χρώση των νηματίων. Η χαρακτηριστική σκούρη γραμμή ονομάζεται γραμμή Z, ενώ η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές γραμμές Z ορίζει το σαρκομέριο. Το νηματίο της μυοσΐνης είναι πιο παχύ και βρίσκεται στο κέντρο του σαρκομερίου, ενώ τα νηματία της ακτίνης εκτείνονται σε όλο το μήκος του σαρκομερίου.

Η μετάδοση του δυναμικού ενέργειας από το νεύρο στο μυ μέσω της σύναψης πυροδοτεί μια σειρά από διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στη σύσπαση του μυός και στην παραγωγή δύναμης. Συγκεκριμένα, το δυναμικό ενέργειας διαχέεται μέσω του σαρκοπλασματικού δικτύου στο μυϊκό κύτταρο και προκαλεί τη διάχυση ιόντων ασβεστίου. Με τη σειρά του το ασβέστιο ενώνεται με την πρωτεΐνη τροπομυοσΐνη, επιτρέποντας την ολίσθηση των νηματίων της ακτίνης με τα νηματία της μυοσΐνης μέσω της δράσης δύο υπομορίων της μυοσΐνης, τα οποία ονομάζονται εγκάρσιες γέφυρες σύνδεσης (Batters, Veigel, Homsher, & Sellers, 2014). Η ολίσθηση των νηματίων κατά μήκος της ίνας επιφέρει τη συνολική σύσπαση του μυός, η οποία με τη σειρά της έλκει τον τένοντα και προκαλεί την κίνηση του οστού στο οποίο προσφύεται.

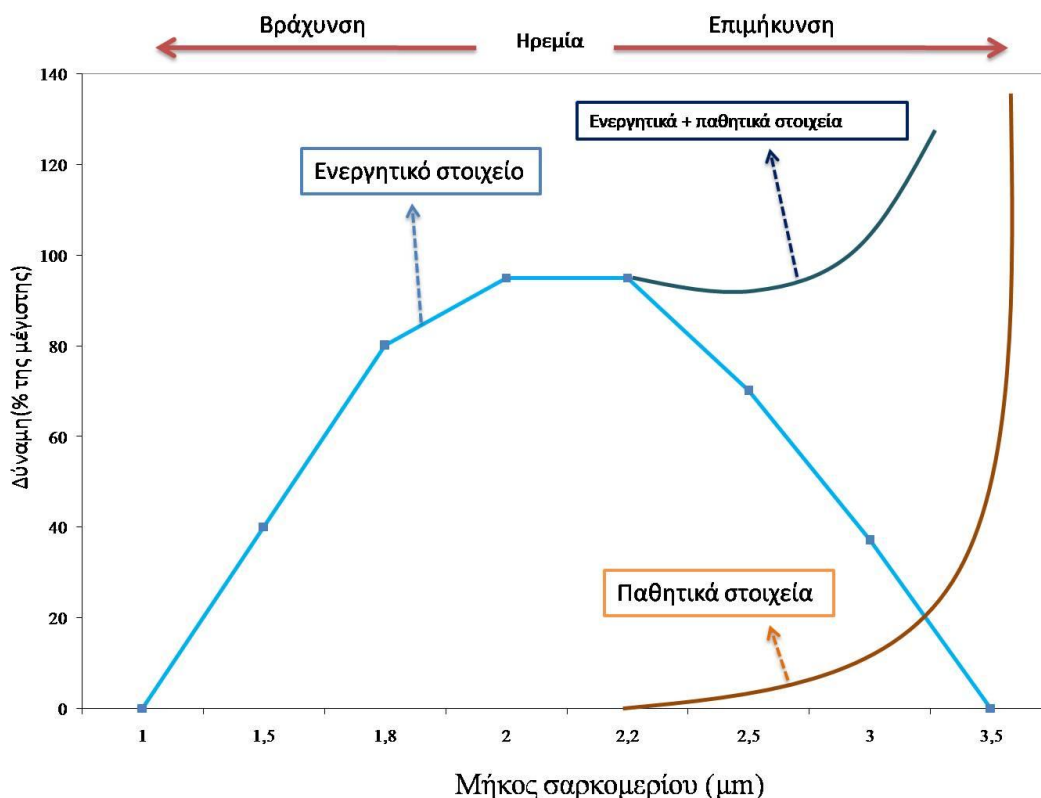
Τα ελαστικά στοιχεία διακρίνονται στα παράλληλα ελαστικά και στα ελαστικά στοιχεία σε σειρές. Τα πρώτα είναι ο συνδετικός ιστός που περιβάλλει το συστατικό μηχανισμό του μυοϊνιδίου. Τα δεύτερα αναφέρονται στον ιστό που βρίσκεται σε σειρά με το συστατικό μηχανισμό συμπεριλαμβανομένου και του τένοντα του μυός. Ο συνδετικός ιστός λειτουργεί σαν ένα σκληρό ελατήριο. Όταν ο μυς συσπάται, ο τένοντας επιμηκύνεται και όταν ο μυς χαλαρώνει, ο τένοντας επανέρχεται στην αρχική του θέση. Επομένως, ανάλογα με τη διάρ-

κεια και το μέγεθος της σύσπασης του μυός, ο τένοντας μπορεί να αναπτύσσει δύναμη μέσα από τη διάταση και την ακόλουθη βράχυνσή του.

2. Μηχανικές ιδιότητες του μυοτενόντιου συστήματος

2.1. Σχέση μήκους – δύναμης (Μηκοδυναμική σχέση)

Η ικανότητα παραγωγής δύναμης εξαρτάται από το μήκος του μυός. Όταν ο μυς βρίσκεται στο κανονικό του μήκος, τότε η ικανότητα παραγωγής μέγιστης δύναμης είναι μέγιστη, επειδή η θέση των νηματίων της ακτίνης και μυοσίνης είναι ιδανική (Winter & Challis, 2010) (Εικόνα 7.2). Όταν ο μυς βραχύνεται τότε τα νημάτια συσσωρεύονται τόσο πολύ, ώστε να συμπίπτουν με αποτέλεσμα την κάθετη πτώση της παραγόμενης δύναμης σε τιμές λίγο μεγαλύτερες από το μηδέν. Όσο το μήκος του μυός μεγαλώνει τα νημάτια αποδεσμεύονται και, επομένως, η δύναμη μειώνεται. Όταν το μήκος του μυός είναι μέγιστο, ο αριθμός των γεφυρών σύνδεσης μεταξύ της ακτίνης και της μυοσίνης είναι μηδενικός και, επομένως, η παραγόμενη δύναμη πλησιάζει το μηδέν.



Εικόνα 7.2: Μηκοδυναμική – σχέση σε επίπεδο σαρκομερίου.

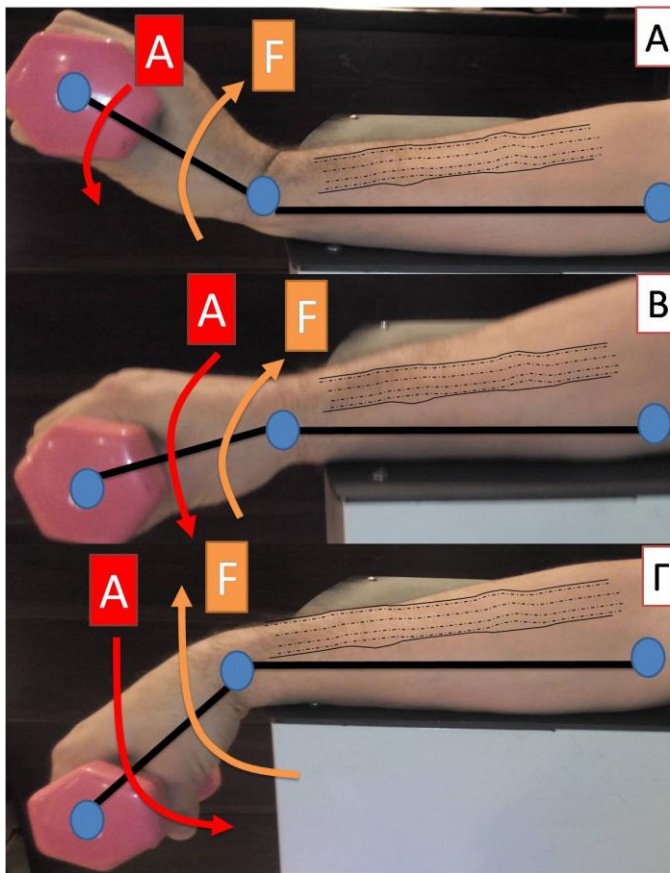
Η μηκοδυναμική σχέση των παθητικών στοιχείων διαφέρει σε σχέση με αυτή των ενεργητικών στοιχείων. Συγκεκριμένα, όταν ο μυς βρίσκεται στο κανονικό του μήκος, τα ελαστικά στοιχεία παραμένουν σε μια αδρανή κατάσταση χωρίς να παράγουν δύναμη. Καθώς ο μυς επιμηκύνεται, ο συνδετικός ιστός αρχίζει να διατείνεται με αποτέλεσμα τη βαθμιαία παραγωγή δύναμης. Σε μεγάλα μήκη μυός, η κύρια δύναμη που παράγεται από το μυοτενόντιο μηχανισμό προέρχεται από την αντίσταση του συνδετικού ιστού στην επιμήκυνση.

2.2. Είδη σύσπασης – δραστηριότητας

Κατά την εκτέλεση της ανθρώπινης κίνησης, οι μύες παράγουν δύναμη, ώστε να διατηρήσουν το σώμα σε μια σταθερή θέση ή να κινήσουν τα οστά γύρω από τις αρθρώσεις. Σε κάθε περίπτωση, η δύναμη των μυών έχει ως στόχο να υπερνικήσει ή να αντισταθεί σε μια εξωτερικά εφαρμοζόμενη δύναμη. Εξ ορισμού, η εξωτερική και η μυϊκή δύναμη έχουν αντίθετη διεύθυνση και φορά (δράση-αντίδραση). Η διαφορά στο μέτρο ανάμεσα στο ζευγάρι αυτών των δυνάμεων είναι καθοριστική για τον τρόπο λειτουργίας ολόκληρης της μυο-τενόντιας μονάδας. Συγκεκριμένα, διακρίνονται τρία είδη σύσπασης – δραστηριότητας του μυός:

1. Η ισομετρική, κατά την οποία η δύναμη που παράγεται από το μυ είναι ίση με την εξωτερική δύναμη και, επομένως, το μήκος του μυός παραμένει αμετάβλητο.

2. Η σύγκεντρη, κατά την οποία η μυϊκή δύναμη υπερνικά την εξωτερική, με αποτέλεσμα τη μείωση του μήκους του μυός.
3. Η έκκεντρη, κατά την οποία η μυϊκή δύναμη είναι μικρότερη της εξωτερικής δύναμης με αποτέλεσμα το μήκος του μυός να αυξάνει.

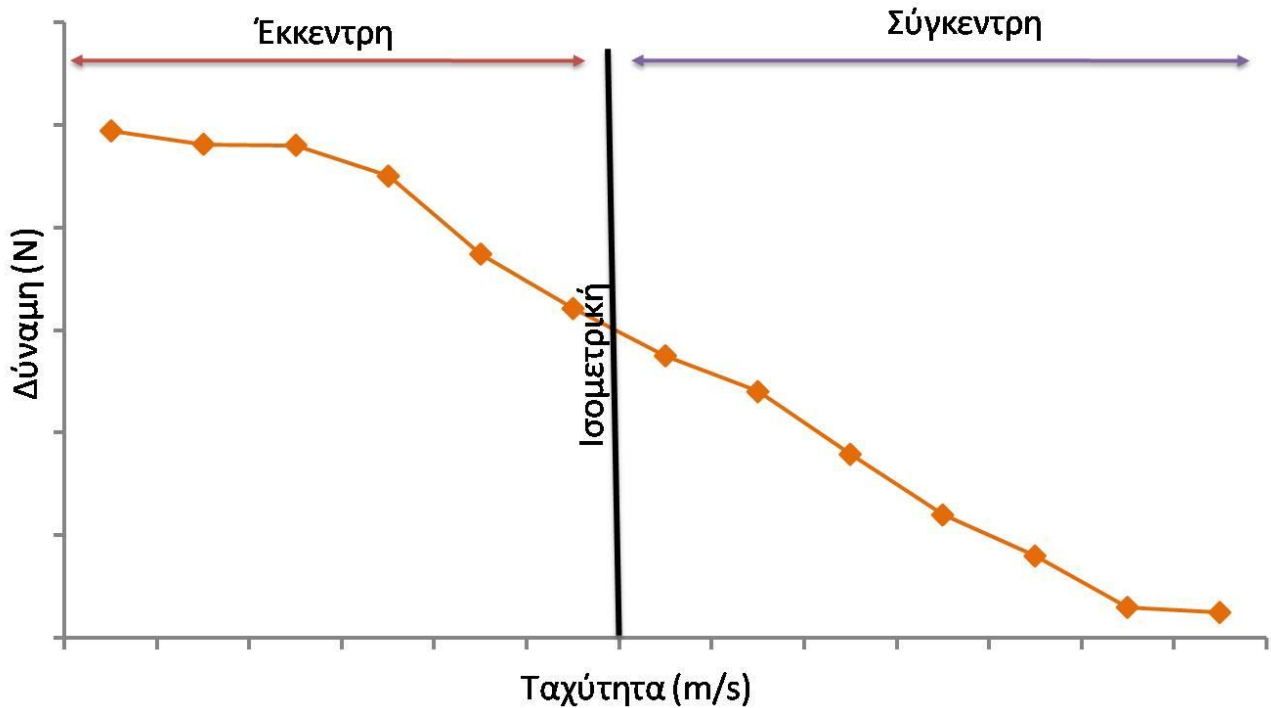


Εικόνα 7.3 : Τα είδη της μυϊκής δραστηριότητας των ραχιαίων καμπτήρων της πηχεοκαρπικής άρθρωσης, κατά την άρση ενός αλτήρα. Στην εικόνα B, ο ασκούμενος κρατάει τον αλτήρα σταθερό και, επομένως, η ροπή της μυϊκής δύναμης F είναι ίση με τη ροπή του αλτήρα A (Ισομετρική δραστηριότητα). Στην Εικόνα A, ο ασκούμενος εκτελεί ραχιαία κάμψη της πηχεοκαρπικής άρθρωσης. Αυτό συμβαίνει, επειδή η ροπή της μυϊκής δύναμης F είναι μεγαλύτερη από τη ροπή του αλτήρα A (Σύγκεντρη δραστηριότητα). Στην Εικόνα Γ, η πηχεοκαρπική εκτελεί παλαμιαία κάμψη, επειδή η ροπή του αλτήρα A είναι υψηλότερη από τη ροπή της μυϊκής δύναμης των ραχιαίων καμπτήρων της πηχεοκαρπικής άρθρωσης (Έκκεντρη δραστηριότητα).

Η δύναμη που παράγεται κατά την εκτέλεση έκκεντρων δραστηριοτήτων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις ισομετρικές, και τις σύγκεντρες. Αυτό, ίσως, οφείλεται στην αυξημένη δύναμη που παράγεται από τα παθητικά–ελαστικά στοιχεία του μυός, στη μειωμένη παραγωγή ενέργειας και στην αυξημένη δύναμη που παράγεται για να συγκρατήσει τα μυϊκά κύτταρα κατά την έκκεντρη δραστηριότητα.

2.3. Σχέση ταχύτητας – δύναμης (Ταχυδυναμική σχέση)

Η δύναμη που παράγουν οι μύες εξαρτάται από την ταχύτητα της μυϊκής σύσπασης. Η ταχυδυναμική σχέση διαφέρει ανάμεσα στην έκκεντρη και τη σύγκεντρη μυϊκή δραστηριότητα (Seow, 2013) (Εικόνα 7.4). Συγκεκριμένα, όσο αυξάνει η ταχύτητα σύσπασης, τόσο η σύγκεντρη μυϊκή δύναμη μειώνεται. Η μείωση της δύναμης αποδίδεται τόσο στη μείωση του αριθμού εγκάρσιων γεφυρών σύνδεσης μεταξύ της ακτίνης και της μωσίνης όσο και στη μειωμένη παραγωγή δύναμης από κάθε γέφυρα σύνδεσης. Αντιθέτως, κατά την έκκεντρη δραστηριότητα, η αύξηση της ταχύτητας οδηγεί σε αύξηση της παραγόμενης μυϊκής δύναμης. Η αύξηση αυτή αποδίδεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η υψηλότερη παραγωγή δύναμης, όταν η μυϊκή ίνα επιμηκύνεται και η αντίσταση που προβάλλει ο συνδετικός ιστός στην επιμήκυνσή του.



Εικόνα 7.4 : Σχηματική αναπαράσταση της ταχυδυναμικής σχέσης.

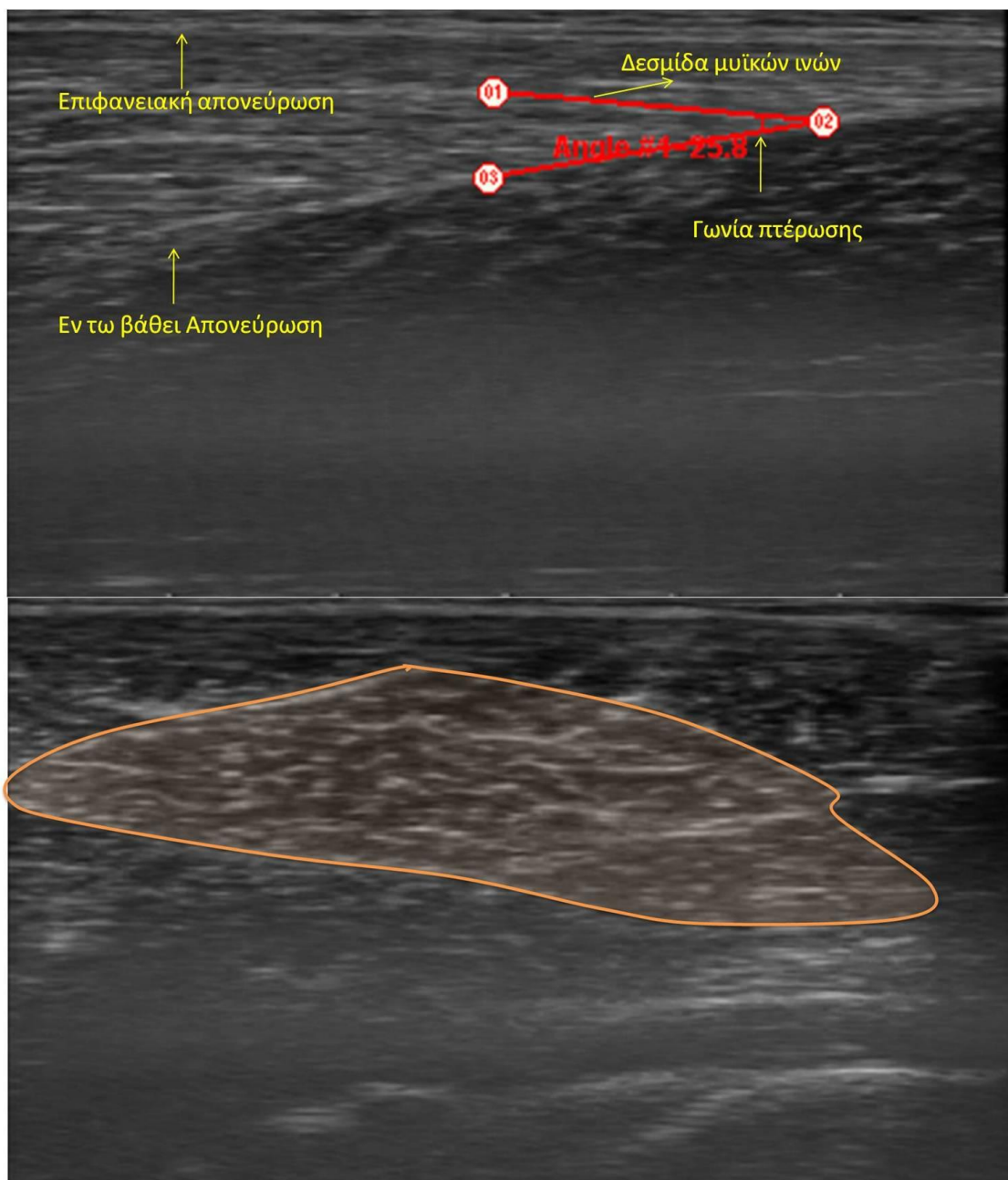
2.4. Μυϊκή δύναμη και ροπή

Η δύναμη των μυών προκαλεί την περιστροφή των οστών σε σχέση με τα κέντρα περιστροφής των αρθρώσεων. Το περιστροφικό αποτέλεσμα της δύναμης των μυών είναι η ροπή. Επομένως, η δύναμη με την οποία στρέφονται τα μέλη του σώματος δεν εξαρτάται μόνον από το μέγεθος της παραγόμενης μυϊκής δύναμης αλλά και από το μοχλό της δύναμης ως προς το κέντρο περιστροφής (Βλέπε Κεφάλαιο 4, Εικόνα 4.3).

Υπάρχουν τρεις τουλάχιστον τρόποι με τους οποίους ο μοχλός δύναμης επηρεάζει την εκτέλεση των κινήσεων. Πρώτον, ο μοχλός δύναμης διαφέρει ανάμεσα στους μύες. Για παράδειγμα, ο επιγονατιδικός τένοντας έχει μοχλό δύναμης ως προς το κέντρο περιστροφής της άρθρωσης του γόνατος ίσο με 4,5 cm, η μακρά κεφαλή του δικεφάλου 3,5 cm και ο ημιτενοντώδης μυς 7 cm (Herzog & Read, 1993). Αυτό σημαίνει ότι εάν οι τρεις μύες παράγουν την ίδια δύναμη, τότε η ροπή θα είναι μεγαλύτερη για τον ημιτενοντώδη και μικρότερη για τη μακρά κεφαλή του δικεφάλου μηριαίου. Αντιστρόφως, η ίδια κίνηση του γόνατος απαιτεί πολύ μεγαλύτερη παραγωγή δύναμης από το δικέφαλο μηριαίο σε σχέση με τους μύες με μεγαλύτερο μοχλό. Δεύτερον, ο μοχλός δύναμης δεν είναι σταθερός σε όλο το εύρος κίνησης της άρθρωσης. Για παράδειγμα, ο μοχλός του επιγονατιδικού τένοντα είναι 1 cm στην πλήρη έκταση και 4,5 cm στις 85° κάμψης του γόνατος. Αυτό σημαίνει ότι για να παράγει την ίδια ροπή σε όλο το εύρος κίνησης ο τετρακέφαλος χρειάζεται να παράγει περίπου τετραπλάσια δύναμη, όταν το γόνατο βρίσκεται σε έκταση σε σχέση με τη δύναμη που χρειάζεται όταν βρίσκεται σε κάμψη. Τρίτον, ο μυς με μεγάλο μοχλό δύναμης χρειάζεται να βραχυυνθεί περισσότερο, για να προκαλέσει την ίδια περιστροφή της άρθρωσης σε σχέση με ένα μυ με μικρό μοχλό δύναμης (Lieber & Friden, 2000). Με άλλα λόγια, ο μοχλός δύναμης επηρεάζει το εύρος κίνησης ενός μυός και της άρθρωσης την οποία κινεί. Ενώ λοιπόν, ένας μυς με μεγάλο μοχλό δύναμης διαθέτει μηχανικό πλεονέκτημα όσον αφορά την παραγωγή ροπής (για την ίδια δύναμη παράγει μεγαλύτερη ροπή), ταυτόχρονα ο ίδιος μυς εμφανίζει μειονέκτημα όσον αφορά την ικανότητα μεταβολής της θέσης της άρθρωσης (για την ίδια μεταβολή του μήκους παράγει μικρότερο εύρος κίνησης της άρθρωσης).

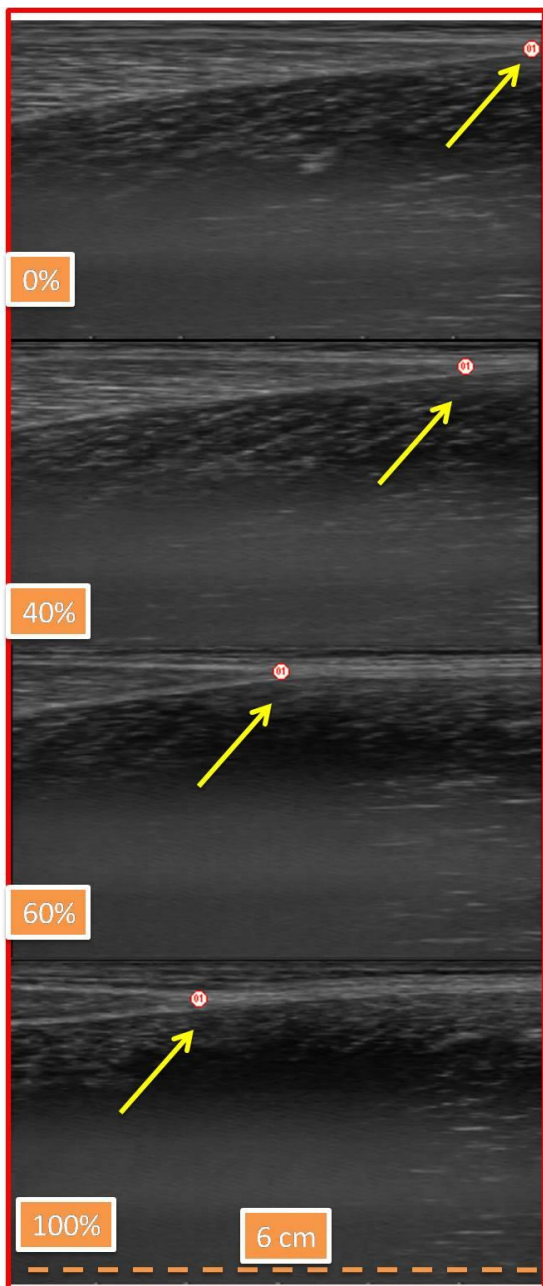
2.5. Μυϊκή δύναμη και αρχιτεκτονική

Ο όρος αρχιτεκτονική αναφέρεται στη μορφολογία του μυός και των δύο τενόντων του καθώς και τη μεταξύ τους διάταξη (μυοτενόντιο σύστημα) (Lieber & Friden, 2000). Η αρχιτεκτονική του μυοτενόντιου συστήματος εξετάζεται με τρεις μεθόδους: την πτωματική, τη μαγνητική τομογραφία και την υπερηχοτομογραφία.



Εικόνα 7.5: Κάτω: Εγκάρσια επιφάνεια του γαστροκνήμιου μύος, όπως αναλύεται με υπερηχοτομογράφο. Επάνω: γωνία πτέρωσης μιας δεσμίδας μυϊκών ινών του γαστροκνημίου μύος.

Συχνά ο μύς και ο τένοντας απεικονίζονται σαν να είναι ο ένας συνέχεια του άλλου, δηλαδή ως δύο στοιχεία σε σειρά. Όμως, αυτό δεν ισχύει για τους περισσότερους μύες. Επιπλέον, επειδή οι μυϊκές ίνες έχουν μικρότερο μήκος από αυτό του μύος, τα σημεία έκφυσης και κατάφυσής τους δεν είναι δυνατόν να βρίσκονται μόνο στους τένοντες. Καθώς ο τένοντας ενώνεται με τις μυϊκές ίνες, στην περιοχή της μυοτενόντιας σύζευξης, συνεχίζει να καλύπτει τον μυ, με μια μεμβράνη τενόντιου ιστού, η οποία ονομάζεται απονεύρωση. Αυτό επιτρέπει στις μυϊκές ίνες να προσφύονται στις απονευρώσεις και μέσω αυτών να μεταδίδεται η δύναμη της σύσπασής τους στον τένοντα (Εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.6: Επιμήκυνση του Αχιλλείου τένοντα κατά την ισομετρική σύσπαση των πελματιαίων καμπτήρων. Η επιμήκυνση ορίζεται ως η μετατόπιση του σημείου της σύζευξης του μύος με τον τένοντα από την ηρεμία (0% της μέγιστης δύναμης) μέχρι τη μέγιστη σύσπαση (100% της μέγιστης δύναμης).

Οι παράγοντες της αρχιτεκτονικής είναι:

- *Η εγκάρσια επιφάνεια.* Ορίζεται ως η επιφάνεια του μύος η οποία προκύπτει μετά από κάθετη διατομή του. Όσο πιο μεγάλη είναι η εγκάρσια επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα παραγωγής δύναμης του μύος.
- *Το μήκος μυϊκής ίνας.* Οι ίνες δεν έχουν το ίδιο μήκος με τον μυ στον οποίο ανήκουν. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της μυϊκής ίνας τόσο μεγαλύτερο εύρος κίνησης διαθέτει. Συνήθως, μύες με μεγάλο μήκος μυϊκών ινών εμφανίζουν χαμηλή ικανότητα παραγωγής δύναμης.
- *Η γωνία πτέρωσης:* Οι ίνες του μύος σχηματίζουν γωνία με τη γραμμή που ενώνει τα δύο άκρα του μύος. Τις περισσότερες φορές ως γωνία πτέρωσης ορίζεται ως η γωνία ανάμεσα στη μυϊκή ίνα και την εν τω βάθει απονεύρωση του μύος. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία πτέρωσης τόσο μειωμένο είναι το ποσοστό της δύναμης που μεταφέρεται στον τένοντα.

Όμως, όταν η γωνία πτέρωσης κυμαίνεται από 0° έως 30° τότε επιτρέπει την ταυτόχρονη σύσπαση περισσότερων σαρκομερίων ανά μονάδα επιφάνειας του μυός (Κέλλης, 2008).

- *Η διάταση και η σκληρότητα της μυϊκής ίνας και του τένοντα:* Όταν ο μυς συσπάται, ο τένοντας επιμηκύνεται. Όταν όλη η μυοτενόντια μονάδα επιμηκύνεται παθητικά, τότε η διάταση «μοιράζεται» ανάμεσα στο μυ και στον τένοντα ανάλογα με τα μορφομετρικά τους χαρακτηριστικά (Hoang, Herbert, Todd, Gorman, & Gandevia, 2007). Η διάταση του τένοντα και των μυϊκών ινών αναφέρεται στην ποσοστιαία μεταβολή του μήκους τους κατά την εκτέλεση μιας κίνησης.

Ο συνδυασμός της αρχιτεκτονικής διάταξης, της μορφολογίας και του μοχλού δύναμης καθορίζει τα χαρακτηριστικά της παραγωγής δύναμης και της μεταβολής του μήκους του μυός με επιπτώσεις στο εύρος κίνησης των αρθρώσεων. Για παράδειγμα, μύες με μεγάλο μήκος μυϊκών ινών, χαμηλή γωνία πτέρωσης αλλά μικρό μοχλό μοχλό δύναμης, εμφανίζουν χαμηλή ικανότητα παραγωγής ροπής, μεγάλο εύρος μεταβολής του μήκους τους και αντίστοιχα μεγαλύτερο εύρος κίνησης των αρθρώσεων. Το αντίθετο συμβαίνει με μύες οι οποίοι διαθέτουν μικρό μήκος μυϊκών ινών, μεγάλη γωνία πτέρωσης αλλά μεγάλο μοχλό δύναμης.

3. Ισομετρική αξιολόγηση της δύναμης

Η ισομετρική αξιολόγηση αφορά την καταγραφή και ανάλυση της δύναμης του εξεταζόμενου σε στατικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, ο εξεταζόμενος καλείται να παράγει δύναμη απέναντι σε μια εξωτερική αντίσταση χωρίς, όμως, η προσπάθεια να συνοδεύεται από (ορατή) κίνηση των μελών του σώματος. Η δύναμη καταγράφεται με ειδικούς αισθητήρες ανάλογα με την κίνηση που αξιολογείται.

3.1. Τύποι ισομετρικών δυναμόμετρων

Οι τύποι των ισομετρικών δυναμόμετρων είναι οι εξής:

1. *Δυναμόμετρα χειρός :* Πρόκειται για συσκευές οι οποίες αποτελούνται από ένα ποτενσιόμετρο ή έναν αισθητήρα καταγραφής της δύναμης. Το δυναμόμετρο τοποθετείται στο σημείο επαφής μεταξύ του εξεταστή και του εξεταζόμενου. Ο εξεταστής κρατάει το δυναμόμετρο από τη χειρολαβή, ενώ το άτομο ασκεί ισομετρική δύναμη στην αντίθετη κατεύθυνση. Πρόκειται για μια απλή μέθοδο αξιολόγησης της δύναμης, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δύναμη του εξεταστή.
4. *Δυναμόμετρα με ιμάντα και αισθητήρα:* Ένας ιμάντας τοποθετείται στο μέλος του σώματος στο οποίο εφαρμόζει δύναμη ο μυς (ή η μυϊκή ομάδα) που μας ενδιαφέρει. Το άλλο άκρο του ιμάντα προσδένεται σε ένα σταθερό σημείο και το άτομο εκτελεί μέγιστη προσπάθεια έναντι της αντίστασης του ιμάντα. Το μειονέκτημα αυτών των δυναμόμετρων είναι ότι η αξιολόγηση περιορίζεται μόνο σε μια γωνιακή θέση, ενώ εμφανίζει προβλήματα εγκυρότητας.
5. *Ηλεκτρονικά ελεγχόμενα δυναμόμετρα:* Είναι δυναμόμετρα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν την εφαρμοζόμενη δύναμη σε πολλές γωνιακές θέσεις.

3.2. Διαδικασία αξιολόγησης της μέγιστης ισομετρικής δύναμης

Τα πρώτο βασικό στοιχείο ενός πρωτοκόλλου αξιολόγησης της ισομετρικής δύναμης είναι ο καθορισμός της θέσης του εξεταζόμενου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ικανότητα παραγωγής δύναμης εξαρτάται άμεσα από το μήκος των εμπλεκόμενων μυών, το οποίο μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση της άρθρωσης. Ένα πρωτόκολλο κόπωσης θα πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε να μην αποφεύγεται η κούραση του εξεταζόμενου, αλλά και να παρέχει τη μέγιστη δυνατή πληροφόρηση.

Ένα τυπικό πρωτόκολλο περιλαμβάνει αξιολόγηση της δύναμης σε τρεις γωνιακές θέσεις της άρθρωσης, ώστε να αποτυπώνει την ικανότητα παραγωγής δύναμης σε διαφορετικά σημεία της μηκοδυναμικής καμπύλης. Εάν, όμως, ο στόχος της δοκιμασίας είναι η αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης, τότε επιλέγεται εκείνη η θέση της άρθρωσης κατά την οποία η ισομετρική δύναμη είναι μέγιστη.



Εικόνα 7.7: Θέση του εξεταζόμενου κατά τη δοκιμασία ώθησης των ποδιών.

Μετά τη σταθεροποίηση του εξεταζόμενου στη θέση εξέτασης, ο εξεταστής παρέχει οδηγίες προς τον εξεταζόμενο σχετικά με το είδος και τον τρόπο αξιολόγησης. Ακολουθούν δοκιμαστικές προσπάθειες σε κάθε γωνιακή θέση. Οι προσπάθειες κυμαίνονται από 3 έως 5 και μπορούν να εκτελεστούν με υπο-μέγιστη και μέγιστη ένταση.

Στη συνέχεια ακολουθεί η εκτέλεση του κυρίως πρωτοκόλλου, το οποίο, συνήθως, αποτελείται από την εκτέλεση τριών έως πέντε προσπαθειών μέγιστης έντασης. Η διάρκεια της κάθε προσπάθειας κυμαίνεται από - 7s, με πιο συχνό το διάστημα των 5s. Το διάλειμμα ανάμεσα στις συνεχόμενες προσπάθειες κυμαίνεται από 1 έως 3 λεπτά. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ο εξεταστής παρέχει πληροφόρηση σχετικά με τη μέτρηση προς τον εξεταζόμενο με έναν αυστηρά καθορισμένο τρόπο.

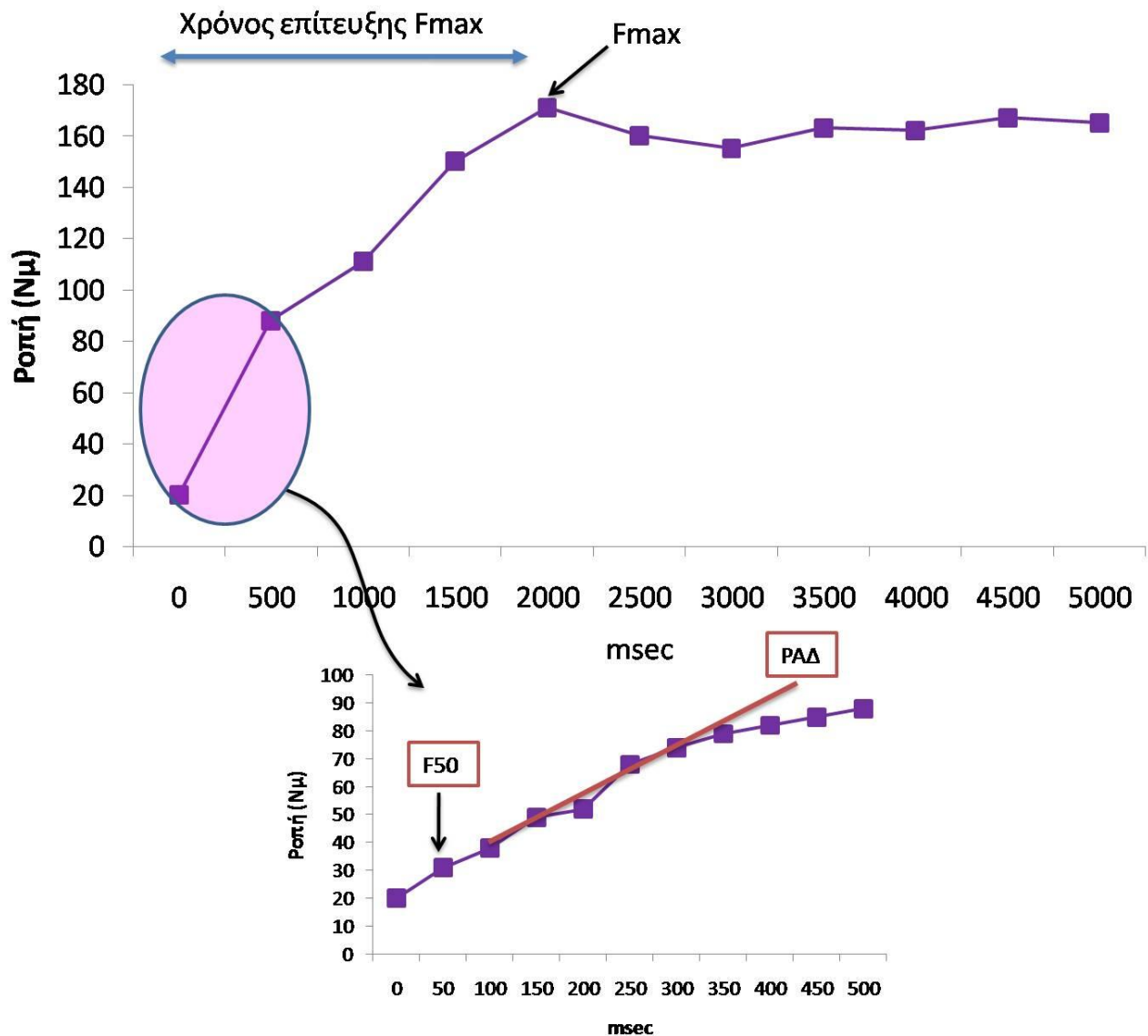
Η προσπάθεια χαρακτηρίζεται έγκυρη, όταν ο εξεταζόμενος παράγει δύναμη σε όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας. Η περίπτωση μη τήρησης αυτής της συνθήκης οδηγεί σε εσφαλμένο υπολογισμό δεικτών της ισομετρικής δύναμης. Παρόμοια, μια προσπάθεια χαρακτηρίζεται άκυρη, όταν ο ασκούμενος αλλάζει τη θέση του σώματός του κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας.

3.3. Μεταβλητές αξιολόγησης της ισομετρικής δύναμης

Ανάλογα με τον τύπο κατασκευής, το ισομετρικό δυναμόμετρο καταγράφει τη δύναμη ή τη ροπή η οποία εφαρμόζεται από τον εξεταζόμενο κατά τη διάρκεια της προσπάθειας. Οι κυριότερες μεταβλητές αξιολόγησης της ισομετρικής δύναμης εξάγονται από την καμπύλη της δύναμης και είναι οι ακόλουθες (Ioakimidis, Gerodimos, Kellis, & Kellis, 2002):

1. *Μέγιστη δύναμη:* Πρόκειται για τη μέγιστη τιμή της δύναμης κατά τη διάρκεια της προσπάθειας. Η μονάδα μέτρησης είναι το N ή το Nm.
2. *Ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης:* υπολογίζεται από την κλίση της καμπύλης δύναμης-χρόνου από την έναρξη της προσπάθειας μέχρι τη στιγμή επίτευξης της μέγιστης δύναμης. Η μονάδα μέτρησης είναι το N /s ή το Nm /s.

3. Δύναμη σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα: είναι η δύναμη η οποία αναπτύσσεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα από την έναρξη της προσπάθειας. Συχνά, υπολογίζεται η τιμή της δύναμης στα πρώτα 30 ή 50 ms, η οποία χρησιμοποιείται ως δείκτης της ικανότητας παραγωγής «εκρηκτικής» δύναμης.
4. Χρόνος επίτευξης διαφόρων τιμών δύναμης: πρόκειται για το χρόνο επίτευξης προκαθορισμένων τιμών δύναμης, όπως ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης τιμής ή του 50% της μέγιστης τιμής.
5. Αναλογία δύναμης ανταγωνιστών/αγωνιστών μυών: Όταν είναι εφικτή η αξιολόγηση των ανταγωνιστικών μυϊκών ομάδων στην ίδια γωνία, τότε η αναλογία δύναμης είναι χρήσιμη για την ανίχνευση μυϊκών ανισορροπιών γύρω από μια άρθρωση.



Εικόνα 7.8: Καμπύλη ροπής -χρόνου κατά την εκτέλεση ισομετρικής κάμψης του γόνατος. Η διάρκεια της προσπάθειας ήταν 5 s. Διακρίνονται η μέγιστη δύναμη (F_{max}), ο χρόνος επίτευξης της F_{max} (πάνω γράφημα), η δύναμη στα πρώτα 50 msec (F_{50}) καθώς και ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης (PAD).

3.4. Σφάλματα κατά την ισομετρική αξιολόγηση

Η αξιολόγηση της δύναμης σε στατικές συνθήκες εμφανίζει υψηλή αξιοπιστία και εγκυρότητα. Πρακτικές οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε σφάλματα είναι οι εξής:

1. Μεταβολή της θέσης του ατόμου κατά τη διάρκεια της μέτρησης: Μια μικρή κίνηση του μέλους ή των μελών του σώματος κατά τη διαδικασία επηρεάζει την τελική αξιολόγηση. Αντίκειται, δε, στη φιλοσοφία της μέτρησης, αφού δεν επιτρέπεται καμία κίνηση.

6. *Μη σωστή εκτέλεση της προσπάθειας:* Ο εξεταζόμενος δεν εκτελεί την προσπάθεια όσο πιο γρήγορα και δυνατά μπορεί. Στην περίπτωση αυτή, οι δείκτες της εκρηκτικής δύναμης είναι εσφαλμένοι.

3.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ισομετρικών δυναμόμετρων

Τα πλεονεκτήματα των ισομετρικών δυναμόμετρων είναι τα εξής:

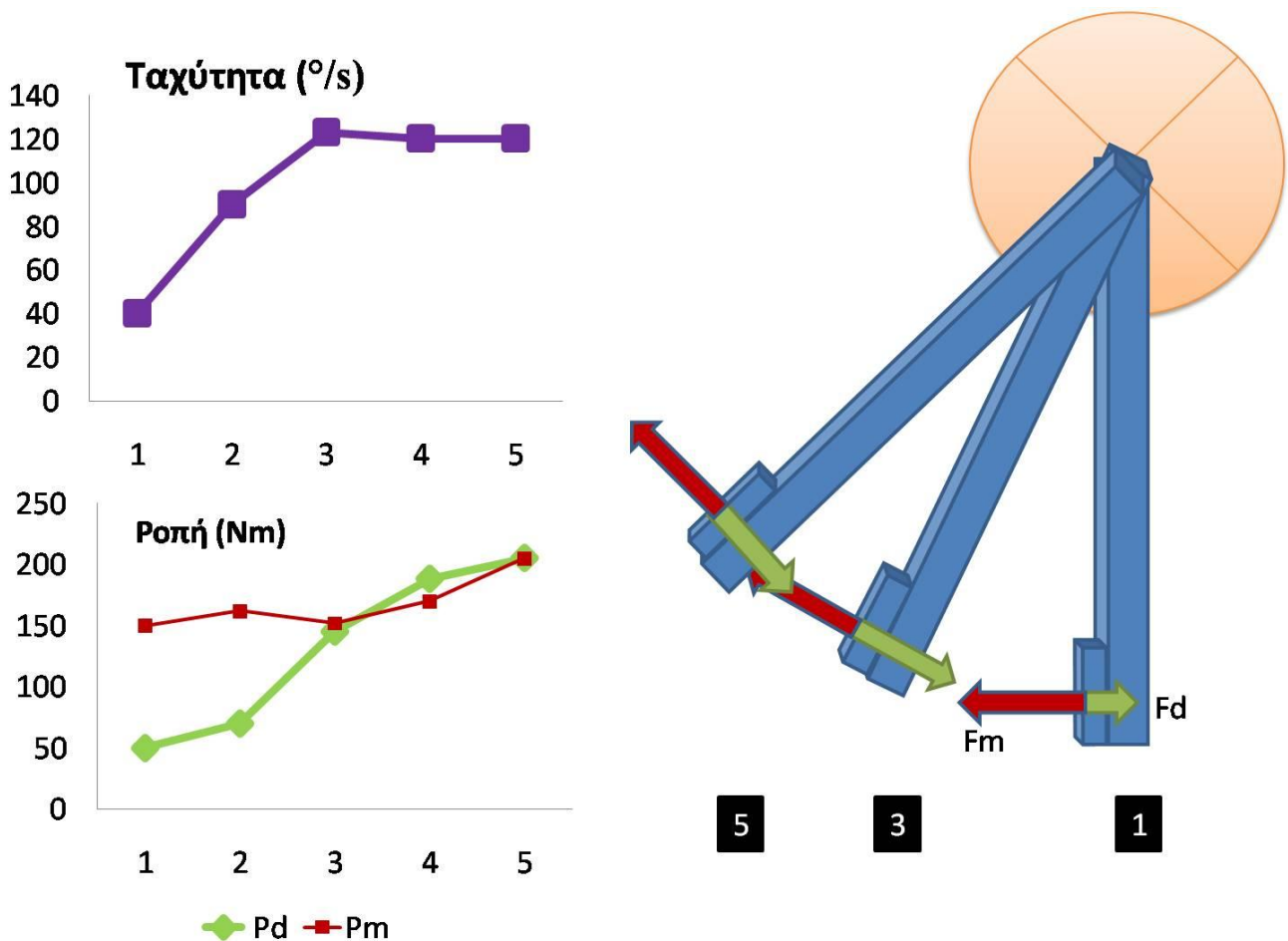
1. *Εύκολη και γρήγορη διαδικασία αξιολόγησης:* Η διαδικασία είναι σχετικά εύκολη και κατανοητή από τον εξεταζόμενο.
2. *Υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία:* Τα σύγχρονα δυναμόμετρα διαθέτουν αισθητήρες υψηλής ευαισθησίας. Επίσης, επειδή η προσπάθεια είναι στατική, η αξιολόγηση εμφανίζει υψηλή αξιοπιστία.
3. *Αξιολόγηση της εκρηκτικής δύναμης:* Η ικανότητα παραγωγής δύναμης σε μικρό χρονικό διάστημα είναι σημαντικό χαρακτηριστικό της αθλητικής απόδοσης. Η ισομετρία παρέχει αυτήν τη δυνατότητα σε αντίθεση με την ισοκινητική δυναμομετρία η οποία δεν παρέχει αξιολόγηση αυτής της ικανότητας.
4. *Χαμηλό κόστος:* Το κόστος κατασκευής είναι πολύ χαμηλότερο από αυτό των ισοκινητικών δυναμόμετρων.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ισομετρικών δυναμόμετρων είναι τα εξής:

2. *Αξιολόγηση σε συγκεκριμένες γωνιακές θέσεις:* Η ανάλυση αφορά την ικανότητα παραγωγής δύναμης σε συγκεκριμένες θέσεις του εξεταζόμενου. Συνεπώς, η μέγιστη ισομετρική τιμή σε μια συγκεκριμένη θέση ενδέχεται να μην αντικατοπτρίζει την παραγωγή δύναμης σε άλλες γωνιακές θέσεις.
3. *Η ισομετρική προσπάθεια δεν εμπεριέχει κίνηση:* Η αξιολόγηση αναφέρεται σε στατικές συνθήκες, ενώ στην πραγματικότητα τα μέλη κινούνται παράγοντας δύναμη ή ροπή.
4. *Δεν είναι εφικτή η αξιολόγηση πολλών αρθρώσεων με ένα δυναμόμετρο:* Τα ισομετρικά δυναμόμετρα είναι σχεδιασμένα για την αξιολόγηση συγκεκριμένων μυϊκών ομάδων όπως π.χ. των πελματιαίων καμπτήρων ή όλων των μυών των κάτω άκρων. Για παράδειγμα, ένα ισομετρικό δυναμόμετρο αξιολόγησης της πίεσης των ποδιών (leg press) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της δύναμης των μυών των άνω άκρων και του κορμού. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις κατά τις οποίες η αξιολόγηση πραγματοποιείται με τη χρήση ενός ισοκινητικού δυναμόμετρου.

4.0. Ισοκινητική αξιολόγηση της δύναμης

Η ισοκινητική δυναμομετρία αναφέρεται στην αξιολόγηση της μυϊκής δύναμης σε δυναμικές κινήσεις με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Η διατήρηση σταθερής γωνιακής ταχύτητας αποτελεί και την ειδοποιό διαφορά ανάμεσα στην ισοκινητική δυναμομετρία και σε άλλες τεχνικές αξιολόγησης της μυϊκής δύναμης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ειδικού μηχανικού κυκλώματος σε δύο φάσεις (Εικόνα 7.9). Στην αρχική φάση, το δυναμόμετρο επιτρέπει στον εξεταζόμενο να ασκήσει υψηλή δύναμη/ροπή, ώστε να επιταχύνει το μοχλό του δυναμόμετρου. Μόλις ο μοχλός αναπτύξει την επιθυμητή γωνιακή ταχύτητα, η αντίσταση του δυναμόμετρου αυξάνει, ώστε να εξισωθεί με την εφαρμοζόμενη μυϊκή ροπή. Στην περίπτωση αυτή, στο σύστημα ασκούνται δύο αντίρροπες δυνάμεις (η δύναμη του ατόμου και η αντίσταση του δυναμόμετρου) και, επομένως, το σύστημα, μοχλός δυναμόμετρου-μέλος του σώματος κινείται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Στην ουσία το δυναμόμετρο καταγράφει τη ροπή που ασκείται στο μοχλό του δυναμόμετρου ως αντίδραση στη ροπή του ασκούμενου.



Εικόνα 7.9: Απλοποιημένη αναπαράσταση του μηχανισμού διατήρησης σταθερής γωνιακής ταχύτητας. Θέση 1: Με την έναρξη της κίνησης, ο εξεταζόμενος ασκεί στο δυναμόμετρο μια δύναμη F_m και άρα μια ροπή (P_m). Η αντίσταση του δυναμόμετρου (F_d) είναι ελάχιστη και, επομένως, ο μοχλός επιταχύνει και η γωνιακή ταχύτητα αυξάνεται. Θέσεις 2-3: Ο μοχλός συνεχίζει να επιταχύνει μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή γωνιακή ταχύτητα. Θέσεις 4-5: Αφού επιτευχθεί η γωνιακή ταχύτητα, τότε η αντίσταση του δυναμόμετρου (P_m) και η ροπή δύναμης (P_d) του εξεταζόμενου είναι ίσες και η κίνηση συνεχίζεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα.

4.1. Διαδικασία αξιολόγησης

Τα βασικά στοιχεία ενός πρωτοκόλλου ισοκινητικής αξιολόγησης είναι το είδος της δραστηριότητας (έκκεντρη-σύγκεντρη), η γωνιακή ταχύτητα και το εύρος κίνησης. Ο καθορισμός αυτών των στοιχείων εξαρτάται από το στόχο της εξέτασης και τα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου. Σε γενικές γραμμές, ένα πρωτόκολλο αξιολόγησης της ικανότητας παραγωγής μέγιστης δύναμης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 6 σετ από 5 επαναλήψεις σε κάθε σετ, ώστε να αποφευχθεί η κούραση του εξεταζόμενου. Ένα πρωτόκολλο που μπορεί να αξιοποιήσει, πλήρως, τις δυνατότητες ενός ισοκινητικού δυναμόμετρου είναι το ακόλουθο:

- επιλογή πλευράς: Δεξιά και αριστερή,
- συνολικός αριθμός σετ ανά πλευρά: 6,
- αριθμός επαναλήψεων σε κάθε σετ: 5,
- είδος δραστηριότητας: έκκεντρη και σύγκεντρη,
- γωνιακές ταχύτητες: 3,
- εύρος κίνησης: το μέγιστο δυνατό,
- αριθμός μυών: αγωνιστές και ανταγωνιστές.

Με αυτό το πρωτόκολλο είναι εφικτή η αξιολόγηση βασικών ιδιοτήτων της μυϊκής λειτουργίας, δηλαδή, της ικανότητας δύναμης σε επιμήκυνση (έκκεντρη) και βράχυνση (σύγκεντρη), της ταχυδυναμικής σχέσης (μέσω της επιλογής διαφορετικών γωνιακών ταχυτήτων) και της μηκοδυναμικής σχέσης (μέσω της επιλογής του μέγιστου εφικτού εύρους κίνησης). Όσον αφορά τις γωνιακές ταχύτητες, συνήθως, επιλέγεται μια χαμηλή (από 30 έως 60°/s), μια ενδιάμεση (από 90 έως 120°/s) και μια υψηλή (από 150 έως 180°/s) ταχύ-

τητα. Ένα σετ αναφέρεται στην εκτέλεση τριών έως πέντε προσπαθειών μέγιστης έντασης σε μια συγκεκριμένη γωνιακή ταχύτητα. Επειδή η κίνηση είναι δυναμική, είναι εφικτή η αξιολόγηση της ροπής τόσο των αγωνιστών όσο και των ανταγωνιστών σε μια συνεχόμενη κίνηση (π.χ. κάμψη – έκταση).



Εικόνα 7.10 : Θέση του εξεταζόμενου κατά τη δοκιμασία αξιολόγησης των εκτεινόντων και καμπτήρων μυών της άρθρωσης του γόνατος.

Αφού καθοριστούν οι αρχές του βασικού πρωτοκόλλου, η διαδικασία ξεκινάει με την τοποθέτηση και σταθεροποίηση του εξεταζόμενου στο δυναμόμετρο. Η σταθεροποίηση γίνεται με ειδικούς ιμάντες και έχει ως στόχο την απομόνωση του μέλους ή των μελών τα οποία εξετάζονται από το υπόλοιπο μέρος του σώματος και την ευθυγράμμιση του κέντρου περιστροφής του μοχλού του δυναμόμετρου με το κέντρο περιστροφής της άρθρωσης.

Μετά τη σταθεροποίηση του εξεταζόμενου, ακολουθεί η ρύθμιση του εύρους κίνησης. Συγκεκριμένα, πρώτα ορίζεται το «ανατομικό μηδέν», δηλαδή, η θέση της άρθρωσης στην οποία η γωνία είναι μηδέν. Για παράδειγμα, για την άρθρωση του γόνατος, η πλήρης έκταση τίθεται ίση με μηδέν, ενώ για την ποδοκνημική το αντίστοιχο ανατομικό μηδέν είναι η ουδέτερη θέση. Στη συνέχεια ορίζεται η φορά της κίνησης έτσι ώστε η κάμψη του γόνατος να αντιστοιχεί σε θετικές τιμές ενώ η έκταση σε αρνητικές τιμές. Στη συνέχεια, ανάλογα με το σκοπό της εξέτασης, ορίζονται τα όρια του επιθυμητού εύρους κίνησης. Για παράδειγμα, παρόλο που μια άρθρωση έχει μέγιστο εύρος κίνησης ίσο με 140° , για το συγκεκριμένο πρωτόκολλο επιλέγεται η προσπάθεια να πραγματοποιηθεί με ένα μικρότερο εύρος κίνησης (90°), από τις 10° έως τις 100° κάμψης της άρθρωσης.

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της επίδρασης του βάρους του μέλους και του μοχλού, ώστε να μην επηρεάσει την τελική ροπή την οποία καταγράφει το δυναμόμετρο. Η διαδικασία αυτή απαιτεί από τον εξεταζόμενο να τοποθετήσει το μέλος της άρθρωσης σε ένα σημείο στο οποίο οι παθητικές δυνάμεις των μυών και των τενόντων είναι σχετικά χαμηλές (π.χ. για την άρθρωση του γόνατος επιλέγεται η γωνία κάμψης των 30°). Στη συνέχεια, ζητείται από τον εξεταζόμενο να χαλαρώσει σε αυτήν την θέση καθώς το δυναμόμετρο καταγράφει τη ροπή της βαρύτητας του μέλους και του μοχλού του δυναμόμετρου. Η ροπή της βαρύτητας υπολογίζεται σε κάθε γωνιακή θέση ως το γινόμενο της ροπής της βαρύτητας και του συνημιτόνου της γωνίας αυτής. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η σωστή καταγραφή της ροπής της βαρύτητας είναι ύψιστης σημασίας, διότι μπορεί να έχει καθοριστική επίδραση στην τελική ροπή, παραποιώντας, ουσιαστικά την τελική αξιολόγηση.

Ο εξεταζόμενος, συνήθως, καλείται να εκτελέσει μια σειρά δοκιμαστικών προσπαθειών, ώστε να εξοικειωθεί με το δυναμόμετρο. Ένα τυπικό πρωτόκολλο περιλαμβάνει 3 έως 5 δοκιμαστικές προσπάθειες σε κάθε γωνιακή ταχύτητα. Για αύξηση της αξιοπιστίας της μέτρησης, μπορεί να προηγηθεί μια δοκιμαστική εξέταση σε προγενέστερη ημερομηνία και σε επόμενη ημέρα να πραγματοποιηθεί η κυρίως μέτρηση. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται για την εξοικείωση του εξεταζόμενου με την εκτέλεση έκκεντρων προσπαθειών, λόγω της ιδιαίτερης υφής τους. Λόγω έλλειψης εξοικείωσης, πολλοί εξεταζόμενοι εκτελούν την άσκηση τμηματικά, και όχι ως μια ενιαία κίνηση. Στην περίπτωση αυτή, η προσπάθεια είναι εσφαλμένη και πρέπει να επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 7.11: Ευθυγράμμιση του κέντρου περιστροφής του μοχλού του δυναμόμετρου με το νοητό άξονα περιστροφής της άρθρωσης του γόνατος κατά την ισοκινητική δοκιμασία από την πρηνή θέση. Η ευθυγράμμιση αναπαρίσταται γραφικά με μια διακεκομμένη γραμμή. Παρά το γεγονός ότι η πλήρης ευθυγράμμιση είναι πρακτικά δύσκολη, ο εξεταστής θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός, ώστε η κίνηση ανάμεσα στα δύο κέντρα περιστροφής να περιορίζεται στο ελάχιστο τόσο κατά την ηρεμία όσο και κατά τη διάρκεια της προσπάθειας.

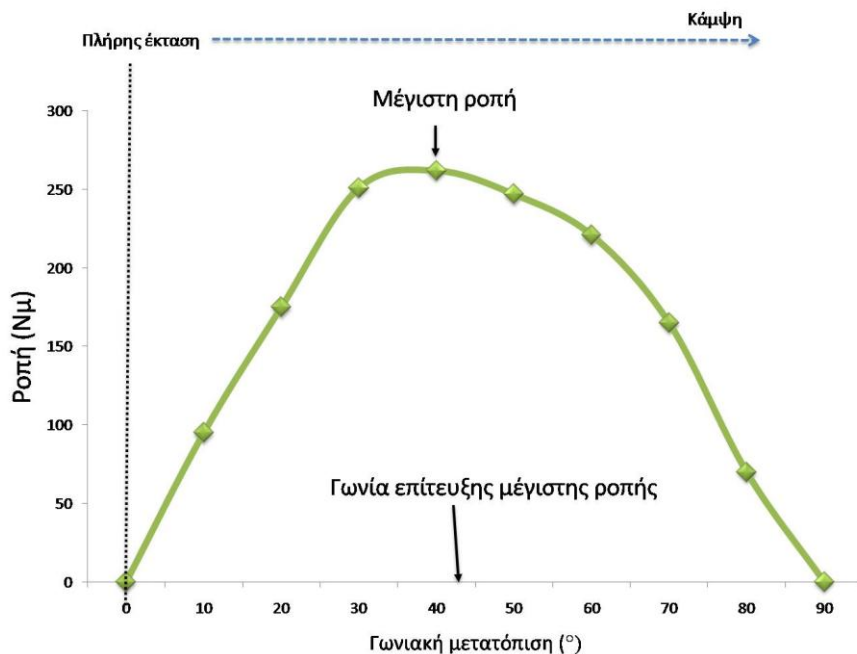
Στη συνέχεια ακολουθεί η εκτέλεση του κυρίως πρωτοκόλλου. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ο εξεταστής παρέχει πληροφόρηση σχετικά με τη μέτρηση προς τον εξεταζόμενο με έναν αυστηρά καθορισμένο τρόπο. Οι προσπάθειες εντός του σετ είναι συνεχόμενες, ενώ δίνεται ένα διάλειμμα ανάμεσα στα σετ, το οποίο κυμαίνεται από 2 έως 5 λεπτά. Η προσπάθεια χαρακτηρίζεται ως έγκυρη, όταν ο εξεταζόμενος πραγματοποιήσει την κίνηση σε όλο το προκαθορισμένο εύρος, καταβάλλοντας μέγιστη προσπάθεια. Τυχόν μη τήρηση αυτής της συνθήκης οδηγεί σε εσφαλμένο υπολογισμό παραμέτρων της αξιολόγησης. Παρόμοια, μια προσπάθεια χαρακτηρίζεται άκυρη, όταν ο ασκούμενος αλλάζει τη θέση του σώματος του κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας.

4.2. Μεταβλητές ισοκινητικής αξιολόγησης

Το ισοκινητικό δυναμόμετρο καταγράφει τη ροπή ως προς τη γωνιακή μετατόπιση της άρθρωσης. Με βάση τον τρόπο υπολογισμού τους οι μεταβλητές οι οποίες εξάγονται από το γράφημα ροπής - γωνιακής μετατόπισης, μπορούν να διακριθούν σε βασικές και σύνθετες. Να σημειωθεί ότι όλες οι μεταβλητές αναφέρονται στο διάστημα της κίνησης κατά το οποίο η γωνιακή ταχύτητα είναι σταθερή.

Οι βασικές μεταβλητές εξάγονται απευθείας από την ισοκινητική καταγραφή και είναι οι εξής (Baltzopoulos & Brodie, 1989· Kellis & Baltzopoulos, 1995) (Εικόνα 7.12):

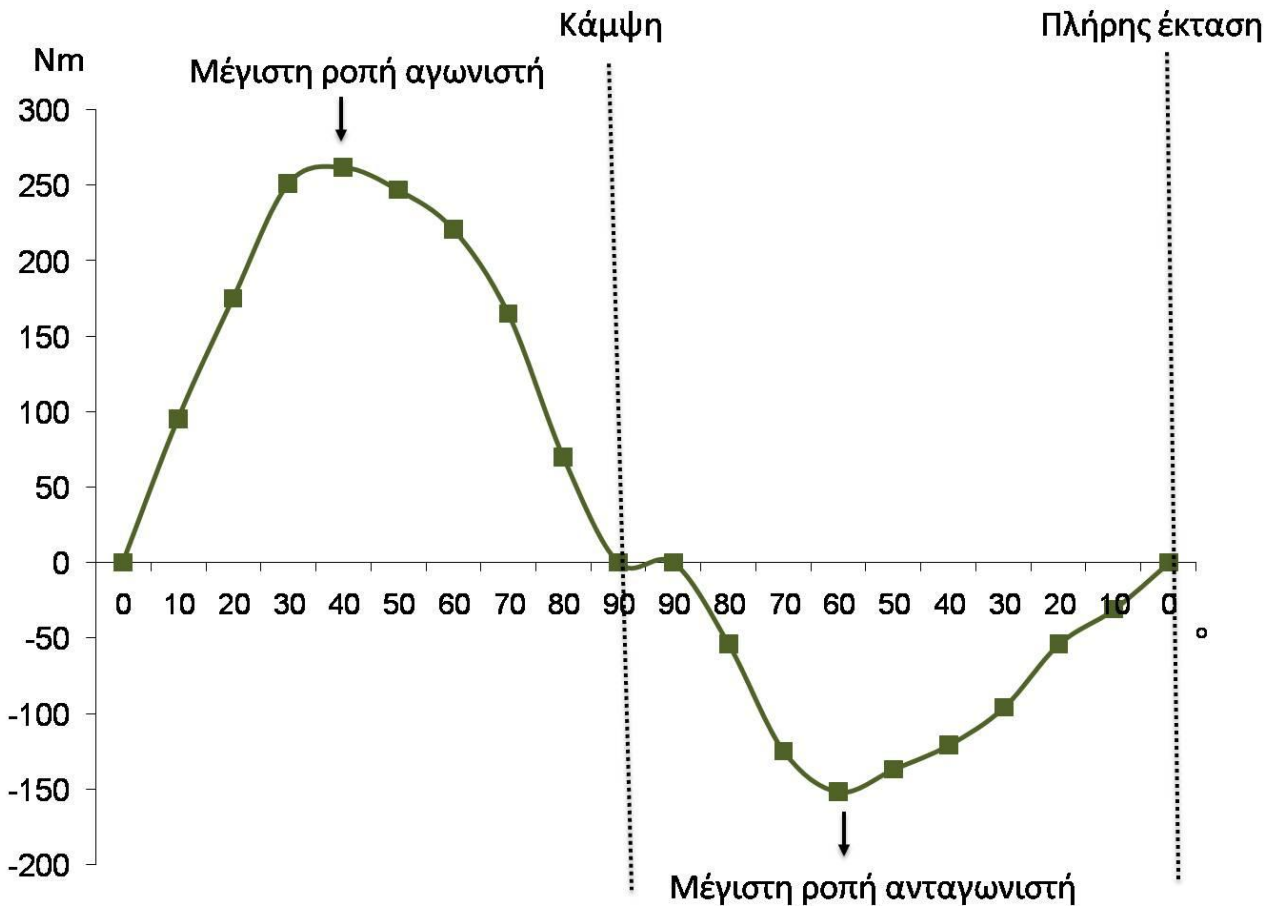
1. *Μέγιστη ροπή*: Ορίζεται ως η μέγιστη τιμή που πετυχαίνει το άτομο σε μια προσπάθεια.
2. *Γωνία επίτευξης της μέγιστης ροπής*: Είναι η γωνία στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη ροπή.
3. *Έργο*: είναι το γινόμενο της ροπής επί τη γωνιακή μετατόπιση.
4. *Ισχύς*: είναι το πηλίκο του έργου δια το χρόνο.



Εικόνα 7.12: Βασικές μεταβλητές της ισοκινητικής αξιολόγησης της έκτασης του γόνατος. Το δυναμόμετρο καταγράφει τη ροπή ως προς τη γωνιακή μετατόπιση. Διακρίνονται η μέγιστη ροπή και η γωνία επίτευξης της μέγιστης ροπής. Το εμβαδό της καμπύλης είναι το έργο, ενώ πολλαπλασιάζοντας τη ροπή με τη γωνιακή ταχύτητα λαμβάνουμε την ισχύ.

Οι σύνθετες μεταβλητές προέρχονται από την περαιτέρω επεξεργασία και το συνδυασμό των βασικών μεταβλητών και περιλαμβάνουν την (Kellis & Katis, 2007· Kellis, Mademli, Patikas, & Kofotolis, 2014):

1. *Αναλογία ανταγωνιστών/αγωνιστών*: Είναι η αναλογία της μέγιστης ροπής ανταγωνιστών ως προς τη μέγιστη ροπή των αγωνιστών μυών. Πρόκειται για ένα δείκτη ισορροπίας της ικανότητας δύναμης ανταγωνιστικών μεταξύ τους μυϊκών ομάδων (Εικόνα 7.13). Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη είναι η αναλογία ροπής καμπτήρων/εκτεινόντων των μυών του γόνατου. Όταν η αξιολόγηση πραγματοποιείται σε αργή ταχύτητα (π.χ. 30°/s), τότε η τιμή της αναλογίας κυμαίνεται από 0.50 έως 0.70. Αυτό σημαίνει ότι η ικανότητα ροπής των καμπτήρων μυών ισοδυναμεί περίπου με το 50 έως 70% της μέγιστης ροπής των εκτεινόντων μυών. Η αναλογία ανταγωνιστών/αγωνιστών διακρίνεται σε τυπική και λειτουργική, ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας που χρησιμοποιείται κατά την αξιολόγηση. Η τυπική αναλογία αναφέρεται στο λόγο της σύγκεντρης ροπής ανταγωνιστών: αγωνιστών μυών. Η λειτουργική αναλογία αναφέρεται στο λόγο της έκκεντρης ροπής των ανταγωνιστών ως προς τη μέγιστη σύγκεντρη ροπή των αγωνιστών μυών.
5. *Αμφίπλευρη αναλογία δύναμης*: Είναι η αναλογία της μέγιστης ροπής του μύος της δεξιάς πλευράς του σώματος ως προς την αντίστοιχη της αριστερής πλευράς. Πρόκειται για έναν δείκτη ισορροπίας της ικανότητας δύναμης μεταξύ των δύο πλευρών του σώματος ο οποίος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την ανίχνευση και βελτίωση αμφίπλευρων ελλειμμάτων δύναμης.



$$\text{Αναλογία ροπής} = 149 / 267 = 55.8\%$$

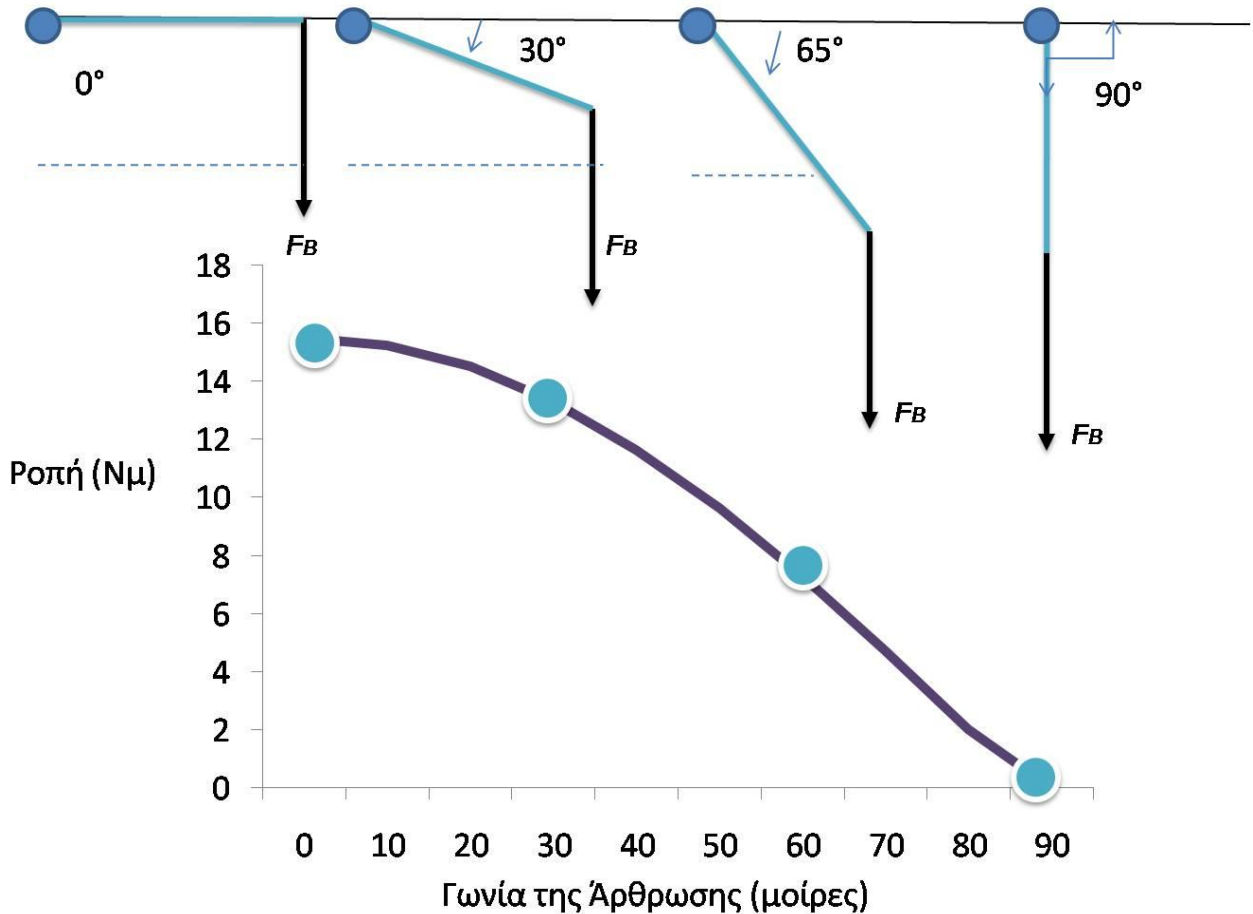
Εικόνα 7.13: Σύνθετες μεταβλητές κατά την ισοκινητική αξιολόγηση της κάμψης και έκτασης του γόνατος. Ο εξεταζόμενος εκτελεί μέγιστη έκταση και κάμψη της άρθρωσης του γόνατος. Από τις καμπύλες ροπής -γωνιακής μετατόπισης εξάγονται οι μέγιστες τιμές του ανταγωνιστή και του αγωνιστή. Στη συνέχεια υπολογίζεται η αναλογία ροπής ανταγωνιστών - αγωνιστών μρών.

4.3. Σφάλματα κατά την ισοκινητική αξιολόγηση

Η ισοκινητική δυναμομετρία χαρακτηρίζεται από υψηλή ακρίβεια, αξιοπιστία και εγκυρότητα υπό την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι ενδεδειγμένες διαδικασίες μέτρησης και ανάλυσης των δεδομένων. Πρακτικές οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε σφάλματα είναι οι εξής:

1. *Λανθασμένη καταγραφή της ροπής της βαρύτητας:* Ένα συνηθισμένο λάθος είναι να αγνοείται η διαδικασία καταγραφής της βαρύτητας ή να πραγματοποιείται με λάθος τρόπο π.χ. η θέση της άρθρωσης είναι εσφαλμένη ή δε χαλαρώνει ο εξεταζόμενος κατά τη διάρκεια της καταγραφής. Τα λάθη αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική αλλοίωση του αποτελέσματος της ισοκινητικής αξιολόγησης με το σφάλμα να αγγίζει το 100% (Kellis & Baltzopoulos, 1995) (Εικόνα 7.14).
2. *Μη ευθυγράμμιση του άξονα περιστροφής του μοχλού του δυναμόμετρου με τον άξονα περιστροφής της άρθρωσης:* Παρά το γεγονός ότι η πλήρης ευθυγράμμιση ανάμεσα στο κέντρο περιστροφής της άρθρωσης και το αντίστοιχο του δυναμόμετρου δεν είναι εφικτή, πρέπει να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ευθυγράμμιση. Το σφάλμα σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει στο 5-10% (Iossifidou & Baltzopoulos, 1998).
3. *Επιλογή πολύ υψηλής ταχύτητας:* Όσο πιο υψηλή είναι η γωνιακή ταχύτητα τόσο μειώνεται το εύρος κίνησης, κατά το οποίο η γωνιακή ταχύτητα είναι σταθερή. Όμως, η ισοκινητική ροπή είναι έγκυρη μόνον κατά το διάστημα σταθερής γωνιακής ταχύτητας. Γι' αυτόν τον λόγο η αξιολόγηση σε γωνιακές ταχύτητες άνω των 180°/s πρέπει να διεξάγεται με προσοχή ή να αποφεύγεται.

4. *Μη διατήρηση του εύρους κίνησης:* Ο εξεταζόμενος εκτελεί την προσπάθεια σε μικρότερο εύρος κίνησης από το προκαθορισμένο. Αυτό σημαίνει ότι η μυϊκή ροπή παράγεται σε διαφορετικό εύρος της μηκοδυναμικής καμπύλης οδηγώντας σε εσφαλμένη ερμηνεία του τελικού αποτελέσματος της μέτρησης.



Εικόνα 7.14: Ροπή της βαρύτητας του μοχλού και της κνήμης κατά την κάμψη του γόνατος. Η ροπή είναι μέγιστη όταν το γόνατο βρίσκεται σε πλήρη έκταση και μειώνεται όσο το γόνατο πλησιάζει την κάμψη. Επομένως, σε περίπτωση μη υπολογισμού της επίδρασης της ροπής της βαρύτητας θα επηρεαστεί όχι μόνο η αξιολόγηση της μέγιστης ροπής του εξεταζόμενου αλλά και όλη η καμπύλη ροπής – γωνιακής μετατόπισης.

4.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ισοκινητικών δυναμόμετρων

Τα πλεονεκτήματα των ισοκινητικών δυναμόμετρων είναι τα εξής:

1. *Εύκολη και ασφαλής διαδικασία:* Η αντίσταση του δυναμόμετρου προσαρμόζεται πάντα στη δύναμη την οποία ασκεί ο εξεταζόμενος. Επομένως, δεν υπάρχει πιθανότητα να προκληθεί τραυματισμός λόγω υπερβολικής αντίστασης του δυναμόμετρου.
2. *Υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία:* Οι αισθητήρες δύναμης παρέχουν στο δυναμόμετρο υψηλή ακρίβεια. Επίσης, η αξιολόγηση των σημαντικότερων μυϊκών ομάδων είναι αξιόπιστη.
5. *Αξιολόγηση των βασικών ιδιοτήτων της μυϊκής λειτουργίας:* Παρέχεται πληροφόρηση για την ικανότητα παραγωγής δύναμης σε διαφορετικά μήκη, ταχύτητες και είδη δραστηριότητας.
6. *Αξιολόγηση μυϊκών ανισορροπιών:* Συγκρίνεται η ικανότητα παραγωγής ροπής ανάμεσα σε διαφορετικές μυϊκές ομάδες ή ανάμεσα στις δύο πλευρές του σώματος.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ισοκινητικών δυναμόμετρων είναι τα εξής:

1. *Δε συνδέεται στενά με την αγωνιστική κίνηση:* Οι αθλητικές κινήσεις χαρακτηρίζονται από συνεχείς μεταβολές της θέσης των μελών του σώματος και, συνεπώς, από επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις. Αυτό δε συμβαδίζει με τις αρχές της ισοκινητικής δυναμομετρίας. Στην περι-

πτωση αυτή οι ροπές που παράγονται στις αρθρώσεις είναι πολύ πιο σύνθετες και δεν οφείλονται μόνο στη λειτουργία των μυών αλλά και σε δυνάμεις που παράγονται λόγω της αδράνειας της μάζας των μελών καθώς και δυνάμεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των μελών (π.χ. πολυ-αρθρικές κινήσεις).

7. *Δεν είναι εφικτή η αξιολόγηση σε πολυαρθρικές κινήσεις:* η ισοκινητική αξιολόγηση αναφέρεται σε κινήσεις μεμονωμένων αρθρώσεων και όχι της ταυτόχρονης κίνησης πολλών αρθρώσεων.
8. *Αξιολόγηση της αρθρικής ροπής και όχι όλων των μυών:* Το δυναμόμετρο καταγράφει το άρθροισμα των ροπών που ασκούνται γύρω από μια άρθρωση (π.χ. αγωνιστές και ανταγωνιστές μυς) και όχι τη δύναμη που μπορεί να παράγει ένας μυς ή μια μυϊκή ομάδα.
9. *Το υψηλό οικονομικό κόστος.*

Βιβλιογραφία

- Baltzopoulos, V., & Brodie, D. A. (1989). Isokinetic dynamometry: Applications and limitations. *Sports Medicine*, 8(2), 111-116.
- Batters, C., Veigel, C., Homsher, E., & Sellers, J. R. (2014). To understand muscle you must take it apart. *Frontiers in Physiology*, 5, 90. doi: 10.3389/fphys.2014.00090
- Herzog, W., & Read, L. (1993). Lines of action and moment arms of the major force-carrying structures crossing the human knee joint. *Journal of Anatomy*, 182, 213-230.
- Hoang, P. D., Herbert, R. D., Todd, G., Gorman, R. B., & Gandevia, S. C. (2007). Passive mechanical properties of human gastrocnemius muscle tendon units, muscle fascicles and tendons in vivo. *Journal of Experimental Biology*, 210(Pt 23), 4159-4168. doi: 210/23/4159 [pii] 10.1242/jeb.002204
- Ioakimidis, P., Gerodimos, V., Kellis, E., & Kellis, S. (2002). Reliability of maximum isometric force-time parameters during a leg press test in pubertal basketball players. *Pediatric Exercise Science*, 14(2), 193-201.
- Iossifidou, A. N., & Baltzopoulos, V. (1998). Inertial effects on the assessment of performance in isokinetic dynamometry. *International Journal of Sports Medicine*, 19(8), 567-573. doi: 10.1055/s-2007-971961
- Kellis, E., & Baltzopoulos, V. (1995). Isokinetic eccentric exercise. *Sports Medicine*, 19, 202-222.
- Kellis, E., & Katis, A. (2007). Quantification of functional knee flexor to extensor moment ratio using isokinetics and electromyography. *Journal of Athletic Training*, 42(4), 477-485.
- Kellis, E., Mademli, L., Patikas, D., & Kofotolis, N. (2014). Neuromuscular interactions around the knee in children, adults and elderly. *World Journal of Orthopaedics*, 5(4), 469-485. doi: 10.5312/wjo.v5.i4.469
- Lieber, R. L., & Friden, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle and Nerve*, 23(11), 1647-1666.
- Seow, C. Y. (2013). Hill's equation of muscle performance and its hidden insight on molecular mechanisms. *Journal of General Physiology*, 142(6), 561-573. doi: jgp.201311107 [pii] 10.1085/jgp.201311107
- Winter, S. L., & Challis, J. H. (2010). The expression of the skeletal muscle force-length relationship in vivo: a simulation study. *Journal of Theoretical Biology*, 262(4), 634-643. doi: S0022-5193(09)00517-7 [pii] 10.1016/j.jtbi.2009.10.028
- Κέλλης, Ε. (2008). *Νευρο-μηχανικές αρχές αξιολόγησης της δύναμης*. Αθήνα: Εκδόσεις Τελέθριο.

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Άσκηση 1: Στην παρακάτω εικόνα ένας αθλητής εκτελεί κατακόρυφο άλμα. Διακρίνονται οι φάσεις της αρχικής θέσης (Α), μέγιστου ύψους (Β) και τελικής φάσης προσγειώσης (Γ). Ποιο είδος δραστηριότητας (σύσπασης) εκτελεί ο τετρακέφαλος και ο γαστροκνήμιος μυς σε κάθε φάση;



Απάντηση 1

Στην θέση A ο τετρακέφαλος και ο γαστροκνήμιος βρίσκονται σε βράχυνση και ο παράγοντας ισομετρική δύναμη σταδιακά βραχύνεται. Από τη θέση A έως τη θέση B και οι δύο μύες εμφανίζουν σύγκεντρη δραστηριότητα. Από τη θέση B έως τη θέση Γ, επιμηκύνονται παθητικά και, συνεπώς, εμφανίζουν έκκεντρη δραστηριότητα.

Άσκηση 2: Πώς εφαρμόζει η ταχιδυναμική σχέση στη συμπεριφορά του τετρακεφάλου κατά την εκτέλεση του κατακόρυφου άλματος από τον αθλητή που απεικονίζεται στο παράδειγμα της προηγούμενης άσκησης;

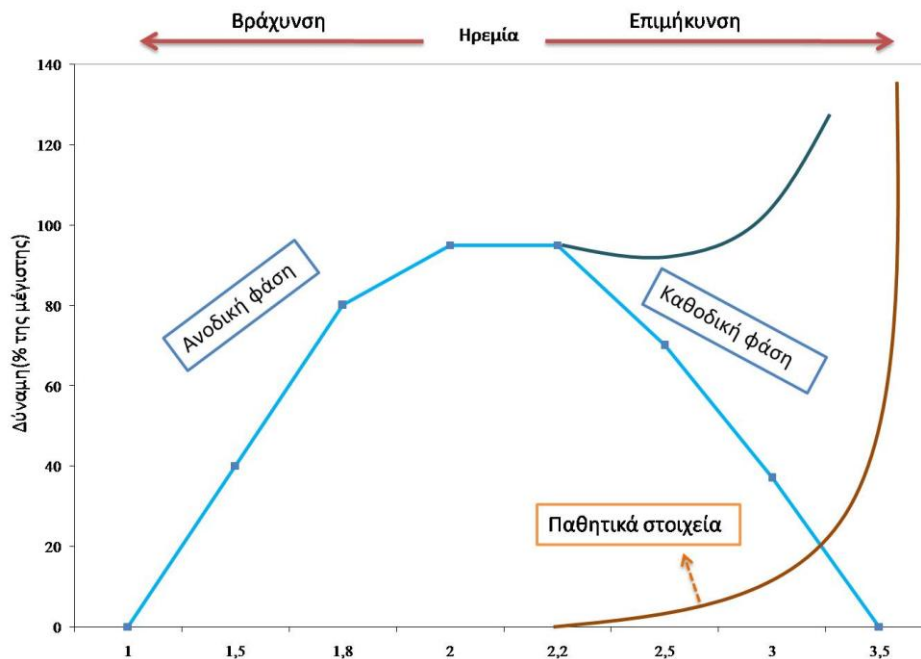
Απάντηση 2

Στην θέση A ο τετρακέφαλος παράγει ισομετρική δύναμη και, επομένως, εργάζεται σε χαμηλές ταχύτητες σύσπασης με παραγωγή υψηλής δύναμης. Καθώς ο αθλητής επιταχύνει, ο μύς βραχύνεται σε ελαφρά υψηλότερη ταχύτητα σύσπασης και έτσι η ικανότητα παραγωγής δύναμης (ως προς την ταχιδυναμική σχέση) μειώνεται. Στη θέση B, η ταχύτητα σύσπασης μειώνεται φτάνοντας σε ισομετρικές συνθήκες. Κατά την επαναφορά, ο μύς διατείνεται σε σταδιακά αυξανόμενη ταχύτητα, αλλά η ικανότητα παραγωγής έκκεντρης δύναμης παραμένει υψηλή (λόγω της δύναμης που παράγεται από τα παθητικά στοιχεία).

Άσκηση 3: Πώς εφαρμόζεται η μηκοδυναμική σχέση στη συμπεριφορά του τετρακεφάλου κατά την εκτέλεση του κατακόρυφου άλματος από τον αθλητή ο οποίος απεικονίζεται στο παράδειγμα της προηγούμενης άσκησης;

Απάντηση 3

Στην θέση A ο τετρακέφαλος παράγει ισομετρική δύναμη, ενώ βρίσκεται σε θέση βράχυνσης. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η παραγωγή δύναμης είναι υψηλή, επειδή το μήκος του βρίσκεται κοντά στην ανοδική φάση της μηκοδυναμικής καμπύλης. Καθώς ο αθλητής έρχεται σε θέση B, η ικανότητα παραγωγής δύναμης παραμένει υψηλή, όσο παραμένει εντός του εύρους ηρεμίας. Από τη θέση B έως τη θέση Γ, η ικανότητα παραγωγής δύναμης των συσταλών στοιχείων μειώνεται, αλλά δύναμη παράγεται από τα παθητικά στοιχεία του μυός.



Κριτήριο αξιολόγησης 2

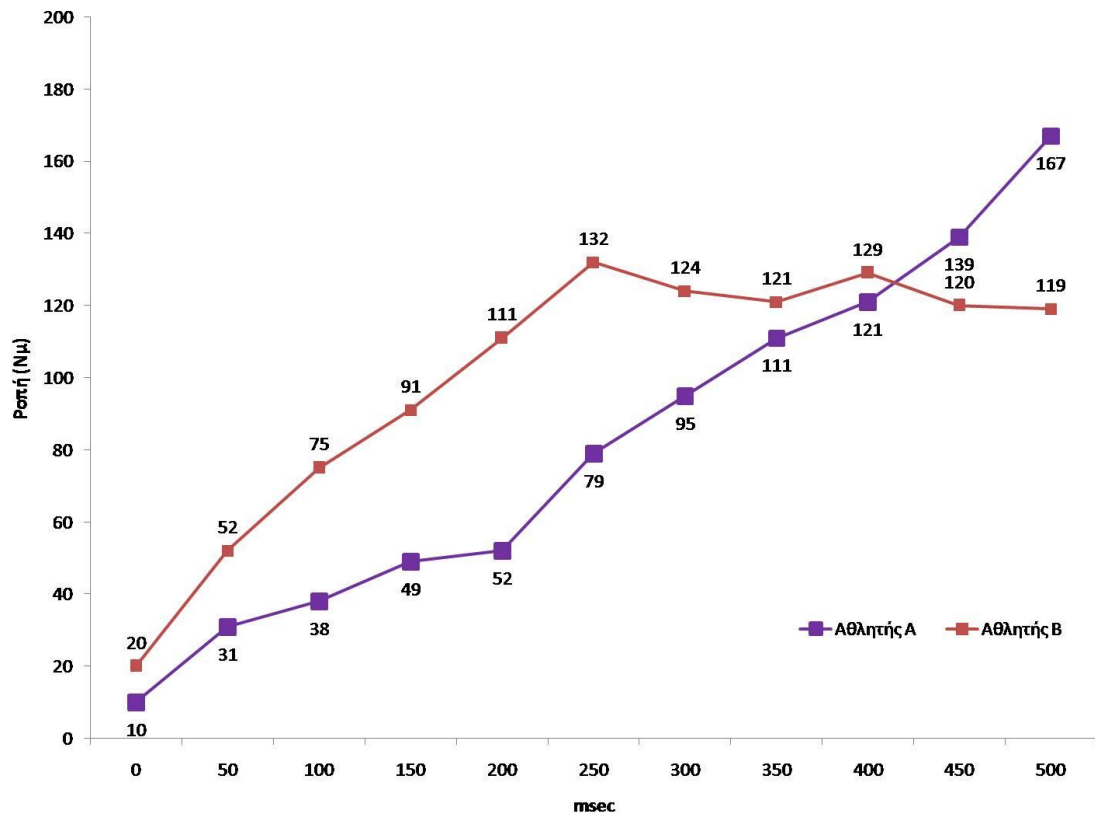
Άσκηση 4: Ένας αθλητής άρσης βαρών εκτελεί ένα πρωτόκολλο ισομετρικής ώθησης των ποδιών (leg press) σε ένα κέντρο αξιολόγησης. **A.** Ποια είναι τα χαρακτηριστικά στοιχεία του πρωτοκόλλου αξιολόγησης; **B.** Τι είδους πληροφορίες θα παρείχατε στον αθλητή από την αξιολόγηση;

Απάντηση 4

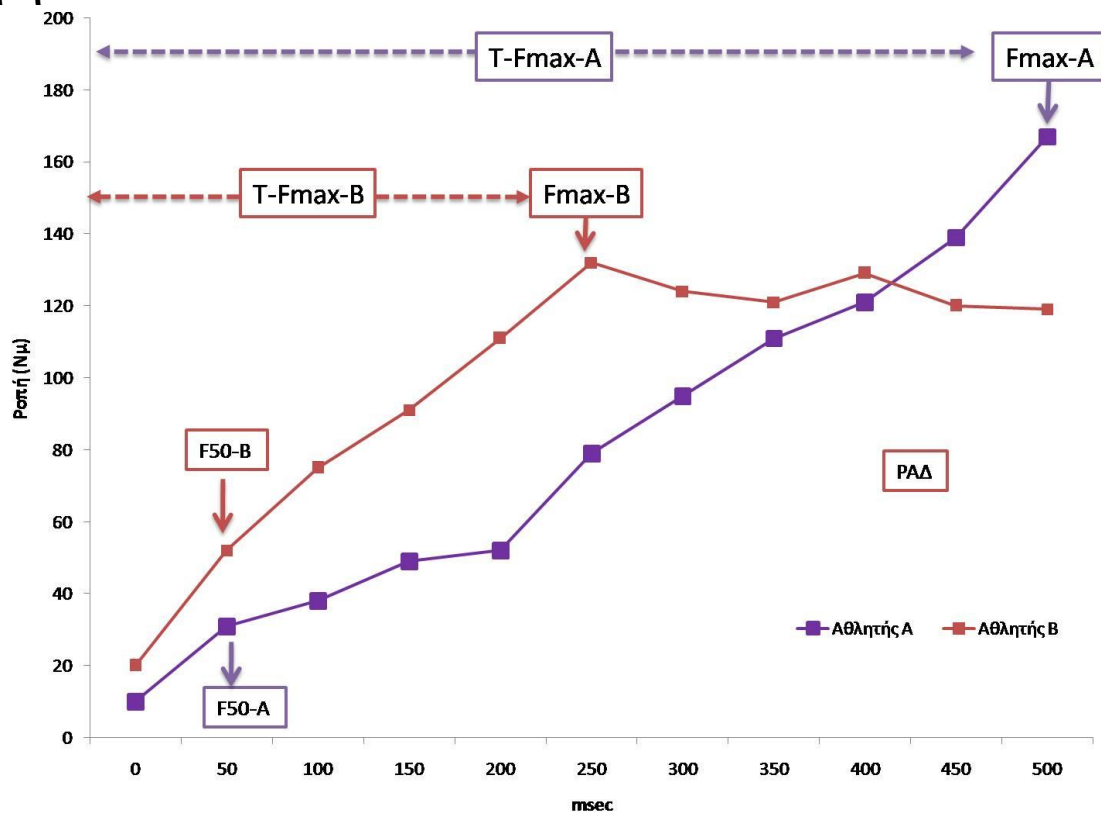
A. Η εξέταση μπορεί να πραγματοποιηθεί από τρεις γωνίες της άρθρωσης του γόνατος: 30°, 60° και 120°. Θα εκτελεστούν 5 προσπάθειες σε κάθε γωνιακή θέση, διάρκειας 5 sec. Η οδηγία που δίνεται είναι να πιέσει το δυναμόμετρο «όσο πιο γρήγορα και δυνατά μπορεί». **B.** Η ικανότητα παραγωγής μέγιστης δύναμης θα εκφραστεί με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη, η εκρηκτική δύναμη με τη δύναμη στα πρώτα 50 s και η ικανότητα γρήγορης ανάπτυξης της δύναμης μέσα από το ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Άσκηση 5: Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η καμπύλη ισομετρικής δύναμης χρόνου από δύο αθλητές. Να συγκρίνετε τους αθλητές ως προς την ικανότητα παραγωγής μέγιστης δύναμης, δύναμης στα πρώτα 50 msec και του χρόνου επίτευξης της δύναμης.



Απάντηση 5



Ο αθλητής Α είναι πιο δυνατός (Fmax-A) από τον αθλητή Β. Αντίθετα, ο αθλητής Β είναι πιο γρήγορος, διότι εμφανίζει μικρότερο χρόνο επίτευξης της μέγιστης δύναμης (T-Max B) σε σχέση με τον αθλητή Α (T-max-A) αλλά και πιο εκρηκτικός, διότι εμφανίζει πολύ υψηλότερη δύναμη στα πρώτα 50 msec (F50-B) σε σχέση με τον αθλητή Α (F50-A).

Κριτήριο αξιολόγησης 4

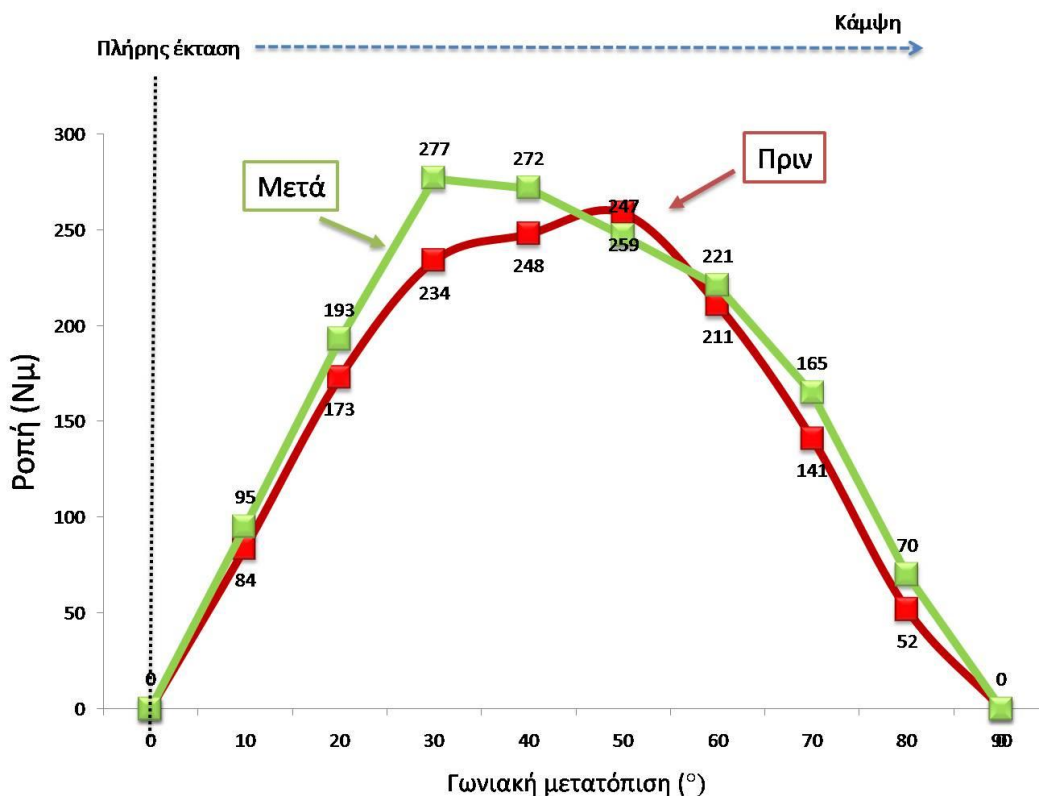
Άσκηση 6: Σε ένα κέντρο ελέγχου της φυσικής κατάστασης των αθλητών διενεργείται έλεγχος κατά την περίοδο προετοιμασίας μιας ομάδας ποδοσφαίρου. Στον τομέα της αξιολόγησης της δύναμης επιλέγεται η αξιολόγηση της δύναμης των μυών της άρθρωσης του γόνατος. Α. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά στοιχεία του πρωτοκόλλου αξιολόγησης; Β. Τι είδους πληροφορίες θα παρείχατε στον αθλητή από την αξιολόγηση;

Απάντηση 6

Α. Η εξέταση μπορεί να περιλαμβάνει έκκεντρες και σύγκεντρες συσπάσεις σε κάθε πόδι. Σε κάθε είδος σύσπασης, εκτελούνται 3 σετ από 5 προσπάθειες. Το καθένα από τα τρία σετ πραγματοποιείται σε ξεχωριστή γωνιακή ταχύτητα. Επιλέγονται τρεις γωνιακές ταχύτητες: 30°/s και 120°/s και 180°/s. Το διάλλειμα ανάμεσα στα σετ είναι δύο λεπτά. Β. Η ικανότητα παραγωγής μέγιστης δύναμης θα εκφραστεί με τη μέγιστη ισοκινητική ροπή και η γωνία επίτευξης της μέγιστης ροπής θα δώσει πληροφόρηση για το σημείο στο οποίο είναι ιδιαίτερα δυνατός ο αθλητής. Η αναλογία ανταγωνιστών/αγωνιστών παρέχει πληροφορίες για τις πιθανές ανισορροπίες γύρω από την άρθρωση. Τέλος, η αναλογία ροπής δεξιού/αριστερού ποδιού παρέχει πληροφορίες για τη συμμετρία της δύναμης ανάμεσα στα δύο πόδια.

Κριτήριο αξιολόγησης 5

Άσκηση 7: Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η καμπύλη ισοκινητικής ροπής – γωνιακής μετατόπισης των εκτεινόντων μυών του γόνατος ενός αθλητή πριν και μετά το πέρας της περιόδου προετοιμασίας τεσσάρων εβδομάδων. Ποια ήταν η επίδραση της προπόνησης στα χαρακτηριστικά της ισοκινητικής ροπής;



Απάντηση 7

Η προπόνηση είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας παραγωγής μέγιστης ροπής από 247 Νμ σε 277 Νμ. Επιπλέον, μετά την προπόνηση, ο αθλητής παρήγαγε τη μέγιστη τιμή σε γωνία 35° (πιο κοντά στην πλήρη έκταση), ενώ πριν την προπόνηση η γωνία επίτευξης μέγιστης τιμής ήταν 50°. Αυτό σημαίνει ότι ο αθλητής βελτίωσε την ικανότητα να παράγει μέγιστη ροπή, όταν το γόνατο βρισκόταν σε ελαφρά κάμψη.

Κριτήρια αξιολόγησης 1-5

Άσκηση 8: Μύες με μακριές ίνες εμφανίζουν (επιλέξτε το σωστό):

1. Μεγάλη ταχύτητα σύσπασης και μικρή ανάπτυξη δύναμης
10. Μικρή ταχύτητα σύσπασης και μεγάλη ανάπτυξη δύναμης
11. Μεγάλη ταχύτητα σύσπασης και μεγάλη ανάπτυξη δύναμης
12. Μικρό εύρος σύσπασης και μεγάλη ανάπτυξη δύναμης

Απάντηση 8

1

Άσκηση 9: Η γωνία πτέρωσης οδηγεί (επιλέξτε το σωστό):

1. Σε αύξηση της δύναμης που μεταβιβάζεται στον τένοντα
13. Σε μείωση της δύναμης που μεταβιβάζεται στον τένοντα
14. Σε αύξηση της παραγόμενης δύναμης
15. Σε μείωση της παραγόμενης δύναμης

Απάντηση 9

2

Άσκηση 10: Για τη σχέση μεταξύ έκκεντρης – σύγκεντρης –ισομετρικής σύσπασης ισχύει (επιλέξτε το σωστό):

1. Έκκεντρη < Ισομετρική > Σύγκεντρη
16. Έκκεντρη < Ισομετρική < Σύγκεντρη
17. Έκκεντρη > Ισομετρική = Σύγκεντρη
18. Έκκεντρη > Ισομετρική > Σύγκεντρη

Απάντηση 10

4

Άσκηση 11: Το ισοκινητικό δυναμόμετρο αξιολογεί (επιλέξτε το σωστό):

1. Τη δύναμη που ασκεί ο μυς ο οποίος κινεί την άρθρωση
19. Τη ροπή που ασκεί το δυναμόμετρο στην άρθρωση
20. Τη ροπή που ασκεί ο μυς ο οποίος κινεί την άρθρωση
21. Τη δύναμη που ασκείται γύρω από μια άρθρωση

Απάντηση 11

2