



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΝΣΙΟΜΥΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ARTEM VASIUTA Α.Μ 2069

ΘΕΟΔΩΡΑ ΚΑΓΙΑΦΑ Α.Μ 2098

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΑΙΓΙΟ- 2019

# **THE USE OF TENSIOMYOGRAPHY IN THE FIELD OF REHABILITATION**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας μας είναι να σας παρουσιάσουμε την μέθοδο αξιολόγησης της μυϊκής σύσπασης, που ονομάζεται τενσιομυογραφία ή με λίγα λόγια TMG, και τη χρήση της στο πεδίο της φυσικοθεραπείας. Η TMG είναι μια μη επεμβατική μέθοδος που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση των μηχανικών ιδιοτήτων της μυϊκής σύσπασης ως απάντηση στην ηλεκτρική διέγερση. Αυτή η μέθοδος παρέχει πληροφορίες σχετικά με την δυσκαμψία των μυών, την ταχύτητα συστολής, τους κυρίαρχους τύπους μυϊκών ινών και την μυϊκή κόπωση.

Αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ. Κ.Κουτσογιάννη για την βοήθεια και τις πολύτιμες συμβουλές του.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος του θέματος της πτυχιακής εργασίας είναι η ανασκόπηση των υπαρχόντων άρθρων σχετικά με την χρήση της τενσιομυογραφίας στο πεδίο της αποκατάστασης. Περιγράψαμε την TMG, από τι αποτελείται το μηχάνημα, πως δουλεύει, ποιές παραμέτρους καταγράφει και τη χρησιμότητά τους. Αναλύσαμε πως γίνεται η μέτρηση, ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου και πως επιδρά ο παράγοντας της ηλικίας και διάφορες συνθήκες, όπως η θερμοκρασία. Στη συνέχεια αναφέραμε τα πεδία της χρήσης της τενσιομυογραφίας στην αποκατάσταση, όπως στην ιατρική, στον αθλητισμό και στην έρευνα. Στο τέλος καταγράψαμε την εγκυρότητα και την αξιοπιστία της μεθόδου και πως ερμηνεύονται αξιόπιστα οι πληροφορίες που προέρχονται από την διαδικασία της μέτρησης.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΝΣΙΟΜΥΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	2
1.1 Τι είναι η τενσιομυογραφία.....	2
1.2. Ποιες παραμέτρους καταγράφει.....	4
1.3 Πως γίνεται η μέτρηση.....	7
1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τενσιομυογραφίας.....	11
1.5 Επίδραση των διαφόρων συνθηκών στα αποτελέσματα της μέτρησης.....	12
1.5.1 Επίδραση του κρούου και της μάλαξης.....	12
1.5.2 Επίδραση της ηλικίας.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΔΙΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΝΣΙΟΜΥΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	15
2.1 Ιατρική.....	17
2.1.1 Προσδιορισμός του τύπου μυϊκών ινών.....	17
2.2 Αθλητισμός.....	19
2.2.1 Μυϊκή κόπωση .....	21
2.2.2 Ανάκαμψη μετά από προπόνηση.....	22
2.2.3 Μυϊκή δυσκαμψία .....	23
2.2.4 Μυϊκή ασυμμετρία .....	23
2.2.5 Αθλητική εξειδίκευση (χρόνιες προσαρμογές των μυών).....	25
2.2.6 Πρόληψη και αποκατάσταση τραυματισμών .....	27
2.3 Έρευνα.....	27
2.3.1 Κόπωση .....	28
2.3.2 Δυσκαμψία .....	29
2.3.3 Μυϊκή ισορροπία.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΗΣ ΤΕΝΣΙΟΜΥΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	38
3.1 Εγκυρότητα και αξιοπιστία της τενσιομυογραφίας.....	38
3.2 Βασική ερμηνεία της τενσιομυογραφίας.....	39
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	45

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τενσιομυογραφία (TMG) είναι μια μέθοδος εκτίμησης των μυών που έχει κερδίσει τη δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια λόγω της απλότητας, της αξιοπιστίας και της υψηλής απόδοσής της. Μετρά την ακτινική (εγκάρσια) παραμόρφωση της μυϊκής γαστέρας όταν ο μυς διεγείρεται ηλεκτρικά. Το μέγεθος αυτών των μεταβολών και ο χρόνος εμφάνισής τους επιτρέπουν την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τα μηχανικά χαρακτηριστικά και την ικανότητα σύσπασης των εκτιμημένων επιφανειακών μυών, δείχνοντας μια υψηλή συσχέτιση με την ηλεκτρομυογραφία, τον τύπο μυϊκών ινών, την ροπή και την κόπωση.

Η μέθοδος της τενσιομυογραφίας, ή με λίγα λόγια TMG, αναπτύχθηκε το 1983 στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών στη Λιουμπλιάνα (Σλοβενία), σε συνεργασία με πολλά ιδρύματα που ήταν οι πρώτοι χρήστες και υλοποιητές της μεθόδου. Η μέθοδος βελτιώθηκε έκτοτε μέσω πολλών πρωτοτύπων και αναπτύχθηκε στο στάδιο όπου ήταν δυνατή η εμπορική εφαρμογή της μεθόδου. Αν και προοριζόταν αρχικά για ιατρική χρήση, η μέθοδος TMG εισήχθη επίσης στον αθλητισμό το 1996. Η μέθοδος εισήχθη από τον καθηγητή Vojko Valenčič και αξιολογήθηκε με τα ιστοχημικά αποτελέσματα, την μυϊκή δύναμη, την ροπή και το EMG.

Η προοδευτική εισαγωγή της στον τομέα της υγείας, κυρίως στην αποκατάσταση, στην πρόληψη και στον κόσμο της αθλητικής προπόνησης (έλεγχος των φορτίων της προπόνησης) οδήγησε σε αυξανόμενο ενδιαφέρον των ερευνητών που επέτρεψε μια βαθύτερη γνώση του εργαλείου και των υπηρεσιών του. Ως εκ τούτου, ο αριθμός των επιστημονικών δημοσιεύσεων που εμφανίστηκαν τα τελευταία χρόνια αυξήθηκε και οι τομείς ενδιαφέροντος διαφοροποιήθηκαν.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΝΣΙΟΜΥΟΓΡΑΦΙΑΣ

## 1.1 Τι είναι η τενσιομυογραφία

Η τενσιομυογραφία (TMG) είναι μια μη επεμβατική μέθοδος που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση των μηχανικών ιδιοτήτων των σκελετικών μυών. Αυτή η μέθοδος παρέχει πληροφορίες σχετικά με την δυσκαμψία των μυών, την ταχύτητα συστολής, τους κυρίαρχους τύπους μυϊκών ινών, την μυϊκή κόπωση, την ισορροπία μεταξύ αγωνιστικών και ανταγωνιστικών μυών, την συμμετρία μεταξύ αριστερής και δεξιάς πλευράς του σώματος. (Rey et al., 2012).



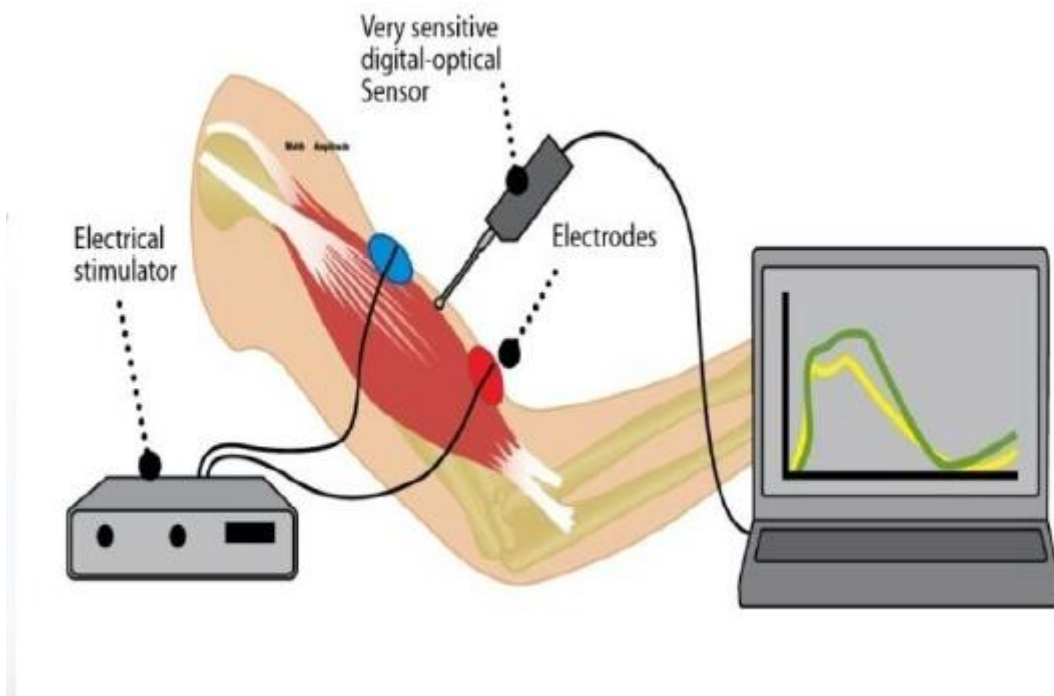
**Εικόνα 1.1.** Διαδικασία μέτρησης μέσω της τενσιομυογραφίας

Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της ακτινικής μετατόπισης της γαστέρας των μυών, η οποία προκαλείται από έναν ηλεκτρικό διεγέρτη. Η μετατόπιση μετράται με έναν ηλεκτρικό αισθητήρα ο οποίος συνδέεται με ένα σύστημα υπολογιστή (Kim et al., 2015). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται ως καμπύλες χρόνου / μετατόπισης

(μετατόπιση της γαστέρας των μυών έναντι του χρόνου). Η μετατόπιση της γαστέρας του μυός είναι ανάλογη της μυϊκής δύναμης. Όταν ο σκελετικός μυς συστέλλεται, το μεσαίο τμήμα του (η γαστέρα) είναι ακτινικά πυκνό. Η μεγέθυνση της γαστέρας του μυ επιτυγχάνεται με ακούσια ή ηλεκτρικά προκαλούμενη συστολή (Dias et al., 2010).

Οι συσταλτικές ιδιότητες των μυών μετρούνται με έναν ψηφιακό αισθητήρα ακτινικής μετατόπισης. Ο αισθητήρας μετατρέπει τη φυσική μετατόπιση σε ηλεκτρικούς παλμούς. Αυτοί μεταφέρονται έπειτα μέσω καλωδίου σε μια συσκευή που προσθέτει τις ωθήσεις και τις στέλνει σε έναν υπολογιστή με συχνότητα 1kHz. Η απόκριση του αισθητήρα είναι γραμμική με αμελητέο θόρυβο. Η δυναμική απόκριση του αισθητήρα είναι επίσης πολύ υψηλή, επιτρέποντάς να διακρίνουμε διαφορές στην αντίδραση μεταξύ των γρήγορων και των αργών μυϊκών ινών. Τα εξαρτήματα του μηχανικού αισθητήρα είναι της υψηλότερης ποιότητας. Η πίεση και η αντίσταση της ράβδου μετατόπισης, όταν τοποθετηθούν στον μυ, δεν συγκρατούν σημαντικά την κίνηση του μυός (Atikonić et al., 2015).

Ένα παλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα παρέχεται μέσω δύο ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του δέρματος για να προκαλέσει μια φασική συστολή του υποκείμενου σκελετικού μυός (Εικόνα 1.2) (Wilson et al., 2017).



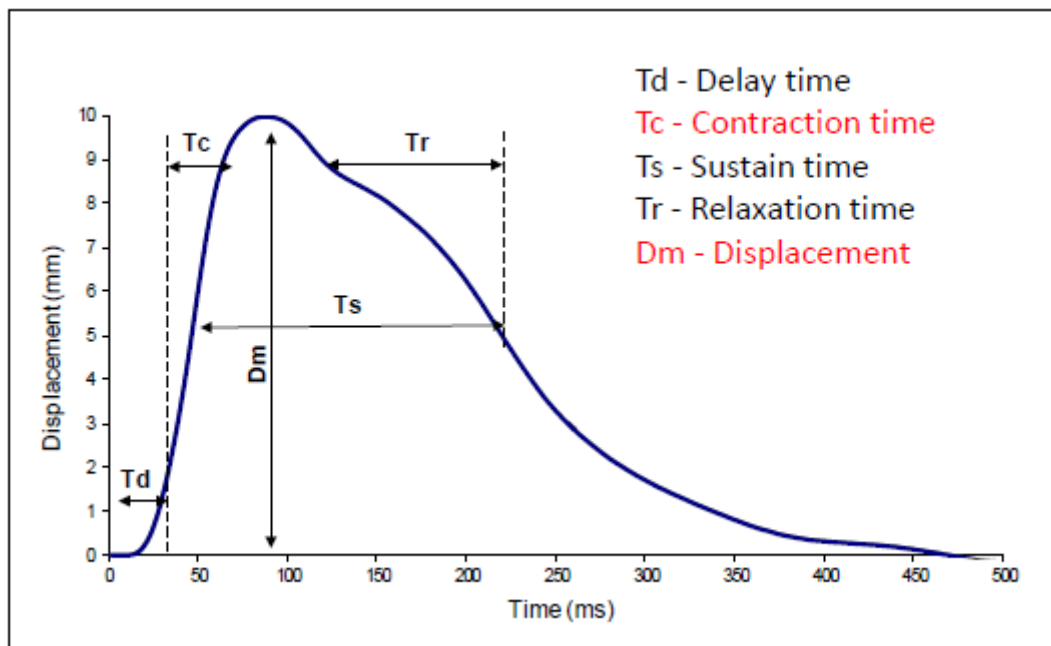
**Εικόνα 1.2.** Η μέθοδος της τενσιομυογραφίας



Η ανάλυση των μυών κατά τη διάρκεια της καταγραφής TMG επιτρέπει την εκτίμηση των μεταβολών της μετατόπισης της γαστέρας του μυός, μετρούμενη σε χιλιοστά (mm) και τη διάρκεια που εκφράζεται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) ως απόκριση σε ένα μόνο ηλεκτρικό ερέθισμα (Pakosz et al., 2016).

## 1.2. Ποιες παραμέτρους καταγράφει

Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, μπορούν να ληφθούν διάφορες παράμετροι που αντιστοιχούν στην απόκριση από τους μύες όπως το μέγεθος της ακτινικής μετατόπισης ή το  $D_m$ , ο χρόνος καθυστέρησης ή λανθάνοντα χρόνο ( $T_d$ ), ο χρόνος συστολής ( $T_c$ ), ο χρόνος διατήρησης της συστολής ( $T_s$ ) και ο χρόνος ημίσειας χαλάρωσης ( $T_r$ ) (Eικόνα 1.3) (Rodríguez-Matoso et al., 2012).



Εικόνα 1.3. Παράμετροι που εξάγονται από την μια τυπική καμπύλη μετατόπισης

### Η μέγιστη μετατόπιση ( $D_m$ )

Η τιμή του  $D_m$  παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ακτινική παραμόρφωση της μυϊκής γαστέρας που εκφράζεται σε χιλιοστά (mm). Αντιπροσωπεύει και αξιολογεί τη μυϊκή δυσκαμψία, ποικίλλει σε κάθε άτομο και σε κάθε μυϊκή ομάδα σύμφωνα με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους (κυρίως τον όγκο και τον προσανατολισμό των ινών τους)

και τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι δομές έχουν προπονηθεί. Οι χαμηλές τιμές υποδηλώνουν αύξηση της δυσκαμψίας στις μυϊκές δομές, ενώ υψηλές τιμές υποδηλώνουν έλλειψη μυϊκού τόνου ή υψηλή κόπωση (Rodríguez-Matoso et al., 2010).

### **Ο χρόνος συστολής (Tc)**

Το Tc αντιπροσωπεύει το χρόνο που διανύει από το 10% έως το 90% της μέγιστης παραμόρφωσης (Dm). Μετράται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms). Η χρησιμότητα των τιμών Tc είναι πολύ υψηλή στον αθλητισμό και επιτρέπει, μεταξύ άλλων, τη διάκριση των προφίλ των παικτών, την έμμεση εκτίμηση του κυρίαρχου τύπου ινών σε μια μυϊκή δομή ή τα επίπεδα ενεργοποίησης και κόπωσης κατά τη διάρκεια μιας προπόνησης (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

Μεγαλύτερη Tc σημαίνει μια πιο αργή παραγωγή δύναμης, η οποία θα μπορούσε να είναι μια αντίδραση των μυϊκών ινών, αλλά θα μπορούσε επίσης να εξαρτηθεί από τη μειωμένη δυσκαμψία των τενόντων (Macgregor et al., 2018).

Οι Dahmane et al. (2005) και οι Simunič et al. (2011) στις μελέτες τους έδειξαν ότι ο δείκτης Tc αναφέρεται επίσης στην ταχύτητα της συστολής των μυών. Οι συγγραφείς πιστεύουν ότι αυτός ο δείκτης συνδέεται με την ποιότητα της αθλητικής απόδοσης. Τα μειωμένα επίπεδα Tc δείχνουν μεγαλύτερη ταχύτητα συστολής των μυών (Pakosz et al., 2016).

Οι δύο πρώτες παράμετροι (το Dm και το Tc) είναι οι πιο σημαντικές στην αξιολόγηση των μυών χρησιμοποιώντας TMG και παρέχουν τον μεγαλύτερο αριθμό ακριβών πληροφοριών. Η TMG επιτρέπει επίσης τη μέτρηση αρκετών πρόσθετων παραμέτρων (Pakosz et al., 2016).

### **Ο χρόνος καθυστέρησης (Td)**

Ο χρόνος καθυστέρησης (Td) αντιπροσωπεύει το χρόνο μεταξύ της παράδοσης του ηλεκτρικού ερεθίσματος και του 10% του Dm, παρέχοντας ένα μέτρο απόκρισης των μυών. Μετράται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (Macgregor et al., 2018).

Οι υψηλές τιμές αυτής της παραμέτρου υποδεικνύουν την κυριαρχία των μυϊκών ινών βραδείας συστολής, ενώ οι χαμηλές τιμές υποδεικνύουν την κυριαρχία των γρήγορων μυϊκών ινών. Οι υψηλές τιμές μπορεί επίσης να υποδεικνύουν τη διαδικασία κόπωσης (Pakosz et al., 2016).

### **Ο χρόνος διατήρησης της συστολής (Ts)**

Η τιμή του Ts αντιπροσωπεύει τον θεωρητικό χρόνο κατά τον οποίο διατηρείται η συστολή. Υπολογίζεται μετρώντας το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της στιγμής κατά την οποία η αρχική παραμόρφωση φτάνει το 50% της μέγιστης τιμής της και τη στιγμή που η παραμόρφωση επιστρέφει, κατά τη διάρκεια της χαλάρωσης, στο 50% της μέγιστης παραμόρφωσης. Εκφράζεται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (Rodríguez-Matoso et al., 2010).

### **Ο χρόνος ημίσειας χαλάρωσης (Tr)**

Ο χρόνος ημίσειας χαλάρωσης (Tr) είναι ο χρόνος που μεσολάβει μεταξύ 90% έως 50% του Dm στην κατηφορική καμπύλη. Μετράται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (Macgregor et al., 2018). Το Tr παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα κόπωσης: αυξημένες τιμές υποδεικνύουν πιθανή κατάσταση κόπωσης (Rodríguez-Matoso et al., 2010).

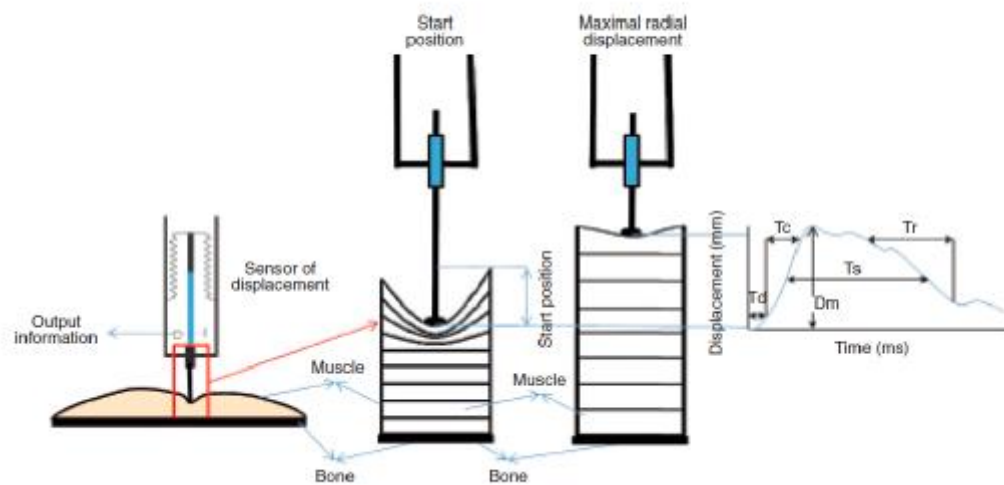
### **Η ταχύτητα συστολής (Vc)**

Ο χρόνος συστολής εξαρτάται εν μέρει από το Dm, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το Dm τόσο μεγαλύτερο θα είναι το Tc, αν η διεγερσιμότητα των μυών είναι η ίδια. Επομένως, είναι σημαντικό να μετρηθεί η πραγματική ταχύτητα της σύσπασης των μυών. Η ταχύτητα συστολής (Vc) μπορεί να υπολογιστεί ως ο ρυθμός του Dm μεταξύ 10 και 90% σε σχέση με το Tc. Ενώ το Tc παρέχει ένα μέτρο της ταχύτητας με την οποία ο μυς φτάνει στο μέγιστο Dm, το Vc περιγράφει το ρυθμό της συστολής των μυών και είναι ανεξάρτητο από το Dm. Δεν είναι ασυνήθιστο το Tc και το Dm να μεταβληθούν δυσανάλογα μεταξύ τους. Ωστόσο, σε τέτοιες περιπτώσεις, προτείνουμε ότι η αλλαγή στο Tc, ανεξάρτητα από το Dm, θα οδηγηθεί από μια μεταβολή του ρυθμού σύσπασης. Η πλέον κατάλληλη μέθοδος για τον ορισμό Vc δεν έχει ακόμη καθοριστεί και έχουν περιγραφεί διάφορες παραλλαγές. Οι Loturco et al. (2016) υπολογίζουν το Vc διαιρώντας το Dm με το άθροισμα των Tc και Td. Άλλοι έχουν υπολογίσει το Vc από το χρόνο που πέρασε όταν το Dm είχε φτάσει σε ένα συγκεκριμένο όριο: 2 mm, ή 10 και 90% Dm. Απαιτείται περαιτέρω μελέτη για να καθοριστεί το καταλληλότερο πρότυπο για την αξιολόγηση της ταχύτητας συστολής σε σχέση με τους αντικειμενικούς λειτουργικούς δείκτες της ταχύτητας των μυών (Macgregor et al., 2018).

### 1.3 Πως γίνεται η μέτρηση

Η TMG χρησιμοποιεί έναν μηχανικό αισθητήρα υψηλής ακρίβειας τοποθετημένο απευθείας στο δέρμα με προκαθορισμένη σταθερή πίεση για κάθε πρωτόκολλο. Οι δημιουργοί αυτού του εργαλείου πρότειναν αρχικά πιέσεις του άκρου του αισθητήρα (113 mm<sup>2</sup>) περίπου 0,2 N / mm (κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,5 N / mm), συνιστώντας την κατάλληλη βαθμονόμηση και τη χρήση των αναφορών οπτικά στον αισθητήρα για να καθορίσει την πίεση πριν από την διέγερση.

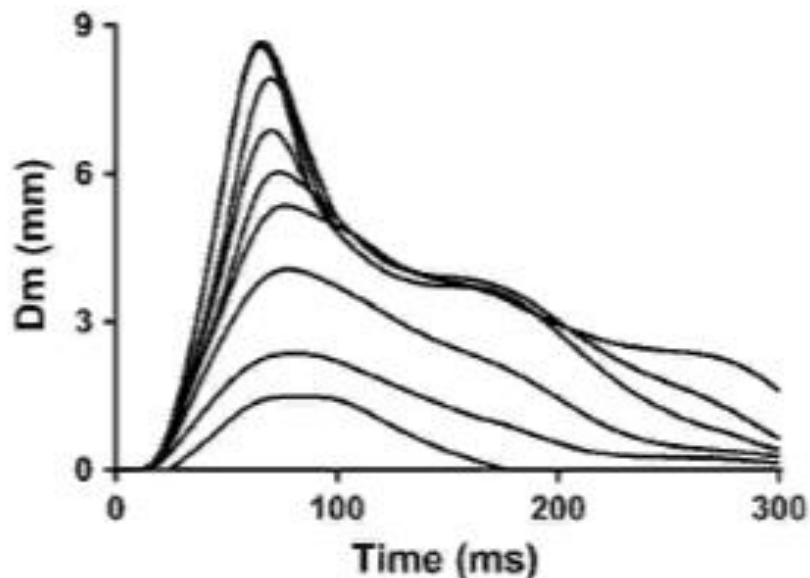
Αυτός ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται κάθετα στην μυϊκή γαστέρα και να προσανατολίζεται προς την πιθανή μετατόπιση της μυϊκής γαστέρας. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζουμε τον εντοπισμό ελάχιστων μεταβολών στο πάχος ενός μυός όταν εκτελεί μια ακούσια συστολή και προσαρμόζεται στην ένταση του ηλεκτρικού ερεθίσματος που το προκαλεί.



**Εικόνα 1.4.** Τοποθέτηση του αισθητήρα στον μυ και διαδικασία συλλογής δεδομένων

Η σύσπαση ανταποκρίνεται σε ένα διπολικό ηλεκτρικό ρεύμα, διάρκειας ενός χιλιοστού (0,5 έως 2,0 ms) και σταθερή ή αυξανόμενη ένταση (10 έως 110 mA), σύμφωνα με το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο. Η σημασία της διάρκειας διέγερσης είναι απαραίτητη για την τυποποίηση της μυϊκής παραμόρφωσης. Αυτή η πτυχή επιβεβαιώθηκε κατά την αξιολόγηση των δικεφάλων βραχιόνιων με διεγέρσεις 95 W διαφορετικής διάρκειας (0,1-100 ms). Παρατήρησαν πως, καθώς αυξάνεται ο χρόνος διέγερσης, η παραμόρφωση αυξήθηκε σημαντικά ( $\approx 2,5$  mm έως  $\approx 11,5$  mm) (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

Τυπικά, οι μελέτες αναφέρουν μέγιστες αποκρίσεις που εμφανίζονται σε πλάτη διέγερσης μεταξύ 60 και 100 mA. Για να προσδιοριστεί το μέγιστο απαιτούμενο πλάτος διέγερσης και, συνεπώς, για την απόκριση των μυών, υιοθετήθηκε προοδευτική βαθμιαία προσέγγιση. Τα πλάτη διέγερσης αυξανόμενης έντασης παραδίδονται με διαλλείματα 10 δευτερολέπτων και κατανέμεται μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων για τον περιορισμό της επίπτωσης της κόπωσης και της ενεργοποίησης του μυός υπό διερεύνηση. Η μέγιστη ακτινική μετατόπιση εντοπίζεται από ένα πλάτος σε καμπύλες μετατόπισης που, παρά το αυξημένο πλάτος διέγερσης, δεν οδηγεί σε μεγαλύτερη μετατόπιση των μυών (Εικόνα 1.5). Η αύξηση του μεγέθους της καμπύλης προκαλείται από την αύξηση του εύρους διέγερσης (τυπικά μέχρι 60-100 mA). Μέγιστη μετατόπιση ( $D_m$ ) αναγνωρίζεται από ένα πλάτος σε καμπύλες μετατόπισης, παρά το αυξημένο εύρος διέγερσης. Η μέγιστη ακτινική μετατόπιση σηματοδοτεί την απόλυτη χωρική εγκάρσια παραμόρφωση του μυός.

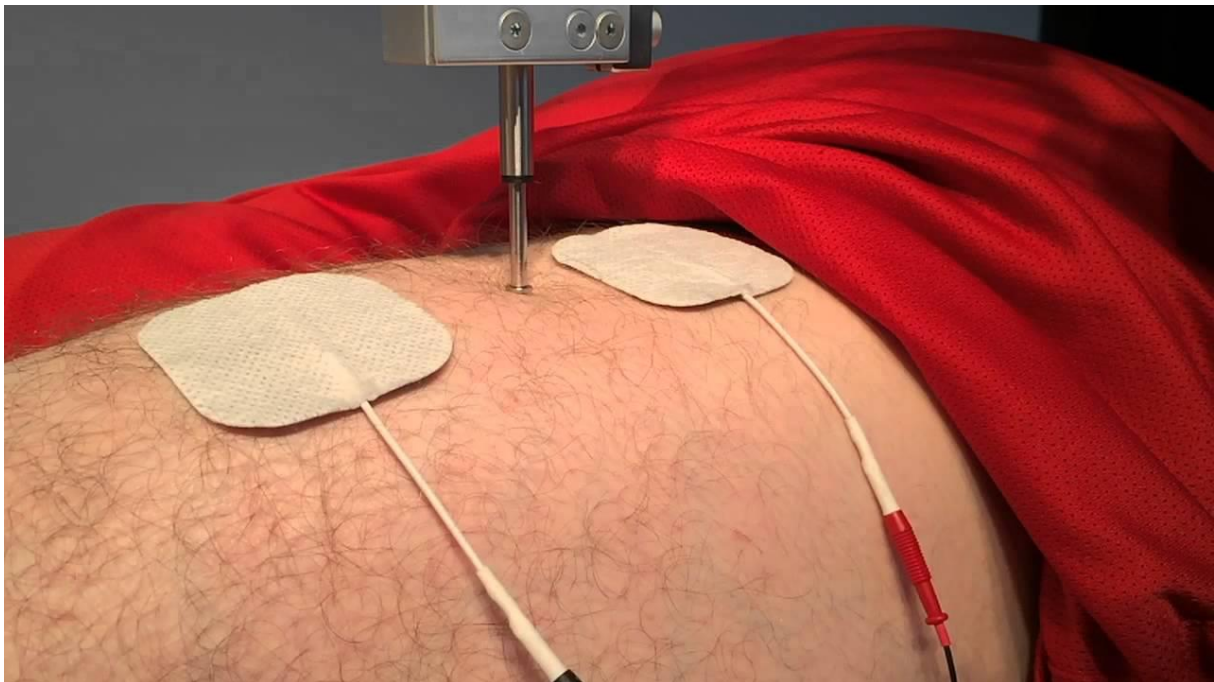


**Εικόνα 1.5.** Τυπική αυξητική εξέλιξη των καμπυλών της μετατόπισης

Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να εξασφαλίζεται η ακριβής τοποθέτηση αισθητήρων και ηλεκτροδίων, ώστε να αποφεύγεται η ανίχνευση της συν-ενεργοποίησης βαθύτερων ή γειτονικών μυών, οι οποίες θα μπορούσαν να ερμηνευθούν λανθασμένα ως περαιτέρω αυξήσεις της κορυφαίας ακτινικής μετατόπισης ( $D_m$ ). Ένα αρχικό πλάτος 20-30 mA, με αυξανόμενες αυξήσεις 10 mA (μέχρι το μέγιστο των 110 mA), έχει υιοθετηθεί ευρύτερα. Αυξήσεις των 10 mA μπορεί να οδηγήσουν σε ένα παρατηρούμενο επίπεδο, πριν επιτευχθεί υπερ-μέγιστη διέγερση. Ένας μικρός αριθμός επισκοπικών μελετών έχει υιοθετήσει μια διαφορετική προσέγγιση, χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο γενικό πλάτος (τυπικά 100 mA). Ενώ

αυτό μπορεί να παράσχει επαρκή αποτελέσματα, η αυστηρότητα μιας τέτοιας προσέγγισης είναι μικρότερη από αυτή του αυξητικού πρωτοκόλλου (Macgregor et al., 2018).

Το ηλεκτρικό ερέθισμα φθάνει στο μυ μέσω δύο ηλεκτροδίων που βρίσκονται στα εγγύς και απομακρυσμένα άκρα του αξιολογούμενου μυός, προσπαθώντας να διασφαλίσουν ότι το ερέθισμα δεν επηρεάζει τους τένοντες του εκτιμημένου μυός. Δεν υπάρχει απόλυτη συναίνεση για τον διαχωρισμό των ηλεκτροδίων, καθώς ορισμένοι συγγραφείς προτείνουν να τα διαχωρίσουν μεταξύ 3-5 cm, που φαίνεται περίπλοκη στους μυς των οποίων το μήκος των ινών είναι μικρό (για παράδειγμα, τα δελτοειδή).



**Εικόνα 1.6.** Παράδειγμα τοποθέτησης του αισθητήρα και των ηλεκτροδίων

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να επισημάνουμε ότι μια καλή μέτρηση με TMG συνεπάγεται τη συμμόρφωση με μια σειρά μεθοδολογικών κριτηρίων εφόσον, αν δεν γίνει, θα επηρεάσουν τις τιμές μεγέθους και τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνει χώρα η παραμόρφωση.

Οι πιο σημαντικές πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε μια αξιολόγηση με TMG είναι οι εξής:

α) Θέση των τμημάτων προς αξιολόγηση: αλλαγές στη θέση των τμημάτων αλλάζουν τη γωνία της άρθρωσης και τροποποιούν την απόκριση. Οι τιμές του Dm και ο τρόπος με τον οποίο συνέβη η ακτινική παραμόρφωση του έσω πλατύ και έξω πλατύ άλλαξαν σημαντικά καθώς η γωνία κάμψης του γονάτος άλλαζε (120°, 150° και 180°). Η μείωση στο μήκος των

μυών συνοδεύτηκε από μείωση της ταχύτητας συστολής και αύξηση του πλάτους της ακτινικής παραμόρφωσης. Αυξήσεις του μήκους των μυών είχαν ως αποτέλεσμα αυξήσεις στην παραμόρφωση και μείωση της ταχύτητας συστολής.

β) Σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα: ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετηθεί στην πιο προεξέχουσα θέση της μυϊκής γαστέρας και στο μέσον μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων μέσω των οποίων δέχεται το ηλεκτρικό ερέθισμα. Μόνο υπό ειδικές συνθήκες και λόγω των αναγκών της αξιολόγησης, το σημείο τοποθέτησης ηλεκτροδίου μπορεί να τροποποιηθεί, αλλά έχοντας κατά νου ότι αυτό μπορεί να επηρεάσει το μέγεθος του Dm. Ένα σφάλμα στην επιλογή του σημείου μέτρησης προϋποθέτει μεταβολές μικρότερες από 5%.

γ) Θέση του αισθητήρα: είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι ο αισθητήρας τοποθετείται στη ζώνη μέγιστης παραμόρφωσης και κάθετα στην κατεύθυνση που θα ακολουθήσει η ακτινική παραμόρφωση μετά την διέγερση του μυός.

δ) Πίεση του αισθητήρα: μια σωστή αξιολόγηση του μεγέθους της εγκάρσιας παραμόρφωσης ενός μυός εξαρτάται από την αρχική πίεση του αισθητήρα.

ε) Μυϊκή κόπωση: εκτός από τις περιστάσεις στις οποίες θέλουμε να θεωρήσουμε αυτό το παράγοντα ως στοιχείο που πρέπει να αξιολογηθεί, πρέπει να έχουμε κατά νου ότι η κόπωση είναι ένα παραμορφωτικό στοιχείο της μυϊκής σύσπασης. Επιπλέον, οι πολλαπλές επαναλήψεις ενός μυός, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη επαρκείς χρόνοι αποκατάστασης, μπορούν να προκαλέσουν τοπικές καταστάσεις κόπωσης που μπορεί να επηρεάσουν την απόκριση.

ζ) Τοποθέτηση των τμημάτων: η αξιολόγηση πρέπει να αντιστοιχεί σε μια ισομετρική συστολή, οπότε η σταθεροποίηση του εκτιμημένου τμήματος δεν μπορεί να προκαλέσει ισομετρική συστολή που επηρεάζει την τιμή του Dm.

η) Η θερμοκρασία των μυών: οι σημαντικές μειώσεις της θερμοκρασίας των μυών μειώνουν τις τιμές της συστολής και της ταχύτητας παραμόρφωσης, ενώ παράλληλα τείνουν να αυξάνουν τις τιμές συντήρησης του χρόνου συστολής και χαλάρωσης (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

## 1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τενσιομυογραφίας

Υπάρχει μια γενική συναίνεση μεταξύ των επαγγελματιών ότι η συσκευή TMG είναι σχετικά φθηνή σε σύγκριση με τον εργαστηριακό εξοπλισμό, εύκολη στη μεταφορά και την εγκατάσταση, με μια γρήγορη διαδικασία συλλογής δεδομένων. Αυτό καθιστά την TMG ιδανική για χρήση σε ένα πεδίο, όπως αθλητισμό για παρακολούθηση της προπόνησης και της κόπωσης. Επιπλέον, η TMG απομονώνει τους μυες ενδιαφέροντος, εξαιρουμένων των συγγενικών κεντρικών μεταβλητών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν μεροληψία της μέτρησης. Λόγω των μεθοδολογικών απαιτήσεων που συζητήθηκαν παραπάνω, όπως η τοποθέτηση αισθητήρων και ηλεκτροδίων, προτείνεται η κατάλληλη εκπαίδευση και εμπειρογνωμοσύνη για τη συλλογή δεδομένων υψηλής ποιότητας.

Ένας από τους κύριους περιορισμούς της TMG είναι ότι η συσκευή επιτρέπει μόνο την εξέταση των ηλεκτρικά διεγερμένων συστολών. Το επίπεδο συστολής που προκαλείται φαίνεται να είναι αρκετά χαμηλό. Σε μια έρευνα μέτρησαν ταυτόχρονα το Dm και τη ροπή του πρόσθιου κνημιαίου μυ σε υγιή νεαρά άτομα και αναφέρθηκαν τιμές περίπου 0,3-3,0 mm και 0,1-1,1 Nm, αντίστοιχα. Τα ίδια άτομα έδειξαν ισομετρική ροπή του πρόσθιου κνημιαίου άνω των 15 Nm κατά τη διάρκεια της χαμηλής ισομετρικής συστολής μέχρι τη μέγιστη. Οι Ditroilo et al. (2011) ανέφεραν ότι το επίπεδο ροπής του γόνατος που καταγράφηκε μετά από μια ηλεκτρικά διεγερμένη συστολή χρησιμοποιώντας TMG ήταν μικρότερη από το 10% της μέγιστης εκούσιας συστολής. Ωστόσο, αμφισβητεί την εξωτερική εγκυρότητα της τεχνικής, ειδικά για τις εφαρμογές στην αθλητική απόδοση. Προτού καταλήξει σε συμπέρασμα σχετικά με την εξωτερική εγκυρότητα, θα πρέπει να διεξαχθούν μελέτες που εξετάζουν τη σχέση μεταξύ ηλεκτρικής διέγερσης και επιπέδου ροπής σε διαφορετικές μυϊκές ομάδες. Είναι ενδιαφέρον ότι οι Pisot et al. (2008) κατάφεραν να απομονώσουν τον αισθητήρα ψηφιακής μετατόπισης της TMG και να εφαρμόσουν μια εκούσια συστολή. Διαπίστωσαν ότι η μετατόπιση των μυών αυξάνεται γραμμικά με τη ροπή των μυών μέχρι το 68% της μέγιστης εκούσιας συστολής και τα επίπεδα μετά. Ο μυς που εξετάζεται δεν είναι γνωστός όμως, έτσι αυτό θα χρειαστεί και πάλι έρευνα σε μια προσπάθεια να αποκτηθεί μια καλύτερη εικόνα της σχέσης μεταξύ του ερεθίσματος και της αντίδρασης που παρέχεται από την TMG. Ως εκ τούτου, εξακολουθεί να απαιτείται έρευνα για να εντοπιστούν οι άμεσες σχέσεις μεταξύ TMG και μυϊκής λειτουργίας (Macgregor et al., 2018).



## **Πλεονεκτήματα**

- Ακούσια.
- Δεν επηρεάζει την απόδοση στην προπόνηση που έπεται.
- Αξιολόγηση μεμονωμένων μυών.
- Πολλές μυϊκές ομάδες μετριοούνται σε σύντομο χρονικό διάστημα.

## **Μειονεκτήματα**

- Οι μύες μετρούνται σε στατική κατάσταση, δεν είναι δυνατή η δυναμική προβολή.
- Δεν είναι δυνατή η άμεση αξιολόγηση των μυϊκών αλυσίδων.
- Δεν είναι δυνατή η αξιολόγηση εν τω βάθω μυών με τις τρέχουσες συσκευές.
- Η προπόνηση ή ο αγώνας που προηγείται θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα δεδομένα.

Η TMG μπορεί μερικές φορές να έχει διακυμάνσεις μεταξύ των ημερών σε συγκεκριμένους μυς ή καταστάσεις σε μη έμπειρα χέρια. Επιπλέον, σύμφωνα με τον ορισμό της εγκυρότητας, της απόκρισης και της αξιοπιστίας που παρέχονται από ορισμένους συγγραφείς, η TMG θα απαιτούσε ακόμη περισσότερη έρευνα αφιερωμένη σε αυτό το θέμα προτού να θεωρηθεί έγκυρο και αξιόπιστο εργαλείο αξιολόγησης. Ένας άλλος τομέας που θα αναπτυχθεί στη μελλοντική έρευνα είναι η χρησιμότητά της ως εργαλείο πρόληψης αθλητών που κινδυνεύουν από τραυματισμό, ιδιαίτερα για μυϊκούς τραυματισμούς (Martín-Rodríguez et al., 2017).

## **1.5 Επίδραση των διαφόρων συνθηκών στα αποτελέσματα της μέτρησης**

### **1.5.1 Επίδραση του κρύου και της μάλαξης**

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης μπορούν να τροποποιηθούν όταν τροποποιούμε τεχνητά τις συνθήκες υπό τις οποίες βρίσκονται οι σκελετικοί μύες (για παράδειγμα: θερμότητα, κρύο ή μάλαξη).

Η επίδραση του κρύου μελετήθηκε από τους García-Manso et al. (2011) σε 12 επαγγελματίες ποδοσφαιριστές που υποβλήθηκαν σε διαδοχικές καταδύσεις σε κρύο νερό (4 x 4 min x 4 °C, ανάπαυση 1 min). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το Dm μειώθηκε σταδιακά μετά από κάθε κατάδυση αυξάνοντας την δυσκαμψία των μυών. Επίσης παρατηρήθηκαν οι αυξήσεις του Tr και Ts, ειδικά στο τέλος της εφαρμογής του πρωτοκόλλου.

Μια άλλη κατάσταση στην οποία ο μυς μπορεί να αλλάξει σημαντικά την κατάστασή του είναι μετά από μια μάλαξη. Είναι γνωστό ότι η μάλαξη μπορεί να μειώσει τον μυϊκό τόνο. Στη βιβλιογραφία υπάρχει μόνο μια μελέτη από τους Smith & Hunter (2006). Αναλύοντας τα αποτελέσματά της μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι η απόκριση των μυών μετά την εφαρμογή της μάλαξης διάρκειας 30 λεπτών δεν εκδηλώνεται εξίσου σε όλους τους μύες.

### 1.5.2 Επίδραση της ηλικίας

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του μυός, καθώς και η ικανότητα συστολής και οι εμβιομηχανικές ιδιαιτερότητες του, εξελίσσονται με την ηλικία. Σε μια μελέτη αξιολόγησαν 80 άτομα ηλικίας μεταξύ 6 και 77 ετών και κατέδειξαν την ύπαρξη σημαντικών αλλαγών στις τιμές των Td και Tc σε έσω και έξω πλατύ μηριαίο, σε ορθό μηριαίο και δικέφαλο μηριαίο. Οι τιμές των Td και Tc αυξήθηκαν με την ηλικία, από 20-25 ms σε 30 ή ακόμα και 40 ms ανάλογα με τον εξεταζόμενο μυ. Τα Tr και Ts αυξάνονται επίσης με την ηλικία, εκτός από την περίπτωση του Tr σε έξω πλατύ και δικέφαλο μηριαίο, το οποίο μειώνεται με τη γήρανση και τη μειωμένη δραστηριότητα (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

Σε μια μελέτη παρόμοιων χαρακτηριστικών από τους Rodríguez-Ruiz et al. (2013) συγκριθήκανε οι μεταβολές σε έξω πλατύ και δικέφαλο μηριαίο σε 84 άτομα που οργανώνονται σε τέσσερις ομάδες διαφορετικών ηλικιών (14, 23, 56 και 73 ετών). Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση των τιμών αυτών των παραμέτρων και στους δύο μύς.

Σε μια άλλη εργασία αξιολόγησαν την επίδραση της ηλικίας στην Tc των αθλητών (συνολικά: 179, H: 99, M: 71) διαφορετικής ηλικιακής κλίμακας (35-44 ετών, 45-54 ετών, 55-64 ετών, >65 ετών), οι οποίοι συμμετείχαν σε διάφορες αθλητικές εκδηλώσεις στο 16ο Ευρωπαϊκό Πρωτάθλημα Βετεράνων (σπρίντερ: 100 έως 800 μέτρα, άλτες, δρομείς - διαδρομές > 1.500 μέτρα). Αυτοί οι αθλητές συγκρίθηκαν με 40 άτομα με καθιστικό τρόπο ζωής που είχαν συμμετάσχει στην άλλη μελέτη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το Tc του δικέφαλο μηριαίο αυξάνεται με την ηλικία (Tc 35-44: 31 ms, Tc 65: 54 ms) σε μεγαλύτερη αναλογία από το έξω πλατύ μηριαίο (Tc 35-44: 26 ms, Tc 65: 27 ms) (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

Η ηλικία έχει επίσης τις συνέπειές της στην απόκριση των μυών κατά τα πρώτα χρόνια της ζωής. Σε μια έρευνα κάνανε μέτρηση στους έξι μύες (δεξιό και αριστεροί δικέφαλοι βραχιόνιοι, έξω πλατύς μηριαίος, δικέφαλος μηριαίος και δεξιό και αριστεροί ιερονωτιαίοι) σε 187 παιδιά 9 ετών, που πρέπει να συγκριθούν μεταξύ τους και σε σχέση με το μέσο όρο

της πλήρους ομάδας. Για την ανάλυση των δεδομένων, χρησιμοποίησαν τις τιμές Dm και το άθροισμα των Td και Tc. Τα ταχύτερα παιδιά είχαν σύντομο χρόνο απόκρισης και συστολής που συσχετίζονταν με το αποτέλεσμα του χρόνου του σπριντ. Επίσης, το Dm τους έδειξε σημαντικά υψηλότερες τιμές από εκείνες των αργών παιδιών και από την ολόκληρη ομάδα.

Σε μια άλλη μελέτη δημοσίευσαν μια διαχρονική μελέτη (2001-2006) στην οποία ελέγχονταν 90 παιδιά (αγόρια: 46, κορίτσια: 44, από 8 έως 14 ετών) που οργανώνονταν από ομάδες ανάλογα με τον τύπο και τον όγκο της σωματικής δραστηριότητας που πραγματοποίησαν. Παρατήρησαν πως, σε αντίθεση με ό,τι θεωρητικά θα έπρεπε να εμφανιστεί στα μεταγενέστερα στάδια της ζωής, το Tc του έξω πλατύ μηριαίου μειώθηκε ελαφρά μεταξύ 8 και 9 ετών, αλλά χωρίς μεγάλες διαφορές μεταξύ ενεργών και ατόμων με καθιστικό τρόπο ζωής. Αντίθετα, οι τιμές του Tc σε δικέφαλο μηριαίο τείνουν να διατηρούνται (ενεργά άτομα) ή να αυξάνονται ελαφρώς (άτομα με καθιστικό τρόπο ζωής) κατά τη διάρκεια των ετών που μελετήθηκαν, με ελαφρώς υψηλότερες τιμές μεταξύ των ενεργών ατόμων (αγόρια και κορίτσια) (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΔΙΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΝΣΙΟΜΥΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η μυϊκή αξιολόγηση μέσω της TMG ακολουθεί ένα γρήγορο πρωτόκολλο το οποίο δεν απαιτεί καμία φυσική προσπάθεια του εκτιμώμενου ατόμου, δηλαδή η αξιολόγηση πραγματοποιείται χωρίς να προκαλεί κόπωση ή να μεταβάλλει τις ρουτίνες που προγραμματίζονται στην προπόνηση του αθλητή, το οποίο είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα πλεονεκτήματα της μεθόδου. Είναι ένα αβλαβές και μη επεμβατικό εργαλείο, στο οποίο το άτομο που αξιολογείται υπόκειται σε μέτρια ή χαμηλής έντασης ηλεκτρική διέγερση (1 έως 110 mA).

Επιτρέπει να αξιολογούνται μεμονωμένα όλοι οι επιφανειακοί μύες και παρέχει πληροφορίες σχετικά με την απόκριση του μυός στα διαφορετικά φορτία προπόνησης (αντοχή, ταχύτητα, ευελιξία κλπ.) ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά της προπόνησης και την περίοδο της αξιολόγησης (οι μύες μπορούν να είναι ξεκούραστες, κουρασμένες, ενεργοποιημένες κλπ.).



**Εικόνα 2.1.** Παράδειγμα τοποθέτησης του αισθητήρα και των ηλεκτροδίων για την αξιολόγηση του ορθού κοιλιακού

Μπορεί να είναι χρήσιμο για τον έλεγχο των πτυχών που σχετίζονται με τα μορφολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των μυϊκών δομών που αναλύονται σε διαφορετικές

καταστάσεις και πληθυσμούς. Μερικά παραδείγματα αυτών των πληροφοριών αναφέρονται παρακάτω.

Πληροφορίες που παρέχονται από την τενσιομυογραφία:

- Έμμεση εκτίμηση των κυρίαρχων τύπων μυϊκών ινών.
- Έλεγχος αλλαγών στην μυϊκή απόκριση (ενδυνάμωση, κόπωση ή αποκατάσταση) σε διάφορα αθλήματα: αναερόβια, αερόβια, ομαδικά.
- Συσταλτικές ιδιότητες του μυός.
- Μυϊκή ενεργοποίηση.
- Δυσκαμψία.
- Μυϊκή ενδυνάμωση.
- Διαφορές μεταξύ των μυών.
- Εξέλιξη με ηλικία.
- Μυϊκή ισορροπία.
- Διαφορές μεταξύ των διαφόρων αθλητών.
- Επίδραση της αλλαγής των συνθηκών της αξιολόγησης.
- Έλεγχος των παθολογικών αλλαγών του νευρομυϊκού συστήματος.
- Ατροφία σε ακρωτηριασμούς.
- Νευρομυϊκές παθήσεις.
- Σπαστικοί μύες.
- Πολιομυελίτιδα.
- Κλινήρης μακροχρόνια.
- Διαβητική πολυνευροπάθεια.
- Νόσος του Alzheimer.
- Μετεγχειρητική αποκατάσταση ((Rodríguez-Matoso et al., 2012).

## 2.1 Ιατρική

Τα αποτελέσματα της αποκατάστασης σχετίζονται στενά με ένα λεπτομερές, αυστηρά εξατομικευμένο πρόγραμμα αποκατάστασης. Είναι ζωτικής σημασίας η παρακολούθηση και η συνεχής αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Markulincić & Muraja, 2007).

Η τενσιομυογραφία μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο αξιολόγησης για εντοπισμό μυϊκής δυσλειτουργίας σε διάφορες συνθήκες. Πρώτον, η TMG έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των σημείων πυροδότησης πόνου (ειδικά στην περιοχή του μεγάλου γλουτιαίου) σε διαταραχές ισχίου. Δεύτερον, η TMG έχει χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των μυϊκών μεταβολών / προσαρμογών των κάτω άκρων (τετρακέφαλο, οπίσθιοι μηριαίοι και γαστροκνήμιο) μετά την ανακατασκευή του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου και την επακόλουθη διαδικασία αποκατάστασης και των μυϊκών μεταβολών / προσαρμογών μεγάλου γλουτιαίου μετά την αρθροσκόπηση για μηριαία πρόσκρουση και επακόλουθη αποκατάσταση.

Η παρουσία ελλείψεων αντοχής και συμμετρίας (δηλαδή, που αναλύονται με TMG) στο έσω πλατύ και στο δικέφαλο μηριαίο υποδηλώνει την ανάγκη της μακροχρόνιας μετεγχειρητικής αποκατάστασης μετά την ανακατασκευή του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου, υποδηλώνοντας ότι η TMG θα μπορούσε να έχει σημασία στην παρακολούθηση της ανακατασκευής του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου. Αυτό υποδεικνύει μια πιθανή κλινική χρησιμότητα της TMG για την αξιολόγηση και την παρακολούθηση της μυϊκής δυσλειτουργίας σε αρκετούς μυοσκελετικούς τραυματισμούς (Martín-Rodríguez et al., 2017).

### 2.1.1 Προσδιορισμός του τύπου μυϊκών ινών

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του σκελετικού μύος εξαρτώνται άμεσα από τον τύπο των μυϊκών ινών του. Ο τύπος των ινών των σκελετικών μυών μπορεί να είναι γνωστός με διαφορετικές μεθόδους, κυρίως με τεχνικές που περιλαμβάνουν τη διεξαγωγή μυϊκών βιοψιών. Οι ιστοχημικές τεχνικές είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενες και βασίζονται στη δραστηριότητα της ΑΤΡάσης μυοσίνης των μυϊκών ινών μετά από προεπάση διαφορετική από το pH. Η βιοψία των μυών είναι μια χειρουργική διαδικασία στην οποία αφαιρείται ένα μικρό δείγμα μυϊκού ιστού για εξέταση υπό μικροσκόπιο. Αυτές οι τεχνικές καταλήγουν σε

ιδιαίτερα επεμβατικές και δαπανηρές μεθόδους που περιορίζουν και καθορίζουν τη χρήση τους στον τομέα της σωματικής δραστηριότητας. Από αυτή την άποψη, η TMG αποκτά σχετική σημασία. Ωστόσο, όπως και στις υπόλοιπες μεθόδους, πρέπει να έχουμε κατά νου ότι ο τύπος των μυϊκών ινών δεν είναι ομοιογενής σε όλη τη δομή του μυός. Αυτό θα επηρεάσει αναμφίβολα την απόκριση των μυών ανάλογα με το πού βρίσκεται ο αισθητήρας, ο οποίος βρήκε διαφορές, συχνά σημαντικές, στις τιμές των πέντε παραμέτρων κατά την αξιολόγηση των επτά τμημάτων του δελτοειδούς (Gorelick & Brown, 2007).

Οι Dahmane et al. (2001) αξιολογήθηκαν επτά διαφορετικούς μύες 15 ανδρών (17-40 ετών), και βρήκαν μια υψηλή συσχέτιση ( $r = 0,93$ ) μεταξύ του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου I και ενός υψηλού Tc. Σε μια παρόμοια μελέτη διαπίστωσαν επίσης υψηλές συσχετίσεις μεταξύ Tc και μυϊκών ινών τύπου I ( $r = 0,8128$ ). Σε δύο άλλες μελέτες, από τους Dahmane et al. (2005) και Dahmane et al. (2006), σχετικά με την εφαρμογή του TMG στην εκτίμηση του τύπου των μυϊκών ινών. Στην πρώτη, αξιολόγησαν εννέα μύες της δεξιάς πλευράς (15 πτώματα ανδρών και 15 υγιείς άνδρες). Τα δεδομένα έδειξαν ότι υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ του Tc και του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου I όταν οι μύες διεγέρθηκαν με παρορμήσεις 10% ( $r = 0,76$ ,  $p < 0,01$ ) και 50% ( $r = 0,90$ ,  $p < 0,001$ ) της μέγιστης διέγερσης. Στην δεύτερη, αξιολόγησαν το Tc του δικέφαλου μηριαίου (με την βιοψία και με την TMG) των 15 ατόμων με καθιστικό τρόπο ζωής και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα με τις τιμές που βρέθηκαν σε 15 αθλητές σπρίντερ. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές στη μυϊκή απόκριση και των δύο ομάδων, με αυξήσεις του Tc σε αθλητές σπρίντερ.

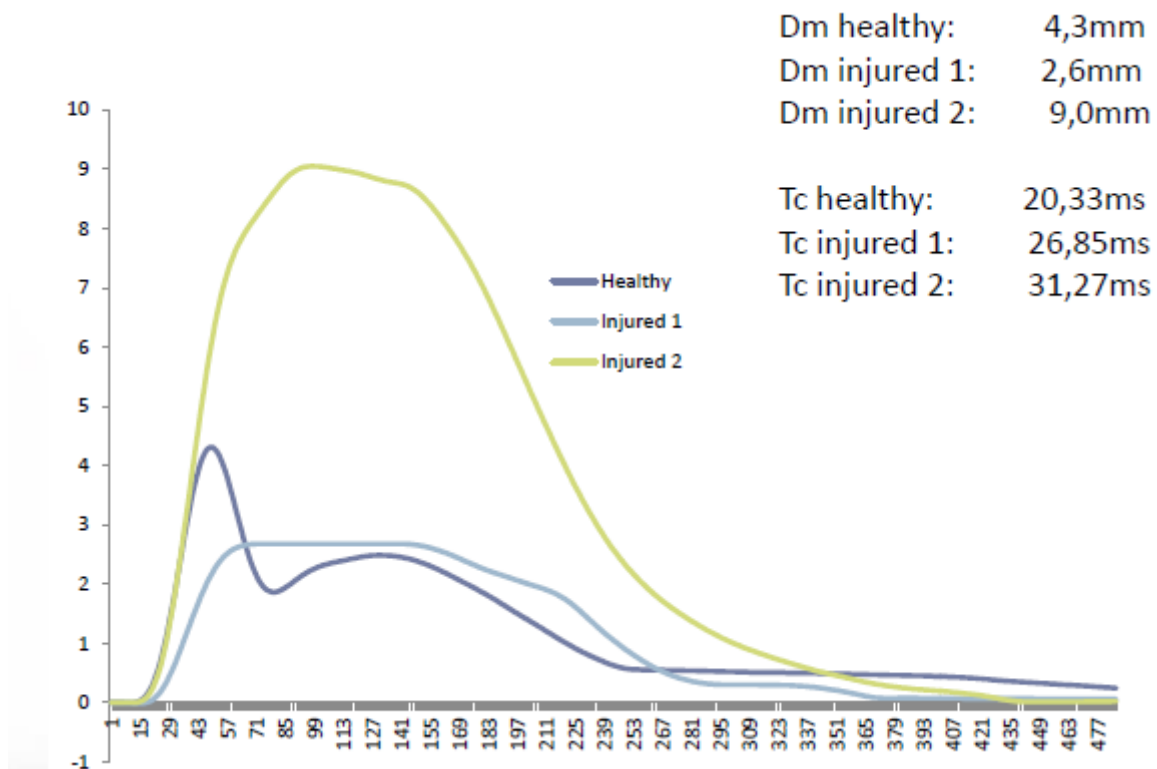
Σε μια πιο πρόσφατη εργασία, οι Simunič et al. (2011) βρήκαν σε 27 άτομα (43 ετών) καλή συσχέτιση μεταξύ Td, Tc και Tr και MHC-I (%) (0,612, 0,878, 0,669), με την τιμή  $r = 0.933$  ( $p \leq 0.001$ ) όταν και οι τρεις παράμετροι περιλαμβάνονται σε πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.

Οι Grabljevec et al. (2005) αξιολόγησαν τους εκτεινόντες και των δύο κάτω άκρων 25 ατόμων που πάσχουν από πολιομυελίτιδα, διαπιστώνοντας ότι οι μύες που επηρεάζονται από τη νόσο έχουν υψηλότερο ποσοστό ινών τύπου I, οι οποίες έχουν επίσης χαμηλή οξειδωτική ικανότητα και, λογικά, κουράζονται πιο γρήγορα από ό,τι ένας υγιής μυς με τα ίδια χαρακτηριστικά. Κατά τη σύγκριση των τιμών της TMG με εκείνες της δυναμομετρίας, ανιχνεύτηκε μια θετική συσχέτιση παρόμοια με εκείνη που ανιχνεύτηκε από τους Burger et al. (1996) κατά την αξιολόγηση των μειζόντων γλουτιαίων (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

## 2.2 Αθλητισμός

Το κύριο πλεονέκτημα της τενσιομυογραφίας στο πεδίο του αθλητισμού είναι ότι δεν απαιτεί καμία προσπάθεια εκ μέρους του ατόμου που αξιολογείται και παρέχει ταχείες και ακριβείς πληροφορίες, χωρίς να διαταράσσεται η καθημερινή επαγγελματική ζωή των αθλητών (Rodríguez-Matoso et al., 2010).

Η TMG συμβάλλει σημαντικά στην πρόληψη των τραυματισμών και επιτρέπει τον προσδιορισμό του κινδύνου μελλοντικών μυϊκών τραυματισμών (Rodríguez-Ruiz et al., 2012). Υπάρχουν, ωστόσο, ομοιότητες των αποτελεσμάτων που προκύπτουν μετά από αθλητικές δραστηριότητες και υπό συνθήκες υψηλού κινδύνου τραυματισμού, επομένως η ερμηνεία των δεδομένων απαιτεί αξιολόγηση από έμπειρους ειδικούς (Pakosz et al., 2016).



**Εικόνα 2.2.** Παράδειγμα καταγραφής των παραμέτρων στον υγίη και στον τραυματισμένο μυ

Μεταξύ των λίγων αθλητικών ειδικών εφαρμογών της αξιολόγησης με την TMG που έχουν δημοσιευθεί μέχρι σήμερα, το ποδόσφαιρο έχει λάβει τη μεγαλύτερη προσοχή. Οι μελέτες ποδοσφαίρου που επικεντρώνονται σε τραυματισμούς έχουν περιγράψει πώς η χειρουργική επέμβαση και η επακόλουθη αποκατάσταση, μετά από τραυματισμό πρόσθιου χιαστού συνδέσμου, είχαν ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της μηχανικής της συστολής των μυών



στο τραυματισμένο κάτω άκρο, σε σύγκριση τόσο με το αντίπλευρο άκρο όσο και με τους μη τραυματισμένους ποδοσφαιριστές (Macgregor et al., 2018).

Περαιτέρω, οι Alentorn-Geli et al. (2014) έχουν προτείνει την TMG ως κατάλληλο εργαλείο διαλογής για να διερευνήσουν την μυϊκή δυσκαμψία του γόνατος ως παράγοντα κινδύνου για τραυματισμό πρόσθιου χιαστού συνδέσμου, σε τραυματισμένο άτομο που παρουσιάζει μεγαλύτερο Dm και μεγαλύτερο Tc (στο μη τραυματισμένο άκρο) σε σύγκριση με άτομα χωρίς τραυματισμό. Οι συγγραφείς πρότειναν ότι αυτές οι διαφορές, μεταξύ ατόμων που έχουν υποστεί βλάβη πρόσθιου χιαστού συνδέσμου και εκείνων που δεν έχουν ιστορικό βλάβης πρόσθιου χιαστού συνδέσμου, θα μπορούσαν να υποδηλώσουν αυξημένη ευαισθησία σε τραυματισμό συνδέσμου. Ο δικέφαλος μηριαίος δείχνει μειωμένο Dm σε ασθενείς μετά από τραυματισμό σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Τέτοιες αλλαγές μπορούν επίσης να αυξήσουν τον κίνδυνο τραυματισμού πρόσθιου χιαστού συνδέσμου, καθώς οι τένοντες των οπίσθιων μηριαίων μυών δεν είναι σε θέση να αντισταθμίσουν την δύναμη προς τα εμπρός. Οι παίκτες με διαταραχές ισορροπίας μεταξύ των μυών της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας του μηρού ενδέχεται να διατρέχουν κίνδυνο τραυματισμού.

Το ποδόσφαιρο αποτέλεσε επίσης τη βάση για τη διαχρονική έρευνα για τις μεταβολές των παραμέτρων σε έναν κύκλο προπόνησης 10 εβδομάδων. Οι χωρικές και χρονικές παράμετροι επηρεάστηκαν από την περίοδο προπόνησης, με αναφερθείσες μειώσεις των Dm και Tc των εκτεινόντων γονάτων. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν χαμηλότερα Dm στους εκτεινόντες του γόνατος και οι διαφορές μεταξύ των ποδοσφαιριστών σε σύγκριση με μια ομάδα ελέγχου (Macgregor et al., 2018).

Παρομοίως, οι García-García et al. (2015) παρουσίασαν δεδομένα που περιγράφουν μεγαλύτερο Tc στο πλατύ ραχιαίο και μεγαλύτερα Tc και Td, καθώς και μεγαλύτερο Dm, στους τραπεζοειδείς, μεταξύ γυναικών που κάνουν καγιάκ σε σύγκριση με αυτές που δεν κάνουν. Αυτές οι διαφορές αποδίδονται στην ειδική προπόνηση καγιάκ. Έχουν επίσης περιγραφεί διαφορές μεταξύ των καμπτήρων και των εκτεινόντων του γόνατος μεταξύ των παικτών του βόλεϊ.



**Εικόνα 2.3.** Παράδειγμα τοποθέτησης του αισθητήρα και των ηλεκτροδίων για την αξιολόγηση του ορθού μηριαίου του τετρακέφαλου

Μεγαλύτερη εικόνα θα μπορούσε να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση πιο τακτικών μετρήσεων, σε κύκλους προπόνησης, καθώς και με αλληλοεπικάλυψη μηχανικών αξιολογήσεων με λειτουργικά μέτρα απόδοσης (π.χ. ταχύτητα κίνησης, μέτρηση κίνησης του άλματος). Για το σκοπό αυτό, οι Gil et al. (2015) εξέτασαν τη σχέση μεταξύ των παραμέτρων TMG και των δεικτών απόδοσης (δοκιμές πήδησης και σπριντ) σε ελίτ ποδοσφαιριστές. Μια μέτρια συσχέτιση βρέθηκε μόνο μεταξύ Dm και παραμέτρων που συνδέονται με την απόδοση του κύκλου επιμύκνησης-βράχυνσης. Αυτό υποστηρίζει περαιτέρω την ιδέα του Dm να είναι μια αντίδραση της δυσκαμψίας των μυών (Macgregor et al., 2018).

### 2.2.1 Μυϊκή κόπωση

Έχουν δημοσιευθεί μερικά άρθρα που εξετάζουν τη χρήση της TMG για την παρακολούθηση της επίδρασης της κόπωσης. Ωστόσο, επειδή οι τύποι κόπωσης που μπορεί να προκληθούν είναι εντελώς διαφορετικοί, έχουν χωρίσει τις μελέτες σε γενική έναντι τοπικής κόπωσης. Η γενική κόπωση προκλήθηκε με τη χρήση ενός τριάθλου εξαιρετικής αντοχής, ενός ανοδικού μαραθωνίου, μιας προπόνησης κάτω άκρων, μιας προπόνησης με διάστημα 6 ωρών υψηλής έντασης, προπόνησης 6 ημερών ισχύος ή ενός μικροκυκλώματος προπόνησης ισχύος και αντοχής 6 ημερών. Η τοπική κόπωση προκλήθηκε χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά

πρωτόκολλα κάμψης των αγκώνων, 2 λεπτά ποδηλασίας σε μέγιστη αερόβια ικανότητα ή ένα πρόγραμμα ηλεκτρικής διέγερσης των 5 λεπτών.

Είναι ενδιαφέρον ότι από τις επτά μελέτες που προκαλούν γενική κόπωση, τέσσερις ανέφεραν μείωση της Dm, δύο έδειξαν αύξηση σε Dm, ενώ η άλλη δεν έδειξε καμία αλλαγή. Αντίστροφα, δύο άλλες μελέτες κατέδειξαν τις επιπτώσεις της υπερβολικής αντοχής στην TMG, δηλαδή ένα τρίαθλο Ironman και ένα μαραθώνιο ανηφόρα (43 χλμ., 3063 μ. ανύψωση). Για το λόγο αυτό, απαιτείται προσεκτική μελέτη να εκτιμηθεί η κόπωση των μυών πριν από την προσπάθεια μέσω μόνο της TMG. Στην περίπτωση της μειωμένης μυϊκής δυσκαμψίας που παρατηρείται μετά από τρέξιμο υψηλής αντοχής, μπορεί να προκύψει ότι η αυξημένη απελευθέρωση κυτοκίνης διεγείρει τροποποιημένη περιφερειακή ανατροφοδότηση. Επιπρόσθετα, αναφέρθηκαν αποτελέσματα συγκρούσεων για την Tc, η οποία έδειξε αύξηση ή μείωση μετά την κόπωση ή καμία αλλαγή (Macgregor et al., 2018).

### **2.2.2 Ανάκαμψη μετά από προπόνηση**

Τα υπερβολικά υψηλά επίπεδα έντονης προπόνησης, που ενσωματώνουν ιδιαίτερα σύντομο χρόνο ανάκαμψης, υποβάλλουν το μυοσκελετικό σύστημα σε σημαντικές φυσιολογικές απαιτήσεις, μειώνοντας την επακόλουθη απόδοση. Έχουν διερευνηθεί δύο διαφορετικοί τρόποι ανάκαμψης. Η πρώτη είναι η ενεργητική ανάκαμψη, η οποία χαρακτηρίζεται από υπομέγιστες ασκήσεις αποθεραπείας σε συνδυασμό με διατάσεις των μυών. Έχει σχεδιαστεί για να προάγει μεγαλύτερη περιφερική ροή του αίματος, να μειώνει τα συμπτώματα του μυϊκού πόνου και να μειώνει τη δυσκαμψία του μυοτενόντιου συνόλου. Η παθητική ανάκαμψη δεν περιλαμβάνει εξειδικευμένες δραστηριότητες, αλλά στηρίζεται στην ανάπαυση για μια χρονική περίοδο (Macgregor et al., 2018).

Οι Rey et al. (2012) σύγκρινε το τρέξιμο χαμηλής έντασης 12 λεπτών με στατική διάταση 8 λεπτών σε παθητική ανάκαμψη 20 λεπτών σε επαγγελματίες ποδοσφαιριστές. Η πλήρης ανάκτηση των Td, Tc και Dm παρατηρήθηκε στον δικέφαλο και στον ορθό μηριαίο, ακολουθώντας και τις δύο παρεμβάσεις. Η ανάκαμψη χρησιμοποιώντας δονήσεις ολόκληρου του σώματος μετά από άσκηση υψηλής έντασης δεν προκάλεσε μεταβολή στις μεταβλητές TMG σε σύγκριση με την παθητική ανάκαμψη. Ομοίως, δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση του foam rolling στις μεταβλητές TMG. Μόνο μετά από παθητική ανάκαμψη, αναφέρθηκε

αυξημένος μυϊκός πόνος, αλλά παρά το γεγονός αυτό, δεν υπήρξε διαφορά στις παραμέτρους TMG μεταξύ ενεργητικής και παθητικής ανάκαμψης (Macgregor et al., 2018).

Συγκρίνοντας την παθητική ανάκαμψη μετά από προπόνηση υψηλού φορτίου ή υψηλής αντοχής, οι García-Manso et al. (2012) παρατηρήθηκε ταχύτερη ανάκαμψη του δικεφάλου βραχιονίου στο Dm μετά από προπόνηση υψηλού όγκου (δηλ. χαμηλότερο φορτίο) μεταξύ 6 και 15 λεπτών μετά την ολοκλήρωση της άσκησης. Ο χρόνος ημίσειας χαλάρωσης διέφερε μεταξύ των ομάδων, με προπόνηση υψηλού φορτίου που είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη Tr από την προπόνηση μεγάλου όγκου μεταξύ 6 και 10 λεπτών μετά την άσκηση. Το Tr ήταν παρόμοιο μεταξύ των ομάδων κατά 15 λεπτά μετά την άσκηση. Ο χρόνος διατήρησης ήταν επίσης μεγαλύτερος μετά την προπόνηση υψηλού φορτίου, αλλά μόνο μέχρι 6 λεπτά μετά την άσκηση.

Σε άλλη μελέτη, οι García-Manso et al. (2011) έχουν περιγράψει μειώσεις σε Dm μετά από εμβύθιση σε κρύο νερό, μια κοινή πρακτική για να βοηθήσει στην αποκατάσταση μετά από αθλητικές δραστηριότητες υψηλής έντασης.

### **2.2.3 Μυϊκή δυσκαμψία**

Οι Pisot et al. (2008) μέτρησαν με την TMG την απώλεια του μυϊκού πάχους μετά από 35 ημέρες ανάπαυσης στο κρεβάτι, οπότε έδειξαν αυξημένη Dm μαζί με μειωμένο πάχος μυών. Αυτή η μειωμένη μυϊκή μάζα θα είχε μειώσει τη δυσκαμψία των μυών για να επιτρέψει μεγαλύτερη Dm σε απάντηση στο ερέθισμα.

Υπάρχει έλλειψη των δεδομένων που διερευνά πιθανές παρεμβάσεις που σχετίζονται με αλλοιώσεις της δυσκαμψίας των μυών, χρησιμοποιώντας την TMG. Μια μελέτη περίπτωσης έχει δημοσιευθεί περιγράφοντας την αύξηση του Dm που σχετίζεται με την μειωμένη δυσκαμψία των μυών, ως αποτέλεσμα της θεραπείας με ξηρή βελόνα σε έναν ασθενή με εγκεφαλικό επεισόδιο (Macgregor et al., 2018).

### **2.2.4 Μυϊκή ασυμμετρία**

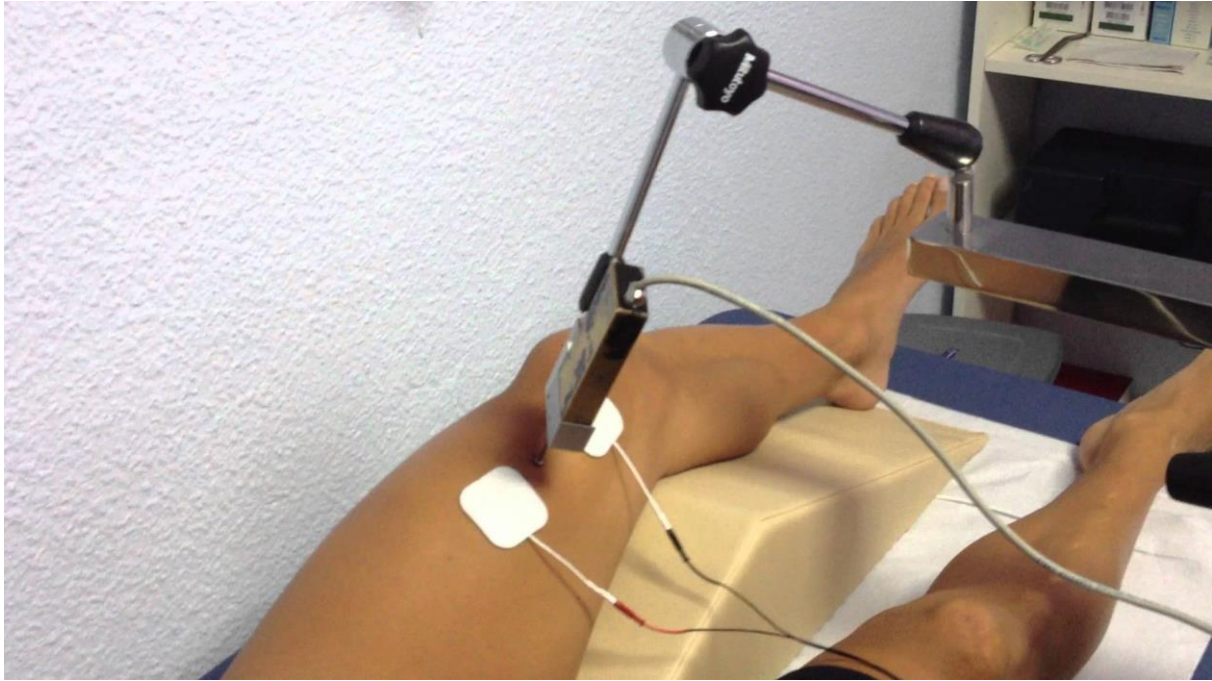
Για να μειωθεί ο κίνδυνος τραυματισμού που σχετίζεται με ασυμμετρία, η τενσιομυογραφία θα μπορούσε να παράσχει ένα χρήσιμο μέτρο, προσδιορίζοντας τους συγκεκριμένους μύς που

προκαλούν την ασυμμετρία, κάτι που επιπρόσθετα είναι εφικτό κατά την αποκατάσταση τραυματισμών (Macgregor et al., 2018).

Η ασυμμετρία μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα του σώματος και να οδηγήσει σε μεταβολές της μυϊκής δραστηριότητας. Η αναγνώριση τέτοιων αλλαγών είναι ιδιαίτερα σημαντική στον αθλητισμό όπου η πρόωπη παρέμβαση μπορεί να αποτρέψει τον τραυματισμό. Η αμφίπλευρη ασυμμετρία μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς και, σε μεγάλο βαθμό, να μειώσει την απόδοση των αθλητών. Η αμφίπλευρη μυϊκή ασυμμετρία μπορεί να αποκαλυφθεί από τις διαφορές στην αντοχή μεταξύ των αντίθετων άκρων. Σύμφωνα με τον συγγραφέα, η ασυμμετρία εκτιμάται συνήθως με βάση τη μέγιστη εκούσια συστολή (MVC) ή το άλμα με αντίθετη κίνηση (CMJ), παρέχοντας πληροφορίες για τις μυϊκές ομάδες και όχι για μεμονωμένους μύες. Η εκτίμηση της ακτινικής παραμόρφωσης των μυών με TMG, με τη σειρά της, μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ασυμμετρία μεταξύ μεμονωμένων μυών (Pakosz et al., 2016).

Οι Atikonιέ et al. (2015) αναφέρουν την βελτίωση της μυϊκής συμμετρίας στην αποκατάσταση χρησιμοποιώντας την TMG. Οι συγγραφείς έδειξαν ότι αυτή η μέθοδος είναι απαραίτητη για την λειτουργική αξιολόγηση για την πρόληψη και την αποκατάσταση των τραυματισμών που σχετίζονται με τον αθλητισμό. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μια τέτοια μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των αθλητών που υποβάλλονται σε αποκατάσταση λόγω της κάκωσης των σκελετικών μυών.

Μια σημαντική πτυχή της πρόληψης των τραυματισμών είναι η εκτίμηση του ποσοστού συμμετρίας μεταξύ των μυών της αριστερής και της δεξιάς πλευράς, των αγωνιστών και ανταγωνιστών μυών. Η πλήρης συμμετρία είναι πολύ σπάνια. Το χαμηλότερο δυνατό επίπεδο, που είναι επαρκές για την κανονική λειτουργία των μυϊκών ομάδων, καθορίζεται ως 80% μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς πλευράς και 65% μεταξύ των αγωνιστών και των ανταγωνιστών. Η συμμετρία κάτω από αυτά τα επίπεδα μπορεί να είναι το αποτέλεσμα προηγούμενης κάκωσης και δείχνει αυξημένο κίνδυνο σε τραυματισμούς.



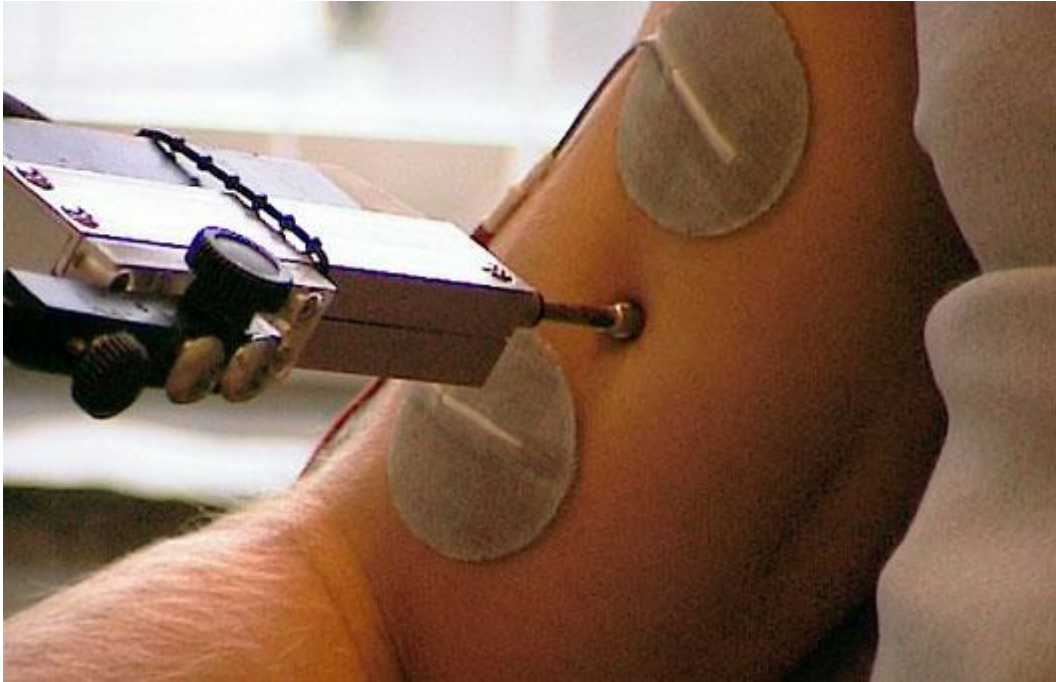
**Εικόνα 2.4.** Παράδειγμα τοποθέτησης του αισθητήρα και των ηλεκτροδίων για την αξιολόγηση του έσω πλατύ μηριαίου

Η αξιολόγηση της μυϊκής συμμετρίας με την TMG μπορεί να βοηθήσει τους γιατρούς, τους φυσικοθεραπευτές, τους προπονητές, τους αθλητές και τους ερευνητές στη βελτίωση των προληπτικών μέτρων και της θεραπείας των τραυματισμών στον αθλητισμό (Pakosz et al., 2016).

### **2.2.5 Αθλητική εξειδίκευση (χρόνιες προσαρμογές των μυών)**

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες χρήσεις της TMG στον τομέα του αθλητισμού είναι η εφαρμογή της στην αξιολόγηση της απόκρισης των μυών σε διαφορετικές αθλητικές μεθόδους. Οι τεράστιες διαφορές μεταξύ του αθλητισμού, ακόμη και μεταξύ των κλάδων του ίδιου αθλήματος, απαιτούν έναν τόσο υψηλό βαθμό εξειδίκευσης, ώστε μόνο ορισμένα και πολύ λίγα άτομα να είναι αποτελεσματικά σε κάθε περίπτωση. Αυτό σημαίνει ότι γνωρίζουμε το ιδανικό προφίλ ενός αποτελεσματικού αθλητή για το κάθε αθλήμα. Ο τύπος των μυϊκών ινών και οι λειτουργικές ικανότητές του μυός κατέχουν μια σχετική θέση μεταξύ των διακριτικών παραγόντων της αθλητικής επιτυχίας. Η γενετική κληρονομιά και οι λειτουργίες του κάθε μυός επηρεάζουν πάντα την απόκρισή τους και τη μηχανική τους απόδοση.

Σε μια έρευνα συνέκριναν τη μηχανική απόκριση έξι διαφορετικών μυών σε δύο ομάδες εντελώς διαφορετικών αθλητών (ποδηλάτες: 12 άτομα έναντι σπρίντερς: 13 άτομα) και βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές του Tc ( $p \leq 0,01$ ) με χαμηλότερες τιμές σε σπρίντερς. Όπως αναμενόταν, βρήκαν επίσης σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών του Tc των διαφόρων μυών (για παράδειγμα, δικέφαλος βραχιόνιος vs. δικέφαλος μηριαίος).



**Εικόνα 2.5.** Παράδειγμα τοποθέτησης του αισθητήρα και των ηλεκτροδίων για την αξιολόγηση του δικέφαλου βραχιονίου

Η προσαρμοστική απόκριση στη προπόνηση μεγάλης χρονικής διάρκειας αφήνει ένα σημαντικό σημάδι στις μυϊκές δομές που μπορούν να ανιχνευθούν πολλά χρόνια μετά τον τερματισμό της αθλητικής πρακτικής. Αυτό το φαινόμενο επιβεβαίωσαν χρησιμοποιώντας την TMG όταν αξιολόγησαν 26 πρώην επαγγελματίες ποδοσφαιριστές ( $61,7 \pm 6,8$  έτη) και σύγκρισαν τους με ενήλικα άτομα που άσκησαν μέτρια σωματική δραστηριότητα ( $56,2 \pm 4,2$  έτη). Τα αποτελέσματα έδειξαν τιμές του Vm σημαντικά υψηλότερες και του Dm σημαντικά χαμηλότερες σε έξω πλατύ και δικέφαλο μηριαίο στην ομάδα ποδοσφαιριστών (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

## 2.2.6 Πρόληψη και αποκατάσταση τραυματισμών

Οι Pisot et al. (2008) αξιολόγησαν τέσσερις μύες (δικέφαλος βραχιόνιος, έσω πλατύς μηριαίος, δικέφαλος μηριαίος και γαστροκνήμιος) στα δέκα νεαρά άτομα ( $\approx 22$  ετών), τα οποία ήταν κλινήρη για 35 ημέρες. Είναι γνωστό ότι, στην κατάσταση αυτή τα άτομα παθαίνουν μυϊκή ατροφία που επηρεάζει ιδιαίτερα τις ίνες ταχείας συστολής (τύπου II). Τα αποτελέσματα έδειξαν μια αύξηση του Tc σε γαστροκνήμιο (18%), η οποία δεν αντικατοπτρίστηκε σε άλλους μύες. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις στο Tc στο γαστροκνήμιο ήταν στα άτομα με υψηλότερες τιμές του Tc πριν να είναι κλινήρη. Τιμές Dm ήταν σημαντικά αυξημένες στο γαστροκνήμιο (30%), δικέφαλο μηριαίο (26%) και έσω πλατύ (24%), πράγμα που σημαίνει μειωμένο μυϊκό τόνο, και ελαφρώς μειωμένη στο δικέφαλο βραχιόνιο (-5%). Οι συγγραφείς αναφέρουν αυτές τις αλλαγές στον τύπο των ινών του κάθε μυός.

Εκτός από την εφαρμογή της στην διαδικασία της αποκατάστασης, η TMG είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για προληπτικούς σκοπούς. Σε μια έρευνα αξιολόγησαν τη σταθερότητα του γόνατος σε 18 νεαρούς ποδοσφαιριστές (16 ετών) και πιθανές ασυμμετρίες με βάση τις τιμές που παρέχονται από τη μηχανική απόκριση του έσω και έξω πλατύ μηριαίο και των δύο κάτω άκρων. Τα αποτελέσματα έδειξαν χαμηλές τιμές Tc (21,06-23,35 ms, κανονικές τιμές:  $33 \pm 4$  ms), Dm (4,92-6,57 mm, κανονικές τιμές: 8 mm) και κανονικές τιμές Td ( $\approx 29$  ms). Η λειτουργική συμμετρία ήταν 63%, γεγονός που υποδηλώνει τιμές που αποδεικνύουν αστάθεια στην άρθρωση του γόνατος (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

## 2.3 Έρευνα

Οι Hunter et al. (2012) διαπίστωσε ότι η TMG θα μπορούσε να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο, τόσο για τους ερευνητές όσο και για τους επαγγελματίες για την εκτίμηση της μυϊκής λειτουργίας κατά τη διάρκεια και μετά την αποκατάσταση.

Υπάρχουν πολλές δυνατότητες για ερευνητικές δραστηριότητες που προσφέρει η TMG κατά την αξιολόγηση της μυϊκής κόπωσης, δυσκαμψίας και ισορροπίας και τον έλεγχο της ενδυνάμωσης ή αποκατάστασης (Rodríguez-Matoso et al., 2012).



### 2.3.1 Κόπωση

Η κόπωση εκδηλώνεται μειώνοντας την ικανότητα να διατηρεί ένα ορισμένο επίπεδο δύναμης σε μια παρατεταμένη σύσπαση ή ως αδυναμία να φτάσει σε ένα αρχικό επίπεδο δύναμης σε επαναλαμβανόμενες συσπάσεις, η οποία συνοδεύεται από μεταβολές στη μυϊκή ηλεκτρική δραστηριότητα και αλλοιώσεις σε διαφορετικά συστήματα (μεταβολικά, ενδοκρινικά, κλπ.). Στην TMG, η κόπωση σχετίζεται με αυξήσεις των Dm, Td, Tc, Ts και Tr. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, η κόπωση συνδέεται με μειώσεις του Dm με αυξήσεις σε Tc. Από την άλλη πλευρά, η κόπωση συνδέεται με αυξήσεις των Td και Tr και μείωση του Tc. Πρέπει να έχουμε πάντοτε υπόψη παραμέτρους όπως η ένταση της άσκησης, η διάρκεια και ο τύπος της δραστηριότητας (δύναμης ή αντοχής).

Σε μια έρευνα μελέτησαν την κόπωση του δικέφαλου βραχιόνιου και του πρόσθιου κνημιαίου σε εννέα νεαρά άτομα κατά την εκτέλεση μιας ισομετρικής σύσπασης διάρκειας 10 sec, προκαλούμενη από την ηλεκτρική διέγερση. Σκοπός της μελέτης ήταν να ελέγξει αν η TMG ήταν σε θέση να ανιχνεύσει αλλαγές σε διαφορετικές μυϊκές δομές ανάλογα με τον τύπο της δραστηριότητας. Όπως αναμενόταν, παρατηρήθηκαν μεταβολές μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων στον τρόπο και τον χρόνο εμφάνισης κόπωσης. Παρόλο που οι συγγραφείς προτείνουν ότι για την αξιολόγηση αυτών των χαρακτηριστικών είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη μεταβλητές όπως ο όγκος των μυών ή το πάχος της περιτονίας, δεδομένου ότι οποιαδήποτε από αυτές τις μεταβλητές μπορεί να μεταβάλει το τελικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

Οι García-Manso et al. (2011) στην μελέτη τους αξιολόγησαν κατά τη διάρκεια ενός επίσημου αγώνα πώς η κατάσταση του μυός εξελίχθηκε αμέσως μετά από ένα τρίαθλο εξαιρετικής αντοχής (19 άνδρες, ηλικία  $37,9 \pm 7,1$  ετών, ύψος  $177,5 \pm 4,6$  cm, σωματικό βάρος:  $73,6 \pm 6,5$  kg). Τα δεδομένα έδειξαν μεταβολές στο Tc και Tr, με ελαφρά μείωση του Td και Dm.

Η κόπωση των μυών σε μία δοκιμασία αντοχής μικρής, μεσαίας και υψηλής έντασης αξιολογήθηκε από τους Carrasco et al. (2011) σε 12 νεαρά άτομα, βρίσκοντας στατιστικά σημαντικές μειώσεις στις τιμές του Dm και του Td.

### 2.3.2 Δυσκαμψία

Κατανοούμε με την δυσκαμψία τον τόνο που παρουσιάζει ανεξάρτητα από την προέλευσή του (σωματική δραστηριότητα, ανάπαυση, κλπ.) ή τον μηχανισμό που τον καθορίζει (συσταλτικό συστατικό, συνδετικό ιστό ή νευρομυϊκή ενεργοποίηση). Ο τρόπος προσδιορισμού της δυσκαμψίας ενός μυός χρησιμοποιώντας την TMG είναι να αναλύσει την τιμή του Dm, το οποίο έχει χαμηλές τιμές όταν η δυσκαμψία είναι υψηλή.

Μια σημαντική πτυχή είναι να κατανοήσουμε τις διαφορές και τις σχέσεις που έχει η μυϊκή δυσκαμψία με τις ακτινικές και διαμήκεις παραμορφώσεις του μυός. Τα μυϊκά συστολικά συστατικά και τα ελαστικά συστατικά σε σειρά και παράλληλα αποτελούν πτυχές που καθορίζουν την δυσκαμψία του μυός στο σύνολό του, μεταβάλλοντας τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών ειδών σύσπασης (σύγκεντρη, ισομετρική, έκκεντρη).

Η διαμήκης δυσκαμψία της μυϊκής γαστέρας (σύμπλεγμα μυών-τενόντων) δεν φαίνεται να συνδέεται με την ελαστικότητα του τένοντα, πράγμα που σημαίνει ότι τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του δεν φαίνεται να είναι βασικοί παράγοντες στην δυσκαμψία. Από την άλλη πλευρά, η δυσκαμψία της μυϊκής γαστέρας εξαρτάται από τη θέση των τμημάτων (γωνία της άρθρωσης) και τη μυϊκή ελαστικότητα.

Η δυσκαμψία μας επιτρέπει να αξιολογήσουμε την κατάσταση του μυός και να διερευνήσουμε τον πιθανό κίνδυνο τραυματισμού που μπορεί να έχει σε ορισμένα αθλήματα. Μια υψηλή δυσκαμψία (χαμηλή τιμή του Dm), υπό την προϋπόθεση ότι δεν φθάνει σε πιθανές παθολογικές τιμές, μπορεί να υποθέσει υψηλή απόδοση σε εκρηκτικές δοκιμές (για παράδειγμα: άλματα ή ρίψεις), αλλά είναι επίσης υψηλός κίνδυνος στις ενέργειες εκείνες που ο αθλητής εκτελεί επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις ή έντονες αλλαγές κατεύθυνσης και δεν προβλέπονται με επαρκή προτεραιότητα (για παράδειγμα ποδόσφαιρο). Χαμηλές τιμές της δυσκαμψίας (υψηλή τιμή του Dm) σχετίζονται με χαλαρούς ή υποτονικούς μυες. Στην άμεση απόκριση σε μια δραστηριότητα, η αύξηση της δυσκαμψίας δείχνει μια κατάσταση μυϊκής ενεργοποίησης, αλλά η μείωση της μπορεί να είναι ένας δείκτης μυϊκής κόπωσης (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

### 2.3.3 Μυϊκή ισορροπία

Με τη συνεχόμενη εκτέλεση μιας δραστηριότητας εκδηλώνονται ειδικές μορφο-λειτουργικές προσαρμογές που, σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν συμβαδίζουν με τη μηχανική και τη διαμόρφωση για την οποία έχει σχεδιαστεί το ανθρώπινο σώμα. Έτσι οι άνθρωποι ασυνείδητα προσπαθούν να αντισταθμίσουν τη δουλειά ενός ελλειμματικού μυός με τη δράση άλλων μυών που είναι πιο αναπτυγμένοι ή σε καλύτερη κατάσταση. Όταν ασυμμετρίες ή μεταβολές της μυϊκής ισορροπίας εμφανίζονται μπορούμε να τις αξιολογήσουμε με την TMG (τις πλευρικές και λειτουργικές ασυμμετρίες).

Η πλευρική συμμετρία αξιολογείται μέσω τις τιμές των Dm, Tr, Td, Tr και Ts των μυών που βρίσκονται σε αριστερή και δεξιά πλευρά του σώματος. Συνήθως, η πλευρική ασυμμετρία υπάρχει όταν οι διαφορές είναι μεγαλύτερες από 15%. Οι τιμές κάτω το 15% δεν πρέπει να θεωρούνται σοβαρές ή ως πηγή πιθανών τραυματισμών ή παθολογιών. Στην περίπτωση του αθλητισμού, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ειδικά χαρακτηριστικά του.

Lateral Symmetry (LS)

Muscle	Side	Tc [ms]	Ts [ms]	Tr [ms]	Dm [mm]	Td [ms]	Sym [%]
m.BF	L	35.14	191.05	74.87	14.62	26.46	66
m.BF	R	24.15	219.19	30.52	5.37	23.23	
m.RF	L	23.44	135.17	65.52	11.25	21.62	79
m.RF	R	20.87	70.67	40.72	6.30	19.97	
m.ST	L	50.55	102.12	38.40	13.89	31.92	78
m.ST	R	42.47	151.20	44.31	8.92	24.52	
m.VL	L	23.72	179.47	152.13	11.00	23.72	89
m.VL	R	22.84	98.90	71.37	9.27	21.69	
m.VM	L	27.09	160.85	54.57	10.65	27.84	94
m.VM	R	28.41	177.89	84.22	10.28	23.14	

**Εικόνα 2.6.** Παράδειγμα αξιολόγησης της πλευρικής συμμετρίας

Η λειτουργική συμμετρία αναφέρεται στη συμμετρία μεταξύ των αγωνιστών και ανταγωνιστών μυών (για παράδειγμα: οπίσθιου μηριαίου έναντι τετρακέφαλων) ή μεταξύ των συνεργατικών μυών (έσω πλατύς μηριαίος έναντι έξω πλατύ). Σε αυτή την περίπτωση, η διαφορά των τιμών πρέπει να υπερβαίνει το 35%, προκειμένου να θεωρηθεί ότι μπορεί να είναι επιβλαβείς ή να υποδεικνύουν δυνητικά επικίνδυνες καταστάσεις σε ορισμένες περιπτώσεις (για παράδειγμα, αλλαγές στην απόκριση των μυών μετά από έντονες προσπάθειες).

Εκτός από την υπέρχρηση μυϊκών δομών, οι αθλητικές κακώσεις (μυϊκές ή μη), ορισμένες ασθένειες ή απλώς καθιστική ζωή μπορούν να αποτελέσουν την πηγή αυτών των μυϊκών ανωμαλιών. Ο σχολαστικός και συνεχής έλεγχός των, ειδικά κατά την αποκατάσταση, είναι μια ανάγκη για επαγγελματίες υγείας. Παραδείγματα χρήσης της TMG σε αυτές τις καταστάσεις μπορούν να βρεθούν σε μελέτες των νευρομυϊκών παθήσεων, της μυϊκής σπαστικότητας και των ακρωτηριασμών (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

**Πίνακας 2.1.** Πεδία της χρήσης της τενσιομυογραφίας στο πεδίο της αποκατάστασης

Έρευνα	Στόχος	Εξεταζόμενοι	Μέθοδος	Αξιολόγηση	Αποτελέσματα
Maeda et al., 2018	Να διερευνήσει τις επιδράσεις στα μηχανικά και συστατικά χαρακτηριστικά των τετρακέφαλων και των οπίσθιων μηριαίων μετά την ανακατασκευή του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου	20 συμμετέχοντες: τρεις άνδρες και επτά γυναίκες μετά από 24 μήνες μετά την ανακατασκευή του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου και τρεις άνδρες και επτά γυναίκες χωρίς ιστορικό τραυματισμού στο γόνατο (ομάδα ελέγχου)	Όλοι οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε τενσιομυογραφική εκτίμηση του κάθε μυός του μηρού και από τα δυο κάτω άκρα	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Η ύπαρξη ελλείψεων αντοχής και συμμετρίας στο έσω πλατύ και στο δικέφαλο μηριαίο υποδηλώνει την ανάγκη μακροχρόνιας μετεγχειρητικής αποκατάστασης μετά την ανακατασκευή του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου
Seijas et al., 2018	Να αξιολογήσει τις τενσιομυογραφικές μεταβολές της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου, του ορθού μηριαίου και του μακρύ προσαγωγού πριν και μετά από αρθροσκοπική χειρουργική επέμβαση για μηριαία πρόσκρουση	22 ασθενείς	Οι τιμές TMG μεταξύ των τραυματισμένων και υγιών πλευρών συγκρίθηκαν κατά την προεγχειρητική και μετεγχειρητική περίοδο (3, 6 και 12 μήνες μετά τη χειρουργική επέμβαση)	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Η αρθροσκοπική θεραπεία της μηριαίας πρόσκρουσης και η επακόλουθη αποκατάσταση βελτιώνει την ταχύτητα συστολής της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου της τραυματικής πλευράς

Macgregor et al., 2018	Να προσδιοριστεί η επίδραση του Foam Rolling για τρεις συνεχόμενες ημέρες για την μυϊκή απόδοση και τον εύρος της κίνησης	16 υγιείς άνδρες	Ολοκληρώθηκαν 2 λεπτά ανάπαυσης ή Foam Rolling των εκτεινόντων του γονάτων σε τρεις διαδοχικές ημέρες. Τα μέτρα έγιναν πριν και μετά (0, 15 και 30 λεπτά) από Foam Rolling ή ανάπαυση	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Το Dm αυξήθηκε μετά από τρεις διαδοχικές ημέρες του Foam Rolling
Sánchez-Ureña et al., 2018	Να συγκρίνει την επίδραση των δύο πρωτοκόλλων εμβίθυσης σε κρύο νερό για την αποκατάσταση της νευρομυϊκής λειτουργίας	39 υγιείς άνδρες (21,8 ± 2,8 έτη, 73,2 ± 8,2 kg, 176,6 ± 5,3 cm)	Οι συμμετέχοντες ομαδοποιήθηκαν σε ομάδα συνεχούς εμβίθυσης, ομάδα διακοπτόμενης εμβίθυσης και ομάδα ελέγχου	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Κανένα πρωτόκολλο δεν συνέβαλε στην ανάκτηση του δείκτη νευρομυϊκής λειτουργίας
Suarez-Rodriguez et al., 2017	Να συγκρίνουμε τις άμεσες επιδράσεις της χρήσης του Foam Roller και μυοπεριτονιακή θεραπεία για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του δικέφαλου μηριαίου και του ημιτενοντώδη	34 άτομα (ηλικία: 24,52 ± 3,12 ετών)	Διαχωρίστηκαν σε τρεις ομάδες: ομάδα Foam Roller, ομάδα μυοπεριτονιακής θεραπείας και ομάδα ελέγχου. Τα μέτρα λήφθηκαν: σε βασικές συνθήκες, μετά από 5 λεπτά τρεξίματος (8 χλμ. / ώρα) και μετά από ένα Romanian dead lift.	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Η μυϊκή αποκατάσταση είναι καλύτερη μετά την εφαρμογή της τεχνικής της μυοπεριτονιακής θεραπείας

Schroeder et al., 2017	Να αναλύσει τις άμεσες επιδράσεις στον μυϊκό τόνο μετά από το Foam Rolling και, για σκοπούς σύγκρισης, μετά από διατάσεις και ασκήσεις βάρους	6 άνδρες και 6 γυναίκες (ηλικία $26,8 \pm 5,7$ έτη, δείκτης μάζας σώματος $23,1 \pm 2,4$ kg / m <sup>2</sup> )	Όλοι οι συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν τρία διαφορετικά είδη ασκήσεων - Foam Rolling, διατάσεις και ασκήσεις με βάρη - για τους μύες της οσφύς και του ισχίου, μία συνεδρία την εβδομάδα. Πριν και μετά από κάθε συνεδρία, οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν για τους μύες του δικέφαλου μηριαίου χρησιμοποιώντας TMG	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Ενώ ο μυϊκός τόνος αυξήθηκε μετά τις ασκήσεις με βάρη, οι σχετικές μεταβολές του μυϊκού τόνου δεν ήταν δυνατόν να ανιχνευθούν μετά τις διατάσεις ή το Foam Rolling
Murray et al., 2016	Να διαπιστωθεί αν μια ενιαία περίοδος του Foam Rolling επηρεάζει την ευκαμψία, τη συσταλτικότητα των σκελετικών μυών και την θερμοκρασία	12 έφηβοι	Δοκιμάστηκαν και στα δύο κάτω άκρα για ευκαμψία των καμπτήρων του ισχίου και των τετρακεφάλων, η μυϊκή συσταλτικότητα και η θερμοκρασία των τετρακεφάλων σε επαναλαμβανόμενα χρονικά σημεία πριν και μετά του Foam Rolling για 60 sec (πριν, αμέσως μετά, 5, 10, 15 και 30 λεπτά μετά)	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Μια ενιαία περίοδος 60 δευτερολέπτων του Foam Rolling που εφαρμόζεται στο τετρακέφαλο προκαλεί μια μικρή σημαντική μεταβολή στην ευκαμψία που δεν έχει πρακτική σημασία, ενώ η μυϊκή συσταλτικότητα και η θερμοκρασία παραμένουν αμετάβλητες
Alvarez-Diaz et al., 2016	Να αξιολογήσει τα νευρομυϊκά χαρακτηριστικά των μυών του κάτω άκρου στους ποδοσφαιριστές	38 υγιείς άνδρες ποδοσφαιριστές	Οι παράμετροι της τενσιομυογραφίας λήφθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ των δύο πλευρών	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Δεν χρειάζεται να αξιολογούνται και οι δύο πλευρές κατά τη χρήση της TMG για την παρακολούθηση της απόκρισης στην προπόνηση ή των μυών που κινδυνεύουν από τραυματισμό στους ποδοσφαιριστές, εκτός εάν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος λόγος

Calvo et al., 2016	Να ποσοτικοποιηθούν οι επιδράσεις της ξηράς βελόνας σχετικά με τις συσταλτικές ιδιότητες των σπαστικών μυών σε ένα άτομο με εγκεφαλικό επεισόδιο	50 χρονών άνδρας 2,5 χρόνια μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο που είχε την σπαστικότητα	Η τεχνική της ξηράς βελόνας εφαρμόστηκε. Πραγματοποιήσανε μια μέτρηση προ της παρεμβάσεως και μετά την παρέμβαση και μια μέτρηση παρακολούθησης 3 εβδομάδες μετά την παρέμβαση	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Παρατηρήθηκε μείωση του επιπέδου της τοπικής δυσκαμψίας των μυών για όλους τους μύες μετά την παρέμβαση και την παρακολούθηση των 3 εβδομάδων
Simola et al., 2016	Να διερευνηθεί κατά πόσον η TMG είναι ευαίσθητη σε διάκριση μεταξύ αθλητών δύναμης και αντοχής, και να παρακολουθεί την κούραση μετά από μία εβδομάδα είτε προπονησης δύναμης είτε αντοχής	14 αθλητές δύναμης (24,1 ± 2,0 ετών) και 11 αθλητές αντοχής (25,5 ± 4,8 ετών)	Πραγματοποίησαν μια εντατική προπόνηση 6 ημερών	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Η TMG θα μπορούσε να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διαφοροποίηση των αθλητών δύναμης και αντοχής και για την παρακολούθηση της κόπωσης και της ενδυνάμωσης
Alentorn-Geli et al., 2015	Να διερευνηθεί τον ρόλο των μηχανικών και συσταλτικών ιδιοτήτων των σκελετικών μυών του μηρού ως παράγοντες κινδύνου για τραυματισμό πρόσθιου χιαστού συνδέσμου σε άνδρες ποδοσφαιριστές	40 ποδοσφαιριστές με τραυματισμό πρόσθιου χιαστού συνδέσμου και 38 ποδοσφαιριστές ελέγχου	Η μη τραυματισμένη πλευρά των ποδοσφαιριστών με ρήξη πρόσθιου χιαστού συνδέσμου και οι δύο πλευρές της ομάδας ελέγχου αξιολογήθηκαν για τους ακόλουθους μύες: έσω πλατύς, έξω πλατύς, ορθός μηριαίος, ημητενοντώδης, and δικέφαλος μηριαίος	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Αντοχή σε κόπωση και μυϊκή δυσκαμψία στους οπίσθιους μηριαίους μπορεί να είναι παράγοντες κινδύνου για τραυματισμό πρόσθιου χιαστού συνδέσμου σε ποδοσφαιριστές



Alvarez-Diaz et al., 2015	Να διερευνήσει τις επιπτώσεις της ανακατασκευής του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου στις μηχανικές και συσταλτικές ιδιότητες των σκελετικών μυών των κάτω άκρων σε ποδοσφαιριστές	40 ποδοσφαιριστές	Όλοι οι παίκτες με οξεία ρήξη πρόσθιου χιαστού συνδέσμου αξιολογήθηκαν και από τα δύο κάτω άκρα πριν και 1 χρόνο μετά την ανακατασκευή του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Η ανακατασκευή του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου (και η επακόλουθη αποκατάσταση) μπορεί να επηρεάσει θετικά τα νευρομυϊκά χαρακτηριστικά των τετρακέφαλων και των οπίσθιων μηριαίων
Rodríguez-Ruiz et al., 2014	Να αναλύσει τις διαφορές στις μηχανικές παραμέτρους των μυών της άρθρωσης του γόνατος, μεταξύ του λιγότερο επηρεασμένου κάτω άκρου και του περισσότερο προσβεβλημένου κάτω άκρου σε άτομα που διαγνώστηκαν με τη νόσο του Πάρκινσον (Στάδιο 1)	18 άτομα (64,4 έτη $\pm$ 16,3, 8 γυναίκες 52,8 έτη $\pm$ 11,7, 10 άνδρες 73,7 έτη $\pm$ 13,2) που είχαν ασυμμετρικό τρόμο μεταξύ των κάτω άκρων	Για την εκτίμηση των διαφορών στις μηχανικές παραμέτρους των μυών της άρθρωσης του γόνατος χρησιμοποιήθηκε η τενσιομυογραφία	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Το TMG είναι ένα καλό εργαλείο αξιολόγησης για την ανάλυση των διαφορών στα μηχανικά χαρακτηριστικά των μυών του γόνατος σε άτομα που διαγνώστηκαν με τη νόσο του Πάρκινσον (Στάδιο 1)
Travnik et al., 2013	Να δείξει τη σχέση μεταξύ δομής (ανατομικής και ιστοχημικής) και λειτουργίας (ιδιότητες σύσπασης των μυών) του vastus medialis obliquus (VMO) και vastus medialis longus (VML)	Δύο ομάδες 9 νέων ανδρών	Η τενσιομυογραφία χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συσταλτικών ιδιοτήτων των VML και VMO, ως αντανάκλαση της αναλογίας μεταξύ αργών και γρήγορων ινών	Εκτίμηση μέσω της τενσιομυογραφίας	Οι μύες VML και VMO δεν είναι μόνο ανατομικά και ιστοχημικά διαφορετικοί μύες, αλλά και λειτουργικά διαφορετικές βιολογικές δομές

Rey et al., 2012	Να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα των ενεργητικών και παθητικών επεμβάσεων αποκατάστασης που διεξήχθησαν αμέσως μετά από μια προπόνηση σχετικά με τις μυϊκές συσταλτικές ιδιότητες και το DOMS 24 ώρες μετά την προπόνηση	31 επαγγελματίες ποδοσφαιριστές	Στο τέλος της μονάδας προπόνησης, όλοι οι παίκτες ανατέθηκαν τυχαία στην ομάδα ενεργητικής αποκατάστασης (12 λεπτά υπομέγιστου τρέξιμου και 8 λεπτά στατικής διάτασης) και στην ομάδα παθητικής αποκατάστασης (20 λεπτά κάθονται σε πάγκο)	Εκτίμηση μέσω της τενσιομουγραφίας	Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ομάδων
García-Manso et al., 2011	Να αναλύσει τις μεταβολές της απόκρισης των μυών μετά από εμβύθιση σε κρύο νερό	12 επαγγελματίες ποδοσφαιριστές	Ο έξω πλατύς του κυρίαρχου κάτω άκρου αναλύθηκε πριν και μετά από τέσσερις εμβυθύσεις σε κρύο νερό στους 4°C που διαρκούν 4 λεπτά το καθένα. Παρακολούθηθηκαν η θερμοκρασία του δέρματος και ο καρδιακός ρυθμός.	Εκτίμηση μέσω της τενσιομουγραφίας	Οι επαναλαμβανόμενες εμβυθύσεις σε κρύο νερό (4× 4 λεπτά στους 4°C) προκαλούν σημαντικές αλλοιώσεις στη μυϊκή συμπεριφορά

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΗΣ ΤΕΝΣΙΟΜΥΟΓΡΑΦΙΑΣ

Οι Rodríguez-Matoso et al. (2010) υποδηλώνουν ότι η μεταβλητότητα της τενσιομυογραφίας είναι μικρότερη από 5%, ανεξάρτητα από τον τόνο των μυών και την τοποθέτηση του αισθητήρα. Ένα σφάλμα στην τοποθέτηση των αισθητήρων θα μπορούσε να επηρεάσει τα αποτελέσματα όσον αφορά τη μέτρηση του Dm, αν και δεν επηρέασε τα αποτελέσματα για τις άλλες παραμέτρους (Tc, Td, Ts και Tr).

Προκειμένου να ληφθούν αξιόπιστα δεδομένα είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθούν τυχόν σφάλματα (διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ δύο μετρήσεων) που μπορούν να προκύψουν από τη διαδικασία μέτρησης (πρωτόκολλο αξιολόγησης) λόγω εσφαλμένης εφαρμογής της τεχνικής μέτρησης. Η μη συμμόρφωση του αυστηρού πρωτόκολλου ενδέχεται να υπονομεύσει την αξία της μεθόδου. Ένα πιθανό μεθοδολογικό ζήτημα θα μπορούσε να είναι το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο αισθητήρας (Rodríguez-Matoso et al., 2010).

### 3.1 Εγκυρότητα και αξιοπιστία της τενσιομυογραφίας

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους η TMG παρουσιάζεται ως μη επεμβατικό εργαλείο υψηλής ακρίβειας ( $\leq 4 \mu\text{m}$ ) που επιτρέπει την αξιολόγηση της απόκρισης των επιφανειακών μυών. Η μυϊκή απόκριση σε ένα εξωτερικό ερέθισμα, σε αυτή την περίπτωση ένα ηλεκτρικό ερέθισμα, παρουσιάζει μια υψηλή συσχέτιση με τη συμπεριφορά που θα βρίσκαμε σε ένα μοντέλο απόκρισης που περιλαμβάνει τις φυσιολογικές διεργασίες που εμπλέκονται στη συστολή των μυών (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

Οι Krizaj et al. (2008) έλεγξαν τον δικέφαλο βραχιόνιο 13 ανδρών (ηλικίας μεταξύ 19 και 24 ετών) και βρήκαν ότι υπάρχει χαμηλό επίπεδο σφάλματος (0,5 έως 2,0%) και υψηλή αναπαραγωγικότητα (ICC μεταξύ 0,85 και 0,98) στις πέντε παραμέτρους που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά (Dm: 0,98; Tc: 0,97; Td: 0,94; Ts: 0,89; Tr: 0,86). Οι Rodríguez-Matoso et al. (2010), οι Tous-Fajardo et al. (2010) και οι Carrasco et al. (2011) βρήκαν επίσης καλή αναπαραγωγικότητα στις προαναφερθείσες παραμέτρους (Rodríguez-Matoso et al.: Dm: 0,92; Tc: 0,97; Td: 0,90; Ts: 0,98; Tr: 0,98; Tous-Fajardo et al.: Dm: 0,97;

Tc: 0,92; Td: 0,86; Ts: 0,96; Tr: 0,77; Carrasco et al.: Dm: 0,92; Tc: 0,83; Td: 0,89; Ts: 0,88; Tr: 0,90).

Οι Rodríguez-Matoso et al. (2010) προτείνουν ότι για να εξασφαλιστεί η μέγιστη αξιοπιστία σε επαναλαμβανόμενα μέτρα, είναι απαραίτητο να ακολουθήσουμε πιστά ένα πρωτόκολλο μέτρησης που δεν μεταβάλλει τη μυϊκή απόκριση. Η τοποθέτηση του αισθητήρα και η πλήρης χαλάρωση του μυός είναι δύο βασικές πτυχές.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Ditroilo et al. (2011) ανέφεραν μία μελέτη στην οποία αμφισβητούν την αναπαραγωγιμότητα της TMG όταν η μέτρηση εκτελείται σε διαφορετικές ημέρες και σε τρεις διαφορετικές θέσεις (δικέφαλος μηριαίος στις 0°, 45° και 90°). Αν και βρίσκουν αποδεκτή αναπαραγωγικότητα σε 0° (CV: 16%) και 45° (CV: 20%), αυτό ήταν πολύ φτωχό στους 90°. Αυτές οι τιμές είναι υπερβολικά υψηλές αν συγκριθούν με το 5% του CV για διάφορες αξιολογήσεις που διενεργήθηκαν την ίδια ημέρα (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

Σε μια άλλη μελέτη, οι Smith & Hunter (2006) βρήκαν χαμηλότερους συντελεστές διακύμανσης Tc και Dm (8,7-17,5%) όταν αξιολόγησαν το γαστροκνήμιο σε 21 ενεργά άτομα που μετρήθηκαν σε τέσσερις διαφορετικές ημέρες. Οι διαφορές μεταξύ αυτών των μελετών θα μπορούσαν να οφείλονται στους διάφορους μυες που αξιολογήθηκαν σε κάθε περίπτωση, οι οποίοι μπορεί να παρουσιάζουν πιο εμφανείς αλλαγές κατά τις ημέρες που αναλύθηκαν.

### **3.2 Βασική ερμηνεία της τενσιομυογραφίας**

Ένα από τα βασικά ερωτήματα που θέτει ο χρήστης του TMG είναι πώς να ερμηνεύσει αξιόπιστα τις πληροφορίες που δίνει το εργαλείο σχετικά με την ακτινική παραμόρφωση του μυός. Η καθιέρωση καθολικών κριτηρίων είναι αδύνατη, καθώς μεταβάλλεται από άτομο σε άτομο ανάλογα με τον τύπο και την ένταση της δραστηριότητας που εκτελούν, τα μυϊκά χαρακτηριστικά τους και τις πιθανές μορφο-λειτουργικές αλλοιώσεις που υποφέρουν.

Ωστόσο, και με όλη τη σύνεση που πρέπει να υπάρχει σε κάθε είδους γενικεύσεις, οι υγιείς μύες τείνουν να δείχνουν τέτοιες συμπεριφορές που επισημαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές στις παραμέτρους που περιγράφηκαν μέχρι τώρα. Η κόπωση και η μυϊκή ενεργοποίηση είναι

δύο από τις πιο συνηθισμένες καταστάσεις που μπορούν να βρεθούν στις αξιολογήσεις των ατόμων που ασκούν κάποιο είδος αθλητικής δραστηριότητας. Οι αλλαγές υφίστανται στα Dm, Td, Tc, Tr και Ts όταν ο μυς είναι κουρασμένος ή υπερδραστήριος (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

**Πίνακας 3.1.** Εγκυρότητα και αξιοπιστία της τενσιομυογραφίας

Έρευνα	Στόχος	Εξεταζόμενοι	Μέθοδος	Αξιολόγηση	Αποτελέσματα
Martín-Rodríguez et al., 2017	Αυτή η συστηματική ανασκόπηση στόχευε στην αναφορά του σφάλματος αξιοπιστίας και μέτρησης όλων των παραμέτρων TMG	158 άτομα	Μια ολοκληρωμένη βιβλιογραφική αναζήτηση πραγματοποιήθηκε στις βάσεις δεδομένων Pubmed, Scopus, Science Direct και Cochrane μέχρι τον Ιούλιο του 2017 χρησιμοποιώντας τις λέξεις-κλειδιά "reliability" OR "reproducibility" OR "measurements error" AND "tensiomyography". Στο πλαίσιο αυτής της συστηματικής ανασκόπησης περιλήφθηκαν οκτώ μελέτες	Η μεθοδολογική ποιότητα των μελετών αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας Consensusbased Standards for the Selection of Health Measurement Instruments (COSMIN) με την κλίμακα βαθμολόγησης 4 σημείων	Τρεις από τις παραμέτρους TMG (Dm, Td και Tc) είναι εξαιρετικά αξιόπιστοι, ενώ το ½ Tr δείχνει ανεπαρκή αξιοπιστία
Simola et al., 2016	Να αναλύσει την αξιοπιστία της TMG και την εξωτερική εγκυρότητα χρησιμοποιώντας τη μέγιστη και υπομέγιστη ηλεκτρική διέγερση	20 άντρες (ηλικία: $26.5 \pm 6.7$ χρονών; μάζα σώματος: $78.5 \pm 6.8$ kg; ύψος: $181.0 \pm 5.5$ cm)	Εξεταζόμενοι ελέγχθηκαν δύο φορές για μία εβδομάδα και η αξιοπιστία της TMG αναλύθηκε στον ορθό μηριαίο, δικέφαλο μηριαίο και στην έξω κεφαλή του γαστροκνημίου, μετά από μεμονωμένη μέγιστη και υπομέγιστη ηλεκτρική διέγερση	Η εξωτερική εγκυρότητα της TMG αξιολογήθηκε μέσω της συσχέτισης Pearson μεταξύ των αλλαγών στις μηχανικές ιδιότητες των μυών και των μεταβολών στη μέγιστη εκούσια ισομετρική συστολή	Το TMG είναι μια έγκυρη και αξιόπιστη μέθοδος για την αξιολόγηση των μυϊκών μηχανικών ιδιοτήτων, ιδιαίτερα κάτω από τις μέγιστες συνθήκες

<p><b>Ditroilo et al., 2013</b></p>	<p>Να εκτιμηθεί η μακροπρόθεσμη σταθερότητα του TMG σε διαφορετικές μυϊκές καταστάσεις</p>	<p>21 άντρες, ηλικία, ύψος, και μάζα σώματος <math>21.3 \pm 3.4</math> χρονών, <math>182.0 \pm 6.1</math> cm, <math>79.5 \pm 10.0</math> kg</p>	<p>Η συστολή της έσω κεφαλής του γαστροκνημιου μετρήθηκε χρησιμοποιώντας TMG σε ξεκούραστες συνθήκες, μετά από μια προθέρμανση, μετά από μια μέγιστη εκούσια συστολή και μετά από ένα πρωτόκολλο κόπωσης. Οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε νέα μέτρηση για δεύτερη φορά, σε διάστημα 4 εβδομάδων</p>	<p>Η αξιοπιστία της TMG αξιολογήθηκε στα χρονικά σημεία M1, M2, M3, M4 με τη χρήση δεικτών σχετικής και απόλυτης αξιοπιστίας</p>	<p>Τc, Ts και Td εμφάνισαν ένα καλό επίπεδο απόλυτης αξιοπιστίας και φτωχό έως εξαιρετικό επίπεδο σχετικής αξιοπιστίας. Για Dm σχετική αξιοπιστία ήταν καλή έως εξαιρετική, αλλά η απόλυτη αξιοπιστία ήταν αμφισβητήσιμη. Tr απέδωσε συνολικά ανεπαρκή αξιοπιστία.</p> <p>Γενικά, το επίπεδο αξιοπιστίας τείνει να αυξάνεται μετά τη μέγιστη εκούσια συστολή και το πρωτόκολλο κόπωσης.</p>
<p><b>Tous-Fajardo et al., 2010</b></p>	<p>Να εξετασθεί η αξιοπιστία της μέτρησης με TMG της μυϊκής συστολής του έσω πλατύ</p>	<p>18 άντρες, ηλικία <math>22.9 \pm 3.8</math> χρονών; ύψος <math>171 \pm 10</math> cm; μάζα σώματος <math>66 \pm 10</math></p>	<p>Ακτινική παραμόρφωση μετρήθηκε στο δεξί και αριστερό έσω πλατύ. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν υπό στατικές και χαλαρές συνθήκες, με το άτομο σε ύπτια θέση και με το γόνατο σε <math>120^\circ</math> κάμψης</p>	<p>Χρησιμοποιήθηκαν συστήματα Bland και Altman ως μέτρα αξιοπιστίας</p>	<p>Για όλες τις παραμέτρους βρέθηκε μια καλή έως εξαιρετική αξιοπιστία μεταξύ των κριτών, εκτός από την Tr, η οποία έδειξε ανεπαρκή αξιοπιστία</p>

**Πίνακας 3.2.** Βαθμολόγηση των ερευνών σύμφωνα με την Κλίμακα PEDro

Έρευνα	Τυχαία ταξινόμηση	Επηρεασμός του δείγματος	Ομοιογένια δείγματος	Τυφλός εξεταστής	Τυφλοί εξεταζόμενοι	Τυφλοί βοηθοί	Συμμετοχή δείγματος	Βαθμός
<b>Martín-Rodríguez et al., 2017</b>								
<b>Simola et al., 2016</b>	+	+	+	-	-	-	+	<b>4/7</b>
<b>Ditroilo et al., 2013</b>	+	+	+	-	-	-	+	<b>4/7</b>
<b>Tous-Fajardo et al., 2010</b>	+	+	+	+	-	-	+	<b>5/7</b>



## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τενσιομυογραφία είναι μια μη επεμβατική μέθοδος για την αξιολόγηση των μηχανικών και συστατικών ιδιοτήτων του σκελετικού μυός. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια ηλεκτρικά διεγερμένη συστολή για να καταγράψει την ακτινική παραμόρφωση του μυός. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα ψηφιακής μετατόπισης.

Παραδοσιακά, από την καμπύλη της TMG εξάγονται 5 παράμετροι. Ωστόσο, οι δύο πιο χρησιμοποιούμενες είναι το  $D_m$  και το  $T_c$ , οι οποίες είναι επίσης οι παράμετροι με το υψηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας. Το  $D_m$  είναι ένας έγκυρος δείκτης της δυσκαμψίας των μυών, ενώ το  $T_c$  είναι χρήσιμο για την εκτίμηση του κυρίαρχου τύπου μυϊκών ινών σε μια μυϊκή δομή. Η χρήση του  $V_c$ , που συνδυάζει το  $D_m$  και το  $T_c$ , αυξάνεται.

Ο κατασκευαστής της TMG και οι περισσότεροι από τους συντάκτες των μελετών της μεθόδου θεωρούν αυτή την τεχνική ως νέα και μοναδική. Ωστόσο αν και έχει διαπιστωθεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία της TMG, το ζήτημα του χαμηλού επιπέδου της μυϊκής σύσπασης προκάλεσε ερωτήσεις σχετικά με την εξωτερική εγκυρότητα της μεθόδου, τουλάχιστον για ορισμένες εφαρμογές.

Η πληροφορία που παρέχεται από την TMG μπορούν να συμπληρώσουν τις πληροφορίες που προέρχονται από τις άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά στην αξιολόγηση των μυών (ισοκινητική δυναμομετρία, βιοψίες, ηλεκτρομυογραφία, κλπ.).

Η τενσιομυογραφία έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, οι περισσότερες από τις οποίες αφορούν την απόδοση των αθλητών και τις ιδιότητες της μυϊκής συστολής. Η αξιοπιστία και η εγκυρότητα μεταξύ ειδικευμένων πληθυσμών (ελίτ αθλητές, κλινικοί ασθενείς) δεν έχουν περιγραφεί. Επομένως, προτού προχωρήσουμε στην εφαρμογή της TMG σε τέτοιους ειδικούς πληθυσμούς, πρέπει να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα για να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά της.

## BIBΛIOΓPAΦIA

1. **Alentorn-Geli, E., Alvarez-Diaz, P., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Boffa, J., Cuscó, X., Ballester, J. & Cugat, R.** 2014, Assessment of neuromuscular risk factors for anterior cruciate ligament injury through tensiomyography in male soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(9):2508-2513.
2. **Alvarez-Diaz, P., Alentorn-Geli, E., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Rius, M., Seijas, R., Ballester, J. & Cugat, R.** 2014, Effects of anterior cruciate ligament reconstruction on neuromuscular tensiomyographic characteristics of the lower extremity in competitive male soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(11):3407-3413.
3. **Alvarez-Diaz, P., Alentorn-Geli, E., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Rius, M., Seijas, R., Ballester, J. & Cugat, R.** 2014, Comparison of tensiomyographic neuromuscular characteristics between muscles of the dominant and non-dominant lower extremity in male soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(7):2259-2263.
4. **Atiković, A., Samardžija Pavletić, M. & Tabaković, M.** 2015, The importance of functional diagnostics in preventing and rehabilitating gymnast injuries with the assistance of the tensiomyography (TMG) method: a case study. *Balt J Health Phys Act.*, 7(4):29-36.
5. **Burger, H., Valencic, V., Marincek, C. & Kogovsek, N.** 1996, Properties of musculus gluteus maximus in above-knee amputees. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 11(1):35-38.
6. **Calvo, S., Quintero, I. & Herrero, P.** 2016, Effects of dry needling (DNHS technique) on the contractile properties of spastic muscles in a patient with stroke. *International Journal of Rehabilitation Research*, 39(4):372-376.
7. **Carrasco, L., Corrales, B., de Hoyo Lora, M. & Ochiana, G.** 2011, Tensiomyographic Characteristics of Rectus Femoris after a Single Bout of Intense Exercise. *Journal of Social Sciences*, 7(3):354-357.
8. **Carrasco, L., Sañudo, B., de Hoyo, M., Pradas, F. & Da Silva, M.** 2011, Effectiveness of low-frequency vibration recovery method on blood lactate removal, muscle contractile properties and on time to exhaustion during cycling at VO<sub>2</sub>max power output. *European Journal of Applied Physiology*, 111(9):2271-2279.
9. **Dahmane, R., Djordjević, S. & Smerdu, V.** 2006, Adaptive potential of human biceps femoris muscle demonstrated by histochemical, immunohistochemical and mechanomyographical methods. *Med Biol Eng Comput*, 44(11):999-1006.
10. **Dahmane, R., Djordjević, S., Šimunić, B. & Valenčić, V.** 2005, Spatial fiber type distribution in normal human muscle. *Journal of Biomechanics*, 38(12):2451-2459.
11. **Dahmane, R., Valenčić, V., Knez, N. & Eržen, I.** 2001, Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 39(1):51-55.
12. **Dias, P., Fort, J., Marinho, D., Santos, A. & Marques, M.** 2014, Tensiomyography in Physical Rehabilitation of High Level Athletes. *The Open Sports Sciences Journal*, 3(1):47-48.
13. **Ditroilo, M., Hunter, AM., Haslam, S. & De Vito, G.** 2011, The effectiveness of two novel techniques in establishing the mechanical and contractile responses of biceps femoris. *Physiol Meas.*, 32(8):1315-26.

14. **Ditroilo, M., Smith, IJ., Fairweather, MM. & Hunter, AM.** 2013, Long-term stability of tensiomyography measured under different muscle conditions. *J Electromyogr Kinesiol.*, 23(3):558-63.
15. **Ditroilo, M., Watsford, M. & De Vito, G.** 2011, Validity and inter-day reliability of a free-oscillation test to measure knee extensor and knee flexor musculo-articular stiffness. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(3):492-498.
16. **García-García, O., Cancela-Carral, JM. & Huelin-Trillo, F.** 2015, Neuromuscular profile of top-level women kayakers assessed through tensiomyography. *J Strength Cond Res.*, 29(3):844-53.
17. **García-Manso, J., Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., de Saa, Y. & Calderón, J.** 2011, Effect of Cold-Water Immersion on Skeletal Muscle Contractile Properties in Soccer Players. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 90(5):356-363.
18. **García-Manso, J., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D. & Da Silva-Grigoletto, ME.** 2012, Effect of high-load and high-volume resistance exercise on the tensiomyographic twitch response of biceps brachii. *J Electromyogr Kinesiol.*, 22(4):612-9.
19. **García-Manso, J., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., de Saa, Y., Sarmiento, S. & Quiroga, M.** 2011, Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of Sports Sciences*, 29(6):619-625.
20. **Gil, S., Loturco, I., Tricoli, V., Ugrinowitsch, C., Kobal, R., Abad, CC. & Roschel, H.** 2015, Tensiomyography parameters and jumping and sprinting performance in Brazilian elite soccer players. *Sports Biomech.*, 14(3):340-50.
21. **Gorelick, M. & Brown, J.** 2007, Mechanomyographic assessment of contractile properties within seven segments of the human deltoid muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 100(1):35-44.
22. **Grabljevec, K., Burger, H., Kerševan, K., Valenčič, V. & Marinček, Č.** 2005, Strength and endurance of knee extensors in subjects after paralytic poliomyelitis. *Disability and Rehabilitation*, 27(14):791-799.
23. **Hunter, A., Smith, I., Watt, J., Yirrell, C. & Galloway, S.** 2006, The Effect of Massage on Force Production and Tensiomyography. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(Supplement):S27.
24. **Hunter, AM., Galloway, SD., Smith, IJ., Tallent, J., Ditroilo, M., Fairweather, MM. & Howatson, G.** 2012, Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *J Electromyogr Kinesiol.*, 22(3):334-41.
25. **Kim, C., Chai, J., Kim, B., Kim, C. & Bae, S.** 2015, A Novel Method for the Assessment of Muscle Injuries. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 33(2):59.
26. **Križaj, D., Šimunič, B. & Žagar, T.** 2008, Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4):645-651.
27. **Loturco, I., Pereira, LA., Kobal, R., Kitamura, K., Ramírez-Campillo, R., Zanetti, V., Abad, CC. & Nakamura, FY.** 2016, Muscle Contraction Velocity: A Suitable Approach to Analyze the Functional Adaptations in Elite Soccer Players. *J Sports Sci Med.*, 15(3):483-491.
28. **Macgregor, L., Fairweather, M., Bennett, R. & Hunter, A.** 2018, The Effect of Foam Rolling for Three Consecutive Days on Muscular Efficiency and Range of Motion. *Sports Medicine - Open*, 4(1):26.

29. **Macgregor, L., Hunter, A., Orizio, C., Fairweather, M. & Ditroilo, M.** 2018, Assessment of Skeletal Muscle Contractile Properties by Radial Displacement: The Case for Tensiomyography. *Sports Medicine*, 48(7):1607-1620.
30. **Maeda, N., Urabe, Y., Tsutsumi, S., Fujishita, H., Numano, S., Takeuchi, T., Hirata, K., Mikami, Y. & Kimura, H.** 2017, Symmetry tensiomyographic neuromuscular response after chronic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26(2):411-417.
31. **Markulincić, B. & Muraja, S.** 2007, Tensiomyography as method of evaluating muscles status. *Acta Med Croatica.*, 61 Suppl 1:23-6.
32. **Martín-Rodríguez, S., Alentorn-Geli, E., Tous-Fajardo, J., Samuelsson, K., Marín, M., Álvarez-Díaz, P. & Cugat, R.** 2017, Is tensiomyography a useful assessment tool in sports medicine? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25(12):3980-3981.
33. **Martín-Rodríguez, S., Loturco, I., Hunter, A., Rodríguez-Ruiz, D. & Munguia-Izquierdo, D.** 2017, Reliability and Measurement Error of Tensiomyography to Assess Mechanical Muscle Function. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12):3524-3536.
34. **Murray, A. M., Jones, T. W., Horobeanu, C., Turner, A. P., & Sproule, J.** 2016, SIXTY SECONDS OF FOAM ROLLING DOES NOT AFFECT FUNCTIONAL FLEXIBILITY OR CHANGE MUSCLE TEMPERATURE IN ADOLESCENT ATHLETES. *International journal of sports physical therapy*, 11(5):765-776.
35. **Pakosz, P., Jakubowska-Lukanova, A. & Gnoiński, M.** 2016, TMG AS A PREVENTION METHOD OF ATHLETES MUSCLES, LIGAMENTS AND JOINTS INJURIES. *Polish Journal of Sports Medicine*, 32(3):189-200.
36. **Pisot, R., Narici, MV., Simunic, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., Biolo, G. & Mekjavić, IB.** 2008, Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *Eur J Appl Physiol.*, 104(2):409-14.
37. **Rey, E., Lago-Peñas, C. & Lago-Ballesteros, J.** 2012, Tensiomyography of selected lower-limb muscles in professional soccer players. *J Electromyogr Kinesiol*, 22(6):866-872.
38. **Rey, E., Lago-Peñas, C., Lago-Ballesteros, J. & Casáis, L.** 2012, The Effect of Recovery Strategies on Contractile Properties Using Tensiomyography and Perceived Muscle Soreness in Professional Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(11):3081-3088.
39. **Rodríguez Ruiz, D., Escudero, ME., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., Losa, J., de Saá Guerra, Y., Perdomo, G., & García Manso, J.** 2012, The tensiomyography used for evaluating high level beach volleyball players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 18(2):95-99.
40. **Rodríguez-Matoso, D., García-Manso, J., Sarmiento, S., de Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D. & Silva-Grigoletto, M.** 2012. Evaluación de la respuesta muscular como herramienta de control en el campo de la actividad física, la salud y el deporte. [online] Διαθέσιμο από: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-evaluacion-respuesta-muscular-como-herramienta-X1888754612374564> [Πρόσβαση 10 Oct. 2018].
41. **Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., Vaamonde, D., Da Silva-Grigoletto, M. & García-Manso, J.** 2010. Reproducibility of muscle response measurements using tensiomyography in a range of positions. [online] Διαθέσιμο από: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-reproducibility-muscle-response-measurements-using-X1888754610543948> [Πρόσβαση 10 Oct. 2018].

42. **Rodríguez-Ruiz, D., García-Manso, J., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., Da Silva-Grigoletto, M. & Pisot, R.** 2013, Effects of age and physical activity on response speed in knee flexor and extensor muscles. *European Review of Aging and Physical Activity*, 10(2):127-132.
43. **Rodríguez-Ruiz, D., Palomino, A., Gutierrez, S., García, D. & Rodríguez-Matoso, D.** 2014, Tensiomyography used for analysis on mechanical characteristics of knee muscles in subjects diagnosed with stage 1 Parkinson's disease [abstract]. *Movement Disorders*, 29 Suppl 1:771.
44. **Sánchez-Ureña, B., Rojas-Valverde, D. & Gutiérrez-Vargas, R.** 2018, Effectiveness of Two Cold Water Immersion Protocols on Neuromuscular Function Recovery: A Tensiomyography Study. *Frontiers in Physiology*, 9:766.
45. **Schroeder, J., Renk, V., Braumann, K. & Hollander, K.** 2017, Acute Foam Rolling effects on contractile properties of the m. biceps femoris. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 47(4):294-300.
46. **Seijas, R., Marín, M., Rivera, E., Alentorn-Geli, E., Barastegui, D., Álvarez-Díaz, P. & Cugat, R.** 2017, Gluteus maximus contraction velocity assessed by tensiomyography improves following arthroscopic treatment of femoroacetabular impingement. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26(3):976-982.
47. **Simola, R., Harms, N., Raeder, C., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A.** 2016, Tensiomyography reliability and prediction of changes in muscle force following heavy eccentric strength exercise using muscle mechanical properties. *Sports Technology*, 8(1-2):58-66.
48. **Simola, R., Raeder, C., Wiewelhove, T., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A.** 2016, Muscle mechanical properties of strength and endurance athletes and changes after one week of intensive training. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 30:73-80.
49. **Simunič, B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M., Mekjavić, IB. & Pišot, R.** 2011, Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc.*, 4(9):1619-25.
50. **Smith, I., Hunter, A. & Sport, U.** 2006, The Effect of Titanic Stimulated Induced Fatigue on the Relationship between TMG and Force Production of the Gastrocnemius Medialis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(Supplement):S179-S180.
51. **Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Doutres, D. & Maffiuletti, N.** 2010, Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4):761-766.
52. **Travnik, L., Djordjevič, S., Rozman, S., Hribernik, M. & Dahmane, R.** 2013, Muscles within muscles: a tensiomyographic and histochemical analysis of the normal human vastus medialis longus and vastus medialis obliquus muscles. *Journal of Anatomy*, 222(6):580-587.
53. **Valenčič, V., Knez, N. & Šimunič, B.** 2001, Tensiomyography: detection of skeletal muscle response by means of radial muscle belly displacement. *Biomedical Engineering*, 1:1-10.
54. **Vidina, SR. & David, RR.** 2017, Comparative Study of the Acute Effects of Two Ways of Myofascia Release on Biceps Femoris and Semitendinosus Muscles After a Romanian Deadlift Exercise. *International Physical Medicine & Rehabilitation Journal*, 1(2):42-43.
55. **Wilson, H., Johnson, MI. & Francis, P.** 2017, Contractile rate of muscle displacement estimated from the slope of the displacement-time curve using tensiomyography. *Advances in Skeletal Muscle Function Assessment*. ISSN 2536-1392