



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΟΠΑΙΔΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ, ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΥΪΚΕΣ ΙΝΕΣ »

Βαλαζιώτη Χριστούλα

Επιβλέπων Καθηγητής: Γιαννακόπουλος Χρήστος

Σεπτέμβριος 2023

© Copyright

Ονοματεπώνυμο συγγραφέα

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καπóδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

« ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ, ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΥΙΚΕΣ ΙΝΕΣ »

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λέξεις κλειδιά: Υπερτροφία, μυϊκές ίνες, προπόνηση με αντιστάσεις, δύναμη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία σχετίζεται με τη λειτουργία του μυϊκού συστήματος, την υπερτροφία των μυών και τις διαφορετικές μυϊκές ίνες. Ο όρος υπερτροφία των μυών αναφέρεται στην αύξηση του όγκου και της δύναμης των μυών, συνήθως ως αποτέλεσμα εγκυμοσύνης και φυσικής δραστηριότητας. Οι μυϊκές ίνες που αποτελούν τους μυς, διακρίνονται σε διάφορους τύπους με διαφορετικές ιδιότητες και λειτουργίες. Η πτυχιακή εργασία αρχικά αναλύει τη δομή αλλά και τις διεργασίες που γίνονται για την επίτευξη των κινήσεων, έπειτα αναλύει τη διαδικασία της υπερτροφίας των μυών, εστιάζοντας στις αλλαγές που συμβαίνουν σε κυτταρικό μορφολογικό επίπεδο κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Αναφέρεται στους διαφορετικούς μηχανισμούς της υπερτροφίας, τα είδη και τα χαρακτηριστικά της. Αναλύονται επίσης οι πιο σύγχρονες τεχνικές προπόνησης με κύριο στόχο την υπερτροφία. Επίσης, η εργασία αναφέρει τους διαφορετικούς τύπους μυϊκών ινών, όπως οι γρήγορες και οι αργές ίνες. Εξηγεί τις διαφορετικές φυσιολογικές και λειτουργικές ιδιότητες αυτών των ινών και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν την αθλητική απόδοση αλλά και τον συσχετισμό τους με την υπερτροφία. Γίνεται αναφορά επίσης στους παράγοντες που επηρεάζουν τη δύναμη πέρα από το μέγεθος των μυών. Στο τέλος, η πτυχιακή εργασία συνοψίζει τα συμπεράσματα από την ανάλυση της υπερτροφίας μυών και των διαφορετικών μυϊκών ινών. Προτείνονται εφαρμογές αυτών των γνώσεων σε πεδία όπως, η βελτίωση της γενικής φυσικής κατάστασης αλλά και η μεγιστοποίηση του αποτελέσματος της υπερτροφίας και της δύναμης. Συνολικά, η πτυχιακή εργασία εξετάζει τη σχέση μεταξύ υπερτροφίας, δύναμης και διαφορετικών μυϊκών ινών, παρέχοντας βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών που καθοδηγούν τη μυϊκή ανάπτυξη και λειτουργία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	2
2.1 ΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΜΥΣ - ΔΟΜΗ	2
2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΥΙΚΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ	4
2.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΤΗ ΜΥΙΚΗ ΣΥΣΠΑΣΗ	5
2.4 ΜΥΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	6
2.5 ΤΥΠΟΙ ΜΥΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	7
2.6 ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΤΟΥ ΜΥ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΡΑΤΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	8
III. ΜΥΙΚΗ ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ	10
3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑΣ	10
3.2 ΕΙΔΗ ΠΡΟΠΟΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ	15
3.3 ΠΡΩΤΕΙΝΟΣΥΝΘΕΣΗ	19
3.4 ΕΙΔΗ ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑΣ	19
IV. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΜΥΩΝ	20
V. ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΣ ΜΥΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	21
VI. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΩΝ ΜΥΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	22
VII. ΜΥΕΣ ΚΑΙ ΓΗΡΑΝΣΗ	23
VIII. ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ	24
X. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	26

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

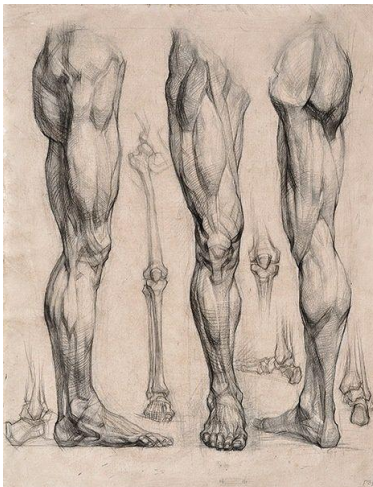
<i>Εικόνα 1.1: Μύες κάτω άκρου</i>	2
<i>Εικόνα 2.1: Δομή μυϊκής ίνας (πηγή: courses.lumenlearning.com/cuny-csi-ap-1/chapter/skeletal-muscle)</i>	2
<i>Εικόνα 2.2: Τύποι μυϊκών ινών</i>	8
<i>Εικόνα 3.1: Μέθοδος περιορισμού αίματος</i>	18
<i>Εικόνα 3.2: Είδη υπερτροφίας (πηγή: https://www.health-secrets.net/2015/07/myofibrillar-hypertrophy.html)</i>	20

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μυϊκή υπερτροφία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα στον χώρο της φυσικής αγωγής και της ιατρικής. Καθώς οι άνθρωποι επενδύουν όλο και περισσότερο χρόνο και προσπάθεια στη βελτίωση της φυσικής τους κατάστασης και στην ανάπτυξη της μυϊκής μάζας, είτε για αισθητικούς λόγους είτε για την αντιμετώπιση ασθενειών είτε για έναν λειτουργικό τρόπο ζωής σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους, η κατανόηση της δομής των μυϊκών ινών αλλά και των διαφορών στους τύπους των μυϊκών ινών αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία.

Σε αυτήν την εργασία, θα εξετάσουμε τη δομή των μυϊκών ινών, την ανάπτυξη της μυϊκής υπερτροφίας, τη σχέση μεταξύ των διαφόρων τύπων μυϊκών ινών και πώς η προπόνηση με αντιστάσεις αλλά και η πάροδος του χρόνου επηρεάζει το μέγεθος, το είδος και τη δύναμη των μυών. Πρόκειται για ένα θέμα που απευθύνεται τόσο στους αθλητές που επιδιώκουν την αύξηση της μυϊκής μάζας, ιατρούς που εξετάζουν την μυϊκή μάζα σε σχέση με παθήσεις και αρρώστιες όσο και στους ερευνητές που επιθυμούν να κατανοήσουν πώς λειτουργεί ο ανθρώπινος οργανισμός κατά τη διάρκεια της μυϊκής ανάπτυξης. Γίνεται αναφορά επίσης στις πιο σύγχρονες μεθόδους προπόνησης που έχουν σκοπό την υπερτροφία και αναλύονται τα θετικά και αρνητικά τους και συγκρίνονται επίσης με τις παραδοσιακές μεθόδους προπόνησης των bodybuilders και των powerlifters. Τονίζεται επίσης η σημασία των προπονήσεων με αντιστάσεις σε όλες τις φάσεις της ζωής του ανθρώπου.

Αυτή η εργασία έχει σκοπό να παράσχει μια πλήρη εικόνα της σύνθεσης και της λειτουργίας των μυϊκών ινών, καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν τη μυϊκή ανάπτυξη και την αύξηση της δύναμης μέσω της προπόνησης με αντιστάσεις.



Εικόνα 1.1: Μύες κάτω άκρου (πηγή:
<https://huntemmalogblog.wordpress.com/2014/05/22/anatomy-weekend-workshop-at-lara/>)

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΜΥΣ - ΔΟΜΗ

Αν κοιτάξουμε την γενική οργάνωση του σκελετικού μυός, φαίνεται ότι ολόκληρος ο μύς περιβάλλεται από μια στιβάδα πυκνού συνδετικού ιστού, το επιμύιο. Ο μύς αποτελείται από πολλές δεσμίδες (ή δεμάτια) οι οποίες περιβάλλονται από το περιμύιο, το οποίο προέρχεται από το επιμύιο. Η κάθε δεσμίδα αποτελείται από πολλές μυϊκές ίνες η μυϊκά κύτταρα οι οποίες επενδύονται από το ενδομύιο το οποίο είναι μια λεπτή στιβάδα δικτυωτών ινών. (Kierszenbaum&Tres,2013)

Τα μυϊκά σκελετικά κύτταρα σχηματίζονται στο έμβρυο από τη σύντηξη των μυοβλαστών τα οποία είναι αδιαφοροποίητα μονοπυρινικά κύτταρα, σε μια απλή κυλινδρική μυϊκή ίνα. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται κατά το χρόνο της γέννησης και οι μυϊκές ίνες αυξάνονται σε μέγεθος κατά την ανάπτυξη του παιδιού. Η κυτταροπλασματική μεμβράνη του μυϊκού κυττάρου (σαρκείλημα) περιβάλλεται από έναν βασικό υμένα και δορυφόρα κύτταρα. (Kierszenbaum&Tres,2013) Κάτω ακριβώς από το σαρκείλημα διατάσσονται οι πολυάριθμοι πυρήνες της μυϊκής ίνας. Περίπου το 80% του σαρκοπλάσματος, το οποίο είναι το κυτταρόπλασμα των μυϊκών κυττάρων καταλαμβάνεται από μυοϊνίδια τα οποία περιβάλλονται από μιτοχόνδρια. Τα μυοϊνίδια αποτελούνται από δύο κύρια νημάτια από τα οποία προκύπτει και το ραβδωτό σχήμα στις σκελετικές και καρδιακές μυϊκές ίνες. Τα λεπτά και τα παχέα νημάτια, τα οποία με τη σειρά τους συγκροτούνται κυρίως από συσταλτές πρωτεΐνες, την ακτίνη και τη μυοσίνη αντίστοιχα. (Raff et al.,2016)

Το μόριο της μυοσίνης ii το οποίο αποτελούνται σχεδόν ολοκληρωτικά τα παχέα νημάτια , αποτελείται από δύο μεγάλες βαριές πολυπεπτιδικές αλυσίδες και τέσσερις μικρότερες, ελαφρές. Αυτά τα πολυπεπτίδια ενώνονται για να σχηματίσουν ένα μόριο που αποτελείται από δύο σφαιρικές κεφαλές και μια μακριά ουρά .Η ουρά σχηματίζεται από το πλέξιμο των δύο βαρέων αλυσίδων, έχει α-ελικοειδή διαμόρφωση και καθιστά δυνατή την αυτοσυγκράτηση πολλών μορίων σε μια μεγάλη δομή ή νημάτιο. Οι δύο σφαιρικές κεφαλές προεξέχουν πλευρικά και

σχηματίζουν τις εγκάρσιες γέφυρες οι οποίες συνδέονται με τα λεπτά νημάτια και παράγουν δύναμη κατά τη μυϊκή συστολή. Κάθε κεφαλή φέρει μια περιοχή σύνδεσης για την ακτίνη και μια για το ATP. Τα παχιά νημάτια αποτελούνται από 250 μόρια μυοσίνης, αλλά επιπρόσθετα συγκροτούνται και από τις συμπληρωματικές πρωτεΐνες μυομεσίνη, τιτίνη και C-πρωτεΐνη. (Kierszenbaum&Tres,2013; Raff et al.,2016)

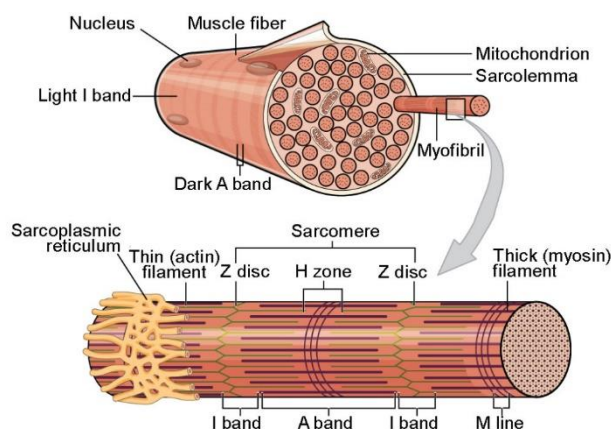
Τα λεπτά νημάτια συντίθενται όπως είπαμε και προηγουμένως από μια άλλη πρωτεΐνη συστολής την ακτίνη και από άλλες τρεις ακόμα,σε μικρότερες ποσότητες, την τροπονίνη την τροπομυοσίνη και την νεμπουλίνη ,οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της μυϊκής συστολής.Η ακτίνη είναι μια σφαιρική πρωτεΐνη η οποία αποτελεί μια μονή πολυπεπτιδική αλυσίδα που πολυμερίζεται με άλλη μονή αλυσίδα ακτίνης και σχηματίζουν δύο πλεξιδωτές ελικοειδείς αλυσίδες που αποτελούν τον πυρήνα των λεπτών νηματίων. Κάθε μόριο ακτίνης περιέχει και ένα σημείο πρόσδεσης με την μυοσίνη. Η τροπομυοσίνη είναι ένα μακρύ ραβδόμορφο μόριο παρόμοιο με την μυοσίνη και αποτελείται από δύο υπομονάδες α-έλικας. Η τροπομυοσίνη βρίσκεται στις αύλακες που δημιουργεί η ακτίνη. Η τροπονίνη είναι μία οικογένεια τριών μικρών σφαιρικών πρωτεϊνών που η κάθε μια έχει μια μία σημαντική και διακριτή λειτουργία. Γενικά οι τροπονίνες θεωρούνται ως τοπικοί υποκινητές που ελέγχουν την κίνηση της τροπομυοσίνης στα λεπτά ινίδια. Η νεμπουλίνη θεωρείται ότι ρυθμίζει τον αριθμό των μονομερών τα οποία επιτρέπεται να πολυμερισθούν σε ένα λεπτό ινίδιο.(Λαμπροπούλου & Μαρμαράς,2013; Raff et al.,2016)

Κάθε μυοϊνίδιο οργανώνεται σε μια αλυσίδα συσταλτών μονάδων, τα σαρκομέρη, τα οποία αποτελούνται από μερικές διακριτές στο ηλεκτρικό μικροσκόπιο περιοχές. Μέσα σε κάθε σαρκομέρος εναλλάσσονται σκοτεινόχρωμες και ανοιχτόχρωμες περιοχές από την παράλληλη διάταξη των παχέων και λεπτών νηματίων. Τα παχιά νημάτια είναι τοποθετημένα στο μέσο κάθε σαρκομερίου, παράγει μια πλατιά σκούρα λωρίδα(λόγω την ύπαρξης μυοσίνης) γνωστή ως ζώνη Α. Στο σαρκομέριο επίσης περιέχονται δύο ανοιχτόχρωμες σειρές λεπτών νηματίων, μια σε κάθε άκρο. Η μια άκρη κάθε λεπτού νηματίου και των δύο σειρών είναι προσδεμένη σε ένα δίκτυο αλληλοσυνδεδεμένων πρωτεϊνών την γραμμή Ζ, ενώ η άλλη άκρη συμπλέκεται εν μέρει με τα παχιά νημάτια. Η γραμμή Ζ είναι τα άκρα του σαρκομερίου, οπότε εκεί αγκυροβολούνται τα λεπτά νημάτια από δύο διαφορετικά σαρκομέρια. Η φωτεινή λωρίδα που είναι το τμήμα των λεπτών ινιδίων που δεν επικαλύπτει τα παχιά ινίδια καλείται ζώνη Ι.Η ζώνη Ι δια τέμνεται από

τη γραμμή Z. Η ανοιχτόχρωμη περιοχή στο κέντρο της ζώνης A καλείται περιοχή H ενώ σκοτεινόχρωμη γραμμή στο κέντρο της ζώνης H καλείται γραμμή M. Η διάταξη σε σαρκομερή διατηρείται με τη βοήθεια δύο μεγάλων πρωτεϊνών που αναφερθήκαμε προηγουμένως της τιτίνης και της νεμποουλίνης. Η τιτίνη είναι ένα τεράστιο με ελαστικές ιδιότητες μόριο που εκτείνεται από τις γραμμές Z έως την γραμμή M και πιστεύεται ότι διατηρεί κατά τη συστολή τα παχιά ινίδια στο κέντρο του σαρκομερούς. (Kierszenbaum&Tres,2013)

2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΥΙΚΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ

«Τα μυϊκά κύτταρα χαρακτηρίζονται από την ενεργό σύσπαση και την ανενεργό χαλάρωση. Οι σκελετικοί μύες παράγουν κλιμακούμενες συσπάσεις ως προς την δύναμη και την ταχύτητα» (Λαμπροπούλου& Μαρμαράς,2013). Μετά από πολλαπλές βιοχημικές αναλύσεις των μυοϊνιδίων που δείχνουν ότι τα λεπτά και τα παχεά νημάτια διατηρούν το μέγεθος τους κατά τη συστολή του μυός, οι ερευνητές συμπεραίνουν ότι η συστολή του μυός επιτελείται με την



Εικόνα 2.1: Δομή μυϊκής ίνας (πηγή: courses.lumenlearning.com/cuny-csi-ap-1/chapter/skeletal-muscle/)

ολίσθηση των ινιδίων. Οπότε όσο αυξάνεται η αλληλοεπικάλυψη μειώνεται το μήκος του σαρκομερίου και επομένως του μυϊκού κυττάρου και του ιστού.

Για να επιτευχθεί η ολίσθηση των ινιδίων απαιτείται μία πηγή ενέργειας καθώς και ένας μηχανισμός με τον οποίο τα λεπτά και τα παχεά ινίδια συγκρατούνται σε συγκεκριμένες θέσεις ώστε με τη σύσπαση να αλληλοκαλύπτονται και στην ηρεμία να εκτείνονται ξανά. Η αλληλοσύνδεση γίνεται με την δημιουργία γεφυρών από τις κεφαλές της μυοσίνης μεταξύ των παχίων και των λεπτών ινιδίων. Μία δεδομένη κεφαλή της μυοσίνης υ συνδέεται μια συγκεκριμένη στιγμή με το ινίδιο της ακτίνης, έπειτα αποσυνδέεται και ολισθαίνει για λίγο και

ξανασυνδέεται με άλλη θέση του ινιδίου της ακτίνης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου εξαφανιστεί η ζώνη H. Η αλληλουχία των γεγονότων αυτή είναι γνωστή και ως κύκλος εγκάρσιας γέφυρας. (Λαμπροπούλου & Μαρμαράς, 2013 ;Kierszenbaum & Tres, 2013) "Κάθε εγκάρσια γέφυρα επιτελεί τον δικό της κύκλο ανεξάρτητα από τις άλλες γέφυρες και για μια δεδομένη στιγμή, κατά τη συστολή, μόνο μερικές γέφυρες είναι προσδεμένες στα λεπτά νημάτια, παράγοντας κίνηση, ενώ άλλες την ίδια στιγμή είναι στο στάδιο αποδέσμευσης του κύκλου της". (Raff et al., 2014) Η ενέργεια για τη διεργασία αυτή παρέχεται από την υδρόλυση του ATP. Κατά την κίνηση της εγκάρσιας γέφυρας, η μυοσίνη προσδένεται πολύ εφαρμοστά στην ακτίνη και αυτός ο σύνδεσμος πρέπει να σπάσει για να επιτευχθεί ο κύκλος που αναφερθήκαμε προηγουμένως, η πρόσδεση ενός καινούργιου μορίου ATP στη μυοσίνη είναι υπεύθυνη για το σπάσιμο του συνδέσμου μεταξύ ακτίνης και μυοσίνης, δηλαδή ελέγχει την πρόσδεση της ακτίνης στη μυοσίνη. (Raff et al., 2014)

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι όταν μειωθεί η συγκέντρωση του ATP, εφεδρική πηγή ενέργειας αποτελεί η υδρόλυση της φωσφορικής κρεατίνης. Η κινάση της κρεατίνης καταλύει μια αντιστρεπτική αντίδραση, κατά την οποία παράγονται κρεατίνη και ATP από την υδρόλυση της φωσφορικής κρεατίνης. Η νεοσυντιθεμένη φωσφορική κρεατίνη προέρχεται από τα μιτοχόνδρια και διακινεί φωσφορικές ομάδες μεταξύ των μιτοχονδρίων και των μυοϊνιδίων. (Kierszenbaum & Tres, 2012).

2.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΤΗ ΜΥΙΚΗ ΣΥΣΠΑΣΗ

Έπειτα από την αναφορά μας στους μηχανισμούς της μυϊκής σύσπασης, είναι αναγκαίο να αναφερθούμε στο κύριο-φυσιολογικό ρυθμιστή της μυϊκής σύσπασης. Τα ιόντα ασβεστίου. Συγκεκριμένα η μυϊκή σύσπαση εξαρτάται από την συγκέντρωση των ελεύθερων ιόντων ασβεστίου και την ικανότητα του μυϊκού κυττάρου να αυξάνει ή να ελαττώνει γρήγορα τη συγκέντρωσή τους στο σαρκόπλάσμα. (Λαμπροπούλου & Μαρμαράς, 2013). Όταν το επίπεδο των ιόντων ασβεστίου είναι χαμηλό στο σαρκόπλάσμα, η τροπομυοσίνη καταλαμβάνει τις θέσεις δέσμευσης της ακτίνης για τη μυοσίνη, παρεμποδίζοντας τη δέσμευση των μορίων της μυοσίνης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην δημιουργηθούν οι γέφυρες μεταξύ ακτίνης-μυοσίνης και ο μυς παραμένει σε χαλάρωση. Όταν η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου αυξηθεί, θα δεσμευτούν στην TnC τροπονίνη, με αποτέλεσμα να αλλάξει η διαμόρφωση του μορίου και επομένως η διαμόρφωση της τροπομυοσίνης. Η τροπομυοσίνη θα μεταφερθεί στο κέντρο της αύλακας του

λεπτού ινιδίου και θα αφήσει ελεύθερες τις θέσεις πρόσδεσης της ακτίνης για την μυοσίνη, η οποία θα τις καταλάβει και θα επέλθει ο μηχανισμός της συστολής. (Λαμπροπούλου & Μαρμαράς,2013). Έπειτα μπορούμε να αναρωτηθούμε πως ρυθμίζεται η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου στο μυϊκό κύτταρο. Σύμφωνα με τους Kierszenbaum και Tres μπορούμε να περιγράψουμε την διαδικασία συνοπτικά ως εξής: Κάθε μυοϊνίδιο περιβάλλεται από το σαρκοπλασματικό δίκτυο, το οποίο αποθηκεύει ιόντα ασβεστίου, τα οποία απελευθερώνει ως απάντηση σε σήματα εκπόλωσης. Όταν ολοκληρωθεί η εκπόλωση της μεμβράνης, τα ιόντα ασβεστίου επαναπροσλαμβάνονται από το σαρκοπλασματικό δίκτυο με την βοήθεια μιας Ca^{2+} -εξαρτώμενης ΑΤΡάσης και προσδένονται στη πρωτεΐνη καλσεκεστρίνη. Με αυτό το τρόπο ολοκληρώνεται η συστολή. Για την καλύτερη κατανόηση του όρου εκπόλωση της μεμβράνης, οι Kierszenbaum και Tres περιγράφουν ως εξής: Ένα δυναμικό ενέργειας, το οποίο διέρχεται διαμέσου του σαρκολλήμματος, φθάνει στο σύστημα των T σωληνίσκων(τριάδα στο σκελετικό μυ) το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μεταβίβαση της ώσης βαθιά μέσα στη μυϊκή ίνα. Εσωτερικά το αρνητικό φορτίο της μεμβράνης μεταβάλλεται σε θετικό. Η εκπόλωση αυτή προκαλεί την έναρξη της κυτταρικής συστολής.

2.4 ΜΥΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

‘‘Η δύναμη που εξασκείται πάνω σε ένα αντικείμενο από ένα συστελλόμενο μυ ονομάζεται μυϊκή τάση και η δύναμη που εξασκεί το βάρος ενός αντικειμένου πάνω σε ένα μυ ονομάζεται φορτίο. Αυτές οι δύο δυνάμεις είναι αντίθετες’’ (Raff et al.,2016).Αν η παραγωγή δύναμης οδηγεί σε βράχυνση η όχι εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος της τάσης και του φορτίου. Αν ο μυς αναπτύσσει τάση αλλά δεν υπάρχει ούτε βράχυνση ούτε επιμήκυνση η συστολή ονομάζεται ισομετρική. Σε αυτή τη περίπτωση η δύναμη των εγκάρσιων γεφυρών είναι ίση με την εξωτερική αντίσταση. Στην περίπτωση που η μυϊκή τάση είναι μεγαλύτερη από το φορτίο, οι εγκάρσιες γέφυρες επαρκούν για να υπερνικήσουν το φορτίο, και η συστολή αναφέρεται ως σύκεντρη η μειωμετρική. Τέλος, όταν το φορτίο είναι μεγαλύτερο από την τάση που παράγεται από τις εγκάρσιες γέφυρες και το μήκος του μυός αυξάνεται ανεξάρτητα από τη συνεχή επαφή της ακτίνης με τη μυοσίνη, η συστολή ονομάζεται πλειομετρική. Σε αυτή τη περίπτωση οι εγκάρσιες γέφυρες παράγουν τόση δύναμη ώστε να μειώσουν την ταχύτητα πτώσης του φορτίου αλλά όχι τόση ώστε να το υπερνικήσουν η να το κρατήσουν σταθερό.(Baechle & Earle,2009 ; Raff et al.,2016).

2.5 ΤΥΠΟΙ ΜΥΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Πριν αναλύσουμε με λεπτομέρεια τους διαφορετικούς τύπους μυϊκών ινών, είναι αξιοσημείωτο να αναφέρουμε ότι ο Γαλλήνος (Υγιεινά Γ) έχει αναφερθεί στη διαφορετικότητα των μυϊκών ινών αρκετούς αιώνες πριν. Συγκεκριμένα λέγοντας ότι στις μεγάλες εντάσεις τεντώνονται όλες οι μυϊκές ίνες, χωρίς να κουράζονται όμως όλες το ίδιο. Έπειτα ο Γάλλος φυσιολόγος Ranvier το 1873 διαπίστωσε ότι οι ερυθρές μυϊκές ίνες του λαγού έχουν πιο αργή συστολή από τις λευκές. Προς το τέλος του 1960 με την εμφάνιση της ιστοχημείας και της μυϊκής βιοψίας στην επιστήμη άρχισαν να διακρίνουν τις μυϊκές ίνες με βάση τις συσταλτικές και μεταβολικές τους ιδιότητες(Κλεισούρας,2011). Με την εξέλιξη της επιστήμης και την βοήθεια μυοβιοψιών και μικροσκοπίων, οι μυϊκές ίνες κατηγοριοποιούνται με βάση τη μέγιστη ταχύτητα βράχυνσης και την μεταβολική οδό. Ταχείας(τύπου II) ή βραδείας(τύπου I) και γλυκολυτικές ή οξειδωτικές αντίστοιχα. (Raff et al.,2016).

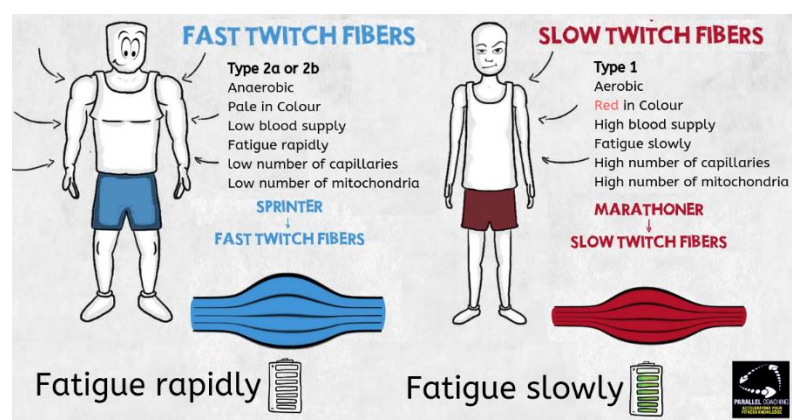
ΜΥΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ I (Βραδείας συστολής)

“Οι μυϊκές ίνες τύπου I είναι οξειδωτικές, ανεκτικές στο κάματο και έχουν όλες τις μορφολογικές, λειτουργικές και μεταβολικές ιδιότητες που είναι απαραίτητες για αερόβια παραγωγή ενέργειας και μυϊκό έργο αντοχής” (Κλεισούρας,2011:434).Στην ανάλυση των μορφολογικών ιδιοτήτων φαίνεται η διάμετρος αλλά και το μέγεθος του κινητικού νευρώνα μικρό, επίσης έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε μιτοχόνδρια στα οποία παράγεται το μεγαλύτερο ποσοστό ATP μέσω της κυτταρικής αναπνοής, υψηλή πυκνότητα τριχοειδών αγγείων και μυοσφαιρίνης, μια πρωτεΐνη , η οποία αυξάνει το ρυθμό διάχυσης του οξυγόνου μέσα στην ίνα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η μεγάλη περιεκτικότητα της στον μυ προσδίδει έναν βαθύ κόκκινο χρώμα και γι αυτό εκτός από βραχείας συστολής ονομάζονται και ερυθρές μυϊκές ίνες. Οι μυϊκές ίνες βραδείας συστολής έχουν φτωχές πηγές φωσφοκρεατίνης και γλυκογόνου αλλά πλούσιες πηγές τριγλυκεριδίων τα οποία λειτουργούν ως αποθέματα ενέργειας του οργανισμού.(Κλεισούρας,2011)

ΜΥΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ IIA IIB IIX (Ταχείας συστολής)

«Οι ίνες ταχείας συστολής έχουν ιδιότητες που απαιτούνται για αναερόβια παραγωγή ενέργειας και έντονο μυϊκό έργο»(Κλεισούρας,2011)Οι μυϊκές ίνες τύπου IIA είναι παρόμοιες με τις

βραδείας συστολής λόγω του μεγαλύτερου ποσοστού μυοσφαιρίνης και της μεγαλύτερης εξάρτησής τους από τον οξειδωτικό μεταβολισμό σε σχέση με τις τύπου ΙΙΒ και ΙΙΧ.(Mukund&Subramaniam,2019) , γι αυτό το λόγω θεωρούνται και ημιανθεκτικές στο κάματο. Οι μυϊκές ίνες τύπου ΙΙΒ είναι αμιγώς γλυκολιτικές και καθόλου ανθεκτικές στο κάματο. Στις μορφολογικές τους ιδιότητες φαίνεται σε γενικές γραμμές μέτρια η πυκνότητα των μιτοχονδρίων στις ΙΙΑ και αρκετά χαμηλή στις ΙΙΒ. Οι ταχύτερες μυϊκές ίνες είναι οι τύπου ΙΙΧ και όχι οι τύπου ΙΙΒ, οι οποίες βρέθηκαν πρώτα σε τρωκτικά και έπειτα από πολλούς ερευνητές διαπιστώθηκε η ύπαρξή τους και στον άνθρωπο. (Sullivan et al,1995;Pette,2001)



Εικόνα 2.0.2: Τύποι μυϊκών ινών (πηγή: <https://parallelcoaching.co.uk/why-cant-i-understand-key-muscle-fibre-types>)

2.6 ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΤΟΥ ΜΥ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΡΑΤΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Για να αναλύουμε και να κατανοήσουμε τη διέγερση του μυ, είναι αναγκαίο πρώτα να εξηγηθεί ο όρος κινητική μονάδα. Ως κινητική μονάδα ορίζονται ο κινητικός νευρώνας και όλες οι μυϊκές ίνες τις οποίες αυτός νευρώνει. Οι κινητικοί νευρώνες μεταφέρουν ένα ηλεκτροχημικό μήνυμα από τη σπονδυλική στήλη στους μύες, επίσης έχουν πολλές διακλαδώσεις και νευρώνουν πολλές μυϊκές ίνες, οι οποίες παράγουν όλες μαζί δύναμη όταν εκείνος ενεργοποιείται.(Baechle&Earlre,2009) Ο αριθμός των μυϊκών ινών που νευρώνει ένας κινητικός νευρώνας καθορίζει την επιδεξιότητα και το συντονισμό του μυ που εμπεριέχει τις αντίστοιχες κινητικές μονάδες. Κινητικές μονάδες που βρίσκονται για παράδειγμα στον οφθαλμικό μυ περιέχουν πολύ λιγότερες μυϊκές ίνες από τις κινητικές μονάδες του γαστροκνημίου. Ο Adrian το 1913 ανακάλυψε ότι κάθε νευρική ώση που φτάνει στην απόληξη του κινητικού νευρώνα δραστηριοποιεί όλες τις μυϊκές ίνες που νευρώνει , τον νόμο αυτό τον ονόμασε “όλον η ούδεν” (Κλεισούρας,2011). «Το δυναμικό ενέργειας το οποίο κινείται κατά μήκος ενός κινητικού

νευρώνα δεν είναι σε θέση να διεγείρει άμεσα τις μυϊκές ίνες. Η διέγερση αυτή μεταδίδεται μέσω της ακετυλχολίνης η οποία διαχέεται στη νευρομυϊκή σύναψη προκαλώντας διέγερση στο σαρκείλημα». (Baechle&Earlre,2009) Σε αυτό το σημείο που έχει γίνει κατανοητή η διέγερση του μυός είναι σημαντικό να αναφερθούμε στη σειρά επιστράτευσης των κινητικών μονάδων. Όταν πραγματοποιούνται αργές κινήσεις ήπιας έντασης επιστρατεύονται πρώτα αργές κινητικές μονάδες, που περιέχουν δηλαδή μυϊκές ίνες βραδείας συστολής, αφού διεγείρονται με ερεθίσματα που γεννιούνται με χαμηλό δυναμικό ενέργειας. Αντίθετα για τη παραγωγή μέγιστης δύναμης ενεργοποιούνται κινητικές μονάδες που αποτελούνται από ίνες ταχείας συστολής και απαιτούν ερεθίσματα μεγάλης έντασης για να ενεργοποιηθούν. Έπειτα από αρκετές έρευνες όπου προσδιορίζεται η συγκέντρωση του μυϊκού γλυκογόνου για την κατανόηση της επιστράτευσης των μυϊκών ινών φαίνεται ότι σε χαμηλής έντασης προσπάθεια συμμετέχουν κυρίως οι μυϊκές ίνες βραδείας συστολής ενώ οι μυϊκές ίνες ταχείας συστολής επιστρατεύονται μόνο σε έντονη μυϊκή προσπάθεια (Κλεισούρας,2011).

III. ΜΥΙΚΗ ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των μυών είναι η προσαρμοστικότητα τους και αυτό φαίνεται από τις μεταβολές που προκαλούνται στις μυϊκές ίνες σε διαφορετικές καταστάσεις. Η προπόνηση με αντιστάσεις προκαλεί αλλαγές στο μυϊκό σύστημα και συγκεκριμένα στην εγκάρσια διατομή του μυός και στη δύναμη του. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί ο όρος της υπερτροφίας ως αποτέλεσμα προπόνησης με αντιστάσεις.

Μυϊκή υπερτροφία θεωρείται η αύξηση της εγκάρσιας επιφάνειας του μυός και συνεπώς όλου του μυός (Βεληγκέκας et al.,2020:152). Όταν ο μυς δεχτεί επαναλαμβανόμενα φορτία και ένταση προκαλούνται διαταραχές στις μυϊκές ίνες, αυτές οι διαταραχές προκαλούν την έναρξη κάποιων μυογενών γεγονότων τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση σε ποσότητα και σε μέγεθος των μυοσταλτών πρωτεϊνών, ακτίνης και μυοσίνης και τον τελικό αριθμό των σαρκομερίων. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί την αύξηση της διαμέτρου των μεμονωμένων ινών και επομένως ολόκληρου του μυός. Σε αυτό το σημείο για να κατανοηθεί ο μηχανισμός της υπερτροφίας και να εξηγηθεί σε βάθος είναι αναγκαίο να εξηγηθεί ο ρόλος των δορυφορικών κυττάρων διότι μέσω αυτών πιστεύεται ότι διαμεσολαβείτε (Schoenfeld,2010). Τα δορυφορικά κύτταρα έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη διατήρηση την επιδιόρθωση και την αναγέννηση των μυών του ενήλικα. Είναι προγεννητικά κύτταρα που βρίσκονται πολύ κοντά στις μυϊκές ίνες και στη κυτταρική μεμβράνη και ενεργοποιούνται σε περίπτωση τραυματισμού ή έντασης, δηλαδή όταν προκαλούνται διαταραχές, για να αναλάβουν την μυϊκή επιδιόρθωση ή αναγέννηση. (Raff et all ,2016; Kierszenbaum & Tres,2012). Σε αυτό το σημείο είναι αναγκαίο να αναφερθούμε στους 3 μηχανισμούς που είναι υπεύθυνους για την υπερτροφία. Η μηχανική τάση, μυϊκή βλάβη και το μεταβολικό στρες. Η ένταση των μυών περιγράφεται ως η μηχανική τάση που έχει τοποθετηθεί στον μυ κατά τη διάρκεια μίας άσκησης. Η μυϊκή βλάβη περιγράφεται από το έκκεντρο φορτίο που προκαλεί μικροσχισμό και την έναρξη της φλεγμονώδους απόκρισης και το μεταβολικό στρες ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης διαφόρων μεταβολιτών (ουσίες που σχηματίζονται ή είναι απαραίτητες για τον μεταβολισμό). (Schoenfeld,2010)

3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑΣ

Η εξασφάλιση της αποτελεσματικής προπόνησης υπερτροφίας εξαρτάται από κάποια χαρακτηρίστηκα-μεταβλητές που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την διαμόρφωση ενός προγράμματος υπερτροφίας τα οποία επιδρούν στο αποτέλεσμα σεβόμενα τις αρχές της

φυσιολογίας: Η ένταση, ο όγκος, τα διαλλείματα, η προπόνηση μέχρι αποτυχίας, η διάρκεια των επαναλήψεων και η συχνότητα είναι τα κύρια. Η προοδευτική επιβάρυνση και η επιλογή των ασκήσεων στην προπόνηση είναι απαραίτητα να συμπεριληφθούν για τη συνεχή πρόοδο των ασκούμενων στην πάροδο του χρόνου.

Ένταση: Η ένταση (δηλαδή το τελικό φορτίο.) έχει ίσως την πιο μεγάλη επίδραση στην υπερτροφία. Εκφράζεται με το % της 1RM και είναι ίση με τον αριθμό των επαναλήψεων που μπορούν να εκτελέσουν με ένα συγκεκριμένο βάρος. Το εύρος των επαναλήψεων κυμαίνεται από 1-5 , 6-12 και 15+. Κάθε ένα από αυτά τα εύρη περιλαμβάνουν την συμμετοχή διαφορετικών ενεργειακών συστημάτων και ενεργοποιούν το νευρικό σύστημα με διαφορετικούς τρόπους, επιδρώντας διαφορετικά στην υπερτροφία. Ένα από τα μεγαλύτερα ερωτήματα που απασχολούν προπονητές και ερευνητές είναι: Είναι αποτελεσματικότερο να εκτελέσω πολλές επαναλήψεις με λιγότερο βάρος η λίγες επαναλήψεις με μεγάλο βάρος, αν σκοπός μου είναι η υπερτροφία; Αρχικά θα πρέπει να τονιστεί ότι έρευνες έδειξαν ότι αν το φορτίο είναι μικρότερο η ίσο του 65% δεν αποτελεί επαρκές ερέθισμα για την υπερτροφία(Campos et al, 2002; Schoenfeld, 2010).Οπότε θα αναλύσουμε το ερώτημα πάνω σε ένα εύρος μέτριων έως χαμηλών επαναλήψεων (6-12).Αρχικά η προπόνηση με μέτριες επαναλήψεις βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην αναερόβια γλυκόλυση ενώ ο μικρός αριθμός επαναλήψεων στη φωσφοκρεατίνη. Ο μέτριος αριθμός επαναλήψεων έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολική συσσώρευση (metabolic build up) με αποτέλεσμα να μεγιστοποιείται η μεταβολική ορμονική απόκριση της άσκησης. Τόσο η τεστοστερόνη όσο και η αυξητική ορμόνη αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με τις λιγότερες επαναλήψεις. (Kraemer et al., 1990), αυξάνοντας έτσι την δυνατότητα για περισσότερες κυτταρικές λειτουργίες που διευκολύνουν την αναδιαμόρφωση των μυών. Επιπλέον ο μεγαλύτερος χρόνος υπό ένταση που σχετίζεται με τον μέτριο αριθμό επαναλήψεων θα ενίσχυε θεωρητικά τις πιθανότητες για μικροτραυματισμούς και κούραση στις μυϊκές ίνες. Αυτό θα έχει μεγαλύτερη επίδραση στις μυϊκές ίνες τύπου I που όπως αναλύσαμε παραπάνω έχουν αρκετά μεγαλύτερες οξειδωτικές ικανότητες συγκριτικά με τις τύπου II. Πολλοί ερευνητές υποθέτουν ότι αυτού του είδους η προπόνηση θα είχε μεγαλύτερο αποτέλεσμα στους ασκούμενους με μεγαλύτερο ποσοστό αργών μυϊκών ινών. Βέβαια αφού η αναγνώριση των ινών είναι εφικτή με μυϊκή βιοψία είναι δύσκολο να εφαρμοστεί στους περισσότερους ασκούμενους. (Schoenfeld, 2010)

Όγκος προπόνησης: Ο όγκος προπόνησης είναι το αποτέλεσμα των συνολικών επαναλήψεων, σετ και βάρους που εκτελούνται σε ένα προπονητικό πρόγραμμα. Προγράμματα με συνολικά υψηλό όγκο επιφέρουν μεγαλύτερη γλυκολιτική δράση με αποτέλεσμα να ανεβάζουν τα επίπεδα τεστοστερόνης επίσης μεσολαβούν στην απελευθέρωση αυξητικών ορμονών οπότε έχουν καλύτερα αποτελέσματα στην υπερτροφία των μυών. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι για τη μεγιστοποίηση της υπερτροφίας, ο όγκος προπόνησης θα πρέπει να αυξάνεται σταδιακά με βάση ένα δεδομένο πρόγραμμα περιοδισμού. Σε έναν μακρόκυκλο θα πρέπει να υπάρχουν μικρόκυλοι “ανεβάσματος” όγκου ή/και έντασης με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης. Οι περίοδοι αυτοί θα πρέπει να είναι συγκεκριμένοι και δομημένοι σωστά ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες για υπερπροπόνηση. Ο προπονητής θα πρέπει να είναι ενήμερος για τη προπονητική κατάσταση και εμπειρία του ασκούμενου ώστε να διαμορφώσει το πρόγραμμα προπόνησής του με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (Schoenfeld, 2010).

Διαλλείματα: Τα διαλλείματα ανάμεσα στα σετ κατηγοριοποιούνται σε 3 διαφορετικά εύρη χρόνου: Λιγότερο από 30 δευτερόλεπτα, 60-90 δευτερόλεπτα και πάνω από 3 λεπτά. Ο χρόνος του διαλλείματος επηρεάζει σημαντικά τις ορμονικές, μεταβολικές και καρδιαγγειακές προσαρμογές της άσκησης, την υπερτροφία, την δύναμη καθώς και την επίδοση των επακόλουθων σετ. Η επιλογή ενός διαλλείματος των 30-40 δευτερολέπτων ή και λιγότερο δεν αποτελεί επαρκή χρόνο για την ανάπτυξη δύναμης (pincivero et al., 1997; Ratamess et al., 2007). Όμως αφού η υπερτροφία εποφελείται από το υψηλό μεταβολικό στρες, φαίνεται ότι το μικρό διάλλειμα μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά σε προπόνηση υπερτροφίας. Το μεγάλο διάλλειμα μεγιστοποιεί την μηχανική τάση με αποτέλεσμα να έχουμε βελτιώσεις στη δύναμη αλλά λόγω του περιορισμού του μεταβολικού στρες να μην έχουμε τις βέλτιστες αποκρίσεις στην υπερτροφία. Τα μέτρια διαλλείματα ανάπαυσης φαίνεται να συνδυάζουν τα θετικά χαρακτηριστικά των μικρών και των μεγάλων αφού το μεγαλύτερο μέρος της δύναμης φαίνεται να ανακτάται στο πρώτο λεπτό του διαλλείματος και επιπλέον φαίνεται ότι η προπόνηση σε σταθερό ρυθμό με μέτρια διαλλείματα φαίνεται να οδηγεί σε προσαρμογές που επιτρέπουν την αύξηση των επαναλήψεων κοντά στην μία μέγιστη επανάληψη σε μία προπόνηση. Το μέτριο διάλλειμα προσφέρει επίσης μεταβολικές και ορμονικές προσαρμογές που είναι ωφέλιμες για την υπερτροφία. Η διάρκεια του διαλλείματος προσαρμόζεται επίσης με τον τύπο της άσκησης και διαφέρει ανάμεσα σε απαιτητικές πολυαρθρικές ασκήσεις και σε μονοαρθρικές. Για

παράδειγμα όταν εκτελούνται ασκήσεις άρσης βαρών το διάλλειμα είναι μεγαλύτερο. (American College of Sports Medicine,2009; Schoenfeld, 2010).

Προπόνηση μέχρι αποτυχίας: Όταν σε μια προπόνηση εκτελούνται τα σετ μέχρι αποτυχίας εννοείται ότι ο ασκούμενος φτάνει στην επανάληψη που τελικώς δεν μπορεί να εκτελέσει γιατί δεν μπορεί να παραχθεί πλέον η απαιτούμενη δύναμη. Υπάρχει μεγάλη διχόνοια για το αν μεγιστοποιείται με αυτό τον τρόπο η υπερτροφία η όχι. Είναι αρκετές οι έρευνες που αποδεικνύουν ότι με την εκτέλεση των επαναλήψεων μέχρι αποτυχίας ενεργοποιείται ο μεγαλύτερος αριθμός μυϊκών ινών και ενισχύεται επίσης το μεταβολικό στρες. Όμως άλλες έρευνες δείχνουν ότι αποτελέσματα υπερτροφίας μπορούμε να έχουμε και χωρίς να φτάσουμε μέχρι την αποτυχία αλλά και ότι η προπόνηση μέχρι αποτυχίας μπορεί να έχει αρνητικά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα σε πρόγραμμα προπόνησης 16 εβδομάδων φάνηκε υπερπροπόνηση (Grgic et al,2021;Schoenfeld, 2010).

Ταχύτητα επαναλήψεων: Η ταχύτητα εκτέλεσης των επαναλήψεων φαίνεται να επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της υπερτροφίας. Υπάρχουν κάποια στοιχεία τα οποία αποδεικνύουν ότι οι γρήγορες επαναλήψεις είναι ωφέλιμες για την υπερτροφία και άλλες υποστηρίζουν ότι όταν εκτελούνται σε μέτριο ρυθμό τα αποτελέσματα είναι ακόμα καλύτερα. Η εκτέλεση πολύ αργών επαναλήψεων δεν συνίσταται για την αύξηση της δύναμης και της υπερτροφίας. Μεγαλύτερη σημασία στη ταχύτητα κίνησης πρέπει να δοθεί στο έκκεντρο κομμάτι της άσκησης διότι φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη των μυών. Οι Shepstone et al. (2005) διαπίστωσαν ότι οι γρήγορες έκκεντρες επαναλήψεις είχαν αντίκτυπο περισσότερο στις μυϊκές ίνες τύπου II σε σχέση με τις αργές. Όμως η έρευνα έγινε σε ισοκινητικό δυναμόμετρο, το οποίο δεν εξαρτάται από τη βαρύτητα. Αντιθέτως οι συνηθισμένες ασκήσεις απαιτούν από τον ασκούμενο να αντισταθεί στην βαρύτητα για να διατηρήσει την μυϊκή ένταση , με αποτέλεσμα μια πιο αργή κίνηση να είναι απαραίτητη για την μεγιστοποίηση της απόκρισης της άσκησης. (Schoenfeld, 2010).

Συχνότητα προπόνησης : Η συχνότητα της προπόνησης φαίνεται να σχετίζεται άμεσα με τον τελικό όγκο της προπόνησης. Παλιότερες έρευνες υποστήριζαν ότι η συχνότητα της προπόνησης έπαιζε ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα της υπερτροφίας και γι' αυτό το λόγο η American college of sport medicine πρότεινε την προπόνηση κάθε μυϊκής ομάδας δύο φορές την εβδομάδα. Νεότερες έρευνες υποστηρίζουν ότι αν ο όγκος της προπόνησης είναι ο ίδιος οι διαφορές είναι ελάχιστες

στο τελικό αποτέλεσμα. Από πρακτική άποψη, οι ασκούμενοι μπορούν να παρουσιάσουν σημαντική αύξηση μυϊκής δύναμης και μάζας είτε με μικρή είτε με μεγάλη συχνότητα προπόνησης μέσα στην εβδομάδα. Οι προσωπικές προτιμήσεις και ο διαθέσιμος χρόνος για την εκτέλεση κάθε προπόνησης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το χειρισμό αυτής της μεταβλητής. Επιπλέον, οι προπονητές θα πρέπει να στοχεύουν στον ατομικό προγραμματισμό και να προσαρμόζουν την συχνότητα ανάλογα με τις ανάγκες του ασκούμενου. (De Camargo et al,2022)

Προοδευτική επιβάρυνση: Η προοδευτική επιβάρυνση εξασφαλίζει σημαντικά τις συνεχείς προσαρμογές που θα κάνει το σώμα στο πέρασμα των εβδομάδων, μηνών και χρόνων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση του φορτίου, αύξηση των επαναλήψεων, αύξηση της ταχύτητας εκτέλεσης, αλλαγές στα διαλλείματα, αύξηση του συνολικού όγκου προπόνησης αλλά και συνδυασμό όλων των παραπάνω. Η επιλογή εξαρτάται από το αν θέλουμε να δώσουμε περισσότερη έμφαση στην υπερτροφία, την δύναμη (ή την ισχύ που αφορά περισσότερο την ταχύτητα εκτέλεσης).Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι ο όγκος της προπόνησης δεν πρέπει να αυξάνεται πάνω από 2,5-5% ανά εβδομάδα. (De Camargo et al,2022); Η προοδευτική επιβάρυνση συνδέεται άμεσα με τον περιορισμό. Δεν αρκεί να αυξάνουμε τυχαία τον όγκο της προπόνησης χωρίς ένα δομημένο πρόγραμμα. Ο περιορισμός στοχεύει στην μεγιστοποίηση της απόδοσης χωρίς τραυματισμούς και επιτυγχάνεται μέσω του χειρισμού των μεταβλητών της προπόνησης, οι οποίοι αναλύθηκαν παραπάνω, σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα διαμορφωμένα γύρω από έναν αγώνα/διαγωνισμό στόχο. Η αποτελεσματικότητά του έχει αποδειχθεί για την ανάπτυξη δύναμης σε προπονημένους και απροπόνητους αθλητές, όμως όταν ο σκοπός είναι η υπερτροφία δεν αποδεικνύεται ξεκάθαρα από μελέτες.(Evans,2019)

Επιλογή των ασκήσεων: Η επιλογή των ασκήσεων, ο σωστός συνδυασμός τους αλλά και σειρά εκτέλεσης τους, είναι άλλο ένα θέμα το οποίο απασχολεί ερευνητές και προπονητές. Η επιλογή και πολλαρθρικών αλλά και μονοαρθρικών ασκήσεων εξασφαλίζει ένα πιο ολοκληρωμένο πρόγραμμα προπόνησης. Στις πολλαρθρικές ασκήσεις συμμετέχουν πολλές περισσότερες μυϊκές ομάδες σε σχέση με τις μονοαρθρικές που λειτουργεί μία, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη αύξηση τεστοστερόνης και αυξητικών ορμονών. Η εκτέλεση μιας πολλαρθρικής άσκησης απαιτεί επίσης μεγάλη σταθερότητα στο σώμα, η οποία επιτυγχάνεται με την

ενεργοποίηση και άλλων μυϊκών ομάδων που δεν έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην άσκηση. Για παράδειγμα για την εκτέλεση ενός καθίσματος ενεργοποιούνται πάνω από 200 μύες στο σώμα (Storpani,2006). Από την άλλη πλευρά οι μονοαρθρικές ασκήσεις επιτρέπουν την εστίαση σε συγκεκριμένους μύες. Η εστίαση αυτή είναι απαραίτητη σε μυϊκές ομάδες που δεν πρωταγωνιστούν ή δεν χρησιμοποιούνται τόσο σε κάποια πολυαρθρική άσκηση, αλλά και για τη βελτίωση της δύναμης μεμονωμένα ώστε να επιφέρει καλύτερη τεχνική σε κάποια πολυαρθρική. Τέλος η εκτέλεση των μονοαρθρικών είναι πιο εύκολα εφαρμόσιμη σε τραυματισμένα άτομα, ηλικιωμένους και αρχάριους ασκούμενους. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι και οι δύο είναι απαραίτητες για την μεγιστοποίηση της υπερτροφίας. (DE Camargo et al., 2022).

Ο χειρισμός της σειράς μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ένταση της προπόνησης λόγω των αυξημένων επιπέδων κόπωσης, γεγονός που μπορεί να εξηγήσει τις χαμηλότερες αυξήσεις δύναμης στις ασκήσεις που θα εκτελεστούν αργότερα. Όμως καμία έρευνα δεν έχει δείξει ξεκάθαρα ότι η εκτέλεση πρώτα των μονοαρθρικών και έπειτα των πολυαρθρικών παίζουν ρόλο στη μεγιστοποίηση της υπερτροφίας. Πρακτικά και μόνο θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι τα άτομα που στοχεύουν στην αύξηση του μεγέθους μιας συγκεκριμένης μυϊκής ομάδας μπορεί να ωφεληθούν όταν εκτελούν ασκήσεις όπου αυτός ο μυς δρα ως αγωνιστής, ανεξάρτητα από τον τύπο της κίνησης. (DE Camargo et al., 2022). Επιλέγοντας μια άσκηση για έναν ασκούμενο θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν την ανατομία του ανθρώπου και το ιστορικό τραυματισμών του, αλλά και να τονίσουμε την σημαντικότητα εκτέλεσης μιας άσκησης σε όλο το εύρος κίνησης εκτός αν δεν το επιτρέπουν τα προαναφερόμενα.

3.2 ΕΙΔΗ ΠΡΟΠΟΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Η προπόνηση με αντιστάσεις είναι ο κύριος παράγοντας που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη δύναμης και υπερτροφία. Αποτελεί μέρος της προπόνησης και παράλληλα βάση για όλα τα αθλήματα. Οι 3 παράγοντες που αναφερθήκαμε παραπάνω μπορούν να προκύψουν με την εφαρμογή ποικίλων ειδών προπονήσεων με αντιστάσεις. Η προοδευτική υπερφόρτωση της μηχανικής τάσης θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την μυϊκή ανάπτυξη. Η προπόνηση με υψηλά φορτία, χαμηλό αριθμό επαναλήψεων και μεγάλα διαλλείματα αναφέρεται περισσότερο σε αυτό το παράγοντα και παρατηρείται επίσης ανάπτυξη της δύναμης αλλά και περισσότερες νευρικές προσαρμογές. Η προπόνηση με μέτριο αριθμό

επαναλήψεων, μέτρια φορτία και σύντομο χρόνο διαλλείματος προκαλεί μεγαλύτερο μεταβολικό στρες, το οποίο είναι και αυτό ισχυρό ερέθισμα για την υπερτροφία. (Krzyzstofik et al., 2019) Ωστόσο όσο οι επαναλήψεις εκτελούνται μέχρι την μέγιστη βουλητική κόπωση, οι διαφορές στο τελικό αποτέλεσμα της υπερτροφίας είναι μικρές. (Lim et al, 2019) Πέρα από τα συνηθισμένα είδη προπόνησης έχει δοθεί έμφαση τα τελευταία χρόνια σε κάποιες τεχνικές προπόνησης που στοχεύουν πιο έντονα στους παράγοντες της υπερτροφίας και θα αναλυθούν παρακάτω.

Tempo Eccentric Technique (Ρυθμική έκκεντρη προπόνηση): Σε αυτή τη τεχνική προπόνησης παρατηρείται παράταση του χρόνου της έκκεντρης φάσης (π.χ 2/0/1/0). Η αλλαγές στον ρυθμό κίνησης κατά την προπόνηση με αντιστάσεις επηρεάζει τις μέγιστες επαναλήψεις που μπορούν να επιτευχθούν σε ένα σετ, τον τελικό χρόνο έντασης και το τελικό συνολικό φορτίο. Οι περισσότερες έρευνες έδειξαν ότι ο γρηγορότερος ρυθμός εκτέλεσης των επαναλήψεων, ενώ αυξάνει τις επαναλήψεις τελικώς μειώνει τον συνολικό χρόνο κάτω από συνθήκες έντασης σε σχέση με τον αργό ρυθμό που συμβαίνει το αντίθετο.

Accentuated Eccentric Loading Method (Μέθοδος προπόνησης με περισσότερο φορτίο στην έκκεντρη φάση): Η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται στην ικανότητα του μυός να παράγει περισσότερη δύναμη στην έκκεντρη φάση συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη συστολής. Βασίζεται επίσης σε μελέτες που υποστηρίζουν ότι η μυϊκή υπερτροφία δεν επιτυγχάνεται χωρίς την έκκεντρη φάση (Hather et al, 1991). Η υπερτροφία σε αυτό το είδος προπόνησης προκαλείται μέσω της μυϊκής βλάβης και της μηχανικής τάσης

Cluster sets: Είναι μια μέθοδος προπόνησης που εν μέρει επιτρέπει την ισορροπία της μηχανικής τάσης αλλά και του μεταβολικού στρες. Σε αυτή την περίπτωση εκτελούνται μικρότερα σετ μέσα στα κανονικά σετ με διάλλειμα 20-60 δευτερόλεπτα. Επιτρέπει μεγαλύτερη ένταση στην προπόνηση σε σχέση με τα παραδοσιακά σετ και προκαλεί μικρότερο μεταβολικό αλλά περισσότερο μηχανικό στρες.

Super sets: Τα super sets είναι ζευγάρια διαφορετικών ασκήσεων χωρίς διάλλειμα ανάμεσα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μπορούν να συνδυαστούν ασκήσεις της ίδιας μυϊκής ομάδας, αγωνιστές-ανταγωνιστές μύες ή τελείως διαφορετικές μυϊκές ομάδες. Η Pre-exhaustion Technique είναι μια τεχνική που αναφέρεται στον συνδυασμό ασκήσεων ίδιας μυϊκής ομάδας και περιλαμβάνει μια άσκηση μονοαρθρική πριν από μια πολυαρθρική. Χρησιμοποιείται συχνά από bodybuilders και έχει ως σκοπό την κόπωση του αγωνιστή μύ μεμονωμένα ασκώντας έτσι

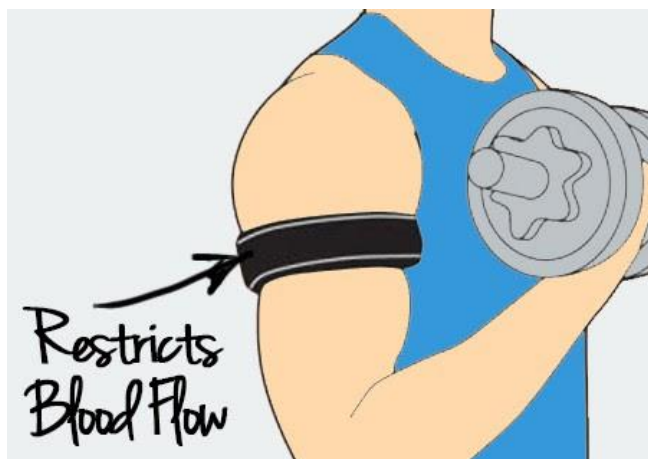
μεγαλύτερη πίεση σε αυτόν με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ενεργοποίηση του κατά την πολυαρθρική άσκηση. Ο συνδυασμός αγωνιστών-ανταγωνιστών έδειξε ότι ο τελικός όγκος προπόνησης που πραγματοποιείται είναι αρκετά μεγαλύτερος από τα παραδοσιακά σετ.(Robbins et al,2010)

Drop sets: Τα drop sets περιλαμβάνουν την εκτέλεση ενός σετ με ένα συγκεκριμένο φορτίο στην αρχή και όταν φτάσει στην αποτυχία ακολουθεί μείωση του φορτίου κατά 20% περίπου για τη συνέχεια του σετ μέχρι την βουλητική κόπωση. Σκοπός είναι το υψηλό μεταβολικό στρες λόγω των πολλαπλών επαναλήψεων με μικρά διαλλείματα. Μελέτες έδειξαν μεγαλύτερα αποτελέσματα στην αύξηση του μεταβολικού στρες σε σχέση με τα παραδοσιακά σετς αλλά περισσότερο σε ασκούμενους με μικρότερη εμπειρία στην προπόνηση με αντιστάσεις. . (Krzysztofik et al., 2019)

Sarcoplasmic stimulating training: Παρόμοια με τα drop sets η σαρκοπλασματική τονωτική προπόνηση (SST) περιλαμβάνει την εκτέλεση επαναλήψεων στο 70-80% 1 RM μέχρι την βουλητική κόπωση και έπειτα ακολουθεί επανάληψη του πρωτοκόλλου άλλες 2 φορές με 20 δευτερόλεπτα διάλλειμα ανάμεσα. Το επόμενο βήμα είναι η μείωση του βάρους κατά 20% και η εκτέλεση ενός ακόμα σετ με ρυθμό 4/0/1/0 ακολουθούμενο από 20 δευτερόλεπτα διάλλειμα, 20% του βάρους μειώνεται ακόμα και ολοκληρώνεται ακόμα ένα σετ με τον ίδιο ρυθμό. Στο τελευταίο σετ το βάρος μειώνεται ακόμα 20% και εκτελείται 20 δευτερόλεπτα διάλλειμα. Τέλος εκτελείται ισομετρικό κράτημα μέχρι αποτυχίας. Μια άλλη μορφή του SST είναι η εκτέλεση 8 σετ στο 70-80% 1 RM μέχρι αποτυχίας με διάλλειμα 45,30,15,5,5,15,30,45 χωρίς μείωση βάρους. Ο σκοπός όλων αυτών των τεχνικών προπόνησης είναι η πρόκληση υψηλού μεταβολικού στρες. Έρευνες που έχουν γίνει στον δικέφαλο και τρικέφαλο βραχιόνιο έδειξαν μεγαλύτερη μυϊκή πυκνότητα σε σχέση με τα παραδοσιακά σετς αλλά η μακροχρόνια χρήση τους τελικώς φάνηκε να μην έχει αξιοσημείωτες διαφορές συγκριτικά με τα παραδοσιακά σετ. (Krzysztofik et al., 2019)

Low-Load Resistance Training Under Blood Flow Restriction (BFR): Η μέθοδος περιορισμού του αίματος περιλαμβάνει τη συμμετοχή μιας εξωτερικής πίεσης, συνήθως χρησιμοποιώντας ελαστικό ιμάντα ή τουρνικέ στο εγγύς μέρος του άκρου. Όταν το μέσο συμπίεσης εφαρμόζεται υπάρχει σταδιακή συμπίεση του αγγειακού συστήματος κάτω από αυτό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το περιορισμό της αρτηριακής ροής αίματος αλλά και της φλεβικής επιστροφής, με

σκοπό την συσσώρευση μεταβολικών προϊόντων περιφερειακά του περιορισμού και σε συνδυασμό με την προπόνηση με αντιστάσεις την αύξηση του μεταβολικού στρες (Patterson et al, 2019). Η μέθοδος αυτή είναι ένας εναλλακτικός τρόπος να πετύχουμε ένταση και τελικά το επιθυμητό αποτέλεσμα δύναμης και υπερτροφίας χωρίς μεγάλα φορτία στην προπόνηση μας. Έρευνες δείχνουν ότι παρατηρείται αύξηση της εγκάρσιας διατομής του μυός με τη χρήση της μεθόδου χωρίς οι επαναλήψεις να γίνονται μέχρι αποτυχίας. Όμως έρευνες δείχνουν ότι τα αποτελέσματα αυτής της προπόνησης δεν υπερβαίνουν εκείνα της προπόνησης με χρήση υψηλού φορτίου (80% 1RM). Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η χρήση της BFR μεθόδου είναι αρκετά χρήσιμη για ασκούμενους που για κάποιον λόγο δεν μπορούν να δεχθούν την επιβάρυνση μεγαλύτερων φορτίων, όπως για παράδειγμα ηλικιωμένους με μυοσκελετικά προβλήματα ή σαρκοπενία. Η χρήση της μεθόδου σε αθλητές δεν φαίνεται να χρησιμεύει ιδιαίτερα. (Krzysztofik et al., 2019)



Εικόνα 3.1: Μέθοδος περιορισμού αίματος (πηγή: <https://www.sarricapt.com/blog-/2017/11/30/blood-flow-restriction-training>)

Σύμφωνα με τις περισσότερες έρευνες η αποτελεσματική προπόνηση υπερτροφίας θα πρέπει να περιλαμβάνει τον συνδυασμό μηχανικής τάσης και μεταβολικού στρες. Οι πιο αποτελεσματικοί τρόποι προπόνησης αποτελούνται από 3-6 σετ με διαλλείματα περίπου στα 60 δευτερόλεπτα, φορτίο στο 60-80% 1RM και σταδιακή αύξηση του προπονητικού όγκου ανά εβδομάδα. Όλες οι τεχνικές προπόνησης που περιεγράφηκαν στις παραπάνω παραγράφους δεν έχουν μεγάλη

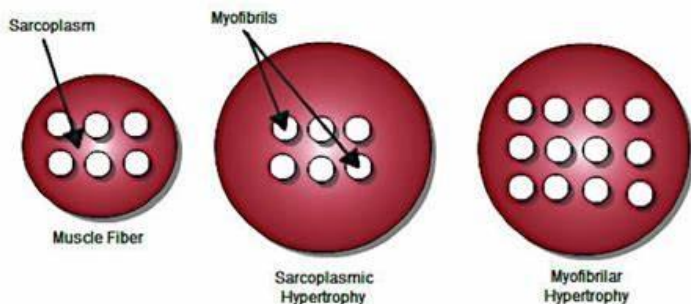
διαφορά στο τελικό αποτέλεσμα συγκριτικά με τους κλασικούς αλλά χρησιμοποιούνται κυρίως για την εξοικονόμηση χρόνου και την αποφυγή της μονοτονίας. Η εφαρμογή της BFR φαίνεται αρκετά χρήσιμη σε πληθυσμούς που δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν μεγάλα φορτία για την επίτευξη της υπερτροφίας. (Krzysztofik et al., 2019). Συνοψίζοντας εφαρμόζοντας διαφορετικές μεθόδους προπόνησης εξασφαλίζεται ένας σημαντικός παράγοντας για τη συνεχή πρόοδο που είναι η ποικιλία.

3.3 ΠΡΩΤΕΙΝΟΣΥΝΘΕΣΗ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η υπερτροφία αποδίδεται στην αύξηση του αριθμού των συσταλών στοιχείων, των μυϊοινιδίων. Η αύξηση τους φαίνεται να καθορίζει τον βαθμό της υπερτροφίας αφού αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των μυϊκών ινών(70%). Επιπλέον, το 50-60% της συνολικής ποσότητας της πρωτεΐνης στα μυϊκά κύτταρα περιλαμβάνει μυϊοινιδικές πρωτεΐνες. Αφού τελικώς το 80% του βάρους των μυϊκών ινών αποτελείται από πρωτεΐνες είναι λογικό να συμπεράνουμε την σημαντικότητα τους στο αποτέλεσμα της υπερτροφίας. Η μυϊκή υπερτροφία συμπερασματικά είναι συνάρτηση πρωτεϊνικής ισορροπίας, (σύνθεσης έναντι βλάβης) με αποτέλεσμα η πρωτεϊνοσύνθεση να θεωρείται ο υποστηρικτικός μηχανισμός αυτής της πρωτεϊνικής ισορροπίας που απαιτείται.(Figueiredo,2019)

3.4 ΕΙΔΗ ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑΣ

Από πολλούς ερευνητές εικάζεται ότι υπερτροφία μπορεί να γίνει και μέσω διαφόρων μην συστατικών στοιχείων και υγρών και την ονομάζουν σαρκοπλασματική υπερτροφία. Η συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται ότι είναι μια μη λειτουργική προσαρμογή διότι υπάρχει τελική μεγέθυνση του μυός λόγω της αύξησης του σαρκολλείματος ή/και του σαρκοπλάσματος σε συνδυασμό με την αύξηση του όγκου των μιτοχονδρίων, του σαρκοπλασματικού δικτύου, των τ-σωληναρίων ή/και του σαρκοπλασματικού ενζύμου ,χωρίς όμως ουσιαστική αύξηση της δύναμης. Αυτού του είδους η υπερτροφία συνδέεται από ερευνητές με την προπόνηση των bodybuilders.(Schoenfeld,2010). Σε αντίθεση η μέθοδος προπόνησης που ακολουθούν οι powerlifters (μεγάλο φορτίο, λίγες επαναλήψεις) λέγεται ότι προκαλεί το είδος της υπερτροφίας που αναλύθηκε στην αρχή του κεφαλαίου ως ορισμός.(Haun et al, 2018)



Εικόνα 3.2: Είδη υπερτροφίας (πηγή: <https://www.health-secrets.net/2015/07/myofibrillar-hypertrophy.html>)

IV. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΜΥΩΝ

Οι προσαρμογές στην προπόνηση με αντιστάσεις καθορίζονται από τον τύπο των μυϊκών ινών σε κάποιες περιπτώσεις. Σε μια πρόσφατη έρευνα των Kim Van Vossel et al (2013) που έγινε με σκοπό την διερεύνηση των προσαρμογών της υπερτροφίας σε 11 άντρες με αργό τύπο μυϊκών ινών κατά μέσο όρο και σε 10 με γρήγορο, όπου προπονήθηκαν για 10 εβδομάδες, εκτελώντας ασκήσεις και για χέρια και για πόδια στο 60% 1RM μέχρι αποτυχίας, δεν φάνηκε στο τελικό αποτέλεσμα διαφορά στο ποσοστό υπερτροφίας. Το ολικό ‘training volume’ εκφράστηκε ως ο τελικός αριθμός των επαναλήψεων πολλαπλασιαζόμενος με τα κιλά που σήκωσαν. Φάνηκε ότι οι ασκούμενοι με αργό τύπο μυϊκών ινών είχαν αρκετά μεγαλύτερο training volume από τους ασκούμενους με γρήγορο τύπο μυϊκών ινών για να πετύχουν τις ίδιες προσαρμογές. Το κύριο εύρημα της μελέτης είναι ότι η τυπολογία των μυών δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα για να εξηγηθούν οι διαφορές στις προσαρμογές της υπερτροφίας όταν η προπόνηση είναι μέχρι αποτυχίας. Επιπλέον έρευνες που εξέτασαν τις διαφορές της υπερτροφίας στις μυϊκές ίνες ανάλογα με τον τύπο τους δεν βρήκαν διαφορές, όταν οι επαναλήψεις εκτελέστηκαν μέχρι αποτυχίας. (Lim et al, 2019) Όμως, σε έρευνες που οι επαναλήψεις δεν ήταν μέχρι αποτυχίας βρέθηκαν διαφορές. (Netreba et al, 2013; Vinogradova et al 2013). Σε αυτό το σημείο κατανοούμε ότι είναι δύσκολο να πετύχουμε μεταβολικές αλλαγές στου τύπου I μυϊκές ίνες λόγω των υψηλών οξειδωτικών ικανοτήτων τους. (Vinogradova et al, 2013)

V. ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΣ ΜΥΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Το μέγεθος του μυ δεν σχετίζεται άμεσα με τον τύπο των μυϊκών ινών. Για παράδειγμα οι μυϊκές ίνες του ματιού είναι συγκριτικά με άλλους μύες του σώματος πολύ μικρότερες. (Blaauw,2013). Το μέγεθος των μυϊκών ινών αυξάνεται κατά την προγεννητική και μεταγεννητική ανάπτυξη και επηρεάζεται από τις φορτίσεις αλλά και διαφορετικές ορμονικές, νευρολογικές καταστάσεις. Κατά την ενηλικίωση οι μυϊκές ίνες συνεχίζουν να διατηρούν την πλαστικότητα τους είτε μεγαλώνοντας με την υπερτροφία είτε μικραίνοντας με την ατροφία. Το μέγεθος των μυών εξαρτάται άμεσα από την πρωτεϊνική ισορροπία όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της πρωτεϊνοσύνθεσης. Επιπλέον, οι μυϊκές ίνες είναι πολυπυρηνικά κύτταρα και οι αλλαγές στο μέγεθος του πιθανόν να οφείλονται σε διακυμάνσεις του αριθμού των πυρήνων. Οι πυρήνες μιας μυϊκής ίνας βρίσκονται στην περιφέρεια των ινών στο διάστημα μεταξύ των μυϊοϊνιδίων και του σαρκολύμματος. Αύξηση του αριθμού των πυρήνων μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την ενσωμάτωση των πυρήνων των δορυφορικών κυττάρων μέσω σύντηξης κυττάρων με τις παρακείμενες μυϊκές ίνες. Ένας πυρήνας μπορεί να υποστηρίξει μόνο μια ορισμένη ποσότητα κυτταροπλάσματος μέσα σε μια μυϊκή ίνα, έτσι ώστε αν μια μυϊκή ίνα να ατροφήσει, τότε η αναλογία πυρήνα προς το κυτταρόπλασμα του μυός θα μειωθεί επίσης, καθώς η σχέση τους είναι στενά συνδεδεμένη. (Blaauw,2013). Ωστόσο, μεταγενέστερες μελέτες αποκάλυψαν ότι η περιοχή των πυρήνων(ο πυρήνας και το κυτταρόπλασμα που του αναλογεί) ,ποικίλλει μεταξύ διαφορετικών τύπων ινών, είναι μεγαλύτερες στους τύπους IIB και IIX σε σύγκριση με ίνες τύπου IIA και I.(Aravamudan et al,2005)

VI. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΩΝ ΜΥΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Η μυϊκές ίνες έχουν την δυνατότητα να προσαρμοστούν και να αλλάξουν για να μπορούν να αντεπεξέρχονται και να αποδίδουν στις διαφορετικές λειτουργικές ανάγκες. Η προσαρμοστικότητα αυτή έρχεται ως απόκριση νευρικών και ορμονικών διεγέρσεων αλλά και σε συνθήκες φόρτισης. Οι αλλαγές στον τύπο ινών αντικατοπτρίζουν έναν επαναπρογραμματισμό της μεταγραφής γονιδίων που οδηγεί σε αναδιαμόρφωση των συστατικών ιδιοτήτων των ινών (αργές-γρήγορες) ή του μεταβολικού προφίλ (γλυκολυτικές-οξειδωτικές). Ενώ οι πυρήνες βρίσκονται σε μεταμιτωτική κατάσταση, τα δορυφορικά κύτταρα αντιπροσωπεύουν ένα απόθεμα νέων πυρήνων που συμμετέχει στην προσαρμοστική απόκριση. (Blaauw et al,2013). Η προσαρμοστικότητα αυτή, αναφέρεται ως μυϊκή πλαστικότητα.

Οι αλλαγές στους τύπους των ινών έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές δοκιμάζοντας διαφορετικά είδη προπόνησης. Ή προπόνηση με αντιστάσεις που σκοπό έχει τη υπερτροφία είναι ένα από τα είδη προπόνησης που προκαλεί αλλαγές. Μια από αυτές φαίνεται να είναι η μείωση των μυϊκών ινών τύπου ΙΙβ και αύξηση των ινών τύπου Ια. (Adams et al,1993; Andersen&Aagaard,2010; Campos et al,2002; Hather et al 1991). Ανάλογα με τη ταχύτητα συστολής οι αλλαγές στις τύπου Ι διαφέρουν ελαφρώς. Συγκεκριμένα όταν το φορτίο ήταν μεγάλο (>70% 1RM) και η ταχύτητα εκτέλεσης ήταν μικρή ,οι αλλαγές στις τύπου Ι ήταν σχεδόν αμελητέες, ενώ υπήρχε μια αλλαγή των αργών ινών προς τις γρήγορες όταν το φορτίο ήταν ίδιο αλλά η ταχύτητα εκτέλεσης μεγαλύτερη. Η αερόβια προπόνηση οδηγεί τις μυϊκές ίνες στην απόκτηση ενός πιο οξειδωτικού προφίλ. Συγκεκριμένα υπάρχει μια ‘μετατόπιση’ των ινών προς τις τύπου Ι σε υψηλής έντασης αερόβια άσκηση.(Plotkin et al,2021)Ωστόσο, υπάρχει ακόμα έλλειμμα διαχρονικών στοιχείων σχετικά με τις αλλαγές των μυϊκών ινών. Σε αυτό το σημείο, αξίζει να αναφερθεί μια πρόσφατη έρευνα (Bathgate et al,2018) που έγινε σε δίδυμα. Το ένα άτομο έκανε καθιστική ζωή και το άλλο έντονη αερόβια άσκηση. Ο προπονημένος είχε 95% τύπου Ι μυϊκές ίνες στους μύες που έγινε η βιοψία, ενώ το άτομο που έκανε καθιστική ζωή είχε 55% λιγότερες τύπου Ι και πολλές περισσότερες τύπου Ια. Η έρευνα αυτή μας αποδεικνύει ότι μετά από πολύχρονη ακολουθία ενός συγκεκριμένου τύπου άσκησης οι αλλαγές μπορεί να είναι δραματικές. Συμπερασματικά, το κάθε είδος προπόνησης προσδίδει διαφορετικές αλλαγές αλλά αφού η τάση και η πλαστικότητα των ινών διαφέρει ανάλογα το άτομο, ο βαθμός αλλαγής δεν είναι ίδιος.

VII. ΜΥΕΣ ΚΑΙ ΓΗΡΑΝΣΗ

Η μείωση της μυϊκής μάζας και της λειτουργικότητας των μυών αντιπροσωπεύει την πιο σημαντική αλλαγή του ανθρώπου κατά τη γήρανση. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως σαρκοπενία. Το 45% των ενηλίκων άνω των 60 ετών στην Αμερική έχουν σε ένα βαθμό σαρκοπενία (Janssen, 2004). Οι μύες “χάνουν” μυϊκές ίνες, οι υπάρχουσες ίνες ατροφούν και ομαδοποιούνται σε συγκεκριμένο τύπο. Η ατροφία κατά τη γήρανση είναι το πιο συχνό είδος ατροφίας και ξεκινάει περίπου στα 50 έτη. Έρευνες έχουν δείξει ότι η εγκάρσια διατομή του τετρακέφαλου μικραίνει από 25 έως 40% κατά τη γήρανση (Klitgaard et al, 1990). Άλλη έρευνα έδειξε μείωση 30% στην μυϊκή μάζα των ποδιών (Janssen et al, 2000). Αρκετά ενδιαφέρον σε αυτή την περίπτωση είναι ότι οι περισσότερες έρευνες έδειξαν ατροφία στις μυϊκές ίνες τύπου II με τις μυϊκές ίνες τύπου I να παραμένουν σχεδόν άθικτες κατά το πέρασμα των χρόνων, πιο συγκεκριμένα φαίνεται οι τύπου II ίνες να μειώνονται περίπου 29% (Verdijket et al, 2007). Πέρα από την μείωση της μυϊκής μάζας και της δύναμης η επιβράδυνση των κινήσεων των ηλικιωμένων είναι άλλο ένα χαρακτηριστικό της σαρκοπενίας. Η επιβράδυνση της κίνησης μπορεί να οφείλεται τόσο στην έναρξη της συστολής στο κεντρικό νευρικό σύστημα, όσο και στις μηχανικές ιδιότητες των αρθρώσεων αλλά και σε ένα μικρό βαθμό στις αλλαγές του τύπου των μυϊκών ινών. Συνοψίζοντας είναι αναγκαίο να αναφέρουμε η απώλεια μυϊκής μάζας που προέρχεται από ατροφία των μυϊκών ινών αλλά και την απώλεια κάποιων, αναφέρονται ως ποσοτικές αλλαγές. Ένα μεγάλο μέρος της “ευθύνης” για την απώλεια της μυϊκής λειτουργικότητας έχουν και οι ποιοτικές αλλαγές που έχουν να κάνουν με την λειτουργία των πρωτεϊνών, την διαδικασία της πρωτεϊνοσύνθεσης, την συνολική μειωμένη ανθεκτικότητα στο στρες αλλά και με την εξασθένηση άλλων λειτουργιών. (Larsson et al, 2019)

VIII. ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

Με τον όρο δύναμη στη φυσική εννοείται το διανυσματικό μέγεθος το οποίο προκαλεί παραμόρφωση σε ένα σώμα και ισούνται με την μάζα του επί την επιτάχυνσή του. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να πούμε ότι η μυϊκή δύναμη δεν μπορεί να μετρηθεί τόσο εύκολα και δεν υπάρχει ένας απόλυτος τρόπος μέτρησής της. Συγκεκριμένα είναι εφικτό να καταγραφεί η μυϊκή δύναμη στην ισομετρική και ισοκινητική συστολή αλλά στον αθλητισμό που συχνά τα περισσότερα αγωνίσματα απαιτούν επιτάχυνση δεν φαίνεται να είναι αρκετά χρήσιμη μια τέτοια μέτρηση. Η ισχύς όμως που αφορά την παραγωγή έργου σε συγκεκριμένο χρόνο φαίνεται να είναι αρκετά χρήσιμη για τα περισσότερα αθλήματα. (Baechle&Earlre, 2009)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την μυϊκή δύναμη είναι αρκετοί, η δύναμη του μυός έχει άμεση σχέση με την εγκάρσια διατομή του. Από την μια θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της εγκάρσιας διατομής του μυός, τόσο περισσότερη δύναμη έχει αλλά τελικώς φαίνεται ότι είναι πιο περίπλοκο και είναι αρκετοί οι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο. (Jones et al,2008) Κυρίως οι παράγοντες είναι βιομηχανικοί, όπως γωνία κατάφυσης του μυός, η χρονο-δυναμική, μηκοδυναμική και η ταχοδυναμική σχέση (Hamill&Knutzen,2013). Ο νευρομυϊκός έλεγχος, ο οποίος καθορίζει τον τρόπο ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων σε μια συστολή επηρεάζει επίσης την μυϊκή δύναμη όπως αναλύθηκε προηγουμένως (επιστράτευση). Λόγω του αντικειμένου της συγκεκριμένης έρευνας θα κρατήσουμε ότι η σχέση μεταξύ εγκάρσιας διατομής του μυός και δύναμης είναι ισχυρή και οι απότομες αλλαγές τις δύναμης αφορούν νευρομυϊκές προσαρμογές περισσότερο σε νέους ασκούμενους.

ΙΧ. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατανοώντας την δομή και τον ρόλο των μυϊκών ινών στο ανθρώπινο σώμα μπορούμε να προσεγγίσουμε και να κατανοήσουμε τον όρο μυϊκή υπερτροφία. Η διάφορες μυϊκές ίνες ανταποκρίνονται διαφορετικά στα διαφορετικά ερεθίσματα της προπόνησης και έχουν σημασία στην δόμηση ενός προγράμματος προπόνησης αφού μπορούν να επηρεάσουν την απόκτησή της. Οι διαφορετικοί τύποι μυϊκών ινών συμβάλλουν διαφορετικά στο συνολικό μέγεθος του αλλά και στην ικανότητα του στις διαφορετικές μεταβολικές οδούς. Οι αλλαγές στις μυϊκές ίνες είναι πιθανόν να συμβούν και να επηρεάσουν το τελικό μέγεθος αλλά και την ικανότητα του να ανταποκριθεί σε διαφορετικές καταστάσεις. Οι αλλαγές αυτές γίνονται φυσικά από τη γέννηση του ανθρώπου μέχρι την μετεφηβία αλλά και κατά τη γήρανση του ανθρώπου. Η απραξία, η προπόνηση με αντιστάσεις, η αερόβια προπόνηση αλλά και κάποιες παθήσεις- αρρώστιες μπορούν να επηρεάσουν την δομή του μυός. Είναι σημαντικό ένας γυμναστής να γνωρίζει με ακρίβεια τις παραπάνω πληροφορίες . Λόγω της πλαστικότητας των μυών που διαφέρει από άτομο σε άτομο αλλά και της δυσκολίας της γνώσης της σύστασης του μύ κάθε ασκούμενου τελικώς η κατανόηση της έφεσης του ατόμου προς κάποια μέθοδο προπόνησης αλλά και της οργάνωσης ενός προγράμματος απαιτεί την ολιστική προσέγγιση των χαρακτηριστικών του ατόμου.

X. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American College of Sports Medicine. (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31819156>
- Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2010). Effects of strength training on muscle fiber types and size; consequences for athletes training for high-intensity sport. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(s2), 32–38. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01196.x>
- Aravamudan, B., Mantilla, C. B., Zhan, W.-Z., & Sieck, G. C. (2006). Denervation effects on myonuclear domain size of rat diaphragm fibers. *Journal of Applied Physiology*, 100(5), 1617–1622. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01277.2005>
- Baechle, T. & Earle, R. (2009). *Βασικές αρχές της προπόνησης με αντίσταση*. (Γ. Γεωργιάδης & Γ. Τερζής, επίμ). Π. Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ
- Bathgate, K. E., Bagley, J. R., Jo, E., Talmadge, R. J., Tobias, I. S., Brown, L. E., Coburn, J. W., Arevalo, J. A., Segal, N. L., & Galpin, A. J. (2018). Muscle health and performance in monozygotic twins with 30 years of discordant exercise habits. *European Journal of Applied Physiology*, 118(10), 2097–2110. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3943-7>
- Blaauw, B., Schiaffino, S., & Reggiani, C. (2013). Mechanisms Modulating Skeletal Muscle Phenotype. *Comprehensive Physiology*, 3(4), 1645–1687. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130009>
- Brunet, A. (2004). Stress-Dependent Regulation of FOXO Transcription Factors by the SIRT1 Deacetylase. *Science*, 303(5666), 2011–2015. <https://doi.org/10.1126/science.1094637>
- Campos, G., Luecke, T., Wendeln, H., Toma, K., Hagerman, F., Murray, T., Ragg, K., Ratamess, N., Kraemer, W., & Staron, R. (2002). Muscular adaptations in response to three different

resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88(1-2), 50–60..

Cody T. Haun¹ , Christopher G. Vann , Brandon M. Roberts , Andrew D. Vigotsky , Brad J. Schoenfeld , Michael D. Roberts(2018). *A critical evaluation of the biological construct skeletal muscle hypertrophy: size matters but so does the measurement*. *Frontiers in Physiology* 10,247 (doi:10.3389/fphys.2019.00247)

Dankel, Scott J.; Kang, Minsoo; Abe, Takashi; Loenneke, Jeremy P. (2018). (*Resistance training induced changes in strength and specific force at the fiber and whole muscle level: a meta-analysis*.) *European Journal of Applied Physiology*, (), –. doi:10.1007/s00421-018-4022-

DE CAMARGO, J. B. B., BRIGATTO, F. A., ZARONI, R. S., TRINDADE, T. B., GERMANO, M. D., JUNIOR, A. C. T., DE OLIVEIRA, T. P., MARCHETTI, P. H., PRESTES, J., & LOPES, C. R. (2022). Manipulating Resistance Training Variables to Induce Muscle Strength and Hypertrophy: A Brief Narrative Review. *International Journal of Exercise Science*, 15(4), 910–933. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9458289/>

Evans, J. W. (2019). Periodized Resistance Training for Enhancing Skeletal Muscle Hypertrophy and Strength: A Mini-Review. *Frontiers in Physiology*, 10(1). <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00013>

Figueiredo, V. C. (2019). Revisiting the roles of protein synthesis during skeletal muscle hypertrophy induced by exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 317(5), R709–R718. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00162.2019>

Fuku, N., Kumagai, H., & Ahmetov, I. I. (2019, January 1). *Chapter Fourteen - Genetics of muscle fiber composition* (D. Barh & I. I. Ahmetov, Eds.). ScienceDirect; Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128161937000142>

Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Orazem, J., & Sabol, F. (2021). Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 11(2). <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.01.007>

HATHER, B. M., TESCH, P. A., BUCHANAN, P., & DUDLEY, G. A. (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 143(2), 177–185. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1991.tb09219.x>

Hamill, J. & Knutzen, K. (2013). *Βασική Βιο-μηχανική της Ανθρώπινης Κίνησης*. Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ

Eric J. Jones,¹ Phil A. Bishop,² Amanda K. Woods² and James M. Green²(Cross-Sectional Area and Muscular Strength A Brief Review)

Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z., & Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *Journal of Applied Physiology*, 89(1), 81–88. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.81>

Janssen, I. (2004). Skeletal Muscle Cutpoints Associated with Elevated Physical Disability Risk in Older Men and Women. *American Journal of Epidemiology*, 159(4), 413–421. <https://doi.org/10.1093/aje/kwh058>

Kierszenbaum, A. & Tres, L. (2013). *Ιστολογία με στοιχεία κυτταρικής βιολογίας*. (Β. Γοργούλης, επίμ). Π. Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ.

Kim Van Vossel, Hardeel, J., Van, Van, Anneleen Weyns, Boone, J., Blemker, S., Lievens, E., & Wim Derave. (2023). *Can muscle typology explain the inter-individual variability in resistance training adaptations?* <https://doi.org/10.1113/jp284442>

KLITGAARD, H., MANTONI, M., SCHIAFFINO, S., AUSONI, S., GORZA, L., LAURENT-WINTER, C., SCHNOHR, P., & SALTIN, B. (1990). Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiologica Scandinavica*, 140(1), 41–54. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1990.tb08974.x>

Krzysztofik, M., Wilk, M., Wojdała, G., & Gołaś, A. (2019). Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), E4897. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244897>

Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., Frykman, P., McCurry, D., & Fleck, S. J. (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of Applied Physiology*, 69(4), 1442–1450. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.4.1442>

LIM, C., KIM, H. J., MORTON, R. W., HARRIS, R., PHILLIPS, S. M., JEONG, T. S., & KIM, C. K. (2019). Resistance Exercise-induced Changes in Muscle Phenotype Are Load Dependent. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(12), 2578–2585. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002088>

Larsson, L. (1982). Physical training effects on muscle morphology in sedentary males at different ages. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(3), 203–206.

<https://europepmc.org/article/med/7109887>

Larsson, L., Degens, H., Li, M., Salviati, L., Lee, Y. il, Thompson, W., Kirkland, J. L., & Sandri, M. (2019). Sarcopenia: Aging-Related Loss of Muscle Mass and Function. *Physiological Reviews*, 99(1), 427–511. <https://doi.org/10.1152/physrev.00061.2017>

Lundberg, T. R., Feuerbacher, J. F., Sünkeler, M., & Schumann, M. (2022). The Effects of Concurrent Aerobic and Strength Training on Muscle Fiber Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01688-x>

Netreba, A., Popov, D., Bravyi, Y., Lyubaeva, E., Terada, M., Ohira, T., Okabe, H., Vinogradova, O., & Ohira, Y. (2013). Responses of knee extensor muscles to leg press training of various types in human. *Rossiiskii Fiziologicheskii Zhurnal Imeni I.M. Sechenova*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Responses-of-knee-extensor-muscles-to-leg-press-of-Netreba-Popov/7f418c0f4ab72a970ef066c5182cf53c289c3ff1>

Meijer, J. P., Jaspers, R. T., Rittweger, J., Seynnes, O. R., Kamandulis, S., Brazaitis, M., Skurvydas, A., Pišot, R., Šimunič, B., Narici, M. V., & Degens, H. (2015). Single muscle fibre contractile properties differ between body-builders, power athletes and control subjects. *Experimental Physiology*, 100(11), 1331–1341. <https://doi.org/10.1113/ep085267>

Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>

- Pincivero, D. M., Lephart, S. M., & Karunakara, R. G. (1997). Effects of rest interval on isokinetic strength and functional performance after short-term high intensity training. *British Journal of Sports Medicine*, 31(3), 229–234. <https://doi.org/10.1136/bjsm.31.3.229>
- Plotkin, D. L., Roberts, M. D., Haun, C. T., & Schoenfeld, B. J. (2021). Muscle Fiber Type Transitions with Exercise Training: Shifting Perspectives. *Sports*, 9(9), 127. <https://doi.org/10.3390/sports9090127>
- Lorenz, D., Bailey, L., Wilk, K., Mangan, B., Head, P., Grindstaff, T. L., & Morrison, S. (2021). Current Clinical Concepts: Blood Flow Restriction Training. *Journal of Athletic Training*, 56(9). <https://doi.org/10.4085/418-20>
- Ratamess, N. A., Falvo, M. J., Mangan, G. T., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., & Kang, J. (2007). The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 100(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0394-y>
- Raff, H. & Strang, K. & Widmaier, E. (2016). *Φυσιολογία του ανθρώπου*. (Ν. Γελαδάς, επίμ). Π. Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ.
- Reggiani, C., & Schiaffino, S. (2020). Muscle hypertrophy and muscle strength: dependent or independent variables? A provocative review. *European Journal of Translational Myology*, 30(3). <https://doi.org/10.4081/ejtm.2020.9311>
- Schoenfeld, Brad J (2010). *The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872.
- Verdijk, L. B., Koopman, R., Schaart, G., Meijer, K., Savelberg, H. H. C. M., & van Loon, L. J. C. (2007). Satellite cell content is specifically reduced in type II skeletal muscle fibers in the

elderly. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 292(1), E151–E157.
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.00278.2006>

Shepstone, T. N., Tang, J. E., Dallaire, S., Schuenke, M. D., Staron, R. S., & Phillips, S. M. (2005). Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *Journal of Applied Physiology*, 98(5), 1768–1776. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01027.2004>

Vinogradova, O. L., Popov, D. V., Netreba, A. I., Tsvirkun, D. V., Kurochkina, N. S., Bachinin, A. V., Bravyi, Ya. R., Lyubaeva, E. V., Lysenko, E. A., Miller, T. F., Borovik, A. S., Tarasova, O. S., & Orlov, O. I. (2013). Optimization of training: New developments in safe strength training. *Human Physiology*, 39(5), 511–523. <https://doi.org/10.1134/s0362119713050162>

Wilson, J. M., Loenneke, J. P., Jo, E., Wilson, G. J., Zourdos, M. C., & Kim, J.-S. (2012). The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1724–1729.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234eb6f>

Βεληγκέκας, Π. & Μπογδάνης, Γ. & Παραδείσης, Γ. (2020). Σχεδιασμός και προγραμματισμός της αθλητικής προπόνησης. Π. Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ.

Κλεισούρας, Β. (2011). *Εργοφυσιολογία*. Π. Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ.

Μαρμαρά, Β. & Λαμπροπούλου, Μ. (2013). *Βιολογία του κυττάρου*. TYPORAMA