



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΥΓΡΟΥΣΤΙΒΟΥ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΚΟΠΩΣΗΣ  
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΔΕΜΕΝΗ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ  
ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΛΥΜΒΗΤΩΝ»**

**Σπυρόπουλος Βασίλειος**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Τουμπέκης Ανάργυρος**  
**Αναπληρωτής Καθηγητής**

**ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020**

© Copyright

Όνοματεπώνυμο συγγραφέα  
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού  
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

## ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗΝ ΔΥΝΑΜΗ ΕΝΤΟΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΑΓΟΡΙΩΝ, ΕΦΗΒΩΝ ΚΑΙ ΑΝΔΡΩΝ ΚΟΛΥΜΒΗΤΩΝ

### Περίληψη

Σκοπός της μελέτης ήταν να εξετάσει διαφορές στην δύναμη εντός νερού σε άρρενες κολυμβητές διαφορετικών ηλικιών. Στην μελέτη συμμετείχαν 98 κολυμβητές διαφορετικής ηλικίας και επιπέδου. Ο διαχωρισμός των συμμετεχόντων έγινε σύμφωνα με την χρονολογική ηλικία και περιελάμβανε επτά ομάδες: 1η ομάδα, (H10), ηλικία:  $10 \pm 0.4$  έτη, (N=8), 2η ομάδα, (H11) ηλικία:  $11.5 \pm 0.7$  έτη, (N=11), 3η ομάδα, (H13), ηλικία:  $13.6 \pm 0.5$  έτη, (N=17), 4η ομάδα, (H15), ηλικία:  $15.3 \pm 0.6$  έτη, (N=23), 5η ομάδα, (H17), ηλικία:  $17.5 \pm 0.5$  έτη, (N=10), 6η ομάδα, (H19), ηλικία:  $19.5 \pm 0.5$  έτη, (N=16), 7η ομάδα (H22), ηλικία:  $22.2 \pm 2$  έτη, (N=13). Όλοι οι κολυμβητές εκτέλεσαν μια δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 30 s με μέγιστη ένταση. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κλειστό κολυμβητήριο 25 m και θερμοκρασία νερού 25 C°. Στη δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης χρησιμοποιήθηκε πιεζοηλεκτρικό δυναμόμετρο (MuscleLab, Ergotest, Finland) προσαρμοσμένο στο βατήρα εκκίνησης και συνδεδεμένο με μη ελαστικό σχοινί μήκους 10 μέτρων. Μετρήθηκαν η μέση δύναμη για τα 30 s (MeanF 30s), η μέγιστη δύναμη στα πρώτα 5 s (PeakF 5s) και η ελάχιστη δύναμη στα τελευταία 5 s (MinF 5s). Επιπλέον υπολογίστηκε ο δείκτης κόπωσης (FI%) και ο ρυθμός πτώσης της δύναμης στα 30 s (Slope Force/Time). Παρατηρήθηκε πως οι άνδρες κολυμβητές στις ομάδες H19 και H22 είχαν υψηλότερη MeanF 30s ( $113.71 \pm 17.22$  και  $121.66 \pm 15.93$  N, αντίστοιχα), PForce 5s ( $137.65 \pm 23.4$  και  $144.35 \pm 20.4$  N, αντίστοιχα) και MinF 5s ( $92.35 \pm 15.0$  και  $101.50 \pm 15.2$  N, αντίστοιχα) σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες ομάδες ( $p < 0.05$ ). Τις χαμηλότερες τιμές εμφάνισαν οι ομάδες H10 και H11 με MeanF 30s ( $32.38 \pm 5.73$  και  $48.82 \pm 4.89$  N, αντίστοιχα), PeakF 5s ( $41.17 \pm 10.9$  και  $59.87 \pm 17.3$  N, αντίστοιχα) και MinF 5s ( $25.87 \pm 6.5$  και  $41.24 \pm 12.3$  N, αντίστοιχα). Ο δείκτης κόπωσης δεν διέφερε μεταξύ των ομάδων ( $p > 0.05$ ). Ο ρυθμός πτώσης της δύναμης (Slope Force/Time) ήταν υψηλότερος στην H19 και H22 συγκριτικά με τις ομάδες H10 και H11 (1.72 και 1.67 έναντι 0.54 και 0.73,  $p < 0.05$ ). Σημαντική μεταβολή στην δύναμη εντός νερού παρατηρείται με την αύξηση της ηλικίας. Άνδρες κολυμβητές εμφανίζουν αυξημένη κόπωση σε σχέση με τα παιδιά σε προσπάθειες μέγιστης έντασης στην προσδεμένη κολύμβηση.

**Λέξεις κλειδιά:** Μέγιστη Δύναμη, Προσδεμένη Κολύμβηση, Επίδοση, Κολύμβηση.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	i
Πίνακας Περιεχομένων	ii
Κατάλογος Σχημάτων	iv
Κατάλογος Πινάκων	v
<b>I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1 Προσδιορισμός του προβλήματος	1
1.2 Σκοπός της μελέτης	2
1.3 Σημασία της μελέτης	2
1.4 Όρια και Περιορισμοί	3
<b>II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ</b>	<b>5</b>
2.1 Μυϊκή Δύναμη και Κολύμβηση	5
2.2 Μυϊκή Συστολή	5
2.3 Μυϊκή δύναμη και Κολυμβητική επίδοση	6
2.4 Διαφορές στην Μυϊκή Δύναμη μεταξύ Παιδιών και Ενηλίκων	9
2.5 Προσδεμένη Κολύμβηση	18
<b>III ΜΕΘΟΔΟΣ</b>	<b>22</b>
3.1 Συμμετέχοντες	22
3.2 Μέσα Συλλογής Δεδομένων	22
3.3 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων	23
3.4 Στατιστική Επεξεργασία	24
<b>IV ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>25</b>
4.1 Μέση Δύναμη 30s	25
4.2 Μέγιστη Δύναμη 5s	26

4.3	Ελάχιστη Δύναμη 5s	28
4.4	Δείκτης Κόπωσης	29
4.5	Ρυθμός Πτώσης της Δύναμης	30
<b>V.</b>	<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	<b>34</b>
5.1	Κύρια Ευρήματα	34
5.2	Ρυθμός Πτώσης της Δύναμης	35
5.3	Ποσοστό % Μεταβολής της Δύναμης	37
<b>VI.</b>	<b>ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ</b>	<b>38</b>
6.1	Συμπεράσματα	38
<b>VII.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>39</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

**Σχήμα 4.1** Μεταβολή της Μέσης δύναμη εντός νερού στα 30s στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

**Σχήμα 4.2** Μεταβολή της Μέγιστης Δύναμης στα 5s στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

**Σχήμα 4.3** Μεταβολή της Ελάχιστης Δύναμης στα τελευταία 5s στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

**Σχήμα 4.4** Σύγκριση του Δείκτη Κόπωσης FI% στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

**Σχήμα 4.5** Σύγκριση του Ρυθμού Πτώσης της Δύναμης στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

**Σχήμα 4.6** Ρυθμός πτώσης της Δύναμης στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

**Πίνακας 2.1** Ποσοστό μεταβολής των παραμέτρων δύναμης και κολυμβητικής ταχύτητας ανάμεσα στην κολύμβηση με πτερύγια χεριών και την ελεύθερη κολύμβηση. Δεδομένα Barbosa et al. (2013).

**Πίνακας 3.1** Ηλικία και Σωματικά Χαρακτηριστικά Συμμετεχόντων στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

**Πίνακας 4.1** Σημαντικές διαφορές και ποσοστό μεταβολής MeanF 30s για κάθε ηλικιακή ομάδα.

**Πίνακας 4.2** Σημαντικές διαφορές και ποσοστό μεταβολής της PeakF 5s στις ηλικιακές ομάδες.

**Πίνακας 4.3** Σημαντικές διαφορές και ποσοστό μεταβολής της MinF 5s στις ηλικιακές ομάδες.

**Πίνακας 4.4** Σημαντικές διαφορές στο ρυθμό πτώσης της δύναμης στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

## I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δύναμη αποτελεί ίσως την σημαντικότερη φυσική ικανότητα του ανθρώπινου οργανισμού. Συγκεκριμένα στο άθλημα της κολύμβησης η συμβολή της μυϊκής δύναμης στην επίδοση επιβεβαιώνεται συνεχώς όλο και περισσότερο (Amaro et al., 2017; Arsoniadis et al., 2019). Η μυϊκή δύναμη των κολυμβητών αξιολογείται με δοκιμασίες εκτός και εντός νερού. Αξιόπιστη και έγκυρη δοκιμασία για την μέτρηση της δύναμης εντός νερού αποτελεί το τεστ προσδεμένης κολύμβησης 30 δευτερολέπτων (Morouço et al., 2011; Amaro et al., 2014). Η δοκιμασία αυτή, προσφέρει δεδομένα απαραίτητα για τον προπονητή και τον προπονητικό σχεδιασμό, όπως είναι τα ελλείμματα δύναμης και οι ασυμμετρίες στην δύναμη μεταξύ των δύο άνω άκρων (Santos et al., 2013; Morouço et al., 2014; Arsoniadis et al., 2016). Η μυϊκή δύναμη και τα δεδομένα που λαμβάνουμε από τις δοκιμασίες εκτός και εντός νερού δύνανται να διαφέρουν μεταξύ ατόμων διαφορετικών ηλικιών.

Μεταξύ διαφορετικών ηλικιακών ομάδων παρατηρούνται διαφορές ως προς τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά και σε ορισμένες φυσιολογικές παραμέτρους (Obert et al., 2003; Bar-Or & Rowland, 2004). Σημαντικές διαφορές μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών αναφέρονται και στην μυϊκή δύναμη (Dore et al., 2000; Falk et al., 2009; Dotan et al., 2012). Σύμφωνα με τα εγχειρίδια της Αμερικάνικης Αθλητιατρικής Εταιρείας ένας προπονητής καλείται να λάβει υπόψη του όλες εκείνες τις παραμέτρους που διαφέρουν μεταξύ ατόμων διαφορετικών ηλικιών προκειμένου να βελτιώσει τις επιδόσεις τους αλλά και να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης τραυματισμών. Η καθοριστική σημασία της μυϊκής δύναμης στην κολυμβητική επίδοση την καθιστά, μια από τις σημαντικότερες φυσιολογικές παραμέτρους με βάση την οποία ο προπονητής πρέπει να εξατομικεύσει τον προπονητικό σχεδιασμό.

### 1.1 Προσδιορισμός του προβλήματος

Οι διαφορές στην μυϊκή δύναμη εκτός νερού μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών επιβεβαιώνονται από πολλές μελέτες (Bar-Or et al., 1996; Falk et al., 2009, Dotan et al., 2012). Μελέτες που να εξετάζουν διαφορές στην μυϊκή δύναμη εντός νερού μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών κολυμβητών, δεν υπάρχουν. Η κολύμβηση



χαρακτηρίζεται από τις κινήσεις στο υγρό στοιχείο όπου λόγω της πυκνότητας του, η εφαρμογή των δυνάμεων διαφέρει πολύ από ότι στον αέρα. Είναι σημαντικό λοιπόν να εξετάζουμε την δύναμη εντός του νερού προκειμένου να έχουμε δεδομένα από το περιβάλλον του αθλήματος (Neiva et al., 2011).

## **1.2 Σκοπός της μελέτης**

Σκοπός της μελέτης είναι να εξετάσει διαφορές στην δύναμη εντός νερού μεταξύ κολυμβητών διαφόρων ηλικιακών ομάδων. Επιπρόσθετα θα διερευνηθούν τυχόν διαφορές στο ρυθμό πτώσης της δύναμης.

## **1.3 Σημασία της μελέτης**

Η καθοριστική σημασία της μυϊκής δύναμης στην κολυμβητική επίδοση καθιστά επιτακτική την ανάγκη να διαθέτουμε όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα για τις διαφορές στην δύναμη μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών κολυμβητών. Αξίζει να μελετήσουμε αν οι διαφορές στην δύναμη εκτός νερού μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών, ισχύουν αμετάβλητες και για την δύναμη εντός νερού, όπως αυτή μετράται από ένα τεστ προσδεμένης κολύμβησης 30 δευτερολέπτων. Μελέτες που να εξετάζουν διαφορές στην δύναμη εντός νερού μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών δεν υπάρχουν.

Η αγωνιστική ομάδα κολύμβησης αποτελεί πλέον ένα μωσαϊκό ηλικιακών ομάδων. Κάθε ηλικιακή ομάδα μπορεί να ωφεληθεί από ένα πρόγραμμα βελτίωσης της μυϊκής δύναμης και ως εκ τούτου, τα μικρότερα παιδιά δεν πρέπει να εξαιρούνται από αυτό (Faigenbaum, & Bradley 1998; Falk 1996). Τα επιστημονικά δεδομένα συμφωνούν, ως προς τα οφέλη της προπόνησης με αντίσταση που αποσκοπεί στην βελτίωση της μυϊκής δύναμης στα μικρά παιδιά. Ταυτόχρονα ωστόσο συμφωνούν ως προς τον κίνδυνο εμφάνισης τραυματισμών όταν δεν ακολουθείται ένα σωστά δομημένο πρόγραμμα ενδυνάμωσης (Gerrard 1993). Ένα πρόγραμμα ενδυνάμωσης οφείλει να δομείται σύμφωνα με τις βασικές αρχές της προπόνησης (Προοδευτικότητα, Επιβάρυνση, Ατομικότητα, Εξειδίκευση και Αναστροφή). Η αρχή της ατομικότητας πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν το πρόγραμμα ενδυνάμωσης απευθύνεται σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες. Ο προπονητής λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές στην δύναμη εκτός και εντός νερού, είναι σε θέση να γνωρίζει τις δυνατότητες και τα περιθώρια βελτίωσης δύο διαφορετικών αθλητών με κριτήριο την ηλικία τους.

Επίσης η επίγνωση των διαφορών στην δύναμη εντός νερού μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών είναι δυνατόν να συνεισφέρει στην ανάπτυξη του μακροχρόνιου σχεδιασμού της αθλητικής προπόνησης LTAD (Long- Term Athletes Development), ο οποίος πλέον αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη κάθε αθλητή (Lang & Light, 2010; Arifin et al., 2020). Ο μακροχρόνιος σχεδιασμός της αθλητικής προπόνησης LTAD πλαισιώνεται από την εφαρμογή του κατάλληλου ερεθίσματος, την κατάλληλη χρονική στιγμή, αποβλέποντας στην επιθυμητή επίδοση, την επιθυμητή χρονική στιγμή. Υπερβολικά μεγάλη επιβάρυνση για παρατεταμένο χρονικό διάστημα μπορεί να οδηγήσει σε υπερπροπόνηση και μείωση της απόδοσης. Αντίθετα ιδιαίτερα χαμηλή επιβάρυνση μπορεί να οδηγήσει σε στασιμότητα και μείωση της απόδοσης. Κατανοώντας τις διαφορές στην δύναμη εντός και εκτός νερού μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών κολυμβητών, ο προπονητής είναι σε θέση να αποφύγει την υπερπροπόνηση ή την στασιμότητα των αθλητών του παρέχοντας το απαραίτητο προπονητικό φορτίο κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, εξατομικευμένο για κάθε ηλικιακή ομάδα.

#### **1.4 Όρια και περιορισμοί της μελέτης**

Η δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης επιλέχθηκε να έχει διάρκεια 30 δευτερόλεπτα. Η δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 30s έχει εξετασθεί σε άνδρες και εφήβους κολυμβητές ως προς την εγκυρότητα και αξιοπιστία της (Morouco et al., 2011; Morouco et al., 2012; Amaro et al., 2014). Η δοκιμασία αυτή προσομοιάζει μια μέτρηση μέγιστης δύναμης εντός νερού και παρέχει αξιόπιστα και έγκυρα δεδομένα για την μέγιστη μυϊκή δύναμη. Ταυτόχρονα σχετίζεται σημαντικά με την κολυμβητική επίδοση του αθλητή. Το χρονικό διάστημα των 30s προσεγγίζει καλύτερα τον χρόνο στον οποίο καλύπτονται οι αποστάσεις 50 και 100 μέτρων στην αγωνιστική κολύμβηση. Αποστάσεις, στις οποίες η δύναμη και η αναερόβια ισχύς κατέχουν κυρίαρχο ρόλο. Όλες οι μετρήσεις επιλέχθηκε να πραγματοποιηθούν πρωινές ώρες προκειμένου να μην έχει προηγηθεί σημαντική μυϊκή δραστηριότητα που πιθανόν να επηρέαζε τα αποτελέσματα της δοκιμασίας.

Περιορισμό αποτελεί το διαφορετικό επίπεδο των κολυμβητών που συμμετείχαν στην μελέτη, απόρροια των διαφορών στην προπονητική, χρονολογική και βιολογική τους ηλικία. Οι κολυμβητές δεν προέρχονταν όλοι από τον ίδιο κολυμβητικό σύλλογο και κατά συνέπεια τα προπονητικά ερεθίσματα στα οποία είχαν

προηγουμένως εκτεθεί, πιθανόν να διέφεραν μεταξύ αθλητών διαφορετικών συλλόγων. Επίσης λόγω του μεγάλου όγκου του δείγματος, οι μετρήσεις δεν πραγματοποιήθηκαν την ίδια ημέρα για όλους τους κολυμβητές που συνιστούν το δείγμα.

## II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1 Μυϊκή Δύναμη και Κολύμβηση

Η δύναμη ορίζεται ως το φυσικό μέγεθος που προκαλεί την κίνηση ή την παραμόρφωση του σώματος στο οποίο εφαρμόζεται. Η δύναμη η οποία παράγεται από την συστολή των σκελετικών μυών του ανθρώπινου μυοσκελετικού συστήματος καλείται μυϊκή δύναμη. Οι Knuttgen & Kraemer (1987) ορίζουν την μυϊκή δύναμη ως την δύναμη που παράγεται από έναν μυ ή μια μυϊκή ομάδα σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα. Η μυϊκή δύναμη είναι καθοριστικό μέγεθος για την κολυμβητική επίδοση (Trappe & Pearson., 1994). Από την ανασκόπηση των Aspenes & Karlsen (2012) προκύπτει πως ένα πρόγραμμα ξηράς προπόνησης με στόχο την μέγιστη μυϊκή δύναμη επιδρά σημαντικά στην κολυμβητική επίδοση για το αγώνισμα των 50 μέτρων ελεύθερο. Η μυϊκή δύναμη ως μέγεθος δεν καθορίζει μόνο την επίδοση των αποστάσεων ταχύτητας αλλά και την επίδοση μεσαίων αποστάσεων στα 200m και 400m (Arsoniadis et al., 2016 & Arsoniadis et al., 2017). Ο μηχανισμός παραγωγής της μυϊκής δύναμης συνοψίζεται στον όρο «μυϊκή συστολή».

### 2.2 Μυϊκή Συστολή

Ο μηχανισμός της μυϊκής συστολής που εξηγεί την παραγωγή μυϊκής δύναμης είναι η ολίσθηση των νηματίων εντός του σαρκομερίου της μυϊκής ίνας (Cooke & Holmes, 1986). Η δύναμη παράγεται από επαναλαμβανόμενες συνδέσεις και αποσυνδέσεις των κεφαλών μυοσίνης II (παχιά νημάτια) με τα μόρια της ακτίνης (λεπτά νημάτια). Η επαναλαμβανόμενη αυτή μοριακή διεργασία είναι γνωστή και ως κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών.

Ένας μυς αποτελείται από πολυπύρρηνα κύτταρα που καλούνται μυϊκές ίνες. Εντός των μυϊκών ινών διακρίνονται τα μυϊκά ινίδια τα οποία οργανώνονται σε σαρκομερίδια. Τα σαρκομερίδια χαρακτηρίζονται από σημαντική οργάνωση και περιέχουν τα λεπτά νημάτια της ακτίνης και τα παχιά νημάτια της μυοσίνης. Προκειμένου να εκκινήσει ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών εντός των σαρκομεριδίων, απαιτείται ένα σήμα το οποίο εξασφαλίζεται από ένα δυναμικό ενέργειας στην κυτταρική μεμβράνη της ίνας. Η ηλεκτρική διέγερση μεταδίδεται διαμέσου των εγκάρσιων σωληναρίων (T), από την κυτταρική μεμβράνη στο σαρκοπλασματικό δίκτυο. Η διέλευση του σήματος κοντά από τους πλευρικούς

θύλακες του σαρκοπλασματικού δικτύου προκαλεί το άνοιγμα των διαύλων ασβεστίου στους θύλακες αυτούς. Καθώς οι διάυλοι ασβεστίου ανοίγουν, ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) διαχέονται ταχύτατα εντός του κυτταροδιαλύματος. Ελεύθερα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  εντός τους κυτταροδιαλύματος συνδέονται σε ειδική θέση στην τροπονίνη και απομακρύνουν τα μόρια της τροπομυοσίνης τα οποία εμποδίζουν την σύνδεση των μορίων της ακτίνης με τις κεφαλές της μυοσίνης. Ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών ξεκινά μόλις τα μόρια ακτίνης και μυοσίνης είναι ελεύθερα να προσδεθούν μεταξύ τους.

Η ολίσθηση των λεπτών νηματίων κατά μήκος των παχιών νηματίων διαμεσολαβείται από την υδρόλυση ενός μορίου ATP. Κάθε μόριο μυοσίνης II φέρει μια κεφαλή με δύο περιοχές σύνδεσης, μια για το μόριο της ακτίνης και μια για ένα μόριο ATP. Στην αρχή του κύκλου των εγκάρσιων γεφυρών η κεφαλή μυοσίνης είναι προσδεμένη μόνο με το νημάτιο ακτίνης. Μόλις ένα μόριο ATP προσδεθεί στην απομακρυσμένη από το νημάτιο ακτίνης κεφαλή της μυοσίνης τότε προκαλείται αλλαγή διαμόρφωσης των περιοχών που προσδέονται στην ακτίνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μυοσίνη να αποσυνδέεται από αυτή. Στην συνέχεια μια αλλαγή στο σχήμα της μυοσίνης προκαλεί μετατόπιση της κεφαλής 5nm κατά μήκος του νηματίου της ακτίνης. Ταυτόχρονα το μόριο ATP υδρολύεται σε διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και ανόργανο φωσφορικό (Pi). Τα ADP και Pi απελευθερώνονται από την μυοσίνη μόλις αυτή προσδεθεί στην ακτίνη. Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώνεται ένας κύκλος εγκάρσιων γεφυρών και επιτυγχάνεται η διολίσθηση των νηματίων.

Ο μηχανισμός της μυϊκής συστολής αναδεικνύει το σημαντικό ρόλο που κατέχουν στην παραγωγή μυϊκής δύναμης τα μόρια ATP, τα μεταβολικά μονοπάτια που επιλέγονται, η ενζυμική δραστηριότητα καθώς και η ικανότητα αγωγής ηλεκτρικών ώσεων για την ενεργοποίηση των μυϊκών ινών. Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν την ικανότητα παραγωγής μυϊκής δύναμης και εξηγούν τις διαφορές που παρατηρούνται στην μυϊκή δύναμη ανάμεσα σε παιδιά και ενήλικες.

## **2.2 Δύναμη και Κολυμβητική Επίδοση**

Η προώθηση των κολυμβητών και οι μηχανισμοί που την διέπουν απασχολεί τους επιστήμονες που ασχολούνται με την κολύμβηση και την βιομηχανική της, επί πολλά έτη. Διάφορες θεωρίες έχουν προταθεί και προσπαθούν να εξηγήσουν την κολυμβητική προώθηση (Θεώρημα Bernoulli, Θεωρία Δινών, Κωπηλατική κίνηση

χεριών κ.α.). Η επικρατέστερη πλέον θεωρία είναι πως οι κολυμβητές προωθούνται στο νερό αξιοποιώντας τον Τρίτο Νόμο του Νεύτωνα (δράση – αντίδραση). Ο νόμος αυτός ορίζει πως όταν ένα σώμα ασκεί μια δύναμη σε ένα άλλο τότε δέχεται από αυτό μια ίση και αντίθετη δύναμη. Καθώς οι κολυμβητές σαρώνουν με τα χέρια τους το νερό προς τα πίσω δέχονται από αυτό μια ίση και αντίθετη δύναμη που προωθεί το σώμα τους προς τα εμπρός. Ανατομικοί λόγοι ωστόσο, δεν επιτρέπουν στους κολυμβητές να ωθούν το νερό απευθείας προς τα πίσω με αποτέλεσμα η προωθητική δύναμη να είναι συνισταμένη των δυνάμεων ανύψωσης και οπισθέλκουσας αντίστασης (Maglischo 2003). Σύμφωνα με το Τρίτο Νόμο του Νεύτωνα όσο μεγαλύτερη η δύναμη που εφαρμόζει ο κολυμβητής τόσο μεγαλύτερη και η προωθητική δύναμη που δέχεται.

Η δύναμη συνεπώς είναι πιθανόν το πιο σημαντικό φυσικό μέγεθος για την κολυμβητική προώθηση και επηρεάζει άμεσα την επίδοση των κολυμβητών. Η κολυμβητική επίδοση σχετίζεται άμεσα με την μυϊκή δύναμη (Costill et al., 1986; Tanaka & Swensen, 1998; Girold et al., 2007). Ενώ η μυϊκή δύναμη σχετίζεται άμεσα με την μέγιστη ταχύτητα που οι κολυμβητές είναι σε θέση να επιτύχουν (Toussaint & Vervoorn, 1990; Tanaka & Swensen, 1998; Aspenes et al., 2009; Gola et al., 2014). Συγκεκριμένα η μελέτη των Gola et al. (2014) είχε σκοπό να εξετάσει την σχέση της μυϊκής δύναμης με την κολυμβητική ταχύτητα και τον ρόλο μεμονωμένων μυϊκών ομάδων στο ελεύθερο. Το δείγμα αποτελούσαν 16 κολυμβητές (ηλικία:  $23 \pm 1.2$  έτη, μάζα σώματος:  $78.3 \pm 4.0$  kg, ύψος:  $180.8 \pm 3.5$  cm). Η προπονητική ηλικία και το προπονητικό επίπεδο ήταν παρόμοιο και για τους 16 κολυμβητές. Μετρήθηκε η μέγιστη ισομετρική δύναμη για επιλεγμένες μυϊκές ομάδες των άνω και κάτω άκρων. Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε δυναμόμετρο προσαρμοσμένο σε ακίνητη επιφάνεια και συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό σύστημα συλλογής των δεδομένων. Προκειμένου να υπολογιστεί η κολυμβητική ταχύτητα, κάθε αθλητής εκτέλεσε δύο μέγιστης έντασης προσπάθειες 25 και 50 μέτρων σε ελεύθερο στυλ. Μεταξύ της προσπάθειας 25 m και 50 m υπήρχε αρκετός χρόνος ώστε οι αθλητές να ανανήψουν από τα συμπτώματα της κόπωσης. Οι δοκιμασίες κολύμβησης μέγιστης έντασης πραγματοποιήθηκαν σε πισίνα μήκους 25 m. Τα αποτελέσματα της μελέτης αναφέρουν σημαντική σχέση μεταξύ της κολυμβητικής ταχύτητας στα 25 και 50 μέτρα ελεύθερο με τις απόλυτες τιμές μέγιστης μυϊκής δύναμης για τους καμπήρες και εκτεινόντες του βραχίονα, ( $p < 0,05$ ). Επίσης μόνο για την απόσταση 25 μέτρων η κολυμβητική ταχύτητα συσχετίστηκε με την μέγιστη μυϊκή δύναμη των εκτεινόντων της άρθρωσης του ώμου.

Η κολυμβητική επίδοση σχετίζεται καλύτερα με την μυϊκή δύναμη των άνω άκρων (Sharp et al., 1982; Trappe & Pearson., 1994, Gola et al., 2014). Καθώς η δύναμη των μυών του βραχίονα αυξάνει, οι κολυμβητές επιτυγχάνουν υψηλότερες ταχύτητες κυρίως σε ότι αφορά τις μικρές αγωνιστικές αποστάσεις (Morouco et al., 2011). Η σχέση μεταξύ της κολυμβητικής επίδοσης και της δύναμης επιβεβαιώνεται και για μεσαίες αποστάσεις στην κολύμβηση (Sharp et al., 1982; Arsoniadis et al., 2016; Berryman et al., 2018). Σημαντικές μεταβολές στην δύναμη εντός και εκτός νερού, και οι οποίες έχουν επίδραση στην κολυμβητική επίδοση εμφανίζονται μετά από ένα χρόνο προπόνησης (Arsoniadis et al., 2016) ενώ το μήκος και η συχνότητα χεριάς δεν επηρεάζονται από τις μεταβολές αυτές (Aspenes et al., 2009; Arsoniadis et al., 2016).

Η σχέση της μυϊκής δύναμης με την κολυμβητική επίδοση αναφέρεται και για εφήβους κολυμβητές. Οι Garrido και συνεργάτες (2010) μελέτησαν την σχέση της επίδοσης νεαρών κολυμβητών, με την δύναμη εκτός νερού και τις δοκιμασίες που την αξιολογούν. Το δείγμα περιελάμβανε 28 κολυμβητές εθνικού επιπέδου εκ των οποίων 16 ήταν αγόρια και 12 κορίτσια (ηλικίας:  $12.01 \pm 0.56$  έτη, μάζα σώματος:  $41.23 \pm 7.67$  kg, ύψος:  $1.50 \pm 0.67$  m). Προπόνηση με στόχο την ανάπτυξη της μυϊκής δύναμης δεν είχε προηγηθεί για κανέναν από τους 28 κολυμβητές. Κάθε κολυμβητής εκτέλεσε σε δύο ξεχωριστές μέρες μια μέγιστη προσπάθεια 25 m και 50m κολύμβησης. Ανάμεσα στις δύο προσπάθειες παρεμβαλλόταν ενεργητική αποκατάσταση διάρκειας 15 min. Οι δοκιμασίες δύναμης για κάθε κολυμβητή ήταν ένα σετ εκτάσεις γονάτων και ένα σετ πιέσεις θώρακα σε επίπεδο πάγκο με ένταση 6ΜΑΕ (Μέγιστος Αριθμός Επαναλήψεων) και για τις δύο δοκιμασίες. Επίσης μετρήθηκε η επίδοση στο κατακόρυφο άλμα και στην πάσα στήθους με ιατρική μπάλα 1 kg και 3 kg. Όλοι οι κολυμβητές επανέλαβαν τις δοκιμασίες δύναμης έπειτα από 72 ώρες. Στα αποτελέσματα σημαντική συσχέτιση παρατηρείται ανάμεσα στην δύναμη που αξιολογείται σε όλες τις δοκιμασίες δύναμης (εκτός του κατακόρυφου άλματος) και την κολυμβητική επίδοση στα 25 m και 50 m.

Η μελέτη των Morais et al. (2019) είχε ως σκοπό να εξετάσει την επίδραση των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και της δύναμης εκτός νερού, στην ώθηση των άνω άκρων σε υψηλού επιπέδου εφήβους κολυμβητές. Στην μελέτη συμμετείχαν 18 έφηβοι κολυμβητές εκ των οποίων οι 12 ήταν αγόρια και τα 6 κορίτσια (ηλικίας  $15.81 \pm 1.62$  έτη). Όλοι ήταν μέλη προεθνικής ομάδας. Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν ήταν το ύψος, η μάζα σώματος, το μήκος του βραχίονα και η επιφάνεια της παλάμης. Η δοκιμασία δύναμης περιελάμβανε πιέσεις στήθους σε επίπεδο πάγκο. Η δοκιμασία αυτή συνδέεται με μυσ σημαντικούς για την ώθηση στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης (Perez-Olea et al., 2018). Για κάθε

κολυμβητή υπολογίστηκε το φορτίο που αντιστοιχεί σε 1ΜΑΕ ενώ στην συνέχεια κάθε κολυμβητής εκτέλεσε 3 επαναλήψεις με ελαφριά επιβάρυνση, 2 επαναλήψεις με μέτρια επιβάρυνση και 1 με μέγιστη επιβάρυνση. Ταυτόχρονα για όλες τις επαναλήψεις μετρήθηκε η ταχύτητα κίνησης με σύστημα μέτρησης (T-Force Measurement System, Ergotech, Murcia, Spain) προσαρμοσμένο στην μπάρα. Η ώθηση μέσα στο νερό προσδιορίστηκε έπειτα από 3 προσπάθειες κολύμβησης μέγιστης έντασης σε απόσταση 25 m και με την βοήθεια του εξοπλισμού Aquanex και υποβρύχιας βιντεοσκόπησης. Τα αποτελέσματα της μελέτης ανέδειξαν την σημασία της ανατομικής επιφάνειας της παλάμης και της μυϊκής δύναμης των άνω άκρων, στην ώθηση του χεριού και το κύκλο χεριάς στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, οι προπονητές και οι αθλητές οφείλουν να αυξάνουν την επιφάνεια της παλάμης και την δύναμη των άνω άκρων προκειμένου να βελτιώσουν την απόδοση.

#### **2.4 Διαφορές στην Μυϊκή Δύναμη μεταξύ Παιδιών και Ενηλίκων.**

Κατά την διάρκεια της ζωής το ανθρώπινο σώμα υφίσταται πληθώρα από μορφολογικές και βιοχημικές μεταβολές. Διαφορές μεταξύ διαφορετικών ηλικιακών ομάδων έχουν αναφερθεί για ένα σύνολο παραμέτρων που σχετίζονται με την φυσική κατάσταση και αθλητική επίδοση όπως τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, η προσαρμογή στην προπόνηση, η συχνότητα τραυματισμών κ.α. (Obert et al., 2003; Bar-Or & Rowland, 2004). Η μυϊκή δύναμη είναι μια φυσιολογική παράμετρος για την οποία αναφέρονται σημαντικές διαφορές μεταξύ παιδιών, εφήβων και ενηλίκων (Bar-Or, 1996; Dore et al., 2000; Dotan et al., 2012)

Σύμφωνα με τους (Blinkie and Sale., 1998) οι άνδρες χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη μυϊκή δύναμη από ότι τα παιδιά. Η πρόταση αυτή επιβεβαιώνεται από την μελέτη των Falk et al. (2009). Η μελέτη είχε ως σκοπό να εξετάσει διαφορές μεταξύ αγοριών και ανδρών, στην μυϊκή δύναμη και μυϊκή ενεργοποίηση κατά την διάρκεια μέγιστων ισομετρικών συστολών κάμψης και έκτασης του αγκώνα. Στην μελέτη συμμετείχαν 15 αγόρια (ηλικία:  $9.6 \pm 1.6$  έτη, μάζα σώματος:  $32.7 \pm 6.9$  kg, ύψος:  $137 \pm 0.09$  m) και 16 άνδρες ( $22.1 \pm 2.8$  έτη, μάζα σώματος:  $81.7 \pm 7.2$  kg, ύψος:  $1.80 \pm 0.07$  m) εκ των οποίων κανείς δεν ήταν αθλητής σε αγωνιστικό επίπεδο. Μετρήθηκαν το ύψος από όρθια και καθιστή θέση, η μάζα σώματος, το ποσοστό λίπους για κάθε αθλητή καθώς και η εγκάρσια επιφάνεια του μυός (CSA). Για την μέτρηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης χρησιμοποιήθηκε το δυναμόμετρο Biodex System 3 torque dynamometre (Biodex, Shirley, N.Y.). Κάθε αθλητής



εκτέλεσε 2 σετ 5 μέγιστων ισομετρικών συστολών με διάλειμμα 30 δευτερολέπτων ανάμεσα σε κάθε επανάληψη και διάλειμμα τουλάχιστον 2 λεπτών ανάμεσα στα σετ. Ηλεκτρομυογράφημα (EMG) χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να προσδιοριστεί η ενεργοποίηση των μυών. Στα αποτελέσματα της μελέτης οι άνδρες εμφανίζουν σημαντικά μεγαλύτερη δύναμη από ότι τα παιδιά στην δοκιμασία ισομετρικής έκτασης (άνδρες:  $55.0 \pm 10.1$  Nm, παιδιά:  $18.4 \pm 5.7$  Nm,  $p < 0.001$ ) και κάμψης (άνδρες:  $68.5 \pm 11.0$  Nm, παιδιά:  $19.5 \pm 5.8$  Nm,  $p < 0.001$ ) του αγκώνα. Επιπλέον οι άνδρες εμφανίζουν μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης της μέγιστης δύναμης από ότι τα παιδιά κατά την κάμψη (άνδρες:  $652 \pm 154$  Nm\*s<sup>-1</sup>, παιδιά:  $141 \pm 53$  Nm\*s<sup>-1</sup>,  $p < 0.001$ ) και έκταση (άνδρες:  $445 \pm 113$  Nm\*s<sup>-1</sup>, παιδιά:  $113 \pm 32$  Nm\*s<sup>-1</sup>,  $p < 0.001$ ) του αγκώνα.

Στην μελέτη των Martin et al. (2015) συμμετείχαν 13 αγόρια ηλικίας ( $11.6 \pm 0.1$  έτη) και 8 άνδρες ηλικίας ( $25.6 \pm 1.5$  έτη). Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν αθλητές προερχόμενοι από διαφορετικά αθλήματα και ελεύθεροι τραυματισμών. Μετρήθηκε η μέγιστη εθελοντική ισομετρική συστολή (MVCs) του προσαγωγού του αντίχειρα στο δεξί χέρι, καθώς και η μέγιστη ενεργοποίηση του μυός κατά την συστολή μέσω μαγνητικής διέγερσης (MVA). Η εγκάρσια επιφάνεια του προσαγωγού του αντίχειρα προσδιορίστηκε με υπερηχογράφημα β-επιπέδου. Η εγκάρσια επιφάνεια του μυός όπως αυτή μετράται από τον υπέρηχο χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να προσδιοριστεί η ειδική δύναμη για κάθε συμμετέχοντα. Η MVCs μετρήθηκε  $66.8 \pm 6.2$  έναντι  $111.0 \pm 4.5$  N ( $p < 0.001$ ), για παιδιά και άνδρες αντίστοιχα ενώ η MVA  $85.0 \pm 2.7$  έναντι  $94.8 \pm 1.4$  % ( $p < 0.05$ ) για τα παιδιά και τους άνδρες αντίστοιχα. Η ειδική δύναμη όπως αυτή προσδιορίστηκε από την εγκάρσια επιφάνεια του μυός ήταν μικρότερη στα παιδιά από ότι στους άνδρες συμμετέχοντες ( $46.8 \pm 3.6$  έναντι  $56.9 \pm 2.5$  N/cm<sup>2</sup>,  $p < 0.05$ ). Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές στην μυϊκή δύναμη μεταξύ αγοριών και ανδρών.

#### **2.4.1. Φυσιολογικοί παράγοντες**

##### Τύπος μυϊκών ινών

Στους σκελετικούς μυς του ανθρώπου μπορούμε να διακρίνουμε δύο είδη μυϊκών ινών. Σύμφωνα με την ταχύτητα συστολής διακρίνουμε τις ίνες βραδείας συστολής (ST) και τις ίνες ταχείας συστολής (FT). Ενώ σύμφωνα με τα βιοχημικά χαρακτηριστικά τους διακρίνουμε τις τύπου I και τύπου II αντίστοιχα (Maglisco 2003). Οι ίνες βραδείας συστολής εμφανίζουν ανθεκτικότητα στην κόπωση και

αυξημένη ικανότητα αερόβιου μεταβολισμού. Έχουν μειωμένη ωστόσο ικανότητα παραγωγής δύναμης και αναερόβιας ισχύος. Στον αντίποδα οι ίνες ταχείας συστολής συστέλλονται πολύ πιο γρήγορα, έχουν αυξημένη ικανότητα παραγωγής δύναμης και αναερόβιας ισχύος, ενώ είναι περισσότερο ευάλωτες στην εμφάνιση μυϊκού καμάτου. Το ποσοστό συμμετοχής των δύο τύπων μυϊκών ινών στην δομή ενός μυός συνδέεται άμεσα με την ικανότητα παραγωγή μυϊκής δύναμης (Maughan & Nimmo, 1984). Μύες στους οποίους κυριαρχούν οι ίνες ταχείας συστολής παράγουν μεγαλύτερη μυϊκή δύναμη έναντι των μυών στους οποίους κυριαρχούν οι ίνες βραδείας συστολής (Tesch & Karlsson, 1978).

Οι περισσότεροι μύες περιέχουν και τους δύο τύπους μυϊκών ινών (Saltin et al., 1977). Η αναλογία ωστόσο των δύο τύπων μυϊκών ινών για τον ίδιο μυ δύναται να διαφέρει μεταξύ διαφορετικών ατόμων με κριτήριο την προπονητική ηλικία, το γονότυπο, τη βιολογική ηλικία, και το είδος της προπόνησης (Glenmark 1992; Kriketos et al., 1997). Συγκεκριμένα προπόνηση δύναμης και ταχύτητας φαίνεται να αυξάνει την ικανότητα ταχείας συστολής των μυϊκών ινών τύπου II (Teshch & Larsson, 1982). Οι Pisot και οι συνεργάτες (2004) μελέτησαν 187 παιδιά ηλικίας 9 ετών ως προς τα χαρακτηριστικά της μυϊκής συστολής στους μύες δικέφαλο βραχιόνιο, ιερωνοτιαίο, δικέφαλο μηριαίο και έξω πλατύ ραχιαίο μυ. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το μιογράφημα ανίχνευσης συσταλτικών ιδιοτήτων (TMG). Κάθε παιδί εκτέλεσε μια δοκιμασία ταχύτητας, απόστασης 14 μέτρων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δοκιμασίας ταχύτητας τα παιδιά διακρίθηκαν σε 3 ομάδες. Στην πρώτη ήταν οι 10 πιο γρήγοροι χρόνοι για την δοκιμασία ταχύτητας, στην δεύτερη οι 10 πιο αργοί χρόνοι και στην τρίτη όλα τα υπόλοιπα παιδιά. Τα παιδιά που άνηκαν στην ομάδα των 10 πιο γρήγορων χρόνων εμφάνιζαν χαρακτηριστικά (μικρότερος χρόνος ενεργοποίησης, ταχύτερη συστολή) τα οποία συμφωνούν με ένα υψηλότερο ποσοστό ινών ταχείας συστολής στους υπό μελέτη μύες. Γίνεται συνεπώς αντιληπτό, πως η αναλογία μυϊκών ινών τύπου II μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα του μυός για παραγωγή δύναμης, καθώς επίσης και ότι προπόνηση δύναμης μπορεί να επηρεάσει την αναλογία μυϊκών ινών τύπου II όχι μόνο σε ενήλικες, αλλά και στα παιδιά.

Μελέτες υποστηρίζουν πως το ποσοστό συμμετοχής των μυϊκών ινών τύπου I και τύπου II σε ένα μυ δεν διαφέρει ανάλογα με την ηλικία (Brooke & Engel, 1969; Vogler & Bove, 1985). Νεότερες ωστόσο μελέτες καταλήγουν πως τα παιδιά αποτελούνται από ένα υψηλότερο ποσοστό μυϊκών ινών βραδείας συστολής (ST) και χαμηλότερο ποσοστό μυϊκών ινών ταχείας συστολής (FT) σε σχέση με τους ενήλικες (Kaczor et al 2005; Ratel et al., 2006). Δεδομένα από μυϊκές βιοψίες για τον

δικέφαλο βραχιόνιο σε παιδιά προσχολικής και σχολικής ηλικίας καταδεικνύουν υψηλό ποσοστό μυϊκών ινών τύπου I (54%) έναντι του μικρότερου ποσοστού (42%) που ανιχνεύεται σε άνδρες (Simunic et al., 2017). Οι Armatas και συνεργάτες (2010) μελέτησαν την κόπωση και την αποκατάσταση σε άνδρες και παιδιά έπειτα από μέγιστες ισομετρικές προσπάθειες των μυών δικέφαλος μηριαίος, έξω πλατύς και έσω πλατύς. Στην μελέτη συμμετείχαν 13 αγόρια ( $10.0 \pm 0.8$  έτη) και 13 άνδρες ( $26.1 \pm 4.2$  έτη). Μικρότερα επίπεδα κόπωσης και ταχύτερη αποκατάσταση εμφάνιζαν τα αγόρια έναντι των ανδρών. Οι διαφορές αυτές σύμφωνα με τους Armatas et al. (2010) αποδίδονται στην υψηλότερη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στους άνδρες και την ταχύτερη ανασύνθεση της φωσφοκρεατίνης PCr στα παιδιά. Οι παράγοντες αυτοί δεν ερμηνεύονται από τις διαφορές στην μυϊκή μάζα, αλλά πιθανόν ερμηνεύονται από τις μυϊκές ίνες που χρησιμοποιούνται. Τα ευρήματα της μελέτης υποδεικνύουν πως πιθανόν οι άνδρες διακρίνονται από ένα μεγαλύτερο ποσοστό των ευαίσθητων στην κόπωση μυϊκών ινών τύπου II και υψηλότερα επίπεδα επιστράτευσης των ινών αυτών έναντι των παιδιών. Το υψηλότερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II των ανδρών ερμηνεύει σε μεγάλο βαθμό τις διαφορές στην μυϊκή δύναμη μεταξύ παιδιών και ενηλίκων (Dotan et al., 2012).

#### Επιστράτευση κινητικών μονάδων

Το ηλεκτρικό σήμα που διαταράσσει το δυναμικό ηρεμίας της κυτταρικής μεμβράνης του μυϊκού κυττάρου προέρχεται από έναν κινητικό νευρώνα. Ένας μόνο κινητικός νευρώνας είναι δυνατόν να νευρώνει πολλές μυϊκές ίνες. Ο κινητικός νευρώνας μαζί με το σύνολο των μυϊκών ινών που νευρώνει καλούνται κινητική μονάδα. Μόλις ένα δυναμικό ενέργειας καταφτάνει στις νευρικές απολήξεις του νευρικού κυττάρου τότε όλες οι μυϊκές ίνες που νευρώνονται από τον νευρώνα και συνιστούν την κινητική μονάδα συστέλλονται. Ο αριθμός των κινητικών μονάδων που επιστρατεύονται καθορίζει το μέτρο της μυϊκής δύναμης που θα παράγει η μυϊκή συστολή (Epoika 1988). Ο αριθμός των κινητικών μονάδων που επιστρατεύονται για μια συγκεκριμένη δραστηριότητα χαρακτηρίζεται ως πρότυπο επιστράτευσης των κινητικών μονάδων. Το πρότυπο αυτό δύναται να διαφέρει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της δραστηριότητας, την προπονητική ηλικία του ατόμου και την ωρίμανση του νευρικού και μυοσκελετικού συστήματος. Καθώς αυξάνει ο αριθμός των κινητικών μονάδων που επιστρατεύονται για μια συγκεκριμένη δραστηριότητα τόσο αυξάνει και η μυϊκή δύναμη που παράγεται.

Η ταχύτητα συστολής και η μέγιστη μυϊκή δύναμη κατά την διάρκεια μιας μέγιστης εθελοντικής προσπάθειας είναι μικρότερη στα παιδιά από ότι στους ενήλικες (Blinkie 1989; Round et al., 1999). Οι διαφορές μεταξύ παιδιών και ενηλίκων στην μυϊκή δύναμη οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στο πρότυπο επιστράτευσης των κινητικών μονάδων (Asmmusen 1955; Dotan et al., 2012). Πρώτοι οι Belanger & McComas (1989) απέδειξαν πως τα μικρότερα παιδιά χαρακτηρίζονται από χαμηλότερα επίπεδα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων σε σχέση με τους έφηβους και άνδρες αθλητές. Τα συμπεράσματα των Belanger και McComas επιβεβαιώνουν νεότερες μελέτες (O' Brien et al., 2009; O' Brien et al., 2010). Έχει προταθεί πως τα παιδιά είναι λιγότερο ικανά να ενεργοποιήσουν κινητικές μονάδες μυϊκών ινών τύπου II σε σχέση με τους ενήλικους (Halin et al., 2002; Dotan et al., 2012). Η υπόθεση πως τα παιδιά επιστρατεύουν τις μυϊκές ίνες τύπου II σε μικρότερο βαθμό από ότι τους ενήλικες απαιτεί περαιτέρω μελέτη. Ωστόσο υπάρχουν μελέτες που ενισχύουν την υπόθεση αυτή. Μελέτες του μεταβολισμού κατά την άσκηση και της ενζυμικής δραστηριότητας στο κυτταρόπλασμα της μυϊκής ίνας σε παιδιά και ενήλικες, οδήγησαν στο συμπέρασμα πως τα παιδιά χαρακτηρίζονται από μικρότερη αναερόβια ικανότητα και μεγαλύτερη αερόβια ικανότητα από ότι οι ενήλικες (Berg et al, 1986; Kaczor et al., 2005). Οι διαφορές αυτές εξηγούνται εν μέρει από μικρότερα επίπεδα ενεργοποίησης των μυϊκών ινών τύπου II στα παιδιά (Dotan et al., 2012). Πράγματι σε αντίθεση με τους άνδρες στα παιδιά οι μυϊκές ίνες τύπου I έχουν ίδια ή και μεγαλύτερη διάμετρο από τις μυϊκές ίνες τύπου II. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει μικρότερα επίπεδα ενεργοποίησης των μυϊκών ινών τύπου II και υψηλότερα επίπεδα ενεργοποίησης των μυϊκών ινών τύπου I στα παιδιά (Vogler & Bove., 1985).

## Κόπωση

Η κόπωση ορίζεται ως η ασκησιογενής μείωση της ικανότητας ενός μυός να παράγει έργο. Μελέτες έχουν συσχετίσει την εμφάνιση της κόπωσης με μείωση στην ικανότητα παραγωγής μέγιστης δύναμης (Enoka & Stuart 1992; Taylor et al., 2000). Η κόπωση διακρίνεται σε κεντρική και περιφερική κόπωση με κριτήριο τις αιτίες που την προκαλούν και τα συμπτώματα που την συνοδεύουν. Στην αδυναμία παραγωγής αναερόβιας ισχύος συμβάλλει περισσότερο η εμφάνιση περιφερικού καμάτου καθώς οι μηχανισμοί που οδηγούν σε περιφερικό κάματο σχετίζονται καλύτερα με την βραχυχρόνια και υψηλής ισχύος άσκηση. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι η αδυναμία σύζευξης διέγερσης – συστολής, έλλειμμα στα ενεργειακά αποθέματα ATP εντός του κυττάρου και πηγών ανασύνθεσης του, αυξημένη συγκέντρωση κατιόντων

υδρογόνου ( $H^+$ ) εντός του σαρκειλήματος και επακόλουθη μείωση του κυτταροπλασματικού pH (Davis et al., 2010; Bishop et al., 2012).

Τα αγόρια είναι πιο ανθεκτικά στην κόπωση από ότι οι ενήλικες (Ratel et al, 2006; Dìpla et al., 2009). Η μεγαλύτερη ικανότητα των αγοριών να αντιστέκονται στην κόπωση οφείλεται στα μεταβολικά μονοπάτια και τις μυϊκές ίνες που χρησιμοποιούν τα αγόρια σε άσκηση μέγιστης έντασης. Τα αγόρια έχουν μεγαλύτερη αερόβια ικανότητα από τους ενήλικους και χρησιμοποιούν περισσότερο οξειδωτικά συστήματα παρά το μονοπάτι της γλυκόλυσης (Ratel et al., 2006). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη συγκέντρωση των μεταβολικών προϊόντων που ευθύνονται για την εμφάνιση περιφερικού μυϊκού καμάτου. Παράλληλα με τον μεταβολισμό, η σύσταση των μυών σε μυϊκές ίνες, κατέχει σημαντικό ρόλο στην ανθεκτικότητα που εμφανίζουν τα αγόρια απέναντι στην κόπωση. Στα αγόρια κυριαρχούν οι τύπου I μυϊκές ίνες οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη αερόβια ικανότητα και αντοχή στην κόπωση από ότι οι τύπου II μυϊκές ίνες που είναι περισσότερες στους ενήλικες (Dotan et al., 2012). Η μεγαλύτερη αντοχή των αγοριών στην κόπωση ερμηνεύει και την ικανότητα των παιδιών να διατηρούν προσπάθειες μέγιστης δύναμης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τους άνδρες (Ratel et al., 2006).

### Ορμονική δράση

Η λειτουργία του ανθρωπίνου οργανισμού, ρυθμίζεται από την δράση πολλών ορμονών. Οι ορμόνες ως χημικοί αγγελιοφόροι μεταφέρουν μέσω της κυκλοφορίας του αίματος, σήματα σημαντικά για την λειτουργία γειτονικών ή πιο απομακρυσμένων κυττάρων (Lehniger, 2011). Η ορμονική δράση μπορεί να στοχεύει σε πολλούς διαφορετικούς ιστούς στο σώμα, όπως για παράδειγμα ο μυϊκός ιστός (Hill et al., 1989; Ishii 1989). Η ορμόνη τεστοστερόνη είναι ένα ανδρογόνο στεροειδές, όσο και αναβολικό στεροειδές με δράση σε πολλούς διαφορετικούς ιστούς όπως ο εγκέφαλος και ο μυϊκός ιστός (Stryer, 2012). Η τεστοστερόνη συνδέεται άμεσα με την μυϊκή δύναμη και μυϊκή μάζα (Griggs et al., 1989). Διαφορές στην μυϊκή δύναμη μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών εξηγούνται εν μέρει από τις διαφορές στην συγκέντρωση της τεστοστερόνης στο αίμα (Parker et al., 1990; Hansen et al., 1999). Οι Hansen et al. (1999) εξέτασαν την μυϊκή δύναμη σε σχέση με την συγκέντρωση της τεστοστερόνης και το προπονητικό επίπεδο, κατά την ανάπτυξη 98 ποδοσφαιριστών ηλικίας 10-12 ετών. Οι 98 ποδοσφαιριστές διακρίθηκαν με βάση το επίπεδο και την προπονητική ηλικία τους σε δύο ομάδες. Η

ομάδα αθλητών υψηλού επιπέδου, περιελάμβανε 48 αγόρια (ηλικία:  $11.9 \pm 0.5$  έτη), ενώ η ομάδα χαμηλότερου επιπέδου 50 αγόρια (ηλικία  $11.6 \pm 0.7$  έτη). Οι συμμετέχοντες μετρήθηκαν ως προς την ηλικία, το ύψος, την μάζα σώματος, τον δείκτη μάζα σώματος (BMI), τον όγκο των όρχεων και το πάχος του δέρματος για τις δερματοπτυχές υπερλαγώνιο, υποπλατιαία και τρικεφάλου, δικεφάλου στην βραχιόνια επιφάνεια. Η συγκέντρωση της τεστοστερόνης και του αυξητικού παράγοντα IGF-I (Insulin-like Growth Factor- 1) υπολογίστηκαν μέσω ανάλυσης δειγμάτων αίματος που ελήφθησαν από παρακέντηση περιφερικής φλέβας. Οι μετρήσεις δύναμης περιελάμβαναν μια μέγιστη προσπάθεια στο μήκος χωρίς φόρα και μια μέγιστη ισομετρική συστολή των μυών που εκτείνουν το γόνατο, των μυών της πλάτης, των κοιλιακών μυών και των μυών του καρπού, ξεχωριστά. Για κάθε αθλητή πραγματοποιήθηκαν 3 τεστ με μεσοδιάστημα 0.5 έτη μεταξύ τους. Ορισμένοι αθλητές πραγματοποίησαν και 4<sup>ο</sup> τεστ, 0.5 έτος έπειτα από το 3<sup>ο</sup> τεστ. Κάθε τεστ περιελάμβανε όλες τις παραπάνω μετρήσεις. Τα αποτελέσματα της μελέτης αναφέρουν αύξηση 15-40% για τις δοκιμασίες μέγιστης ισομετρικής συστολής κατά την διάρκεια των δύο χρόνων, ενώ για το άλμα χωρίς φόρα, αναφέρεται βελτίωση 15% για τους αθλητές υψηλού επιπέδου και 10% για τους αθλητές χαμηλότερου επιπέδου. Στα ευρήματα της μελέτης αναφέρεται επίσης σημαντική σχέση μεταξύ της βελτίωσης στην μυϊκή δύναμη και τις μεταβολές στην συγκέντρωση της τεστοστερόνης κατά την διάρκεια των 2 ετών.

Οι Round et al. (1999) επισημαίνουν ότι η αύξηση της τεστοστερόνης στο πλάσμα του αίματος ξεκινά ένα χρόνο πριν την επίτευξη του μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος στα αγόρια. Στην συνέχεια αυξάνεται σταθερά έως ότου φτάσει τα επίπεδα τεστοστερόνης ενός φυσιολογικού ενήλικα άνδρα. Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης του αναστήματος για τα αγόρια υπολογίζεται περίπου στην ηλικία των 14 ετών. Ως εκ τούτου από την παιδική ηλικία ως και την ενηλικίωση μεσολαβούν σημαντικές μεταβολές στην συγκέντρωση της τεστοστερόνης, με άμεση επίδραση στην μυϊκή δύναμη.

#### **2.4.2 Βιομηχανικοί παράγοντες**

Εγκάρσια επιφάνεια μυών

Η δύναμη που παράγεται από την συστολή ενός μυός σχετίζεται με το μέγεθος του (Rogers & Berger, 1974). Η εγκάρσια επιφάνεια των μυών και όχι ο συνολικός όγκος τους σχετίζεται με την δύναμη που μπορούν να παράγουν (Ikai & Fukunaga, 1968;

Jones et al., 2008). Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να παράγει ένας μυς υπολογίζεται από 16-100 N/cm<sup>2</sup> εγκάρσιας επιφάνειας (Clancy & Hogan, 1997; Ralston, Inman & Strait, 1947). Η φυσιολογική εγκάρσια επιφάνεια διατομής του μυός (PCSA) προσδιορίζει τον αριθμό των ινών που περιέχονται στον μυ (Brand & Hollister, 1993). Όσο μεγαλύτερη η PCSA ενός μυός τόσο περισσότερες μυϊκές ίνες διαθέτει, και άρα τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός των εγκάρσιων γεφυρών που θα συμμετέχουν στην μυϊκή συστολή με αποτέλεσμα τόσο μεγαλύτερη η μυϊκή δύναμη που παράγεται.

Οι O' Brien et al. (2009) μελέτησαν τις in vivo διαφορές στην ειδική δύναμη μεταξύ παιδιών και ενηλίκων. Στην μελέτη συμμετείχαν 10 αγόρια (ηλικία: 8.9 ± 0,7 έτη), 10 κορίτσια (ηλικία: 9.3 ± 10.8 έτη), 10 γυναίκες (ηλικία: 27.4 ± 4.2 έτη) και 10 άνδρες (ηλικία: 28.2 ± 3.6 έτη). Η μέγιστη δύναμη του τένοντα του τετρακεφάλου μυός υπολογίστηκε έπειτα από δοκιμασία έκτασης γόνατος με ένταση ΙΜΑΕ, λαμβάνοντας υπόψη και τα ευρήματα του ηλεκτρομυογραφήματος (ΗΜΓ). Η ειδική δύναμη υπολογίστηκε συναρτήσει της PCSA όπως αυτή προσδιορίστηκε από την τομογραφία μαγνητικού συντονισμού (MRI). Διαπιστώθηκε πως η μέγιστη δύναμη του τετρακεφάλου μυός καθώς και η PCSA ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στους άνδρες (11,4 kN, 214 cm<sup>2</sup>) από ότι στα αγόρια (5,2 kN, 99 cm<sup>2</sup>). Η μεγαλύτερη PCSA των ανδρών οφείλεται στην ωρίμανση του μυοσκελετικού συστήματος, την επίτευξη της μέγιστης μυϊκής μάζας αλλά και στην επαγόμενη από την προπόνηση υπερτροφία των μυών. Στα παιδιά αντίθετα η μυϊκή υπερτροφία δεν φαίνεται να συμβάλλει σημαντικά στην μυϊκή δύναμη (Rians et al., 1987; Sale 1989).

#### Ανατομική επιφάνεια παλάμης

Η κολυμβητική προώθηση εξαρτάται από την δύναμη έλξης εντός νερού καθώς τα χέρια του κολυμβητή κινούνται πίσω και διαγώνια (Barbosa et al., 2010). Οι κινήσεις των χεριών ευθύνονται για το 85-90% της κολυμβητικής προώθησης (Toussaint et al., 2000). Η επιφάνεια της παλάμης δύναται να μεταβάλει την δύναμη έλξης εντός νερού (Marinho et al., 2009, 2010; Morais et al., 2019). Οι Morais et al. (2019) προτείνουν ότι η ανατομική επιφάνεια της παλάμης συνδέεται σημαντικά με την δύναμη ώθησης εντός νερού. Επίσης αναφέρουν ότι σε συνδυασμό με την δύναμη των άνω άκρων αποτελεί σημαντικό παράγοντα πρόβλεψης της κολυμβητικής επίδοσης.

Οι κολυμβητές προκειμένου να αυξήσουν με προπόνηση κολύμβησης την δύναμη των άνω άκρων, συχνά χρησιμοποιούν πτερύγια χεριών. Οι Barbosa et al. (2013) μελέτησαν την επίδραση διαφορετικού μεγέθους κολυμβητικών πτερυγίων για τα χέρια, στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης. Στην μελέτη συμμετείχαν 14 άνδρες κολυμβητές (ηλικία:  $20.0 \pm 3.7$  έτη, επίδοση 100 m ελεύθερο:  $53.70 \pm 0.87$  s). Οι κολυμβητές εκτέλεσαν δύο μέγιστης έντασης προσπάθειες προσδεμένης κολύμβησης 10 δευτερολέπτων και δύο μέγιστης έντασης προσπάθειες ελεύθερης κολύμβησης σε απόσταση 25 m. Υπολογίστηκε η μέγιστη δύναμη, ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης δύναμης, η μέση δύναμη, η ώθηση, ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης και η διάρκεια χεριάς για την δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης. Από την δοκιμασία 25 m ελεύθερης κολύμβησης υπολογίστηκε η συχνότητα χεριάς, το μήκος χεριάς και η κολυμβητική ταχύτητα. Όλα τα τεστ πραγματοποιήθηκαν 5 φορές με την χρήση διαφορετικού μεγέθους κολυμβητικού πτερυγίου κάθε φορά. Στον **Πίνακα 2.1** συνοψίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης, ως ποσοστό βελτίωσης κάθε παραμέτρου για τα διάφορα μεγέθη κολυμβητικών πτερυγίων για τα χέρια σε σχέση με την ελεύθερη κολύμβηση.

**Πίνακας 2.1.** Ποσοστό μεταβολής των παραμέτρων δύναμης και κολυμβητικής ταχύτητας ανάμεσα στην κολύμβηση με πτερύγια χεριών και την ελεύθερη κολύμβηση. Δεδομένα Barbosa et al. (2013).

<b>Ποσοστό Μεταβολής</b>			
<b>Μέγεθος Πτερυγίων</b>	352cm	462cm	552cm
Μέγιστη Δύναμη	11.5%	16.7%	21.7%
Ρυθμός Ανάπτυξης Δύναμης	-	-	11.3%
Χρόνος Επίτευξης Μέγιστης Δύναμης	11.1%	15.9%	22.1%
Μέση Δύναμη	5.1%	7.5%	-
Ωθηση	15.2%	22.4%	30.9%
Κολυμβητική Ταχύτητα	2.2%	3.2%	3.7%



Η μέγιστη δύναμη και η κολυμβητική ταχύτητα αυξάνονται σημαντικά καθώς αυξάνεται το μέγεθος των κολυμβητικών πτερυγίων. Τα αποτελέσματα των Barbosa et al. (2013) σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των Morais et al. (2019) υποδηλώνουν πως καθώς αυξάνεται η ανατομική επιφάνεια της παλάμης των κολυμβητών, ανάλογα θα αυξάνεται και η δύναμη έλξης εντός νερού. Το μέγεθος σώματος αυξάνει από την παιδική ηλικία ως και την ενηλικίωση και ως εκ τούτου οι μεγαλύτεροι σε ηλικία αθλητές πλεονεκτούν έναντι των μικρότερων ως προς την ανατομική επιφάνεια της παλάμης και την προκύπτουσα δύναμη εντός νερού.

## 2.5 Προσδεμένη Κολύμβηση

Στην κολύμβηση μπορούμε να διακρίνουμε την δύναμη εντός νερού και την δύναμη εκτός νερού. Η δύναμη που ασκεί ένας κολυμβητής εντός νερού είναι καθοριστικός παράγοντας για την κολυμβητική επίδοση (Barbosa et al., 2010). Διαθέτουμε πολλά πρωτόκολλα και όργανα για να μετράμε την δύναμη εκτός νερού. Σημαντικό είναι ωστόσο να μπορούμε να μετρήσουμε και να προσδιορίσουμε, την δύναμη εντός νερού, καθώς η εφαρμογή δυνάμεων και τα αποτελέσματα τους διαφέρουν στο υγρό στοιχείο λόγω αυξημένης πυκνότητας και αυξημένων αντιστάσεων σε σχέση με τον αέρα (Neiva et al., 2011). Η προσδεμένη κολύμβηση μας προσφέρει την δυνατότητα να μετράμε την δύναμη των κολυμβητών εντός νερού, προσομοιώνοντας την αγωνιστική προσπάθεια και για τα 4 στυλ. Η επίδοση για τα 50 και 100 μέτρα ελεύθερο έχει συσχετιστεί με τη μέγιστη δύναμη όπως αυτή μετράται από μια δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 10 δευτερολέπτων (Loturco et al., 2015). Οι Morouco et al. (2011) μελέτησαν την σχέση της κολυμβητικής επίδοσης για διάφορες αποστάσεις στα τέσσερα αγωνιστικά στυλ με την δύναμη στην προσδεμένη κολύμβηση. Στην ίδια μελέτη διερευνήθηκε αν οι σχετικές τιμές της παραγόμενης δύναμης καθορίζουν καλύτερα την κολυμβητική επίδοση από ότι οι απόλυτες τιμές. Το δείγμα αποτελούσαν 20 άνδρες (ηλικίας  $19.0 \pm 2.88$  έτη, ύψος  $181.4 \pm 7.09$  cm και μάζα σώματος  $74.8 \pm 6.42$  kg) και 12 γυναίκες (ηλικίας  $15.3 \pm 1.68$  έτη, ύψος  $166.1 \pm 5.2$  cm και μάζα σώματος  $54.5 \pm 6.07$  kg). Κάθε ένας από τους συμμετέχοντες πραγματοποίησε μια μέγιστη προσπάθεια προσδεμένης κολύμβησης 30 δευτερολέπτων. Οι αγωνιστικές ταχύτητες προσδιορίστηκαν για τις αποστάσεις 50, 100 και 200 μέτρων μέσω των επίσημων χρόνων από αγώνες που πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα 25 ημερών από το τεστ. Σημαντική σχέση μεταξύ της παραγόμενης δύναμης και της ταχύτητας παρατήρησαν και για τα τέσσερα κολυμβητικά στυλ στην απόσταση 50 m. Το τεστ προσδεμένης κολύμβησης 30

δευτερολέπτων αποτελεί αξιόπιστο και έγκυρο τεστ για την εκτίμηση της κολυμβητικής επίδοσης στα σπριντ (Morouco et al., 2011 & Morouco et al., 2012). Σε μεταγενέστερη μελέτη των Morouco et al. (2014) συμμετείχαν 34 άνδρες κολυμβητές. Η μελέτη είχε σκοπό να συγκρίνει τα χαρακτηριστικά της χεριάς και τις φυσιολογικές αποκρίσεις μεταξύ της ελεύθερης κολύμβησης και προσδεμένης κολύμβησης. Επίσης σκοπός της ήταν να εξετάσει την επίδραση της μυϊκής δύναμης στην επίδοση στις μικρές αποστάσεις. Κάθε κολυμβητής εκτέλεσε μια μέγιστη προσπάθεια προσδεμένης κολύμβησης διάρκειας 30 δευτερολέπτων και μια μέγιστη προσπάθεια ελεύθερης κολύμβησης απόστασης 50 m. Οι διαφορές ανάμεσα στα χαρακτηριστικά της χεριάς και τις φυσιολογικές αποκρίσεις κατά την προσδεμένη και ελεύθερη κολύμβηση δεν ήταν σημαντικές. Η δύναμη και η συχνότητα χεριάς στην δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης σχετίζονταν ωστόσο σημαντικά με την επίδοση στα 50m ελεύθερης κολύμβησης. Σύμφωνα με τους συγγραφείς της μελέτης η προσδεμένη κολύμβηση προσφέρεται ως ένα αξιόπιστο εργαλείο στα χέρια των προπονητών προκειμένου να αντιληφθούν ελλείμματα στην δύναμη των αθλητών τους και να βελτιώσουν την επίδοση στις μικρές αποστάσεις. Στις μελέτες των Morouco et al. (2011, 2012) για την δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης χρησιμοποιήθηκε ειδικό καλώδιο μήκους 5 μέτρων και προσαρμοσμένο υπό γωνία  $5,7^{\circ}$  από την επιφάνεια του νερού. Η μια άκρη του, ήταν προσαρμοσμένη σε ζώνη που φόραγε ο κολυμβητής, ενώ η άλλη ήταν συνδεδεμένη στην άκρη ενός δυναμόμετρου με εύρος μέτρησης από 0-5000 N και συχνότητα καταγραφής 100 Hz. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με την χρήση ειδικού συστήματος Globus Ergometer (Globus, Italy) το οποίο έπειτα έστειλε τα δεδομένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Οι Amaro et al. (2014) εξέτασαν την αξία της προσδεμένης κολύμβησης στην αξιολόγηση εφήβων κολυμβητών. Στην μελέτη συμμετείχαν 8 κολυμβητές υψηλού επιπέδου (ηλικία:  $15.3 \pm 1.17$  έτη, ύψος  $1.168 \pm 0.06$  m, μάζα σώματος  $57.2 \pm 9.93$  kg, μέση επίδοση  $28.59 \pm 1.47$  s). Κάθε κολυμβητής εκτέλεσε δύο μέγιστης έντασης δοκιμασίες προσδεμένης κολύμβησης διάρκειας 30 s, η καθεμία. Κάθε δοκιμασία πραγματοποιήθηκε σε ξεχωριστή ημέρα. Τα αποτελέσματα της μελέτης αναφέρουν πως η αξιολόγηση των εφήβων κολυμβητών μπορεί να πραγματοποιηθεί με προσδεμένη κολύμβηση 30 s. Στην μελέτη των Amaro et al. (2014) οι αθλητές φορούσαν ειδική ζώνη από την οποία εκτεινόταν μεταλλικό καλώδιο μήκους 3,5 μέτρων και υπό γωνία με την επιφάνεια του νερού  $5,7^{\circ}$ . Το καλώδιο κατέληγε σε ένα δυναμόμετρο (Globus <sup>TM</sup>, Codogne, Italy) το οποίο είχε συχνότητα καταγραφής

δεδομένων 100 Hz και εύρος μετρήσεων 0-4900 N. Τα δεδομένα συλλέγονταν από ειδικό σύστημα Globus Ergometer (Globus™, Italy) και στην συνέχεια αποστέλλονταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Επιστημονικά δεδομένα που να τεκμηριώνουν την προσδεμένη κολύμβηση ως ένα αξιόπιστο εργαλείο για την αξιολόγηση των παιδιών, δεν ανευρίσκονται στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Ωστόσο, οι Vorontsov και συνεργάτες (2002) αξιοποίησαν το τεστ προσδεμένης κολύμβησης προκειμένου να αξιολογήσουν αγόρια κολυμβητές ηλικίας από 11-18 ετών. Η μελέτη είχε ως σκοπό να εξετάσει την φυσική και κινητική ανάπτυξη μεταξύ αγοριών ηλικίας από 11-18 ετών. Στην μελέτη αυτή οι κολυμβητές δεν εκτέλεσαν προσδεμένη κολύμβηση 30 δευτερολέπτων αλλά 3 μέγιστες προσπάθειες προσδεμένης κολύμβησης διάρκειας 5-7 δευτερολέπτων η κάθε μια.

Αντίστοιχη δοκιμασία της προσδεμένης κολύμβησης 30sec για τον προσδιορισμό της αναερόβιας ικανότητας και ισχύος εκτός νερού είναι η δοκιμασία WINGATE (Bar-Or, 1987). Στην δοκιμασία αυτή ο αθλητής εκτελεί υπερμέγιστη εξαντλητική προσπάθεια σε κυκλοεργόμετρο για 30 δευτερόλεπτα. Τα 5 πρώτα sec της δοκιμασίας αντανακλούν την αναερόβια ισχύ του αθλητή (Κλεισούρας, Γελαδάς, Κοσκολού, 2012). Κατά την δοκιμασία WINGATE είναι δυνατόν να υπολογίσουμε το δείκτη κόπωσης, καταγράφοντας την πτώση της ισχύος κατά την διάρκεια των 30 δευτερολέπτων. Η αξιοπιστία και εγκυρότητα της δοκιμασίας WINGATE είναι ιδιαίτερα μεγάλη (Bar-Or, 1987; Kavaliuskas & Phillips, 2016). Το τεστ προσδεμένης κολύμβησης 30 δευτερολέπτων συσχετίζεται με την δοκιμασία Wingate στην ξηρά. Οι Nagle - Zera και συνεργάτες (2018) μελέτησαν την αξιοπιστία της δοκιμασίας προσδεμένης κολύμβησης 30 δευτερολέπτων, την σχέση της με την κολυμβητική επίδοση αλλά και την σχέση της με τις δοκιμασίες αναερόβιας ικανότητας στην ξηρά. Το δείγμα αποτελούνταν από 29 άτομα, άνδρες και γυναίκες. Κάθε ένας από τους συμμετέχοντες ολοκλήρωσε μια δοκιμασία WINGATE 30 δευτερολέπτων σε κυκλοεργόμετρο, 2 ή 4 δοκιμασίες μέγιστης έντασης προσδεμένης κολύμβησης 30 δευτερολέπτων και 3 μέγιστες προσπάθειες ελεύθερης κολύμβησης για τις αποστάσεις 22.9, 45.7 και 91.4 m. Στα αποτελέσματα της έρευνας αναφέρεται ότι η προσδεμένη κολύμβηση 30 s έχει ισχυρή αξιοπιστία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δοκιμασία αξιολόγησης των παραμέτρων δύναμης. Μέτρια συσχέτιση εντοπίζεται μεταξύ του μέσου όρου δύναμης όπως αυτός προκύπτει από την προσδεμένη κολύμβηση 30 s με την ταχύτητα και τους χρόνους στις προσπάθειες ελεύθερης κολύμβησης. Ενώ επίσης μέτρια αλλά στατιστικώς σημαντική σχέση

αναφέρεται μεταξύ του τεστ προσδεμένης κολύμβησης 30 s και της δοκιμασίας WINGATE. Ως εκ τούτου η δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 30 s με μέγιστη ένταση πιθανόν να παρέχει δεδομένα για την αναερόβια ισχύ στα 5 πρώτα δευτερόλεπτα και τον ρυθμό πτώσης της ισχύος μέχρι το τέλος του τεστ.

### III. ΜΕΘΟΔΟΣ

#### 3.1. Συμμετέχοντες

Στην μελέτη συμμετείχαν 98 άρρενες κολυμβητές. Οι κολυμβητές χωρίστηκαν σε 7 ομάδες ανάλογα με την ηλικία τους. Τα χαρακτηριστικά κάθε ηλικιακής ομάδας κολυμβητών εμφανίζονται στον **Πίνακα 3.1**.

**Πίνακας 3.1** Ηλικία και Σωματικά Χαρακτηριστικά Συμμετεχόντων στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

Ομάδα	Ηλικία (έτη)	Μάζα Σώματος (kg)	Ύψος (cm)	Αριθμός Κολυμβητών (n)
H10	10 ± 0.4	35.2 ± 4.4	135.48 ± 7.17	8
H11	11.5 ± 0.7	43.5 ± 6.1	149.6 ± 5.8	11
H13	13.6 ± 0.5	55.2 ± 12.3	163,8 ± 11.4	17
H15	15.3 ± 0.6	61.9 ± 13.8	168.2 ± 11.8	23
H17	17.5 ± 0.5	66.5 ± 14.5	172 ± 11.8	10
H19	19.5 ± 0.5	75.8 ± 7.3	178.1 ± 5.8	16
H22	22.2 ± 2	85.0 ± 15.1	179.9 ± 15.0	13

*H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.*

#### 3.2 Μέσα Συλλογής των Δεδομένων

Στην μέτρηση του ύψους χρησιμοποιήθηκε αναστημόμετρο και για τη μέτρηση της σωματικής μάζας χρησιμοποιήθηκε μηχανική ζυγαριά ακριβείας. Για την δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 30 δευτερολέπτων χρησιμοποιήθηκε ειδικός μάντας-ζώνη τον οποίο ο κολυμβητής φορούσε στο ύψος της μέσης. Δεμένο στην ζώνη ήταν

μη ελαστικό σχοινί μήκους 10 μέτρων. Η άλλη άκρη του σχοινοῦ συνδεόταν με πιεζοηλεκτρικό δυναμόμετρο προσαρμοσμένο στο βατήρα εκκίνησης (MuscleLab, Ergotest, Finland). Η διάρκεια του τεστ 30 δευτερολέπτων χρονομετρήθηκε με ηλεκτρονικό χρονόμετρο. Για την καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων από τις δοκιμασίες ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και προσδεμένης κολύμβησης χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός υπολογιστής.

### **3.3 Διαδικασία Συλλογής των Δεδομένων**

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πρωινές ώρες σε διαφορετικά κολυμβητήρια με διαστάσεις 25 ή 50 μέτρα. Στους κολυμβητές δεν είχαν δοθεί ειδικές οδηγίες πριν την προσέλευση τους στο χώρο των δοκιμασιών. Πρώτα πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμασίες για τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά. Η ζύγιση έγινε μόνο με το κολυμβητικό μαγιό, χωρίς υποδήματα ή άλλα ρούχα. Η μέτρηση του ύψους έγινε χωρίς υποδήματα με τον εξεταζόμενο σε στάση προσοχής και το βλέμμα ευθεία μπροστά. Τα δεδομένα από την ζύγιση και την μέτρηση του ύψους καταγράφονταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Κάθε κολυμβητής ενημερώθηκε ως προς τα χαρακτηριστικά και τον τρόπο διεξαγωγής της δοκιμασίας προσδεμένης κολύμβησης 30 δευτερολέπτων. Της δοκιμασίας προσδεμένης κολύμβησης προηγήθηκε προθέρμανση 400 m ελεύθερο και 2 επαναλήψεις 10 m σε ρυθμό αγώνα. Ακολούθησε δοκιμαστική προσπάθεια προσδεμένης κολύμβησης προκειμένου οι κολυμβητές να εξοικειωθούν με την δοκιμασία. Έπειτα από την τοποθέτηση της ζώνης-ιμάντα στο ύψος της μέσης κάθε κολυμβητή, ο κολυμβητής καλούνταν να απομακρυνθεί από τον βατήρα εκκίνησης μέχρι το σημείο όπου το σχοινί μήκους 10 μέτρων θα ήταν πλήρως τεντωμένο και σε ευθεία γραμμή με το βατήρα. Η οδηγία προς κάθε κολυμβητή ήταν να ξεκινήσει κολύμβηση σε ελεύθερο στυλ. Η αντίστροφη μέτρηση για την εκκίνηση της δοκιμασίας προσδεμένης κολύμβησης 30 s αποτελούταν από 3 κύκλους χεριάς ξεκινώντας από την είσοδο του δεξιού χεριού. Στους 3 κύκλους χεριάς αντιστοιχούσαν οι αριθμοί 3,2,1 οι οποίοι και επισημαίνονταν στον κολυμβητή με ηχητικό παράγγελμα, ώστε να προετοιμαστεί για την έναρξη της δοκιμασίας. Η έναρξη της δοκιμασίας σημειούνταν με ηχητικό παράγγελμα κατά το τέλος του 3<sup>ου</sup> κύκλου χεριάς. Στην διάρκεια της δοκιμασίας προσδεμένης κολύμβησης ο κολυμβητής εκτελούσε σε ελεύθερο στυλ, μέγιστη εξαντλητική προσπάθεια για 30 s. Η χρονομέτρηση των 30 δευτερολέπτων ξεκινούσε με την είσοδο του δεξιού χεριού στο τέλος του τρίτου κύκλου χεριάς. Μεταξύ των τριών κύκλων χεριάς και της

δοκιμασίας 30 δευτερολέπτων, ο κολυμβητής δεν σταματούσε. Η συλλογή των δεδομένων για την δύναμη εντός νερού έγινε με την χρήση πιεζοηλεκτρικού δυναμόμετρου (MuscleLab, Ergotest, Finland) προσαρμοσμένο στο βατήρα εκκίνησης. Το δυναμόμετρο ήταν συνδεδεμένο με ειδικό μετατροπέα σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό. Τα δεδομένα προς επεξεργασία και αποθήκευση, αποστέλλονταν από τον μετατροπέα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στην δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 30 s υπολογίστηκαν η μέση δύναμη για τα 30 s (MeanF 30s, η μέγιστη δύναμη για τα πρώτα 5 s (PeakF 5s), η ελάχιστη δύναμη για τα τελευταία 5 s (MinF 5s) και ο δείκτης κόπωσης (FI%). Ο δείκτης κόπωσης υπολογίστηκε από την διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης δύναμης εντός νερού. Το ποσοστό υπολογίστηκε ως το γινόμενο του 100 επί το κλάσμα της διαφοράς της μέγιστης μείον της ελάχιστης δύναμης, διαιρούμενη με την τιμή της μέγιστης δύναμης (εξίσωση 1).

$$\text{Εξίσωση 1: } \quad \text{Δείκτης Κόπωσης \%} = \frac{\text{ΜΕΓΙΣΤΗ} - \text{ΕΛΑΧΙΣΤΗ}}{\text{ΜΕΓΙΣΤΗ}} * 100$$

Επιπλέον υπολογίστηκε ο ρυθμός πτώσης της δύναμης κατά την διάρκεια της δοκιμασίας προσδεμένης κολύμβησης 30 s. Ο ρυθμός πτώσης της δύναμης υπολογίστηκε ως η κλίση της ευθείας που αποδίδει την σχέση δύναμης – χρόνου για τα 30 s προσδεμένης κολύμβησης.

### **3.4 Στατιστική Επεξεργασία**

Στην στατιστική επεξεργασία έγινε Ανάλυση διακύμανσης σε έναν παράγοντα ενώ στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey-test για τον εντοπισμό των διαφορών μεταξύ των ηλικιακών ομάδων. Έγινε χρήση του συντελεστή συσχέτισης Pearson, ενώ το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε για  $p < 0.05$ .

## IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Μέση δύναμη κατά την προσδεμένη κολύμβηση 30 s

Σε απόλυτες τιμές μεγαλύτερη μέση δύναμη στην δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 30s είχαν οι κολυμβητές που άνηκαν στην ομάδα H22 (ηλικία:  $22.2 \pm 2$  έτη, MeanF 30s:  $121.66 \pm 15.93$  N). Η MeanF 30s για τους κολυμβητές που άνηκαν στην ομάδα αυτή, ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από την μέση δύναμη στα 30s των κολυμβητών στη H10, H11, H13, H15 και H17 ( $p < 0.05$ ). Δεν παρατηρήθηκε ωστόσο σημαντική διαφορά στην μέση δύναμη 30 s μεταξύ της H19 και H22 ομάδας κολυμβητών (MeanF 30s :  $113.71 \pm 17.22$  N και  $121.66 \pm 15.93$  N, αντίστοιχα,  $p > 0.05$ ). Στον Πίνακα 4.1 επίσης εμφανίζεται συνοπτικά το ποσοστό % μεταβολής της MeanF 30s μεταξύ των διαφορετικών ηλικιακών ομάδων αλλά και οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ κάθε ηλικιακής ομάδας. Η MeanF 30s για τις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1.

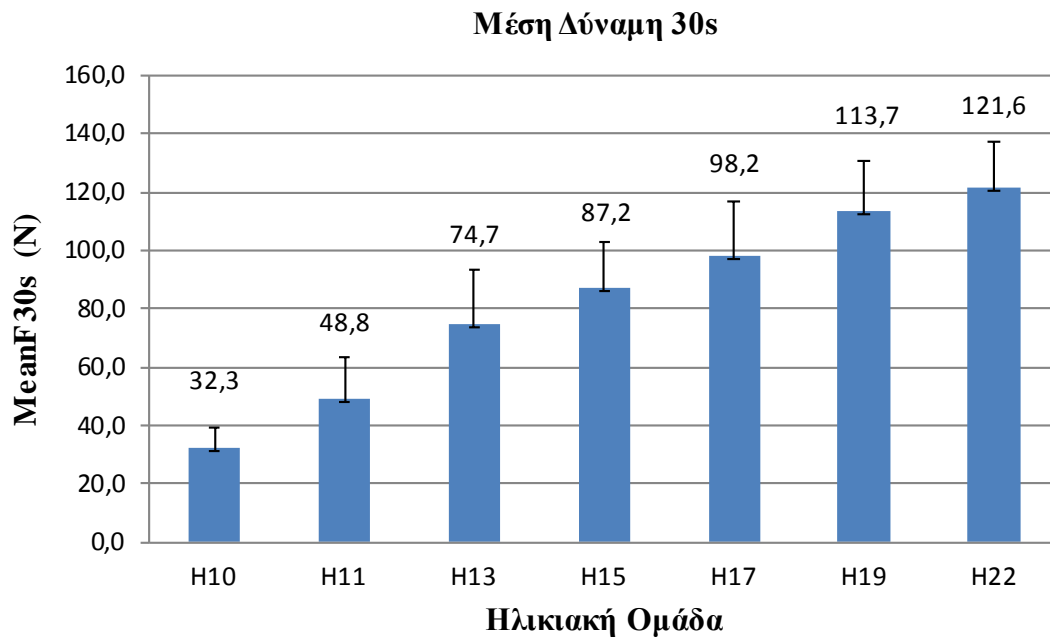
**Πίνακας 4.1:** Σημαντικές διαφορές και ποσοστό μεταβολής MeanF 30s για κάθε ηλικιακή ομάδα. (\*\*):Σημαντική διαφορά, ( $p < 0.05$ ), (-): Μη σημαντική διαφορά, ( $p \geq 0.05$ ).

#### Ποσοστό % Μεταβολής MeanF 30s

Ομάδα	H10	H11	H13	H15	H17	H19	H22
H10		33.68					
H11	-		34.66				
H13	**	-		14.31			
H15	**	**	-		11.18		
H17	**	**	**	-		13.64	
H19	**	**	**	**	-		6.53
H22	**	**	**	**	**	-	

H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.





**Σχήμα 4.1** Μεταβολή της Μέσης δύναμη εντός νερού στα 30s στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών. H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.

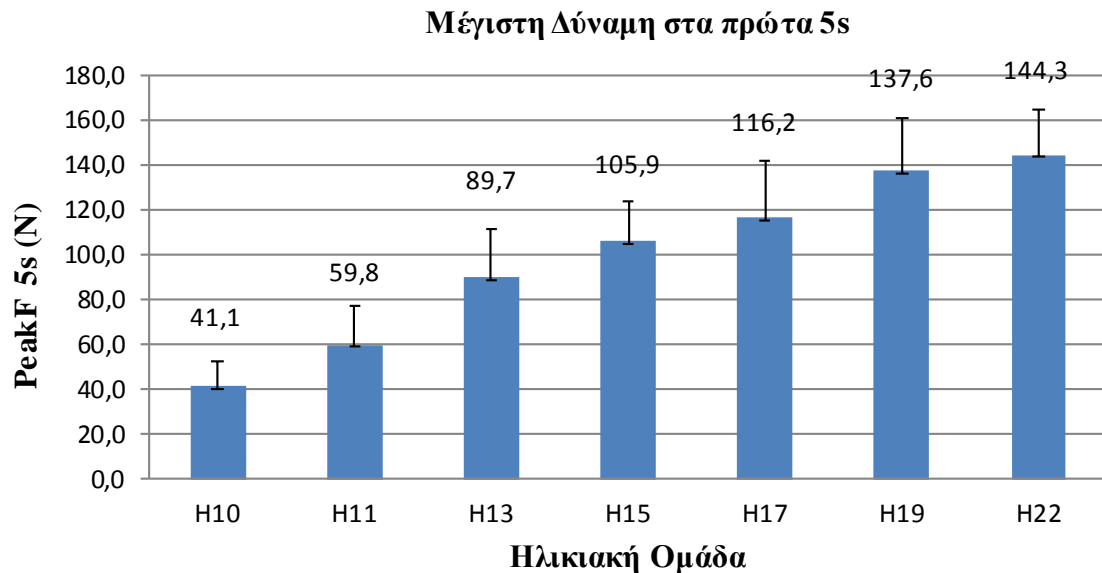
#### 4.2 Μέγιστη Δύναμη 5s

Η μέγιστη δύναμη (PeakF 5s) σε απόλυτες τιμές για τα 5 πρώτα δευτερόλεπτα της προσδεμένης κολύμβησης 30 s ήταν μεγαλύτερη για τους κολυμβητές που αποτελούσαν την ομάδα H22 (ηλικία:  $22.2 \pm 2$  έτη, PeakF 5s:  $144.35 \pm 20.4$  N). Η PeakF 5s διέφερε σημαντικά μεταξύ της H22 ομάδας και της H10, H11, H13, H15 και H17 ομάδας ( $p < 0.05$ ). Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ της H22 και H19 ομάδας στην μέγιστη δύναμη 5s. Την μικρότερη τιμή για την μέγιστη δύναμη στα πρώτα 5s εμφάνιζε η H10 ομάδα (ηλικία:  $10 \pm 0.4$  έτη, PeakF 5s:  $41.17 \pm 10.9$  N). Το ποσοστό μεταβολής της PeakF 5s ανά ηλικιακή ομάδα εμφανίζονται στον **Πίνακα 4.2**. Στον **Πίνακα 4.2** επίσης εμφανίζονται οι σημαντικές διαφορές στην PeakF 5s στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών. Παράλληλα με την αύξηση της ηλικίας παρατηρήθηκε και αύξηση της PeakF 5s για κάθε ηλικιακή ομάδα. Στο **Σχήμα 4.2** απεικονίζεται η PeakF 5s για τις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

**Πίνακας 4.2:** Σημαντικές διαφορές και ποσοστό μεταβολής της PeakF 5s στις ηλικιακές ομάδες. (\*\*): Σημαντική διαφορά, ( $p < 0.05$ ), (-): Μη σημαντική διαφορά, ( $p \geq 0.05$ ).

Ποσοστό Μεταβολής της PeakF 5s							
Ομάδα	H10	H11	H13	15H	H17	H19	H22
H10		31.23					
H11	-		33.29				
H13	**	-		15.27			
H15	**	**	-		8.87		
H17	**	**	**	-		15.53	
H19	**	**	**	**	-		4.63
H22	**	**	**	**	**	-	

H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.



**Σχήμα 4.2:** Μεταβολή της Μέγιστης Δύναμης στα 5s στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών. H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.

### 4.3 Ελάχιστη Δύναμη 5s

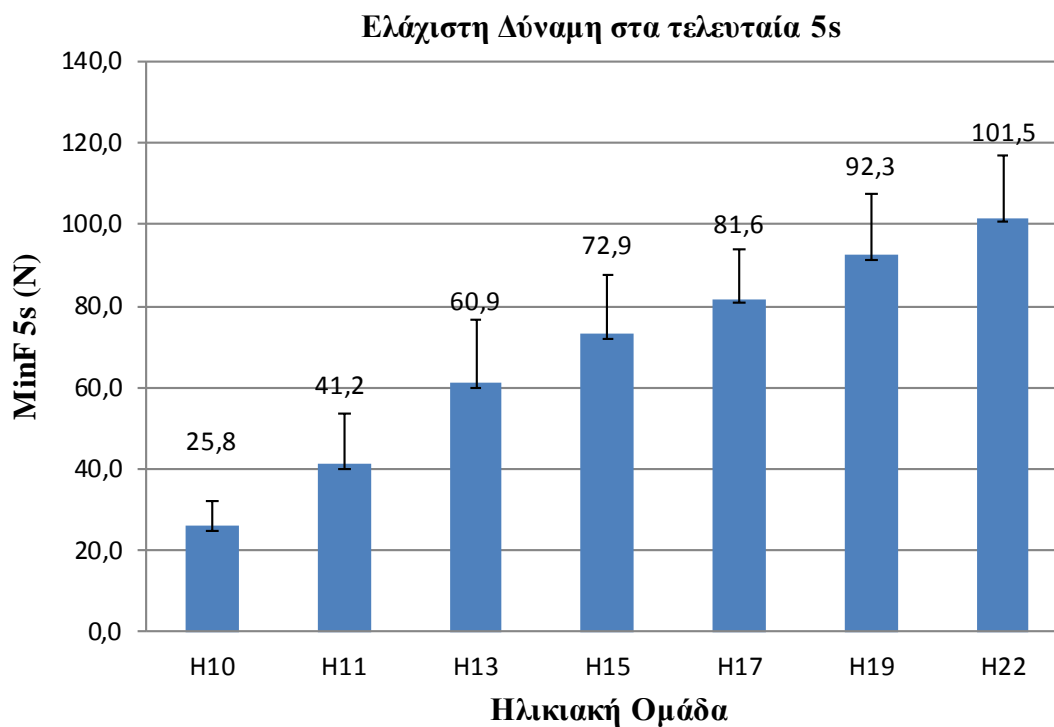
Διαφορές μεταξύ των ομάδων παρατηρούνται και στην ελάχιστη δύναμη στα τελευταία 5s (MinF 5s). Συγκεκριμένα την μικρότερη τιμή εμφανίζουν οι κολυμβητές που ανήκουν στην ομάδα H10 (ηλικία:  $10 \pm 0.4$  έτη, MinF 5s:  $25.87 \pm 6.9$  N). Σημαντικές στατιστικώς διαφορές εμφανίζονται μεταξύ της H10 με την H13, H15, H17, H19 και H22 ομάδα ( $p < 0.05$ ). Μεγαλύτερη τιμή στην MinF 5s παρατηρείται στην ομάδα H22 (ηλικία:  $22.2 \pm 2$  έτη, MinF 5s:  $101.5 \pm 15.2$  N). Σημαντικές διαφορές παρατηρούνται μεταξύ της H22 και H10, H11, H13, H15 και H17 ( $p < 0.05$ ). Στον **Πίνακα 4.3** φαίνεται αναλυτικά η τιμή της MinF 5s για κάθε ηλικιακή ομάδα, το ποσοστό μεταβολής της και οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των ηλικιακών ομάδων. Στο **Σχήμα 4.3** απεικονίζεται η MinF 5s στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών.

**Πίνακας 4.3:** Σημαντικές διαφορές και ποσοστό μεταβολής της MinF 5s στις ηλικιακές ομάδες. (\*\*): Σημαντική διαφορά, ( $p < 0.05$ ), (-): Μη σημαντική διαφορά, ( $p \geq 0.05$ ).

#### Ποσοστό μεταβολής της MinF 5s

Ομάδα	H10	H11	H13	H15	H17	H19	H22
H10		37.26					
H11	-		32.34				
H13	**	-		16.47			
H15	**	**	-		10.58		
H17	**	**	**	-		11.61	
H19	**	**	**	**	-		9.00
H22	**	**	**	**	**	-	

H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.

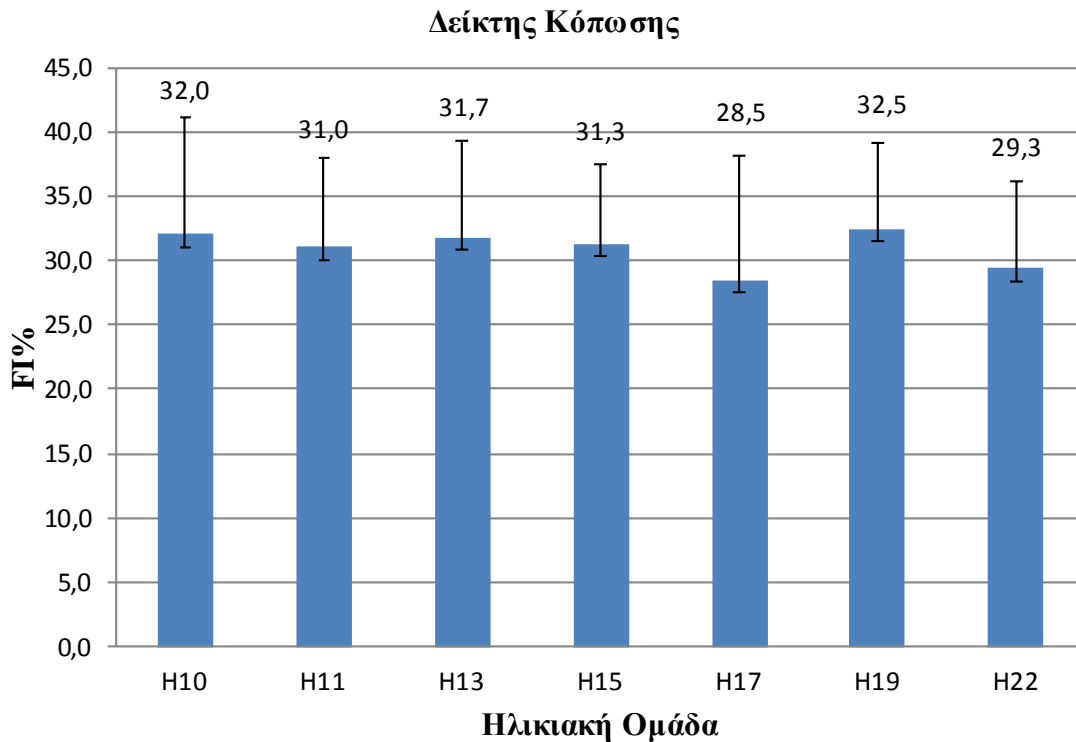


**Σχήμα 4.3:** Μεταβολή της Ελάχιστης Δύναμης στα τελευταία 5s στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών. *H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.*

#### 4.4 Δείκτης Κόπωσης

Ο δείκτης κόπωσης FI (%) είναι μεγαλύτερος για τους κολυμβητές της πρώτης ομάδας H10 (ηλικία:  $10 \pm 0.4$  έτη, FI (%):  $32.07 \pm 9.1$ ). Μικρότερη τιμή για τον δείκτη κόπωσης εμφανίζουν οι κολυμβητές της H17 ομάδας (ηλικία:  $17.5 \pm 0.5$  έτη, FI%:  $28.51 \pm 9.6$ ). Η ομάδα H22 (ηλικία:  $22.2 \pm 2$  έτη) για την οποία παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές στην MeanF 30s, PeakF 5s, MinF 5s έχει δείκτη κόπωσης FI%:  $29.39 \pm 6.8$ . Η H11 (ηλικία:  $11.5 \pm 0.7$  έτη), H13 (ηλικία:  $13.6 \pm 0.5$  έτη) και H15 (ηλικία:  $15.3 \pm 0.6$  έτη) ομάδα εμφάνιζαν δείκτη κόπωσης FI%=  $31.09 \pm 6.8$ , FI%=  $31.77 \pm 7.5$  και FI%=  $31.32 \pm 6.1$  αντίστοιχα. Τέλος η ομάδα H19 (ηλικία:  $19.5 \pm 0.5$

έτη) είχε δείκτη κόπωσης  $FI\% = 32.50 \pm 6.6$ . Οι διαφορετικές τιμές του δείκτη κόπωσης ( $FI\%$ ) για κάθε ηλικιακή ομάδα εμφανίζονται στο **Σχήμα 4.4**.

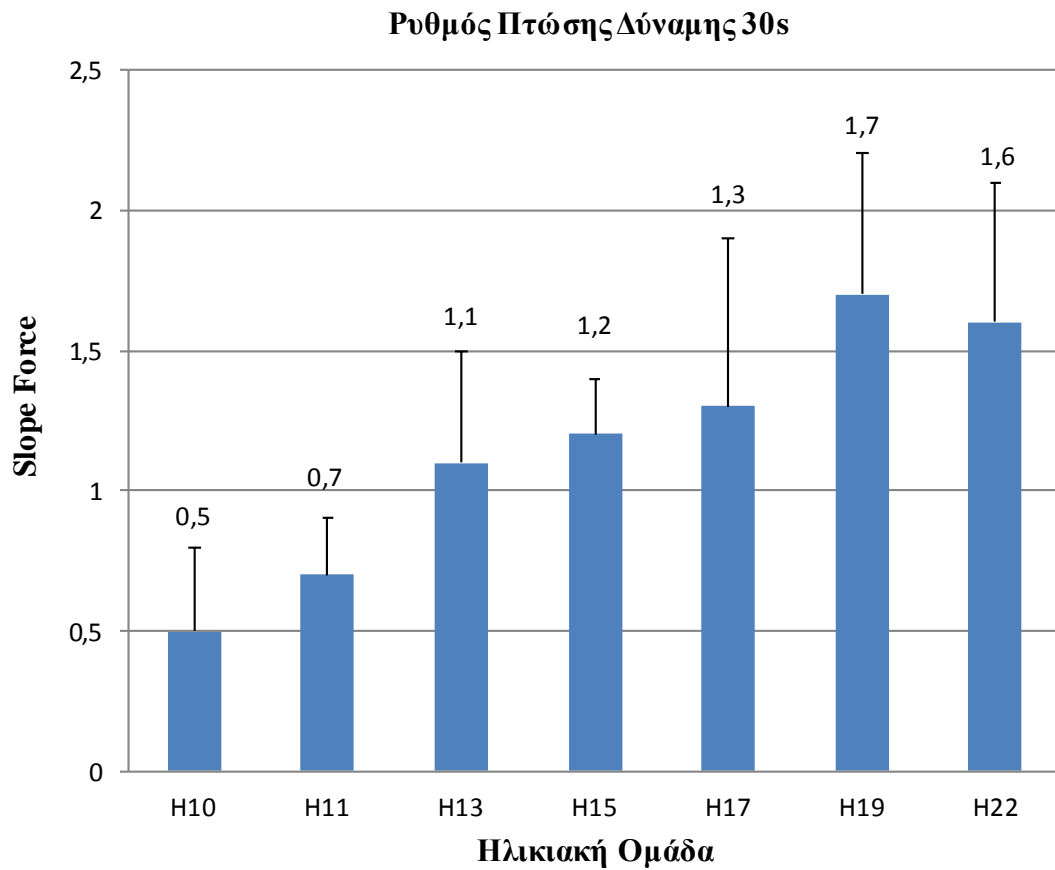


**Σχήμα 4.4:** Σύγκριση του δείκτη κόπωσης  $FI\%$  στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών. *H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.*

#### 4.5 Ρυθμός Πτώσης της Δύναμης

Η δύναμη δεν διατηρήθηκε στην μέγιστη τιμή σε καμία από τις επτά ηλικιακές ομάδες. Ο ρυθμός πτώσης της δύναμης (Slope Force/Time) ήταν μεγαλύτερος για την ομάδα H19 (ηλικία:  $19.5 \pm 0.5$  έτη, Slope Force/Time: -1.72). Μικρότερος ρυθμός πτώσης της δύναμης παρατηρείται στην ομάδα H10 (ηλικία:  $10 \pm 0.4$  έτη, Slope Force: - 0.54). Ο ρυθμός πτώσης της δύναμης για την ομάδα H10 εμφανίζει στατιστικώς σημαντική διαφορά με τον ρυθμό πτώσης για την H13, H15, H17, H19 και H22 ομάδα, ( $p < 0.05$ ). Αντίθετα δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές

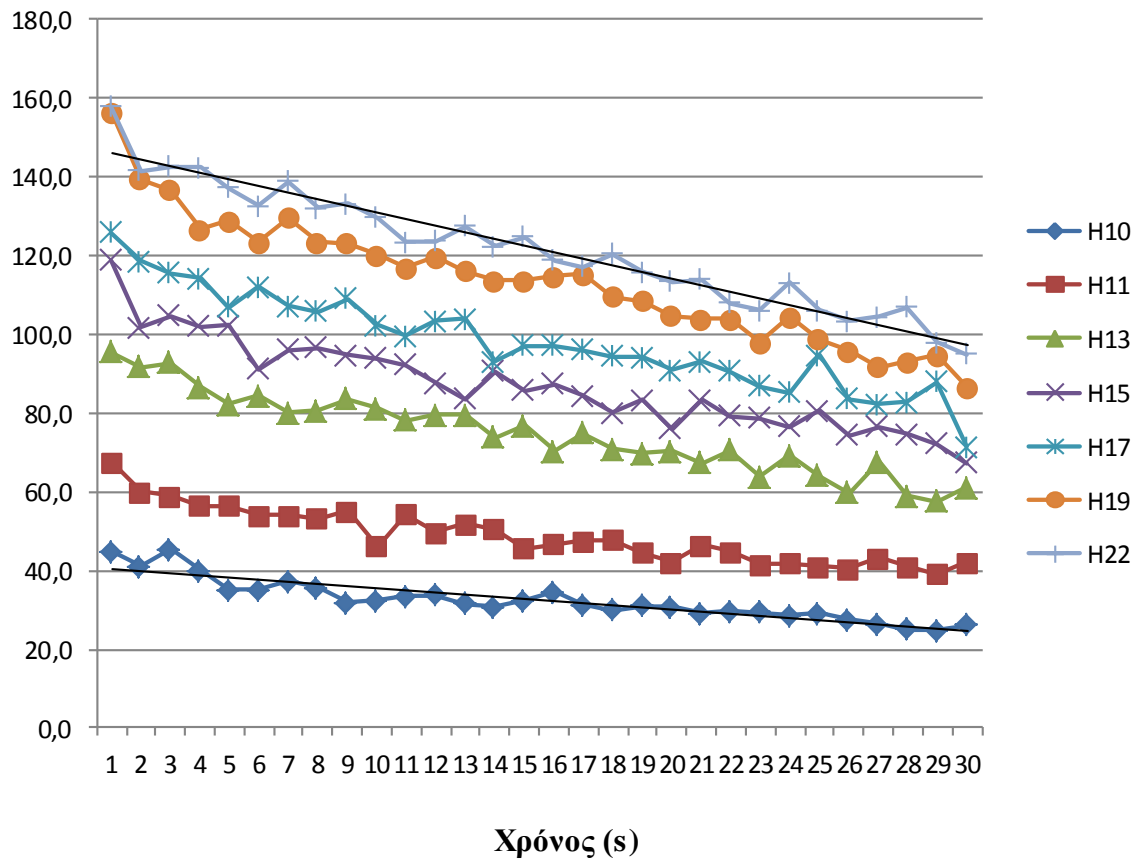
διαφορές στο ρυθμό πτώσης μεταξύ της H15, H17, H19 και H22 ομάδας ( $p>0.05$ ). Ο ρυθμός πτώσης της δύναμης σε κάθε ηλικιακή ομάδα εμφανίζεται στο **Σχήμα 4.4**.



**Σχήμα 4.5:** Σύγκριση του Ρυθμού Πτώσης της Δύναμης στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών. H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.

Στο **Σχήμα 4.6** εμφανίζεται η μεταβολή της δύναμης για κάθε ένα δευτερόλεπτο κατά την προσδεμένη κολύμβηση σε σχέση με το χρόνο.

**Force (N)**



**Σχήμα 4.6.** Ρυθμός Πτώσης της Δύναμης στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών. H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.

Οι σημαντικές διαφορές στον ρυθμό πτώσης της δύναμης ανά ηλικιακή ομάδα εμφανίζονται στον **Πίνακα 4.4.**

**Πίνακας 4.4:** Σημαντικές διαφορές στο ρυθμό πτώσης της δύναμης στις ηλικιακές ομάδες κολυμβητών. (\*\*): Σημαντική διαφορά, ( $p < 0.05$ ), (-): Μη σημαντική διαφορά, ( $p \geq 0.05$ ).

**Σημαντικές Διαφορές  $p < 0.05$**

<b>ΟΜΑΔΑ</b>	H10	H11	H13	H15	H17	H19	H22
H10		-	**	**	**	**	**
H11	-		-	**	**	**	**
H13	**	-		-	-	**	**
H15	**	**	-		-	-	-
H17	**	**	-	-		-	-
H19	**	**	**	**	-		-
H22	**	**	**	-	-	-	

*H10: Ηλικία 10 ετών, H11: Ηλικία 11 ετών, H13: Ηλικία 13 ετών, H15: Ηλικία 15 ετών, H17 ηλικία 17 ετών, H19: Ηλικία 19 ετών, H22: Ηλικία 22 ετών.*



## V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στα ευρήματα της μελέτης παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην δύναμη εντός νερού μεταξύ κολυμβητών διαφορετικής χρονολογικής ηλικίας. Η δύναμη εντός νερού είναι σημαντική παράμετρος για την κολυμβητική επίδοση (Trappe & Pearson, 1994; Barbosa et al., 2010). Κατάλληλη δοκιμασία αξιολόγησης της δύναμης εντός νερού είναι η δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 30 s (Morouço et al., 2011, 2012; Amaro et al., 2014). Διαφορές στην δύναμη εκτός νερού μεταξύ ατόμων διαφορετικής ηλικίας επιβεβαιώνονται από πολλές μελέτες (Dore et al., 2000; Dotan et al., 2012). Τα αποτελέσματα της μελέτης συμφωνούν με τα αποτελέσματα από άλλες μελέτες που εξετάζουν διαφορές στην δύναμη εκτός νερού μεταξύ αρρένων διαφορετικής ηλικίας. Παρατηρήθηκε επίσης πως σημαντικές διαφορές στην MeanF 30s καθώς και στην PeakF 5s και MinF 5s δεν παρατηρούνται μεταξύ μιας ηλικιακής ομάδας και της αμέσως επόμενης, παρά μόνο για την ομάδα H11 οι οποία εμφανίζει σημαντικές διαφορές με την H13 ( $p < 0.05$ ).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Nagle-Zera et al. (2018) η δοκιμασία προσδεμένης κολύμβησης 30 s σχετίζεται με την δοκιμασία WINGATE εκτός νερού. Κατά συνέπεια τα αποτελέσματα της μελέτης πιθανόν προσφέρουν δεδομένα για την ισχύ και το ρυθμό πτώσης της ισχύος εντός νερού. Οι Κλεισούρας, Γελαδάς, Κοσκολού (2012) αναφέρουν πως η ισχύς αντιστοιχεί στα πρώτα 5 s της δοκιμασίας WINGATE. Κατά αντιστοιχία η PeakF 5s για την προσδεμένη κολύμβηση 30 s, αντιστοιχεί στην αναερόβια ισχύ του αθλητή ενώ η Slope Force στον ρυθμό πτώσης της αναερόβιας ισχύος.

### 5.1 Κύρια Ευρήματα

Σκοπός της μελέτης ήταν να εξετάσει διαφορές στην δύναμη εντός νερού μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών κολυμβητών. Κύριο εύρημα της μελέτης ήταν πως η MeanF 30s ήταν μέγιστη για τους άνδρες κολυμβητές (H22 και H19 ομάδα, ηλικία:  $22.2 \pm 2$  έτη, ηλικία:  $19.5 \pm 0.5$  έτη, αντίστοιχα) ενώ ήταν σημαντικά μικρότερη ( $p < 0.05$ ) για τα αγόρια (H10 και H11 ομάδα, ηλικία:  $10 \pm 0.4$  έτη, ηλικία:  $11.5 \pm 0.7$  έτη, αντίστοιχα). Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται στην διαφορετική προπονητική ηλικία μεταξύ ανδρών και αγοριών αλλά και στις διαφορές στους φυσιολογικούς και βιομηχανικούς παράγοντες μεταξύ των ομάδων αυτών.

Η PeakF 5s είναι μεγαλύτερη στους άνδρες από ότι στα αγόρια ( $p < 0.05$ ). Διαφορές στην PeakF 5s και την αναερόβια ισχύ μεταξύ αγοριών και ανδρών κολυμβητών, πιθανόν οφείλονται στο διαφορετικό πρότυπο επιστράτευσης των κινητικών μονάδων και τον διαφορετικό τύπο μυϊκών ινών που χρησιμοποιείται. Οι άνδρες χαρακτηρίζονται από καλύτερη ενεργοποίηση από ότι τα αγόρια (Ratel et al., 2006). Το πρότυπο επιστράτευσης των κινητικών μονάδων στους άνδρες αφορά κυρίως τις μυϊκές ίνες τύπου II, οι οποίες ανιχνεύονται σε υψηλότερο ποσοστό στους άνδρες από ότι στα αγόρια. Οι μυϊκές ίνες τύπου II έχουν την ικανότητα ταχύτερης και πιο ισχυρής συστολής από ότι οι τύπου I που υπερισχύουν στα αγόρια. Αθλητές οι οποίοι διακρίνονται από ένα υψηλότερο ποσοστό ινών ταχείας συστολής θεωρείται πως πλεονεκτούν σε προσπάθειες μέγιστης δύναμης και ισχύος. Οι διαφορές αυτές αποδίδονται στην ωρίμανση του νευρικού και μυοσκελετικού συστήματος, καθώς επίσης και στις προπονητικές προσαρμογές.

Τα δεδομένα για την MinF 5s δείχνουν πως για κάθε ηλικιακή ομάδα υπήρξε διαφορετικού βαθμού μείωση της PeakF. Η επίδραση της περιφερικής κόπωσης πιθανόν εξηγεί την ασκησιογενή μείωση της μέγιστης δύναμης κατά την διάρκεια της δοκιμασίας προσδεμένης κολύμβησης 30s. Τα αγόρια είναι πιο ανθεκτικά στην κόπωση και τα συμπτώματα που την συνοδεύουν από ότι οι άνδρες (Dipla et al., 2009). Παρόλα αυτά η MinF 5s παραμένει σημαντικά μεγαλύτερη ( $p < 0.05$ ) για τους άνδρες (H22 και H19 ομάδα, ηλικία:  $22.2 \pm 2$  έτη, ηλικία:  $19.5 \pm 0.5$  έτη) από ότι τα αγόρια (H10 και H11 ομάδα, ηλικία:  $10 \pm 0.4$  έτη, ηλικία:  $11.5 \pm 0.7$  έτη, αντίστοιχα). Συγκεκριμένα οι σημαντικές διαφορές για την PeakF 5s ανάμεσα στις ηλικιακές ομάδες ισχύουν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο και για την MinF 5s. Τα ευρήματα αυτά αποδεικνύουν πως η επίδραση της κόπωσης και η ανθεκτικότητα των μικρότερων κολυμβητών σε αυτή, δεν επαρκούν προκειμένου να εξισοροπήσουν τις διαφορές στην δύναμη μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών κολυμβητών.

## 5.2 Ρυθμός Πτώσης της Δύναμης

Ο ρυθμός πτώσης της δύναμης επηρεάζεται από την εμφάνιση της κόπωσης. Για προσπάθειες μέγιστης έντασης και μικρής διάρκειας η εμφάνιση περιφερικού καμάτου οφείλεται για την αδυναμία διατήρησης της μέγιστης δύναμης. Ο περιφερικός κάματος είναι αποτέλεσμα αυξημένης συγκέντρωσης κατιόντων υδρογόνου  $H^+$ , έλλειψης των ενεργειακών αποθεμάτων ATP, αδυναμίας σύζευξης διέγερσης συστολής και μείωσης του κυτταροπλασματικού pH. Τα συμπτώματα που τον συνοδεύουν είναι αίσθημα πόνου και καψίματος στους μύς που

δραστηριοποιούνται. Στις προσπάθειες 10-60 s κυρίαρχο μεταβολικό μονοπάτι για τους άνδρες είναι η αναερόβια γλυκόλυση. Τα προϊόντα της γλυκόλυσης είναι 2 μόρια πυροσταφυλικού, 2 μόρια ATP και 2 NADH. Σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου όπως συμβαίνει σε προσπάθειες μέγιστης έντασης και ισχύος, το πυροσταφυλικό ανάγεται σε γαλακτικό. Η αντίδραση αναγωγής του πυροσταφυλικού σε γαλακτικό συνοδεύεται από την παραγωγή κατιόντων  $H^+$ . Αυξημένη κυτταροπλασματική συγκέντρωση κατιόντων  $H^+$  οδηγεί σε μείωση του κυτταροπλασματικού pH, διαταράσσοντας την ομοιόσταση και λειτουργία του μυϊκού κυττάρου (Westerblad & Allen, 2003; Fitts, 2008). Τα παιδιά αντίθετα με τους άνδρες αξιοποιούν περισσότερο αερόβιους μηχανισμούς παραγωγής ATP ακόμα και κατά την διάρκεια μέγιστης έντασης άσκηση (Kaczor et al., 2005; Ratel et al., 2006). Ως αποτέλεσμα παρατηρείται μειωμένη συγκέντρωση κατιόντων  $H^+$  σε σχέση με τους άνδρες και άρα μικρότερη μείωση του κυτταροπλασματικού pH. Παρότι τα κατιόντα  $H^+$  αποτελούν έναν από τους βασικούς μηχανισμούς, δεν εξηγούν πλήρως την εμφάνιση περιφερικής κόπωσης (Place et al., 2010). Σε ότι αφορά την εμφάνιση της κόπωσης στην κολύμβηση δεν μπορεί να αγνοηθεί ο παράγοντας των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών. Όσο μεγαλύτερο το μέγεθος του σώματος ή του μέλους, τόσο μεγαλύτερη και η αντίσταση την οποία ο κολυμβητής καλείται να υπερνικήσει. Προκειμένου ο κολυμβητής να υπερνικήσει την αντίσταση πρέπει να αναπτύξει μεγαλύτερη δύναμη εντός νερού, με αποτέλεσμα την ανάγκη για περισσότερα μόρια ATP, αυξημένο ρυθμό αναερόβιας γλυκόλυσης και τελικά αυξημένη παραγωγή μεταβολικών προϊόντων στο κυτταροδιάλυμα της μυϊκής ίνας.

Οι διαφορές ανάμεσα σε αγόρια, εφήβους και άνδρες στην εμφάνιση της κόπωσης και στην ανθεκτικότητα απέναντι στα συμπτώματα που την συνοδεύουν, μπορούν να εξηγήσουν τα ευρήματα της μελέτης. Συγκεκριμένα οι άνδρες (H22 και H19 ομάδα, ηλικία:  $22.2 \pm 2$  έτη, ηλικία:  $19.5 \pm 0.5$  έτη, αντίστοιχα) χαρακτηρίζονται από σημαντικά μεγαλύτερο ρυθμό πτώσης της δύναμης από ότι τα παιδιά (H10 και H11 ομάδα, ηλικία:  $10 \pm 0.4$  έτη, ηλικία:  $11.5 \pm 0.7$  έτη, αντίστοιχα). Σημαντικές διαφορές παρατηρούνται μεταξύ της H10 με την H13, H15, H17, H19 και H22 ομάδα ( $p < 0.05$ ) και της H11 με την H15, H17, H19 και H22 ομάδα ( $p < 0.05$ ). Η ομάδα H22 εμφανίζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την H10, H11, H13 ομάδα ( $p < 0.05$ ) αλλά όχι με την H15, H17 και H19 ομάδα ( $p \geq 0.05$ ). Τα ευρήματα αυτά εγείρουν την υποψία πως οι μεταβολές που ευθύνονται για τις διαφορές στην κόπωση μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών συμβαίνουν στην ηλικία 12-15 ετών. Το χρονικό αυτό διάστημα αντιστοιχεί στις ηλικίες όπου επιτυγχάνεται ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης του αναστήματος, μεταβολές στην ορμονική δράση, την μυϊκή μάζα και άλλα

ανθρωπομετρικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά. Στα αποτελέσματα της μελέτης ωστόσο δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στο δείκτη κόπωσης (FI%) μεταξύ των ηλικιακών ομάδων. Οι διαφορές στον ρυθμό πτώσης της δύναμης είναι πιθανόν να οφείλονται στο ότι οι άνδρες χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη PeakF 5s και διαφορετικό πρότυπο ενεργοποίησης από ότι τα αγόρια και ως εκ τούτου είναι πιο δύσκολο να διατηρήσουν τις υψηλές αυτές τιμές για την χρονική διάρκεια 30s.

### 5.3 Ποσοστό Μεταβολής της Δύναμης

Η υπόθεση πως σημαντικές για την δύναμη μεταβολές συμβαίνουν κατά την ηλικία 12-15 ετών ενισχύεται, από τα αποτελέσματα που αφορούν το ποσοστό μεταβολής της δύναμης ( $\Delta F\%$ ) στην μελέτη αυτή. Στην MeanF 30s, την PeakF 5s και την MinF 5s παρατηρήθηκε χαρακτηριστική ποσοστιαία % μεταβολή των τιμών μεταξύ των ηλικιακών ομάδων. Συγκεκριμένα το ποσοστό % μεταβολής για την MeanF 30s μεταξύ H10 και H11 ομάδας είναι  $\Delta F\% = 33.68\%$  και  $\Delta F\% = 34.66\%$  μεταξύ της H11-H13. Ωστόσο μεταξύ H13 και H15 ομάδας  $\Delta F\% = 14.31\%$ , μεταξύ H15 και H17  $\Delta F\% = 11.18\%$ , μεταξύ H17 και H19 ομάδας  $\Delta F\% = 13.64\%$  και ανάμεσα στην H19 και H22 ομάδα  $\Delta F\% = 6.53\%$ . Αντίστοιχα στην PeakF 5s και την MinF 5s παρατηρείται σημαντική μείωση του ποσοστού % μεταβολής της δύναμης μεταξύ του ποσοστού % στην H11 – H13 ομάδα με το ποσοστό % στην H13 – H15 ομάδα και έπειτα. Η ραγδαία μείωση του ποσοστού μεταβολής της δύναμης έπειτα από την ηλικία των 13 ετών (H13 ομάδα) συνάδει με την υπόθεση πως σημαντικές για την δύναμη μεταβολές συμβαίνουν στα πρώτα χρόνια της εφηβείας. Στην συνέχεια ο ρυθμός των μεταβολών που επηρεάζουν την δύναμη εντός νερού μειώνεται και σταδιακά σταθεροποιείται. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι διαφορές μεταξύ των ηλικιακών ομάδων στο ποσοστό μεταβολής της δύναμης πιθανόν να οφείλονται και στο επίπεδο των αθλητών. Πιθανόν οι μεγάλες μεταβολές στις τιμές της δύναμης μεταξύ των ομάδων H10, H11 και H13 οφείλονται περισσότερο στην βελτίωση της τεχνικής των κολυμβητών παρά σε μεταβολές σε φυσιολογικούς παράγοντες. Η κολύμβηση χαρακτηρίζεται ως ένα ιδιαίτερα τεχνικό άθλημα και η προκύπτουσα δύναμη εντός νερού συνδέεται άμεσα με την τεχνική και τον τρόπο εφαρμογής των δυνάμεων στο νερό. Ελάχιστες διαφορές στην τεχνική (θέση της παλάμης στην σάρωση, γωνία πρόσπτωσης κτλ.) των χεριών κατά την κολύμβηση επηρεάζουν σημαντικά τις προωθητικές δυνάμεις (Maglischo, 2003). Τα ευρήματα αυτά αποδεικνύουν την σημασία της προπόνησης που στοχεύει στην βελτίωση της τεχνικής σε παιδιά και εφήβους κολυμβητές.

## VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η δύναμη εντός νερού διαφέρει σημαντικά μεταξύ παιδιών, εφήβων και ανδρών κολυμβητών, ενώ ο δείκτης κόπωσης (FI%) δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές. Ο ρυθμός πτώσης της δύναμης ωστόσο (Slope Force/ Time) είναι μικρότερος για τα αγόρια κολυμβητές γεγονός που αντανακλά την ανθεκτικότητα που εμφανίζουν απέναντι στην κόπωση (Dipla et al., 2009). Συγκρίνοντας το ποσοστό μεταβολής της δύναμης μεταξύ των ηλικιακών ομάδων διαπιστώνεται πως η δύναμη εντός νερού αυξάνει με την ηλικία. Οι μέγιστες μεταβολές στην δύναμη εντός νερού απαντώνται στις ηλικίες των 11 έως 13 ετών οι οποίες δεν αντιστοιχούν ωστόσο στην ηλικία που παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης. Συνεπώς οι μεγάλες μεταβολές στην δύναμη για τις ηλικίες 11 – 13 ετών πιθανόν οφείλονται περισσότερο στην βελτίωση της τεχνικής παρά σε φυσιολογικούς παράγοντες.

Είναι σημαντικό να πραγματοποιηθούν περαιτέρω μελέτες στις οποίες το δείγμα να είναι ομοιογενές ως προς τη προπονητική ηλικία και το επίπεδο των προσαρμογών. Επίσης θα μπορούσε να αξιοποιηθούν διάφορα πρωτόκολλα και εξοπλισμός, για μετρήσεις όπως μυϊκές βιοψίες, συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα, προσδιορισμός εγκάρσιας επιφάνειας του μυός CSA κ.α. Οι μετρήσεις αυτές θα προσφέρουν την δυνατότητα ανίχνευσης των μεμονωμένων ή του συνδυασμού των παραγόντων που οφείλονται για τις διαφορές μεταξύ αγοριών, εφήβων και ανδρών στην δύναμη εντός νερού.

## VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, D.L., Roy, R.R., & Edgerton, V.R. (1999). Myonuclear domains in muscle adaption and disease. *Muscle Nerve*, 22, 1350-1360.
- Amaro, N., Marinho, D.A., Batalha, N., Marques, M.C., & Morouco, P. (2014). Reliability of tethered swimming evaluation in age group swimmers. *Journal of human kinetics*, 41(1), 155-162.
- Amaro, N.M., Marinho, D.A., Marques, M.C., Batalha, N.P., & Morouco, P.G. (2017). Effects of dry- land strength and conditioning programs in age group swimmers. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 31 (9), 2447-2454.
- Armatas, V., Bassa, E., Patikas, D., Kitsas, I., Zangelidis, G., & Kotzamanidis, C. (2010). Neuromuscular differences between men and prepubescent boys during a peak isometric knee extension intermittent fatigue test. *Pediatric Exercise Science*, 22, 205–217.
- Arsoniadis, G., Sotiropoulos, K., Satolia, S., Konstantinidou, A., Laiou, A., & Toubekis, A. (2016). In and out of the water strength asymmetries after a year – round training plan in young swimmers. Τρισελίδες Εργασίες, 25<sup>ου</sup> ΔΣΦΑ, Κομοτηνή, 201.
- Arsoniadis, G., Bogdanis, G.C., Terzis, G., & Toubekis, A., (2020). Acute Resistance Exercise: Physiological and Biomechanical Alterations During a Subsequent Swim Training Session. *Internation Journal of Sports Physiology and Performance*, 15 (1), 105-112.
- Asmussen, E. & Heeboll, N. K. (1955). A dimensional analysis of physical performance and growth in boys. *Journal of Applied Physiology*, 7, 593–603.
- Aspenes, S., Kjendlie, P.L., Hoff, J., & Helgerud, J. (2009). Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 8 (3), 357.
- Aspenes, S.T., & Karlsen, T. (2012). Exercise- Training intervention studies in competitive swimming. *Sports Medicine*, 42 (6), 527-543.

- Barbosa, T.M., Marinho, D.A., Costa, M.J., & Silva, A.J. (2010). Biomechanics of Competitive Swimming Strokes. *Biomechanics in Applications*, 367-388.
- Barsbosa, A.C., Castro, F., Dopsaj, M., Cuhna, S.A., & Orival, A.J. (2013). Acute responses of biomechanical parameters to different sizes of hand paddles in front-crawl stroke. *Journal of Sport Science*, 31(9), 1015-1023.
- Bar-Or, O. (1987). The Wingate Anaerobic Test, An update in Methodology, Reliability and Validity. *Sports Medicine*, 4, 381- 394.
- Bar-Or, O. & Rowland, T.W. (2004). Pediatric Exercise Medicine: From Physiologic Principles to Health Care Application. Champaign, IL. *Human Kinetics*.
- Belanger, A.Y. & McComas, A.J. (1989). Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 58, 563–567.
- Berg, A., Kim, S.S., & Keul, J. (1986) Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 236–239.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Stryer, L. (2012). Βιοχημεία. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Berryman, N., Mujika, I., Arvisais, D., Roubex, M., Binet, C., & Bosquet, L. (2018). Strength training for middle and long distance performance. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 13(1), 57-64.
- Bishop, D.J. (2012). Fatigue during intermittent-sprint exercise. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 39 (9) , 836-841.
- Blimkie, C.J. (1989). Age- and sex-associated variation in strength during childhood: Anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinologic, genetic, and physical activity correlates. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, 2, 99–163.
- Blimkie, C.J. & Sale, D.G. (1998). Strength development and trainability during childhood. Van Praagh E: Pediatric Anaerobic Performance Champaign, *Human Kinetics*, 193-224.
- Brand, P.W. & Hollister, A. (1993). Clinical Mechanics of the Hand. MO. Mosby-Year Book.

- Brooke, M.H. & Engel, W.K. (1969). The histographic analysis of human muscle biopsies with regard to fiber types. 4. Children's biopsies. *Neurology*, 19, 591–605.
- Clancy, E.A. & Hogan, N. (1997). Relating Agonist-Antagonist Electromyograms to Joint Torque During Isometric, Quasi-Isotonic, Nonfatiguing Contractions. *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, 44 (10), 1024–1028.
- Cooke, R. & Holmes, K.C., (1986). The Mechanism of Muscle Contraction. *Critical Reviews in Biochemistry*, 21 (1), 53-118.
- Costill, D.L., Rayfield, F., Kirwan, J., & Thomas, R.A. (1986). A computer based system for the measurement of force and power during front crawl swimming. *Journal of Swimming Research*, 2, 16-19.
- Davis, M.P. & Walsh, D. (2010). Mechanism of Fatigue. *The Journal of Supportive Oncology*, 8, 164-174.
- Dipla, K., Tsirini, T., Zafeiridis, A., Manou, V., Dalamitros, A., Kellis, E., & Kellis, S. (2009). Fatigue resistance during high-intensity intermittent exercise from childhood to adulthood in males and females. *European Journal of Applied Physiology*, 106, 645-653.
- Dore, E., Diallo, O., Franca, N.M., Bedu, M., & Van Praagh, E. (2000). Dimensional Changes Cannot Account For All Differences in Short-Term Cycling Power During Growth. *International Journal of Sport Medicine*, 21 (5), 360-365.
- Dotan, R., Mitchell, C., Cohen, R., Klentrou, P., Gabriel, D., Falk, B. (2012). Child—Adult Differences in Muscle Activation — A Review. *Pediatric Exercise Science*, 24 (1), 2-21.
- Enoka, R.M. & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72 (5), 1631-1648.
- Enoka, R.M. (1988). Neuromechanical Basis of Kinesiology. *Human Kinetics*.
- Falk, B., & Bar-Or, O. (1993). Longitudinal changes in peak aerobic and anaerobic mechanical power of circumpubertal boys. *Pediatric Exercise Science*, 5, 318–331.



- Falk, B., & Dotan, R. (2006) Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exercise and Sports Science Review*, 34, 107–112.
- Faigenbaum, A. & Bradley, D. (1998). Strength training for the young athlete. *Orthopedic Physical Therapy Clinical of North America*, 7, 67-89.
- Fitts, R.H. (2008). The cross- bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104, 551-558.
- Garrido, N., Marinho, D.A., Barbosa, T.M, Costa, A.M., Silva, A.J., Perez-Turpin, J.A., & Marques, M.C. (2010). RELATIONSHIPS BETWEEN DRY LAND STRENGTH, POWER VARIABLES AND SHORT SPRINT PERFORMANCE IN YOUNG COMPETITIVE SWIMMERS. *Journal of Human Sports and Exercise*, 5 (2), 240-249.
- Girold, S., Maurin, D., Dugue, B., Chatard, J.C., & Millet, G. (2007). Effects of dry-land vs. resisted and assisted –sprint exercises on swimming sprint performances. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (2), 599-605.
- Glenmark, B., Hedberg, G., & Jansson, E. (1992). Changes in muscle fibre type from adolescence to adulthood in women and men. *Acta Physiologica*, 146 (2), 251-259.
- Gola, R., Urbanik, C., Iwanska, D., & Madej, A. (2014). Relationship between muscle strength and front crawl swimming velocity. *Human Movement*, 15 (2), 110-115.
- Griggs, R.C., Kingston, W., Jozefowicz, R.F., Herr, B.E, Forbes, G., & Halliday, D. (1989). Effect of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis. *Journal of Applied Physiology*, 66 (1), 498-503.
- Halin, R., Germain, P., Buttelli, O., & Kapitaniak, B(2002). Differences in strength and surface electromyogram characteristics between pre-pubertal gymnasts and untrained boys during brief and maintained maximal isometric voluntary contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 87, 409–415.
- Hansen, L., Bangsbo, J., Twisk, J., & Klausen K. (1999). Development of muscle strength in relation to training level and testosterone in young male soccer players. *Journal of Applied Physiology*, 87 (3), 1141-1147.

- Hill, D.J., Camacho- Hubner, C., Rashid, P., Strain, A.J., & Clemmons, D.R. (1989). Insulin- like growth factor (IGF)- binding protein release by human fetal fibroblasts: Dependency on cell density and IGF peptides. *Journal of Endocrinology*, 122(1), 87-98.
- Ikai, M. & Fukunaga, T. (1968). Calculations of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscles by means of ultrasonic measurements. *Int. Z. Angewandte Physiology*, 26, 26-32.
- Ishii, D.N. (1989). Relationship of insulin- like growth factor II gene expression in muscle to synaptogenesis. *Proceeding of National Academy Science USA*, 86 (8), 2898-2902.
- Jones, E.J., Bishop, P.A., Amanda, K.W., & Green, J.M. (2008). Cross-sectional Area and Muscular Strength: A Brief Review. *Sports Medicine*, 38 (12), 987-994.
- Kaczor, J.J., Ziolkowski, W., Popinigis, J., & Tarnopolsky, M. A. (2005). Anaerobic and Aerobic Enzyme Activities in Human Skeletal Muscle from Children and Adults. *Pediatric Research*, 57, 331-335.
- Kavaliuskas, M. & Phillips, S.M. (2016). Reliability and sensitivity of the 6 and 30 second Wingate tests in physically active males and females. *Isokinetics and Exercise Science*, 24 (3), 277-284.
- Knuttgen, H., & Kraemer, W. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sports Science Research*, 1(1), 1-10.
- Kriketos, A.D., Baur, L.A., O' Connor, J., Carey, D., King, S., Caterson, I.D., Storlien, L.H. (1997). Muscle fibre type composition in infant and adult populations and relationships with obesity. *International Journal of Obesity*, 21, 796-801.
- Lehninger, A. L., Nelson, D.L., & Cox, M.M. (2011). *Lehninger principles of biochemistry*. Broken Hill Publishers LTD.
- Loturco, I., Barbosa, A.C., Nocentini, R.K., Pereira, L.A., Kopal, R., Kitamura, K., & Nakamura, F.Y. (2015). A correlational analysis of tethered swimming, swim sprint performance and dry- land power assessments. *International Journal of Sports Medicine*, 37 (3), 211-218.

- Maglischo, E.W. (2003). Swimming Fastest. *Human Kinetics*.
- Martin V, Kluka V, Garcia Vicencio, S., Maso, F., & Ratel, S. (2015). Children have a reduced maximal voluntary activation level of the adductor pollicis muscle compared to adults. *European Journal of Applied Physiology*, 115, 1485-1491.
- Maughan, R.J., Nimmo, M.A. (1984). The influence of variations in muscle fibre composition on muscle strength and cross-sectional area in untrained males. *The Journal of Physiology*, 351 (1), 299-311.
- Morais, J.E., Maques, M.C., Rodriguez-Rosell, D., Barbosa, T.M., & Marinho, D.A. (2019). Relationship between thrust, anthropometrics, and dry-land strength in a national junior swimming team. *The Physician and Sportsmedicine*. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1693240>.
- Morouco, P.G., Keskinen, K.L., Vilas- Boas, J.P., & Fernandes, R.J. (2011). Relationship Between Tethered Forces and the Four Swimming Techniques Performance. *Journal of Applied Biomechanic*, 27, 161-169.
- Morouco, P.G., Marinho, A.D., Amaro, N.M., Perez Turpin, J.A., & Marques, M.C.(2012). Effects of dry – land strength training on swimming performance: a brief review. *Journal of Human Sport and Exercise*, 7 (2).
- Morouco, P.G., Marinho, D.A., Keskinen, K.L., Badillo, J.J., & Marques, M.C. (2014). Tetherd Swimming can be used to evaluate force contribution for short-distance swimming performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (11), 3093-3099.
- Nagle Zera, I., Nagle, E.F., Nagai, T., Lovalekar, M., Abt, J.P., & Lephart, S.M. (2018). Tethered Swimming Test Reliability and the Association to Swimming Performance and Land-based Anaerobic Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. DOI: [10.1519/JSC.0000000000002501](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002501)
- Neiva, H., Morouco, P.G., Silva, A., Marques, M.C., & Marinho, D.A. (2011). The Effect of Warm- up on Tethered Front Crawl Swimming Forces. *Journal of Human Kinetics*, 29 (Special Issue), 113-119.

- O'Brien, T.D., Reeves, N.D., Baltzopoulos, V., Jones, D.A., & Maganaris, C.N. (2009). *In vivo* measurements of muscle specific tension in adults and children. *Experimental Physiology*, 95 (1), 202-210.
- O'Brien, T.D., Reeves, N.D., Baltzopoulos, V., Jones, D.A., & Maganaris, C.N. (2010). *In vivo* measurements of muscle specific tension in adults and children. *Experimental Physiology*, 95, 202–210.
- Obert, P., Mandigouts, S., Nottin, S., Vinet, A., N' Guyen, L.D., & Lecoq A.M. (2003). Cardiovascular responses to endurance training in children: effect of gender. *European Journal of Clinical investigation*, 33 (3), 199-208.
- Parker, D. F., Round, J. M., Sacco, P., & Jones, D. A. (1990). A cross-sectional survey of upper and lower limb strength in boys and girls during childhood and adolescence. *Annals of Human Biology*, 17(3), 199-211.
- Pérez-Olea, J.I., Valenzuela, P.L., Aponte, C., & Izquierdo, M. (2018) Relationship between dryland strength and swimming performance: pull-up mechanics as a predictor of swimming speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32, 1637-1642.
- Place, N., Yamada, T., Bruton, J.D., & Westerblad, H. (2010). Muscle fatigue: from observations in humans to underlying mechanisms studies in intact single muscle fibers. *European Journal of Applied Physiology*, 110, 1-15.
- Ralston, H.J., Inman, V.T, Strait, L.A., & Shaffrath, M.D. (1947). MECHANICS OF HUMAN ISOLATED VOLUNTARY MUSCLE. *American Journal of Physiology*, 151 (2), 612.
- Ramsay, J., Blimkie, C., Smith, K., Garner, S., & MacDougall, J. (1990). Strength training effects in prepubescent boys. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22,605-614.
- Ratel, S., Duche, P., & Williams C.A. (2006). Muscle Fatigue during High- Intensity Exercise in Children. *Sports Medicine*, 36 (12), 1031-1065.
- Rians, C., Weltman, A., Cahill, B., Janney, C., Tippet, S., & Katch, F. (1987). Strength training for prepubescent males: Is it safe? *American Journal of Sports Medicine*, 15, 483-481.

- Rogers, K.L. & Berger, K.A. (1974). Motor-unit involvement and tension during maximum voluntary concentric, eccentric, and isometric contractions of the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 6, 253–259.
- Sale, D. (1989). Strength training in children. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, 165-212.
- Saltin, B., Henriksson, J., Nygaard, E., Andersen, P., & Jansson, E. (1977). Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Annals of New York Academy of Science*, 303, 3-29.
- Santos, K.B., Pereira, G., Papoti, M., Bento, P.C.B., & Rodacki, A. (2013). Propulsive Force Asymmetry during Tethered- Swimming. *Journal of Sports and Medicine*, 34, 606-611.
- Sharp, R.L., Troup, J.P., & Costill, D.L. (1982). Relationship between power and freestyle swimming. *Medicine Science of Sports and Exercise*, 14, 53-56.
- Simunic, B., Degens, H., Koren, K., Završnik, J., Vomot, T., & Pisot, R. (2017). Tensiomyographic assessment of muscle contractile properties in 9- to 14-year old children. *International Journal of Sports Medicine*, 38(9), 659-665.
- Tanaka, H., & Swensen, T. (1998). Impact of resistance training on endurance performance. *Sports Medicine*, 25 (3), 191-200.
- Taylor, J.L., Butler, J.E., & Gandevia, S.C. (2000). Changes in muscle afferents, motoneurons and motor drive during muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology*, 83, 106-115.
- Tesch, L. A. & Larsson, L. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49 (3), 301-306.
- Tesch, P. & Karlsson, J. (1978). Isometric strength performance and muscle fibre type distribution in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 103 (1), 47-51.
- Toussaint, H.M., & Vervoorn, K. (1990). Effects of specific high – resistance training in the water for competitive swimmers. *International Journal of Sports and Medicine*, 11, 228-233.

- Trappe, S.W. & Pearson, D.R. (1994). Effects of Weight Assisted Dry- Land Strength Training on Swimming Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8(4), 209-213.
- Vogler, C. & Bove, K.E. (1985). Morphology of skeletal muscle in children. An assessment of normal growth and differentiation. *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*, 109 (3), 238-242.
- Vorontsov, A.R., Dyrco, V.V., Binevsky, D.A., Solomatin, V.R., & Sidorov, N.N. (2002). Patterns of Growth for some Characteristics of Physical Development Functional and Motor Abilities in Boy-swimmers 11-18 years. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, 327-355.
- Κλεισσούρας, Β., Γελαδάς, Ν., & Κοσκολού, Μ. (2015). *ΕΡΓΟΜΕΤΡΙΑ*. Broken Hill Publishers LTD.