



Ερευνητική δραστηριότητα του Εργαστηρίου Υγρού Στίβου του Τ.Ε.Φ.Α.Α.-Σ.Ε.Φ.Α.Α.Ε.-Δ.Π.Θ. σχετικά με τη μελέτη των προωθητικών δυνάμεων στην κολύμβηση ελευθέρου και την άμεση επίδραση της χρήσης βοηθητικών μέσων

Γούργουλης Βασίλειος

Καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Αντιπρύτανης Διοικητικών Υποθέσεων Δ.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο παρόν άρθρο συνοψίζεται η ερευνητική δραστηριότητα του Εργαστηρίου Υγρού Στίβου του Τ.Ε.Φ.Α.Α. του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, που αφορά στη μελέτη των προωθητικών δυνάμεων και στη συνεισφορά του λακτίσματος των ποδιών, καθώς και στην άμεση επίδραση της χρήσης βοηθητικών μέσων κατά την κολύμβηση ελευθέρου, όπως κολυμβητικά χεράκια και έλξη πρόσθετης αντίστασης. Δείγμα των ερευνών αποτέλεσαν νεαρές κολυμβήτριες ηλικίας 14 – 17 ετών. Η καταγραφή της υποβρύχιας κίνησής τους κατά τη διάρκεια προσπαθειών μέγιστης έντασης στις διάφορες συνθήκες μέτρησης (με ή χωρίς λάκτισμα ή κολυμβητικά χεράκια ή έλξη πρόσθετης αντίστασης) έγινε με 4 κάμερες υψηλής συχνότητας, και ακολούθησε τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση για τον καθορισμό βασικών κινηματικών χαρακτηριστικών της χεριάς, του προσανατολισμού του χεριού και την εκτίμηση των προωθητικών του δυνάμεων. Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων εφαρμόστηκαν αναλύσεις διακύμανσης για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, και διαπιστώθηκε ότι, στη φάση έλξης υπερέχει η δύναμη έλξης, ενώ στη φάση ώθησης πρέπει να δίνεται έμφαση στη δύναμη ανύψωσης, το δπλό λάκτισμα των ποδιών συμβάλει στη μείωση της μετωπικής αντίστασης, ενώ τόσο τα κολυμβητικά χεράκια, όσο και η κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης, αποτελούν εξειδικευμένα προπονητικά μέσα που δεν αλλοιώνουν την κολυμβητική τεχνική. Ωστόσο, όταν ο προπονητικός στόχος επικεντρώνεται στην τροποποίηση του συντονισμού μεταξύ των δύο χεριών, έτσι ώστε να υπάρχει μια συνεχής εφαρμογή προωθητικών δυνάμεων, περισσότερο ενδεδειγμένη είναι η κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης.

Λέξεις κλειδιά: κολυμβητικά χεράκια, κολύμβηση με έλξη αντίστασης, λάκτισμα ποδιών, συντονισμός χεριών

Διεύθυνση αλληλογραφίας:

Γούργουλης Βασίλειος
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Πανεπιστημιούπολη, 69100 Κομοτηνή
vgoyrgoy@phyed.duth.gr

E-mail:

Εισαγωγή

Στο παρόν άρθρο συνοψίζεται η ερευνητική δραστηριότητα του Εργαστηρίου Υγρού Στίβου του Τ.Ε.Φ.Α.Α. του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, που δημοσιεύθηκε σε έγκριτα διεθνή επιστημονικά περιοδικά με υψηλό δείκτη απήχησης και αφορά στην εμβιομηχανική του ελεύθερου στυλ κολύμβησης, και πιο συγκεκριμένα στη μελέτη των προωθητικών δυνάμεων και στη συνεισφορά του λακτίσματος των ποδιών, καθώς και στην άμεση επίδραση της χρήσης βοηθητικών μέσων κατά την κολύμβηση ελευθέρου, όπως κολυμβητικά χεράκια και έλξη πρόσθετης αντίστασης.

Οι κολυμβητές μπορούν να βελτιώσουν την προώθησή τους προς τα εμπρός αυξάνοντας τις προωθητικές τους δυνάμεις και μειώνοντας τις δυνάμεις αντίστασης (Barbosa et al., 2008). Ωστόσο η αποτελεσματική προώθηση προς τα εμπρός δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος των προωθητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται από τα μέλη του σώματος, αλλά και από την κατεύθυνσή τους (Toussaint et al., 2000). Στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης η προώθηση προέρχεται κυρίως από τη δράση των χεριών (Deschodt et al., 1999). Οι προωθητικές δυνάμεις διακρίνονται στη δύναμη έλξης (drag) και στη δύναμη ανύψωσης (lift) (Schleithauf, 1979), και η σχετική τους συμμετοχή είναι καθοριστικής σημασίας για την αποτελεσματική εφαρμογή τους. Το απόλυτο και σχετικό μέγεθός τους, καθώς και η κατεύθυνση εφαρμογής τους καθορίζουν το μέγεθος και την κατεύθυνση εφαρμογής της συνισταμένης τους δύναμης (resultant force), που ιδανικά θα πρέπει να έχει κατεύθυνση προς τα εμπρός, προς την κατεύθυνση κίνησης του κολυμβητή (Toussaint et al., 2000). Ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει πάντα, και όταν οι δυνάμεις ασκούνται σε λάθος διεύθυνση καταναλώνεται άσκοπα ενέργεια, χωρίς να συμβάλει στην προώθηση (Berger et al., 1997), ενώ ταυτόχρονα προκαλούνται πλευρικές και κατακόρυφες κινήσεις του σώματος, αυξάνοντας τις δυνάμεις αντίστασης (Vorontsov & Rumyantsev, 2000).

Κάνοντας την παραδοχή ότι κατά την κολύμβηση είναι σταθερή η ροή του νερού γύρω από το κινούμενο χέρι, το μέγεθος των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης, βάσει της υδροδυναμικής εξίσωσης (1), εξαρτάται από την πυκνότητα του νερού (ρ), το εμβαδόν της επιφάνειας του χεριού (S), το μέγεθος της συνισταμένης ταχύτητάς του ($|v_H|$), και το μέγεθος υδροδυναμικών συντελεστών ταχύτητας για τις δυνάμεις έλξης και ανύψωσης (C), αντίστοιχα (Schleithauf, 1979).

$$F = 0.5 \cdot C \cdot \rho \cdot |v_H|^2 \cdot S \quad (1)$$

Κατά τη διάρκεια της κολύμβησης, οι κολυμβητές δεν μπορούν να μεταβάλλουν την πυκνότητα του νερού (ρ), ούτε το εμβαδόν της επιφάνειας του χεριού (S) (εκτός αν χρησιμοποιήσουν π.χ. κολυμβητικά χεράκια), ενώ η διαφοροποίηση του μεγέθους της συνισταμένης ταχύτητάς του ($|v_H|$) επηρεάζει στον ίδιο βαθμό και τις δύο μορφές προωθητικών δυνάμεων. Συνεπώς, ο μόνος τρόπος για να τροποποιηθεί το σχετικό μέγεθος των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης, και να αλλάξει η κατεύθυνση εφαρμογής της συνισταμένης τους δύναμης, είναι η αλλαγή του μεγέθους των αντίστοιχων υδροδυναμικών συντελεστών ταχύτητας (C), που εξαρτώνται από τον προσανατολισμό του χεριού, ο οποίος καθορίζεται μέσω των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού. Η γωνία επίθεσης αφορά την κλίση του χεριού και τη γωνία μεταξύ του επιπέδου του χεριού και του διανύσματος της ταχύτητάς του, που καθορίζει την κατεύθυνση της κίνησής του, ενώ η γωνία καθοδήγησης καθορίζει το σημείο περιμετρικά του χεριού, που καθοδηγεί την κίνησή του (Schleithauf, 1979). Ωστόσο, οι κολυμβητές δεν κινούν τα χέρια τους με σταθερή ταχύτητα, οπότε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επιτάχυνση του χεριού ($|a|$) (Kudo et al., 2013), χρησιμοποιώντας

αντίστοιχους υδροδυναμικούς συντελεστές επιτάχυνσης (D), σύμφωνα με την υδροδυναμική εξίσωση (2) (Sanders, 1999).

$$F = 0.5 \cdot C \cdot \rho \cdot |vH|^2 \cdot S + D \cdot \rho \cdot S \cdot |a| \quad (2)$$

Παρόλο που στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης η προώθηση προέρχεται κυρίως από τη δράση των χεριών, η συμμετοχή των ποδιών, ιδιαίτερα στα σπριντ, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, καθώς προκαλεί άμεσα προώθηση (Deschodt et al., 1999), και θεωρείται ότι συμβάλει στην αποτελεσματικότερη δράση των χεριών (Watkins & Gordon, 1983), βοηθώντας ταυτόχρονα στη διατήρηση μιας υδροδυναμικής θέσης του σώματος και κατά συνέπεια μειώνοντας τις δυνάμεις αντίστασης (Yanai, 2001).

Στην προπονητική πράξη χρησιμοποιούνται διάφορα μέσα για τη βελτίωση της κολυμβητικής απόδοσης, όπως κολυμβητικά χεράκια και έλξη πρόσθετης αντίστασης, το μέγεθος των οποίων ποικίλει. Τα κολυμβητικά χεράκια χρησιμοποιούνται για την αύξηση της προωθητικής επιφάνειας του χεριού και κατά συνέπεια της ποσότητας του νερού που ωθείται σε κάθε χεριά (Toussaint & Beek, 1992). Η κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης αυξάνει τις δυνάμεις αντίστασης που πρέπει να υπερνικήσει ο κολυμβητής σε κάθε χεριά (Girolid et al., 2007). Ωστόσο, για να είναι αποτελεσματική η χρήση αυτών των προπονητικών μέσων, δεν θα πρέπει να διαφοροποιούν σημαντικά το πρότυπο της κίνησης και τα κινηματικά χαρακτηριστικά της χεριάς (Schleithauf, 1983).

Σκοπός λοιπόν των συγκεκριμένων ερευνών που διεξήχθησαν τα προηγούμενα χρόνια από το εργαστήριο Υγρού Στίβου του Τ.Ε.Φ.Α.Α.–Δ.Π.Θ., και αφορούσαν το ελεύθερο στυλ κολύμβησης, ήταν:

- η διερεύνηση της συνεισφοράς της επιτάχυνσης του χεριού στο μέγεθος των προωθητικών δυνάμεων, καθώς και η σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης του χεριού (Gourgoulis et al., 2015),
- η επίδραση του βπλού λακτίσματος των ποδιών (Gourgoulis et al., 2014),
- η άμεση επίδραση που έχουν κολυμβητικά χεράκια διαφορετικού μεγέθους (Gourgoulis et al., 2006; 2008b; 2008c; 2009) και
- η άμεση επίδραση που έχει η κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης διαφορετικού μεγέθους (Gourgoulis et al., 2010; 2013a; 2013b).

Μέθοδος

Συμμετέχοντες

Δείγμα των ερευνών, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, αποτέλεσαν νεαρές κολυμβήτριες ηλικίας 14 – 17 ετών, μέτριου αγωνιστικού επιπέδου, που οι επιδόσεις τους στα 100 m ελεύθερο αντιστοιχούσαν σε 880 έως 678 βαθμούς σύμφωνα με το διεθνές σύστημα κατάταξης (<http://www.swimnews.com/Ranking/ips.jhtml>).

Όργανα μέτρησης

Ανάλογα με το ερευνητικό ερώτημα, οι συμμετέχουσες εκτέλεσαν με μέγιστη ένταση 25 m ελεύθερο χωρίς λάκτισμα των ποδιών ή χεράκια ή έλξη πρόσθετης αντίστασης και 25 m χρησιμοποιώντας βπλό λάκτισμα των ποδιών (Gourgoulis et al., 2014) ή χεράκια μικρού (116 cm²) και μεγάλου μεγέθους (268 cm²) (Gourgoulis et al., 2006; 2008b; 2008c; 2009) ή έλκοντας ως

πρόσθετη αντίσταση μια λεκάνη νερού μικρού (διαμέτρου 23 cm), μέτριου (διαμέτρου 26 cm) και μεγάλου μεγέθους (διαμέτρου 32 cm) (Gourgoulis et al., 2010; 2013a; 2013b).

Η καταγραφή των κολυμβητικών κινήσεων έγινε με 4 κάμερες υψηλής συχνότητας (60 Hz) (Σχήμα 1α), οι οποίες τοποθετήθηκαν πίσω από ειδικά διαμορφωμένα περισκόπια, που ήταν ιδιοκατασκευή του εργαστηρίου Υγρού Στίβου του Τ.Ε.Φ.Α.Α.–Δ.Π.Θ., και η διαβάθμιση του χώρου έγινε μέσω ενός κύβου διαβάθμισης διαστάσεων 1 x 1 x 3 m, για τον εγκάρσιο (X), τον κατακόρυφο (Z) και τον επιμήκη (Y) άξονα, αντίστοιχα, ο οποίος ταυτιζόταν με την κατεύθυνση κίνησης των κολυμβητριών, καθορίζοντας έτσι ένα γενικό σύστημα συντεταγμένων του χώρου (O; X, Y, Z) (Σχήμα 1α), στο οποίο υπολογίστηκαν όλα τα κινηματικά χαρακτηριστικά. Σε κάθε κολυμβήτρια σημειώθηκαν με μαύρο ανεξίτηλο μαρκαδόρο συγκεκριμένα ανατομικά σημεία στη δεξιά και αριστερή πλευρά του σώματος, που αντιστοιχούσαν στη 2^η (T) και 5^η (P) μετακαρποφαλαγγική άρθρωση, στην τελευταία φάλαγγα του μεσαίου δακτύλου (I) και στον καρπό (W) (Σχήμα 1β), καθώς και στον αγκώνα, στο ακρώμιο και στο μείζονα τροχαντήρα του μηριαίου οστού. Η ψηφιοποίηση αυτών των σημείων έγινε μέσω του Ariel Performance Analysis System (Ariel Dynamics, USA) και η εξομάλυνση των αρχικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω ενός ψηφιακού κατωδιαβατού φίλτρου 2^{ου} βαθμού με συχνότητα κοπής 6 Hz, που ορίστηκε μετά από ανάλυση υπολοίπων (residual analysis) (Gourgoulis et al., 2008a; 2008b; 2008c; 2009; 2014; 2015).

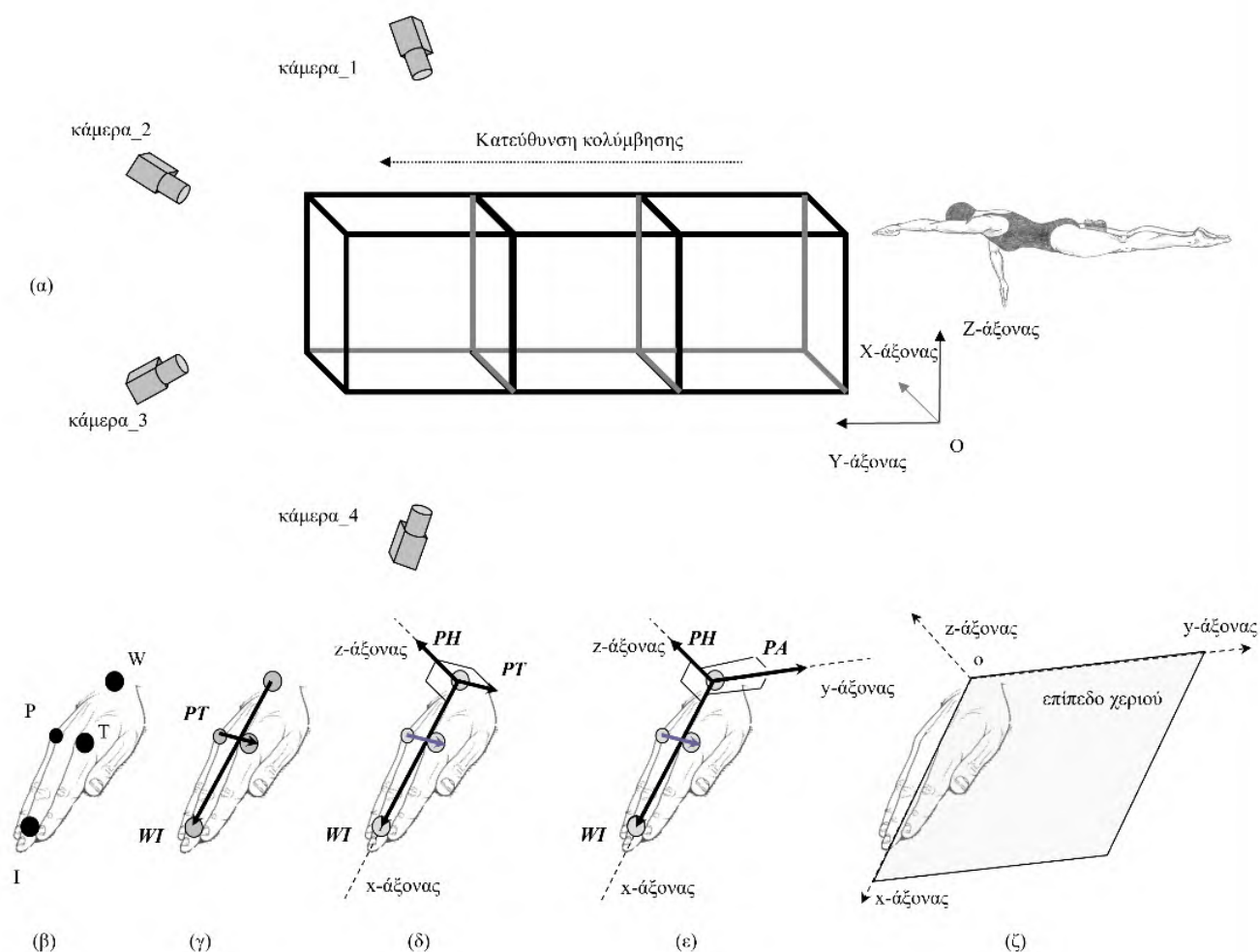
Διαδικασία

Για τον υπολογισμό των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού, και την εκτίμηση των προωθητικών δυνάμεων, καθορίστηκε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων (O; x, y, z), βάσει των τεσσάρων σημείων που ψηφιοποιήθηκαν πάνω στο δεξί χέρι κάθε κολυμβήτριας (Σχήμα 1β-γ). Ο άξονας x αυτού του τοπικού συστήματος συντεταγμένων καθορίστηκε από το διάνυσμα WI , ο άξονας z καθορίστηκε από το εσωτερικό γινόμενο PH των διανυσμάτων WI και PT (Σχήμα 1δ) και ο άξονας y καθορίστηκε από το εσωτερικό γινόμενο PA των διανυσμάτων PH και WI (Σχήμα 1ε) (Gourgoulis et al., 2008b; 2008c; 2014; 2015).

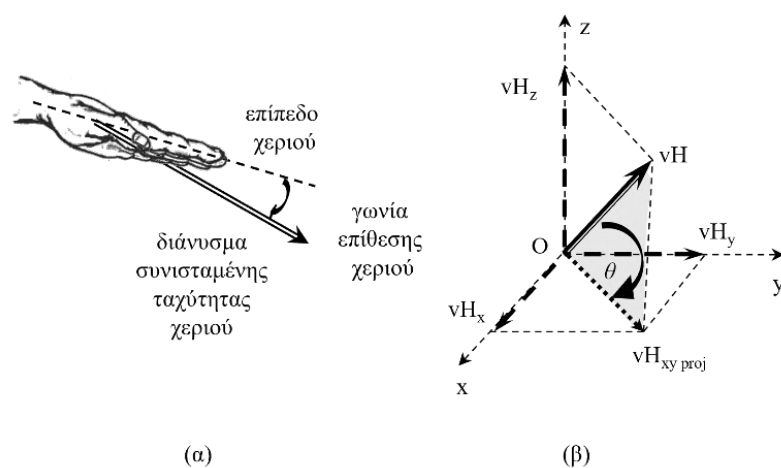
Για την εκτίμηση των προωθητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται από το χέρι κάθε κολυμβήτριας, αρχικά υπολογίστηκαν η ταχύτητα και ο προσανατολισμός του χεριού. Η ταχύτητα του χεριού (vH), που καθορίστηκε ως η μέση συνισταμένη ταχύτητα της 2^{ης} και 5^{ης} μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης, αρχικά υπολογίστηκε στο γενικό σύστημα συντεταγμένων (O; X, Y, Z) και στη συνέχεια μεταφέρθηκε στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων του χεριού (O; x, y, z) χρησιμοποιώντας συνημίτονα κατεύθυνσης. Ο προσανατολισμός του χεριού καθορίστηκε μέσω της γωνίας επίθεσης (θ) και της γωνίας καθοδήγησης (φ) του χεριού.

Η γωνία επίθεσης (θ) του χεριού ορίζει τη γωνία που σχηματίζει το επίπεδο του χεριού με το διάνυσμα της συνισταμένης ταχύτητάς του (Σχήμα 2α) και καθορίστηκε ως η γωνία μεταξύ του διανύσματος της ταχύτητας του χεριού (vH) και της προβολής του στο επίπεδο του χεριού ($vH_{xy\ proj}$) (Σχήμα 2β), σύμφωνα με την εξίσωση (3) (Gourgoulis et al., 2008b; 2008c; 2014; 2015).

$$\theta = -\arcsin \frac{vH_z}{|vH|} \quad (3)$$



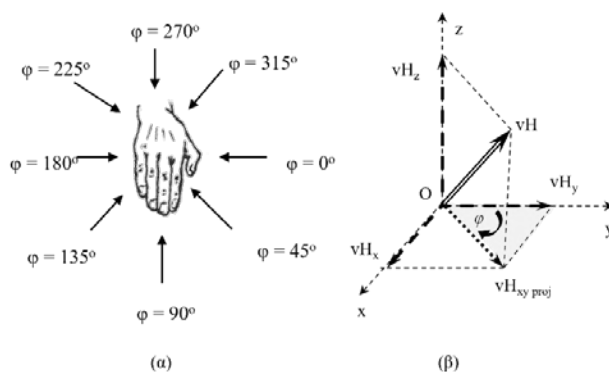
Σχήμα 1. Διάταξη μηχανών λήψης, κύβος διαβάθμισης, γενικό σύστημα συντεταγμένων ($O; X, Y, Z$) και τοπικό σύστημα συντεταγμένων του χεριού ($O; x, y, z$) (Gourgoulis et al., 2008b; 2008c; 2014; 2015).



Σχήμα 2. Γωνία επίθεσης (θ) του χεριού (Gourgoulis et al., 2008b; 2008c; 2014; 2015).

Η γωνία καθοδήγησης (φ) του χεριού ορίζει την πλευρά του χεριού που «καθοδηγεί» την κίνησή του (Σχήμα 3α), δηλαδή την πλευρά του χεριού που «έρχεται πρώτη» σε επαφή με το νερό στην πορεία της κίνησής του (π.χ. μικρό δάκτυλο, άκρες δακτύλων, αντίχειρας, καρπός, κλπ.) και καθορίστηκε ως η γωνία μεταξύ της προβολής του διανύσματος της ταχύτητας του χεριού πάνω στο επίπεδο του χεριού και του άξονα y του τοπικού συστήματος συντεταγμένων (Σχήμα 3β), σύμφωνα με την εξίσωση (4) (Gourgoulis et al., 2008b; 2008c; 2014; 2015):

$$\varphi = \arctan \frac{vH_x}{vH_y} \quad (4)$$



Σχήμα 3. Γωνία καθοδήγησης (φ) του χεριού (Gourgoulis et al., 2008b; 2008c; 2014; 2015).

Η συνισταμένη προωθητική δύναμη ($\mathbf{F}_{\text{Resultant}}$) που αναπτύσσεται από το χέρι κάθε κολυμβήτριας μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα διάνυσμα, που αποτελείται από τρεις συνιστώσες. Η συνιστώσα που δρα αντίθετα στην κατεύθυνση του διανύσματος της ταχύτητας του χεριού ορίζεται ως δύναμη έλξης (drag force: $F_{\text{Drag } X'}$) και οι άλλες δύο συνιστώσες είναι οι συνιστώσες της δύναμης ανύψωσης (lift force: $F_{\text{Lift } Y'}$, $F_{\text{Lift } Z'}$), που εξ ορισμού βρίσκονται σε ένα επίπεδο κάθετο στο διάνυσμα της ταχύτητας του χεριού και στο διάνυσμα της δύναμης έλξης. Για την εκτίμηση των συνιστωσών της προωθητικής δύναμης που αναπτύσσεται από το χέρι κάθε κολυμβήτριας, χρησιμοποιήθηκαν οι υδροδυναμικοί συντελεστές και η μεθοδολογία που παρουσιάζεται από τον Sanders (1999), βάσει των εξισώσεων (5) έως (7). Η συνισταμένη προωθητική δύναμη υπολογίστηκε ως το διανυσματικό άθροισμα της δύναμης έλξης και των δύο συνιστωσών της δύναμης ανύψωσης, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (8). Επίσης υπολογίστηκε η προωθητική δύναμη, ως η συνιστώσα της συνισταμένης δύναμης στην κατεύθυνση της κολύμβησης, καθώς και η γωνία μεταξύ της συνισταμένης δύναμης και του άξονα προώθησης των κολυμβητριών (Gourgoulis et al., 2008c; 2014; 2015).

$$F_{\text{Drag } X'} = 0.5 \cdot C_{X'} \cdot \rho \cdot |vH|^2 \cdot S + D_{X'} \cdot \rho \cdot S \cdot |a| \quad (5)$$

$$F_{\text{Lift } Y'} = 0.5 \cdot C_{Y'} \cdot \rho \cdot |vH|^2 \cdot S + D_{Y'} \cdot \rho \cdot S \cdot |a| \quad (6)$$

$$F_{\text{Lift } Z'} = 0.5 \cdot C_{Z'} \cdot \rho \cdot |vH|^2 \cdot S + D_{Z'} \cdot \rho \cdot S \cdot |a| \quad (7)$$

$$\mathbf{F}_{\text{Resultant}} = F_{\text{Drag } X'} \mathbf{i} + F_{\text{Lift } Y'} \mathbf{j} + F_{\text{Lift } Z'} \mathbf{k} \quad (8)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις, S είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του χεριού, που υπολογίστηκε για κάθε κολυμβήτρια μέσω ενός πλανίμετρου (Numonics, Model 1224, Numonics Corp., Landsdale, Pennsylvania, USA), ρ είναι η πυκνότητα του νερού, $|vH|$ είναι το μέγεθος της συνισταμένης ταχύτητας του χεριού, $|a|$ είναι το μέγεθος της συνισταμένης επιτάχυνσης του χεριού, $C_{X'}$, $C_{Y'}$ και $C_{Z'}$ είναι οι υδροδυναμικοί συντελεστές ταχύτητας του χεριού, $D_{X'}$, $D_{Y'}$ και $D_{Z'}$ είναι οι υδροδυναμικοί συντελεστές επιτάχυνσης του χεριού και i , j και k καταδεικνύουν τα μοναδιαία διανύσματα στις αντίστοιχες κατευθύνσεις. Σε κάθε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της χεριάς, οι τιμές των υδροδυναμικών συντελεστών ταχύτητας και επιτάχυνσης του χεριού διαφοροποιούνταν λόγω της μεταβολής του προσανατολισμού του χεριού, που καθορίστηκε μέσω της γωνίας επίθεσης και της γωνίας καθοδήγησης του χεριού.

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (5) έως (8) καθορίστηκαν οι συνιστώσες και η συνισταμένη δύναμη του χεριού στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων του «μοντέλου χεριού» ($O; X', Y', Z'$) που χρησιμοποιήθηκε από τον Sanders (1999). Ο άξονας Z' αυτού του συστήματος συντεταγμένων του «μοντέλου χεριού» ορίστηκε να είναι κάθετος στον άξονα z του τοπικού συστήματος συντεταγμένων και γι' αυτό βρισκόταν πάνω στο επίπεδο του χεριού. Αυτή η συνθήκη ήταν απαραίτητη για την αρχική μεταφορά των τριών συνιστωσών του διανύσματος της δύναμης του χεριού από το σύστημα αναφοράς του «μοντέλου χεριού» ($O; X', Y', Z'$) στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων του χεριού της κάθε κολυμβήτριας ($O; x, y, z$), χρησιμοποιώντας τη γωνία επίθεσης (θ) και τη γωνία καθοδήγησης (ϕ) του χεριού (Sanders, 1999). Στη συνέχεια, οι τρεις συνιστώσες της δύναμης του χεριού μεταφέρθηκαν από το τοπικό στο γενικό σύστημα συντεταγμένων ($O; X, Y, Z$) χρησιμοποιώντας συνημίτονα κατεύθυνσης, που ορίζουν τον προσανατολισμό των αξόνων του τοπικού συστήματος συντεταγμένων σε σχέση με το γενικό σύστημα συντεταγμένων (Gourgoulis et al., 2008c; 2014; 2015).

Για τη λεπτομερέστερη ανάλυσή της, η χεριά του ελευθέρου διαχωρίστηκε σε τέσσερις επιμέρους φάσεις:

- είσοδος του χεριού και γλίστρημα (entry & catch): από την είσοδο του χεριού στο νερό έως τη μέγιστη μετατόπισή του προς τα εμπρός στον επιμήκη άξονα Y ,
- έλξη (pull): από τη μέγιστη μετατόπιση του χεριού προς τα εμπρός στον επιμήκη άξονα Y έως τη στιγμή που το χέρι περνούσε κάτω από τον ώμο,
- ώθηση (push): από τη λήξη της φάσης έλξης έως την έξοδο του χεριού από το νερό και
- επαναφορά (recovery): από την έξοδο του χεριού από το νερό έως την είσοδό του και πάλι μέσα στο νερό.

Η «έλξη» και η «ώθηση» αποτελούν προωθητικές φάσεις της χεριάς, ενώ η «είσοδος του χεριού και το γλίστρημα» και η «επαναφορά» αποτελούν μη-προωθητικές φάσεις της χεριάς στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης.

Επιπλέον, για τη συνολική υποβρύχια φάση της χεριάς και τις επιμέρους φάσεις της έλξης και της ώθησης, υπολογίστηκε ο δείκτης αποτελεσματικότητας της προώθησης (propelling efficiency, e_p), σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται από τους Cappaert et al. (1995), μέσω της εξίσωσης (9):

$$e_p = \frac{P_D}{P_D + P_K} \times 100 = \frac{F_p \cdot v_{\text{body velocity}}}{(F_p \cdot v_{\text{body velocity}}) + (F_R \cdot v_{H_{\text{hand velocity}}})} \times 100 \quad (9)$$

όπου P_D = η ισχύς που απαιτείται για να υπερνικηθεί η αντίσταση του νερού, P_K = η ισχύς που δαπανάτε για να αποκτήσει κινητική ενέργεια η ποσότητα του νερού που μετακινείται από το χέρι, F_P = η προωθητική δύναμη του χεριού, F_R = η συνισταμένη δύναμη του χεριού, $v_{H_{hand\ velocity}}$ = η συνισταμένη ταχύτητα του χεριού και $v_{body\ velocity}$ = η μέση ταχύτητα του σώματος στον άξονα προώθησης (Gourgoulis et al., 2008c).

Για τη μελέτη του συντονισμού των δύο χεριών στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης υπολογίστηκε ο δείκτης συντονισμού (index of Coordination, IdC), σύμφωνα με την εξίσωση (10) (Gourgoulis et al., 2009; 2014):

$$IdC = \frac{(LT_1 + LT_2)}{2} \times \frac{100}{T} \quad (10)$$

Όταν οι κολυμβήτριες εισέρχονταν στον διαβαθμισμένο χώρο με το αριστερό χέρι, καθορίστηκε το χρονικό διάστημα μεταξύ της έναρξης της φάσης έλξης της δεξιάς χεριάς και της λήξης της φάσης ώθησης της πρώτης αριστερής χεριάς (LT_1), καθώς επίσης και το χρονικό διάστημα μεταξύ της λήξης της φάσης ώθησης της δεξιάς χεριάς και της έναρξης της φάσης έλξης της δεύτερης αριστερής χεριάς (LT_2). Όταν οι κολυμβήτριες εισέρχονταν στον διαβαθμισμένο χώρο με το δεξί χέρι, για τον υπολογισμό του δείκτη συντονισμού καθορίστηκε το χρονικό διάστημα μεταξύ της έναρξης της φάσης έλξης της αριστερής χεριάς και της λήξης της φάσης ώθησης της πρώτης δεξιάς χεριάς (LT_2), καθώς επίσης και το χρονικό διάστημα μεταξύ της λήξης της φάσης ώθησης της αριστερής χεριάς και της έναρξης της φάσης έλξης της δεύτερης δεξιάς χεριάς (LT_1). Στη συνέχεια, και στις δύο περιπτώσεις, ανεξάρτητα δηλαδή από το χέρι εισόδου μέσα στον διαβαθμισμένο χώρο, ο μέσος όρος του χρονικού διαστήματος που μεσολαβούσε μεταξύ των προωθητικών φάσεων των δύο χεριών εκφράστηκε ως ποσοστό του μέσου όρου της διάρκειας της χεριάς (T), έτσι ώστε να προκύψει ο δείκτης συντονισμού (IdC).

Επίσης υπολογίστηκαν το μήκος χεριάς (SL), η μέση κολυμβητική ταχύτητα (v) και η συχνότητα χεριάς (SR). Το μήκος χεριάς υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος της μετατόπισης του αριστερού και δεξιού ισχίου (μείζονα τροχαντήρα) στον επιμήκη άξονα Y, κατά τη διάρκεια μιας ολοκληρωμένης αριστερής και δεξιάς χεριάς, αντίστοιχα. Η μέση κολυμβητική ταχύτητα καθορίστηκε ως το πηλίκο του μέσου μήκους χεριάς προς τη μέση διάρκεια (T) της αριστερής και δεξιάς χεριάς ($v = SL/T$), ενώ η συχνότητα χεριάς ορίστηκε ως το πηλίκο της μέσης κολυμβητικής ταχύτητας προς το μέσο μήκος χεριάς ($SR = v/SL$).

Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων εφαρμόστηκαν αναλύσεις διακύμανσης για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, ο εντοπισμός των στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των επιμέρους βαθμίδων έγινε μέσω του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, και το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε ως $p < 0.05$.

Αποτελέσματα

Επίδραση της επιτάχυνσης του χεριού και σχετική συμμετοχή των προωθητικών δυνάμεων

Σε ό,τι αφορά την ανάπτυξη των προωθητικών δυνάμεων στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης, διαπιστώθηκε ότι όταν συνυπολογίζεται η επιτάχυνση του χεριού η μέση προωθητική δύναμη είναι υψηλότερη κατά την εισόδο του χεριού και το γλίστρημα, ενώ επίσης στις φάσεις της έλξης και της ώθησης η μέση προωθητική δύναμη, η συνισταμένη δύναμη, η δύναμη έλξης και η δύναμη ανύψωσης παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές, με εξαίρεση τη δύναμη έλξης στη φάση της ώθησης (Gourgoulis et al., 2015) (Σχήμα 4).

Αναφορικά με τη σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης του χεριού, φαίνεται ότι όταν συνυπολογίζεται η επιτάχυνση του χεριού υπάρχει στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ του είδους της προωθητικής δύναμης («δύναμη έλξης» έναντι «δύναμης ανύψωσης») και της φάσης της χεριάς («είσοδος και γλίστρημα» έναντι «έλξη» έναντι «ώθηση») ($F_{2,18} = 15.81$; $p < 0.05$; Cohen's f effect size: 0.36) (Gourgoulis et al., 2015).

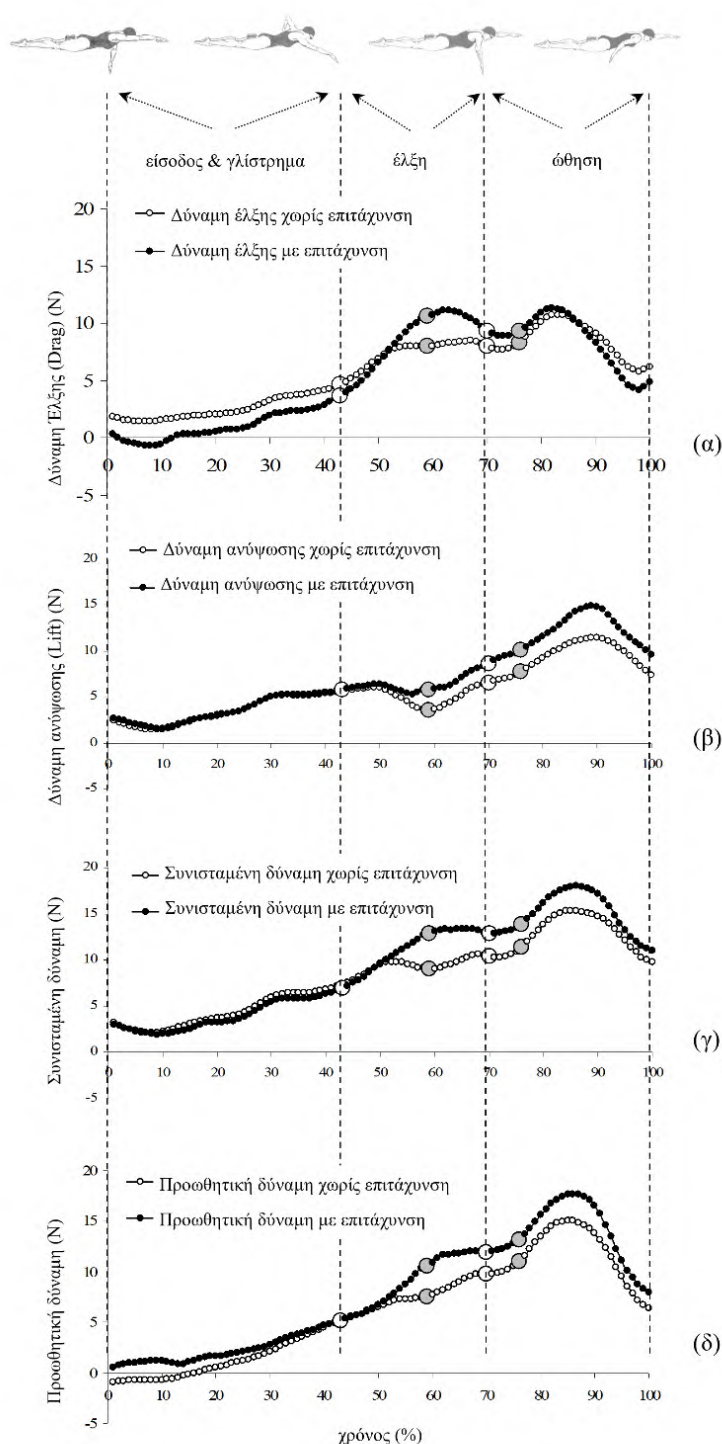
Αναλύοντας την αλληλεπίδραση προκύπτει ότι η δύναμη ανύψωσης είναι μεγαλύτερη στη φάση της εισόδου και γλιστρήματος του χεριού ($F_{1,9} = 113.244$; $p < 0.05$; Cohen's f effect size: 3.55) και στη φάση της ώθησης ($F_{1,9} = 23.88$; $p < 0.05$; Cohen's f effect size: 1.63), ενώ στη φάση της έλξης υπερέχει η δύναμη έλξης, έναντι της δύναμης ανύψωσης ($F_{1,9} = 5.47$; $p < 0.05$; Cohen's f effect size: 0.78).

Επίσης, η δύναμη έλξης παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές της στη φάση της εισόδου και γλιστρήματος του χεριού, ενώ δεν εντοπίζονται διαφορές μεταξύ των φάσεων της έλξης και της ώθησης ($F_{2,8} = 95.41$; $p < 0.05$; Cohen's f effect size: 2.53). Αναφορικά με τη δύναμη ανύψωσης, οι μικρότερες τιμές επίσης εντοπίζονται στη φάση της εισόδου και γλιστρήματος του χεριού, ενώ στη φάση της ώθησης οι τιμές της είναι σημαντικά μεγαλύτερες συγκριτικά με τη φάση έλξης ($F_{2,8} = 105.37$; $p < 0.05$; Cohen's f effect size: 3.35) (Gourgoulis et al., 2015) (Σχήμα 5).

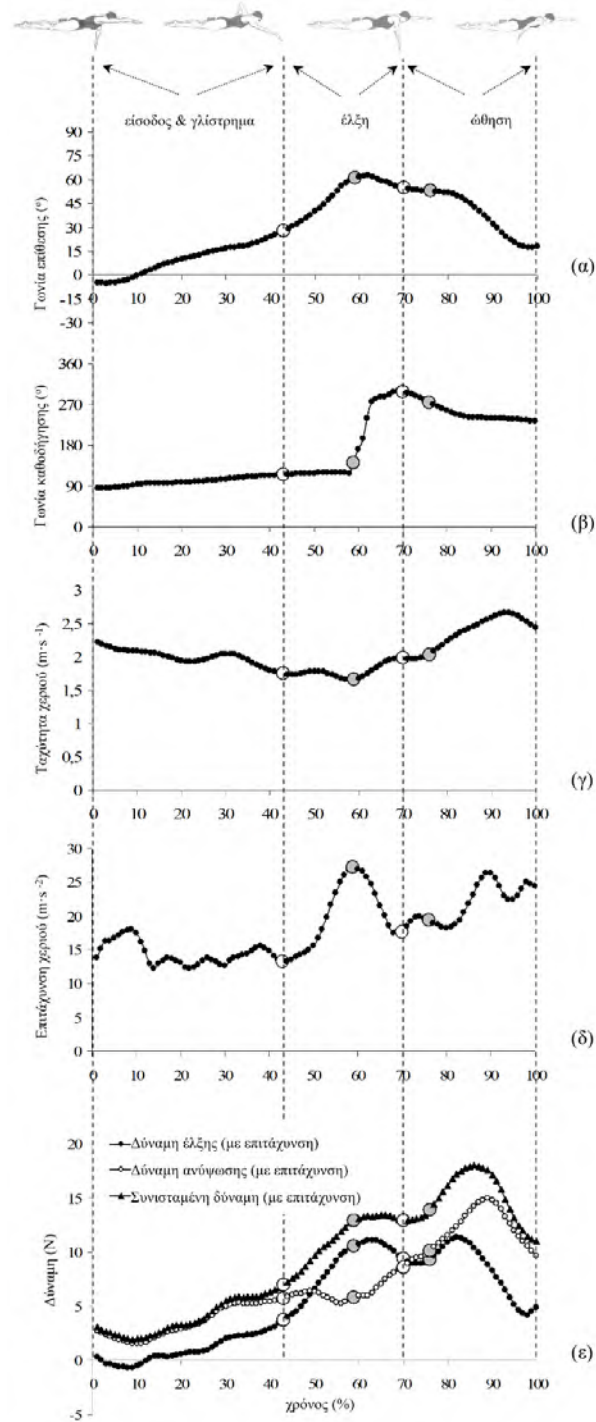
Άμεση επίδραση του λακτίσματος των ποδιών

Όταν συμμετέχουν τα πόδια στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης δεν εντοπίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ταχύτητα και στις γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού στις φάσεις έλξης και ώθησης. Επίσης, δεν διαφοροποιείται το μέγεθος της δύναμης έλξης, της δύναμης ανύψωσης, της συνισταμένης και της προωθητικής δύναμης, ούτε και της συνιστώσας της συνισταμένης δύναμης στον εγκάρσιο και στον κατακόρυφο άξονα. Επίσης, δεν υπήρχαν σημαντικές τροποποιήσεις στη γωνία μεταξύ της συνισταμένης δύναμης και τον άξονα προώθησης των κολυμβητριών (Gourgoulis et al., 2014) (Πίνακας 1).

Ωστόσο, εκτελώντας δπλό λάκτισμα των ποδιών μειώνεται στατιστικά σημαντικά ($t = 3.30$; $p < 0.05$) η μέση κλίση του κορμού (σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο) κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης από 11.46 ± 1.51 μοίρες χωρίς την χρήση των ποδιών, σε 10.01 ± 2.56 μοίρες κατά το δπλό λάκτισμα των ποδιών (Gourgoulis et al., 2014) (Σχήμα 6).



Σχήμα 4. Δύναμη έλξης (α), δύναμη ανύψωσης (β), συνισταμένη δύναμη (γ) και προωθητική δύναμη (δ) του χεριού, χωρίς και συνυπολογίζοντας την επιτάχυνση του χεριού (Gourgoulis et al., 2015).



Σχήμα 5. Γωνία επίθεσης (α), γωνία καθοδήγησης (β), ταχύτητα χεριού (γ), επιτάχυνση χεριού (δ), δύναμη έλξης, δύναμη ανύψωσης και συνισταμένη δύναμη χεριού (ε) συνυπολογίζοντας την επιτάχυνση του χεριού (Gourgoulis et al., 2015).

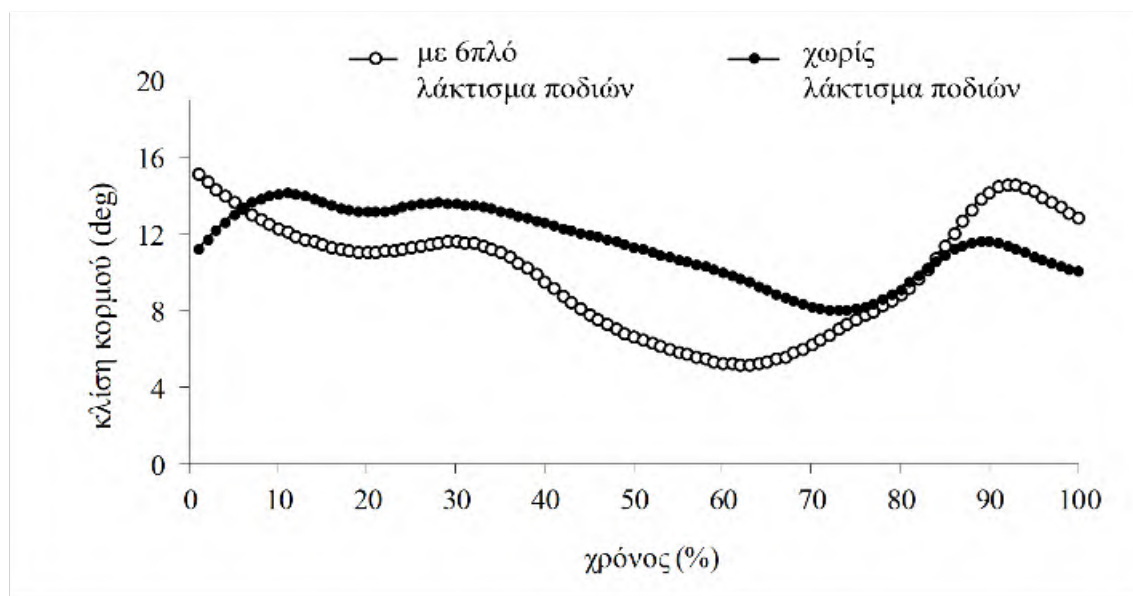
Πίνακας 1. Ταχύτητα, προσανατολισμός και δυνάμεις του χεριού στο ελεύθερο στυλ κολύμβηση χωρίς λάκτισμα ποδιών και κατά την εκτέλεση 6πλού λακτίσματος ποδιών (Gourgoulis et al., 2014).

	Χωρίς λάκτισμα των ποδιών	Με 6πλό λάκτισμα των ποδιών	t-τιμή
Στη φάση έλξης			
Ταχύτητα χεριού ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1.82 ± 0.20	1.88 ± 0.18	0.99
Γωνία επίθεσης χεριού ($^{\circ}$)	52.95 ± 10.54	49.55 ± 12.64	0.89
Γωνία καθοδήγησης χεριού ($^{\circ}$)	181.52 ± 53.57	186.27 ± 78.03	0.28
Δύναμη έλξης (N)	8.78 ± 3.24	8.37 ± 3.41	0.35
Δύναμη ανύψωσης (N)	6.63 ± 1.68	7.79 ± 2.40	1.55
Συνισταμένη δύναμη (N)	11.61 ± 2.90	12.05 ± 2.89	0.37
Προωθητική δύναμη (N)	9.64 ± 1.99	9.11 ± 3.16	0.41
Συνιστώσα συνισταμένης δύναμης στον εγκάρσιο άξονα X (N)	-0.11 ± 2.56	-1.62 ± 2.47	1.90
Συνιστώσα συνισταμένης δύναμης στον κατακόρυφο άξονα Z (N)	4.18 ± 3.62	4.92 ± 3.55	0.86
Γωνία συνισταμένης δύναμης και κατεύθυνσης προώθησης ($^{\circ}$)	24.47 ± 20.70	27.83 ± 31.44	0.42
Στη φάση ώθησης			
Ταχύτητα χεριού ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2.34 ± 0.23	2.46 ± 0.19	1.85
Γωνία επίθεσης χεριού ($^{\circ}$)	37.43 ± 11.19	36.34 ± 10.29	0.25
Γωνία καθοδήγησης χεριού ($^{\circ}$)	253.93 ± 14.51	248.97 ± 11.18	0.90
Δύναμη έλξης (N)	7.63 ± 1.65	7.91 ± 3.43	0.21
Δύναμη ανύψωσης (N)	11.21 ± 1.98	11.98 ± 2.18	1.34
Συνισταμένη δύναμη (N)	13.94 ± 2.03	14.94 ± 2.90	0.88
Προωθητική δύναμη (N)	12.80 ± 1.94	13.59 ± 2.32	0.88
Συνιστώσα συνισταμένης δύναμης στον εγκάρσιο άξονα X (N)	2.38 ± 1.05	2.97 ± 1.70	1.01
Συνιστώσα συνισταμένης δύναμης στον κατακόρυφο άξονα Z (N)	-0.68 ± 2.35	-0.11 ± 2.77	0.61
Γωνία συνισταμένης δύναμης και κατεύθυνσης προώθησης ($^{\circ}$)	-8.07 ± 12.67	1.46 ± 14.71	2.25

* $p < 0.05$

Άμεση επίδραση της κολύμβησης με κολυμβητικά χεράκια

Αναφορικά με την άμεση επίδραση που έχει η κολύμβηση ελευθέρου χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια, διαπιστώθηκε ότι καθώς αυξανόταν το μέγεθος που είχαν τα κολυμβητικά χεράκια αυξάνονταν το μήκος της χεριάς και η μέση κολυμβητική ταχύτητα, ενώ αντίθετα μειωνόταν η συχνότητα χεριάς. Ωστόσο αυτές οι διαφοροποιήσεις ήταν στατιστικά σημαντικές μόνο όταν χρησιμοποιούνταν κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους (Gourgoulis et al., 2008b) (Πίνακας 2).



Σχήμα 6. Κλίση του κορμού στην υποβρύχια φάση της χεριάς χωρίς (με χρήση pull-buoy) και με δπλό λάκτισμα των ποδιών (Gourgoulis et al., 2014).

Σχετικά με την άμεση επίδραση που έχουν τα κολυμβητικά χεράκια στη διάρκεια της χεριάς, διαπιστώθηκε αύξηση της συνολικής διάρκειας της χεριάς, που ήταν όμως στατιστικά σημαντική μόνο όταν χρησιμοποιούνταν κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους. Επίσης αυξήθηκε σημαντικά η απόλυτη διάρκεια των φάσεων του γλιστρήματος και της επαναφοράς, ενώ δεν διαφοροποιήθηκε η απόλυτη διάρκεια των φάσεων της έλξης και της ώθησης, που είναι οι προωθητικές φάσεις της χεριάς. Επιπλέον, δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφοροποίηση ούτε στη σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της χεριάς, ούτε στη σχετική διάρκεια της συνολικής προωθητικής (έλξη και ώθηση) και μη προωθητικής (γλίστρημα και επαναφορά) φάσης της χεριάς (Gourgoulis et al., 2008b) (Πίνακας 2).

Αυτή η απουσία σημαντικών διαφοροποιήσεων στη σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της χεριάς, όταν χρησιμοποιούνταν κολυμβητικά χεράκια, είχε αντίκτυπο και στον δείκτη συντονισμού μεταξύ των δύο χεριών (IdC), ο οποίος παρέμεινε αμετάβλητος στις διάφορες συνθήκες μέτρησης ($F_{2,18} = 0.112$; $p = 0.895$). Ο δείκτης συντονισμού ήταν -10.03 ± 3.96 κατά την κολύμβηση ελεύθερου χωρίς χεράκια, -10.42 ± 4.15 κατά την κολύμβηση με μικρά χεράκια και -10.19 ± 4.21 κατά την κολύμβηση με μεγάλα χεράκια (Gourgoulis et al., 2009).

Χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια, καθώς αυξανόταν το μέγεθός τους μειωνόταν το απόλυτο μήκος της υποβρύχιας έλξης του χεριού, ενώ παρέμεινε αμετάβλητο το σχετικό της μήκος. Επίσης δεν διαφοροποιήθηκε το μέγεθος της πλευρικής μετατόπισης του χεριού προς τα έξω, προς τα μέσα και ξανά προς τα έξω, ούτε η συνολική πλευρική του μετατόπιση (Gourgoulis et al., 2008b) (Πίνακας 3).

Πίνακας 2. Μήκος χεριάς (m), συχνότητα χεριάς (κύκλοι·s⁻¹), μέση κολυμβητική ταχύτητα (m·s⁻¹), απόλυτη (s) και σχετική (%) διάρκεια των επιμέρους φάσεων της χεριάς κατά την κολύμβηση ελευθέρου χωρίς, με μικρά, και με μεγάλα χεράκια (Gourgoulis et al., 2008b).

	Χωρίς χεράκια	Με μικρά χεράκια	Με μεγάλα χεράκια	F-τιμή
Μήκος χεριάς	1.76 ± 0.15 ^{2,3}	1.86 ± 0.15 ^{1,3}	1.99 ± 0.16 ^{1,2}	24.7 *
Συχνότητα χεριάς	0.79 ± 0.07 ³	0.76 ± 0.05 ³	0.72 ± 0.07 ^{1,2}	14.7 *
Μέση κολυμβητική ταχύτητα	1.38 ± 0.07 ³	1.41 ± 0.05	1.42 ± 0.06 ¹	4.8 *
Συνολική διάρκεια χεριάς	1.28 ± 0.14 ³	1.32 ± 0.12	1.41 ± 0.14 ^{1,2}	18.1 *
Συνολική διάρκεια υποβρύχιας φάσης	0.95 ± 0.15 ³	0.96 ± 0.12	1.04 ± 0.15 ^{1,2}	12.8 *
Απόλυτη διάρκεια γλιστρήματος	0.43 ± 0.11 ³	0.43 ± 0.09	0.50 ± 0.11 ^{1,2}	7.1 *
Απόλυτη διάρκεια έλξης	0.22 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.26 ± 0.06	2.0
Απόλυτη διάρκεια ώθησης	0.29 ± 0.05	0.30 ± 0.06	0.30 ± 0.06	0.5
Απόλυτη διάρκεια επαναφοράς	0.33 ± 0.03 ³	0.36 ± 0.04	0.37 ± 0.05 ¹	6.5 *
Σχετική διάρκεια γλιστρήματος	33.31 ± 5.69	32.50 ± 4.13	35.03 ± 5.27	2.5
Σχετική διάρκεια έλξης	17.67 ± 1.83	17.47 ± 2.34	17.02 ± 1.70	0.4
Σχετική διάρκεια ώθησης	22.96 ± 3.65	22.47 ± 3.97	21.51 ± 3.08	1.5
Σχετική διάρκεια επαναφοράς	26.05 ± 3.72	27.57 ± 3.57	26.44 ± 4.07	2.3
Σχετική διάρκεια προωθητικής φάσης	40.63 ± 4.69	39.94 ± 4.23	38.53 ± 3.88	1.9
Σχετική διάρκεια μη προωθητικής φάσης	59.37 ± 4.69	60.06 ± 4.23	61.47 ± 3.88	1.9

* $p < 0.05$

¹ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση χωρίς χεράκια

² Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με μικρά χεράκια

³ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με μεγάλα χεράκια

Καθώς αυξανόταν το μέγεθος που είχαν τα κολυμβητικά χεράκια μειώνονταν στατιστικά σημαντικά η μέση συνισταμένη γραμμική ταχύτητα του χεριού κατά τη φάση της έλξης και της ώθησης, ενώ αντίθετα δεν διαφοροποιήθηκε σημαντικά ο προσανατολισμός του χεριού σε καμία υποβρύχια φάση, καθώς τόσο η γωνία επίθεσης, όσο και η γωνία καθοδήγησης του χεριού παρέμειναν αμετάβλητες στις τρεις συνθήκες μέτρησης (Gourgoulis et al., 2008b) (Πίνακας 4).

Σε ό,τι αφορά το ύψος των μέσων τιμών της συνισταμένης δύναμης, της προωθητικής δύναμης (effective force) και των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης του χεριού, διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση μόνο κατά την κολύμβηση ελευθέρου με κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους, ενώ δεν υπήρξε καμία διαφοροποίηση χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια μικρού μεγέθους (Gourgoulis et al., 2008c) (Πίνακας 5).

Αναφορικά με τη σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης του χεριού, που εκφράζεται μέσω της αναλογίας «δύναμη ανύψωσης/δύναμη έλξης» δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις ούτε στη φάση έλξης ($F_{2,14} = 0.158$; $p = 0.855$), ούτε στη φάση ώθησης ($F_{2,14} = 2.638$; $p = 0.107$). Στη φάση έλξης η αναλογία «δύναμη ανύψωσης/δύναμη έλξης» ήταν 0.74 ± 0.29 κατά την κολύμβηση ελευθέρου χωρίς χεράκια, 0.72 ± 0.22 κατά την κολύμβηση με μικρά χεράκια και 0.71 ± 0.16 κατά την κολύμβηση με κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους, καταδεικνύοντας

την υπεροχή της δύναμης έλξης έναντι της δύναμης ανύψωσης στη φάση έλξης, σε όλες τις συνθήκες μέτρησης. Αντίθετα στη φάση ώθησης, η αναλογία «δύναμη ανύψωσης/δύναμη έλξης» ήταν 1.13 ± 0.22 κατά την κολύμβηση ελεύθερου χωρίς χεράκια, 1.17 ± 0.26 κατά την κολύμβηση με μικρά χεράκια και 1.26 ± 0.25 κατά την κολύμβηση με κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους, καταδεικνύοντας την υπεροχή της δύναμης ανύψωσης έναντι της δύναμης έλξης στη φάση ώθησης, σε όλες τις συνθήκες μέτρησης (Gourgoulis et al., 2008c).

Πίνακας 3. Μετατοπίσεις του χεριού (m) κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρά, και με μεγάλα χεράκια (Gourgoulis et al., 2008b).

	Χωρίς χεράκια	Με μικρά χεράκια	Με μεγάλα χεράκια	F-τιμή
Απόλυτο μήκος υποβρύχιας έλξης χεριού	$0.52 \pm 0.05^{2,3}$	$0.46 \pm 0.04^{1,3}$	$0.41 \pm 0.03^{1,2}$	30.2 *
Σχετικό μήκος υποβρύχιας έλξης χεριού	1.34 ± 0.07	1.32 ± 0.06	1.33 ± 0.06	0.4
Πρώτη πλευρική μετατόπιση χεριού προς τα έξω	0.17 ± 0.07	0.13 ± 0.05	0.14 ± 0.07	3.2
Πλευρική μετατόπιση χεριού προς τα μέσα	0.10 ± 0.08	0.09 ± 0.07	0.07 ± 0.04	1.4
Δεύτερη πλευρική μετατόπιση χεριού προς τα έξω	0.11 ± 0.06	0.12 ± 0.06	0.10 ± 0.05	0.2
Συνολική πλευρική μετατόπιση χεριού μέσα - έξω	0.37 ± 0.15	0.33 ± 0.12	0.31 ± 0.07	1.5

* $p < 0.05$

¹ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση χωρίς χεράκια

² Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με μικρά χεράκια

³ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με μεγάλα χεράκια

Πίνακας 4. Μέση συνισταμένη ταχύτητα ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), γωνία επίθεσης (deg) και γωνία καθοδήγησης (deg) του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρά, και με μεγάλα χεράκια (Gourgoulis et al., 2008b).

	Χωρίς χεράκια	Με μικρά χεράκια	Με μεγάλα χεράκια	F-τιμή
Ταχύτητα χεριού στη φάση έλξης	$1.80 \pm 0.19^{2,3}$	$1.55 \pm 0.11^{1,3}$	$1.38 \pm 0.15^{1,2}$	80.6 *
Ταχύτητα χεριού στη φάση ώθησης	$2.36 \pm 0.22^{2,3}$	2.13 ± 0.15^1	1.99 ± 0.21^1	18.2 *
Γωνία επίθεσης χεριού στο γλίστρημα	8.96 ± 5.23	7.48 ± 7.15	6.77 ± 4.26	0.7
Γωνία επίθεσης χεριού στην έλξη	51.49 ± 10.59	48.99 ± 8.77	46.64 ± 8.96	2.9
Γωνία επίθεσης χεριού στην ώθηση	35.57 ± 9.77	32.48 ± 11.79	30.69 ± 9.88	2.1
Γωνία καθοδήγησης χεριού στο γλίστρημα	98.35 ± 8.33	98.32 ± 7.58	96.25 ± 7.09	0.8
Γωνία καθοδήγησης χεριού στην έλξη	177.62 ± 53.53	149.92 ± 34.74	169.81 ± 33.90	3.3
Γωνία καθοδήγησης χεριού στην ώθηση	250.02 ± 15.72	253.73 ± 14.67	246.09 ± 15.39	1.2

* $p < 0.05$

¹ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση χωρίς χεράκια

² Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με μικρά χεράκια

³ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με μεγάλα χεράκια

Επίσης, δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στη γωνία μεταξύ της συνισταμένης δύναμης και του άξονα προώθησης, ούτε στη φάση έλξης ($F_{2,14} = 0.581$; $p = 0.572$), ούτε στη φάση ώθησης ($F_{2,14} = 0.216$; $p = 0.808$). Στη φάση έλξης η αντίστοιχη μέση γωνία ήταν 25.38 ± 18.11 μοίρες κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, 19.79 ± 6.96 μοίρες όταν χρησιμοποιούνταν μικρά χεράκια και 24.11 ± 10.00 μοίρες με κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους. Στη φάση ώθησης οι αντίστοιχες τιμές ήταν -15.08 ± 9.77 , -12.89 ± 12.59 και -16.41 ± 9.03 μοίρες κατά την κολύμβηση ελεύθερου χωρίς, με μικρά και με μεγάλα χεράκια, αντίστοιχα (Gourgoulis et al., 2008c).

Καθώς αυξανόταν το μέγεθος που είχαν τα κολυμβητικά χεράκια, αυξανόταν και ο δείκτης αποτελεσματικότητας της προώθησης (propelling efficiency), τόσο κατά τη συνολική υποβρύχια φάση, όσο και στις επιμέρους φάσεις της έλξης και της ώθησης. Ωστόσο αυτή η αύξηση ήταν στατιστικά σημαντική μόνο κατά την κολύμβηση ελεύθερου με κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους (Gourgoulis et al., 2008c) (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Μέση συνισταμένη δύναμη (N), προωθητική δύναμη (N), δύναμη έλξης (N) και δύναμη ανύψωσης (N) του χεριού στις φάσεις έλξης και ώθησης, και δείκτης αποτελεσματικότητας της προώθησης (%) κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρά, και με μεγάλα χεράκια (Gourgoulis et al., 2008c).

	Χωρίς χεράκια	Με μικρά χεράκια	Με μεγάλα χεράκια	F-τιμή
Συνισταμένη δύναμη στη φάση έλξης	11.96 ± 2.65^3	11.25 ± 2.50^3	$14.31 \pm 3.55^{1,2}$	10.931 *
Προωθητική δύναμη στη φάση έλξης	8.13 ± 1.38^3	8.58 ± 1.89^3	$10.02 \pm 2.75^{1,2}$	4.303 *
Δύναμη έλξης στη φάση έλξης	7.68 ± 1.91^3	7.42 ± 2.15^3	$8.99 \pm 2.74^{1,2}$	5.614 *
Δύναμη ανύψωσης στη φάση έλξης	5.39 ± 1.47^3	5.04 ± 1.08^3	$6.13 \pm 1.45^{1,2}$	4.686 *
Συνισταμένη δύναμη στη φάση ώθησης	13.91 ± 2.13^3	13.83 ± 3.97^3	$19.09 \pm 4.08^{1,2}$	13.674 *
Προωθητική δύναμη στη φάση ώθησης	10.87 ± 1.88^3	10.39 ± 3.06^3	$14.24 \pm 2.94^{1,2}$	9.474 *
Δύναμη έλξης στη φάση ώθησης	7.87 ± 1.15^3	7.77 ± 2.23^3	$10.05 \pm 2.36^{1,2}$	7.452 *
Δύναμη ανύψωσης στη φάση ώθησης	8.82 ± 1.86^3	8.95 ± 2.56^3	$12.47 \pm 2.90^{1,2}$	11.778 *
Δείκτης αποτελεσματικότητας της προώθησης κατά τη συνολική υποβρύχια φάση	31.47 ± 2.85^3	32.89 ± 2.68	$34.57 \pm 1.98^{1,2}$	4.783 *
Δείκτης αποτελεσματικότητας της προώθησης στη φάση έλξης	33.93 ± 3.22^3	41.25 ± 1.99	$41.36 \pm 2.07^{1,2}$	22.015 *
Δείκτης αποτελεσματικότητας της προώθησης στη φάση ώθησης	34.17 ± 1.96^3	35.86 ± 3.52	$36.69 \pm 2.11^{1,2}$	4.165 *

* $p < 0.05$

¹ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση χωρίς χεράκια

² Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με μικρά χεράκια

³ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με μεγάλα χεράκια

Άμεση επίδραση της κολύμβησης με έλξη πρόσθετης αντίστασης

Σε ό,τι αφορά την άμεση επίδραση της κολύμβησης με έλξη πρόσθετης αντίστασης διαπιστώθηκε ότι καθώς αυξάνεται η αντίσταση μειώνεται στατιστικά σημαντικά το μήκος χεριάς, η συχνότητα χεριάς και η μέση κολυμβητική ταχύτητα, σε σχέση με την κολύμβηση χωρίς έλξη πρόσθετης αντίστασης. Ωστόσο, δεν διαπιστώθηκε διαφορά στη συχνότητα χεριάς μεταξύ του διαφορετικού μεγέθους πρόσθετης αντίστασης (Gourgoulis et al., 2010) (Πίνακας 6).

Η συνολική διάρκεια της χεριάς αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά κατά την κολύμβηση με έλξη αντίστασης, συγκριτικά με την κολύμβηση χωρίς έλξη πρόσθετης αντίστασης. Ωστόσο, και πάλι, δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεγεθών πρόσθετης αντίστασης. Αναφορικά με τη σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της χεριάς, δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές στη σχετική διάρκεια του γλιστρήματος, ενώ αυξήθηκε σημαντικά η σχετική διάρκεια της φάσης έλξης κατά την κολύμβηση με έλξη μέτριας και μεγάλης πρόσθετης αντίστασης, σε σύγκριση με την κολύμβηση χωρίς έλξη πρόσθετης αντίστασης. Σημαντική αύξηση διαπιστώθηκε επίσης στη σχετική διάρκεια της φάσης ώθησης κατά την κολύμβηση με έλξη όλων των μεγεθών πρόσθετης αντίστασης, συγκριτικά με την κολύμβηση χωρίς έλξη αντίστασης, ενώ δεν εντοπίστηκαν διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεγεθών πρόσθετης αντίστασης. Αντίθετα, η σχετική διάρκεια της επαναφοράς παρουσίασε στατιστικά σημαντική μείωση κατά την κολύμβηση με έλξη μέτριας και μεγάλης πρόσθετης αντίστασης, σε σύγκριση με την κολύμβηση χωρίς έλξη αντίστασης. Ανεξάρτητα από το μέγεθος της πρόσθετης αντίστασης αυξήθηκε σημαντικά η συνολική προωθητική φάση (έλξη και ώθηση), ενώ μειώθηκε στατιστικά σημαντικά η συνολική μη προωθητική φάση της χεριάς (επαναφορά και γλίστρημα), χωρίς να υπάρχουν διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεγεθών πρόσθετης αντίστασης (Gourgoulis et al., 2010) (Πίνακας 6).

Η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφοροποιήσεων στη σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της χεριάς, κατά την κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης, είχε αντίκτυπο και στον δείκτη συντονισμού μεταξύ των δύο χεριών (IdC), ο οποίος αυξήθηκε σημαντικά ($F_{3,24} = 40.862$; $p < 0.05$). Ο δείκτης συντονισμού από -13.64 ± 4.23 κατά την κολύμβηση ελεύθερου χωρίς έλξη πρόσθετης αντίστασης, αυξήθηκε σε -8.14 ± 2.88 κατά την κολύμβηση με έλξη μικρής πρόσθετης αντίστασης, σε -5.11 ± 3.08 κατά την κολύμβηση με έλξη μέτριας αντίστασης, και σε -4.88 ± 2.56 κατά την κολύμβηση με έλξη μεγάλης πρόσθετης αντίστασης, χωρίς να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεγεθών πρόσθετης αντίστασης (Gourgoulis et al., 2013b).

Σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν επίσης στο απόλυτο μήκος χεριάς, το οποίο αυξανόταν καθώς αυξανόταν η πρόσθετη αντίσταση, ενώ δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στο σχετικό μήκος χεριάς και στις πλευρικές μετατοπίσεις του χεριού (Gourgoulis et al., 2010) (Πίνακας 7).

Πίνακας 6. Μήκος χεριάς (m), συχνότητα χεριάς (κύκλοι·s⁻¹), μέση κολυμβητική ταχύτητα (m·s⁻¹), συνολική διάρκεια χεριάς (s) και σχετική διάρκεια (%) των επιμέρους φάσεων της χεριάς κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρή, με μέτρια, και με μεγάλη πρόσθετη αντίσταση (Gourgoulis et al., 2010).

	Χωρίς πρόσθετη αντίσταση	Με μικρή πρόσθετη αντίσταση	Με μέτρια πρόσθετη αντίσταση	Με μεγάλη πρόσθετη αντίσταση	F-τιμή
Μήκος χεριάς	1.85 ± 0.09 ^{2,3,4}	1.53 ± 0.14 ^{1,3,4}	1.43 ± 0.12 ^{1,2,4}	1.30 ± 0.12 ^{1,2,3}	155.050 *
Συχνότητα χεριάς	0.84 ± 0.05 ^{2,3,4}	0.75 ± 0.06 ¹	0.73 ± 0.06 ¹	0.73 ± 0.06 ¹	48.243 *
Μέση κολυμβητική ταχύτητα	1.56 ± 0.07 ^{2,3,4}	1.14 ± 0.08 ^{1,3,4}	1.04 ± 0.09 ^{1,2,4}	0.94 ± 0.10 ^{1,2,3}	650.491 *
Συνολική διάρκεια χεριάς	1.19 ± 0.10 ^{2,3,4}	1.35 ± 0.11 ¹	1.37 ± 0.10 ¹	1.38 ± 0.10 ¹	40.763 *
Σχετική διάρκεια γλιστρήματος	33.29 ± 5.89	31.50 ± 5.29	32.72 ± 5.24	32.29 ± 4.74	1.544
Σχετική διάρκεια έλξης	16.18 ± 2.16 ^{3,4}	18.22 ± 2.71	19.19 ± 1.80 ¹	20.17 ± 1.65 ¹	9.455 *
Σχετική διάρκεια ώθησης	21.21 ± 3.67 ^{2,3,4}	23.16 ± 3.34 ¹	24.31 ± 2.94 ¹	24.14 ± 2.57 ¹	9.082 *
Σχετική διάρκεια επαναφοράς	29.33 ± 5.18 ^{3,4}	27.12 ± 3.93	23.79 ± 4.36 ¹	23.40 ± 4.10 ¹	34.359 *
Σχετική διάρκεια προωθητικής φάσης	37.38 ± 4.82 ^{2,3,4}	41.38 ± 3.80 ¹	43.49 ± 2.97 ¹	44.31 ± 1.95 ¹	25.120 *
Σχετική διάρκεια μη προωθητικής φάσης	62.62 ± 4.82 ^{2,3,4}	58.62 ± 3.80 ¹	56.50 ± 2.97 ¹	55.69 ± 1.95 ¹	25.120 *

* $p < 0.05$

¹ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση χωρίς πρόσθετη αντίσταση

² Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μικρής πρόσθετης αντίστασης

³ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μέτριας πρόσθετης αντίστασης

⁴ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μεγάλης πρόσθετης αντίστασης

Κατά την κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης δεν διαφοροποιήθηκε η μέση γραμμική συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στις προωθητικές φάσεις της έλξης και της ώθησης. Αντίθετα, ήταν σημαντικά μικρότερη στη μη προωθητική φάση του γλιστρήματος, ανεξάρτητα από το μέγεθος της πρόσθετης αντίστασης. Επιπλέον, δεν εντοπίστηκαν διαφοροποιήσεις, ούτε στη γωνία επίθεσης, ούτε στη γωνία καθοδήγησης του χεριού, σε καμία από τις επιμέρους υποβρύχιες φάσεις της χεριάς (Gourgoulis et al., 2010) (Πίνακας 8).

Η απουσία διαφοροποιήσεων στη συνισταμένη γραμμική ταχύτητα, και στις γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού, αντικατοπτρίζεται και στη μη ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών στην ανάπτυξη των προωθητικών δυνάμεων κατά την κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης. Τόσο κατά την έλξη, όσο και κατά την ώθηση, δεν διέφεραν σημαντικά ούτε η δύναμη έλξης και η δύναμη ανύψωσης, ούτε η συνισταμένη δύναμη του χεριού, μεταξύ των επιμέρους συνθηκών μέτρησης. Επίσης, δεν διαφοροποιήθηκε ούτε η σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης, ούτε το μέγεθος της μέσης προωθητικής δύναμης (Gourgoulis et al., 2013a) (Πίνακας 9).

Πίνακας 7. Μετατοπίσεις του χεριού (m) κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρή, με μέτρια, και με μεγάλη πρόσθετη αντίσταση (Gourgoulis et al., 2010).

	Χωρίς πρόσθετη αντίσταση	Με μικρή πρόσθετη αντίσταση	Με μέτρια πρόσθετη αντίσταση	Με μεγάλη πρόσθετη αντίσταση	F-τιμή
Απόλυτο μήκος υποβρύχιας έλξης χεριού	$0.49 \pm 0.07^{2,3,4}$	$0.56 \pm 0.06^{1,3,4}$	$0.61 \pm 0.06^{1,2,4}$	$0.65 \pm 0.06^{1,2,3}$	23.707 *
Σχετικό μήκος υποβρύχιας έλξης χεριού	1.31 ± 0.09	1.33 ± 0.07	1.29 ± 0.09	1.31 ± 0.08	0.508
Πρώτη πλευρική μετατόπιση χεριού προς τα έξω	0.21 ± 0.06	0.20 ± 0.07	0.20 ± 0.06	0.19 ± 0.08	0.140
Πλευρική μετατόπιση χεριού προς τα μέσα	0.12 ± 0.06	0.14 ± 0.07	0.13 ± 0.08	0.13 ± 0.09	0.706
Δεύτερη πλευρική μετατόπιση χεριού προς τα έξω	0.12 ± 0.09	0.14 ± 0.08	0.13 ± 0.09	0.11 ± 0.08	1.245
Συνολική πλευρική μετατόπιση χεριού μέσα - έξω	0.45 ± 0.13	0.48 ± 0.15	0.46 ± 0.16	0.44 ± 0.19	1.168

* $p < 0.05$

¹ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση χωρίς πρόσθετη αντίσταση

² Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μικρής πρόσθετης αντίστασης

³ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μέτριας πρόσθετης αντίστασης

⁴ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μεγάλης πρόσθετης αντίστασης

Πίνακας 8. Μέση συνισταμένη γραμμική ταχύτητα ($m \cdot s^{-1}$), γωνία επίθεσης (deg) και γωνία καθοδήγησης (deg) του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρή, με μέτρια, και με μεγάλη πρόσθετη αντίσταση (Gourgoulis et al., 2010).

	Χωρίς πρόσθετη αντίσταση	Με μικρή πρόσθετη αντίσταση	Με μέτρια πρόσθετη αντίσταση	Με μεγάλη πρόσθετη αντίσταση	F-τιμή
Ταχύτητα χεριού στο γλίστρημα	$2.05 \pm 0.21^{2,3,4}$	1.68 ± 0.15^1	1.66 ± 0.20^1	1.61 ± 0.19^1	33.830*
Ταχύτητα χεριού στην έλξη	1.87 ± 0.17	1.83 ± 0.18	1.76 ± 0.12	1.79 ± 0.15	2.150
Ταχύτητα χεριού στην ώθηση	2.45 ± 0.18	2.35 ± 0.31	2.39 ± 0.17	2.40 ± 0.23	1.211
Γωνία επίθεσης χεριού στο γλίστρημα	14.66 ± 5.35	15.39 ± 4.85	13.55 ± 5.03	14.67 ± 8.74	0.339
Γωνία επίθεσης χεριού στην έλξη	49.33 ± 11.94	52.76 ± 11.42	52.96 ± 10.89	51.26 ± 9.97	0.845
Γωνία επίθεσης χεριού στην ώθηση	34.31 ± 6.62	32.89 ± 10.64	33.85 ± 7.33	37.02 ± 8.45	0.404
Γωνία καθοδήγησης χεριού στο γλίστρημα	95.92 ± 7.56	97.14 ± 10.14	100.89 ± 10.84	98.99 ± 8.22	1.295
Γωνία καθοδήγησης χεριού στην έλξη	177.96 ± 78.12	149.48 ± 38.82	160.39 ± 51.12	165.48 ± 35.52	1.819
Γωνία καθοδήγησης χεριού στην ώθηση	246.61 ± 13.51	250.68 ± 21.44	242.10 ± 10.50	243.89 ± 13.46	1.351

* $p < 0.05$

¹ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση χωρίς πρόσθετη αντίσταση

² Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μικρής πρόσθετης αντίστασης

³ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μέτριας πρόσθετης αντίστασης

⁴ Στατιστικά σημαντικά διαφορετικό από την κολύμβηση με έλξη μεγάλης πρόσθετης αντίστασης

Πίνακας 9. Μέση συνισταμένη δύναμη, προωθητική δύναμη, δύναμη έλξης και δύναμη ανύψωσης (N) του χεριού στις φάσεις έλξης και ώθησης κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρή, με μέτρια, και με μεγάλη πρόσθετη αντίσταση (Gourgoulis et al., 2010a).

	Χωρίς πρόσθετη αντίσταση	Με μικρή πρόσθετη αντίσταση	Με μέτρια πρόσθετη αντίσταση	Με μεγάλη πρόσθετη αντίσταση	F-τιμή
Συνισταμένη δύναμη στη φάση έλξης	11.51 ± 2.56	11.30 ± 3.25	11.20 ± 1.88	10.97 ± 2.02	0.173
Συνισταμένη δύναμη στη φάση ώθησης	14.87 ± 2.90	13.70 ± 4.62	13.78 ± 3.77	15.46 ± 4.83	0.661
Προωθητική δύναμη στη φάση έλξης	8.61 ± 2.75	9.33 ± 2.91	9.92 ± 1.01	9.78 ± 1.73	0.826
Προωθητική δύναμη στη φάση ώθησης	12.37 ± 2.26	11.45 ± 4.67	11.74 ± 4.21	13.42 ± 4.88	0.851
Δύναμη έλξης στη φάση έλξης	7.68 ± 2.92	8.36 ± 3.16	8.41 ± 2.04	8.30 ± 2.59	0.371
Δύναμη ανύψωσης στη φάση έλξης	7.87 ± 3.37	7.44 ± 2.85	7.49 ± 2.60	9.30 ± 3.64	0.639
Δύναμη έλξης στη φάση ώθησης	7.76 ± 2.56	7.02 ± 2.19	6.86 ± 1.97	6.45 ± 1.56	2.293
Δύναμη ανύψωσης στη φάση ώθησης	11.98 ± 2.35	11.13 ± 3.89	10.98 ± 3.06	11.81 ± 3.65	0.671
Αναλογία δύναμης ανύψωσης/δύναμη έλξης στη φάση έλξης	1.17 ± 0.65	0.93 ± 0.39	0.87 ± 0.40	0.88 ± 0.42	3.633
Αναλογία δύναμης ανύψωσης/δύναμη έλξης στη φάση ώθησης	1.72 ± 0.72	1.62 ± 0.53	1.54 ± 0.37	1.36 ± 0.38	0.675

* $p < 0.05$

Συζήτηση

Επίδραση της επιτάχυνσης του χεριού και σχετική συμμετοχή των προωθητικών δυνάμεων

Από τα ευρήματα των συγκεκριμένων μελετών προκύπτει ότι η επιτάχυνση του χεριού αυξάνει το μέγεθος των προωθητικών δυνάμεων και συνεπώς θα πρέπει να συνεκτιμάται κατά τον υπολογισμό τους, ενώ η σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης, και συνεπώς η συνεισφορά τους στη συνισταμένη δύναμη, διαφοροποιείται συνεχώς κατά τη διάρκεια της χεριάς. Στη φάση έλξης, λόγω της μεγάλης γωνίας επίθεσης του χεριού, καθώς το χέρι «πατάει» το νερό προς τα πίσω, υπερέχει η δύναμη έλξης, και στη φάση ώθησης, λόγω της μικρής γωνίας επίθεσης του χεριού, καθώς το χέρι «σαρώνει» το νερό προς τα πίσω και ταυτόχρονα διαγώνια προς τα έξω και πάνω, υπερέχει η δύναμη ανύψωσης. Ενώ δεν υπάρχουν διαφορές στο μέγεθος της δύναμης έλξης μεταξύ των φάσεων έλξης και ώθησης, η δύναμη ανύψωσης παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερες τιμές στη φάση ώθησης (Gourgoulis et al., 2015), επιβεβαιώνοντας την προτροπή του Bixler (2005), σύμφωνα με τον οποίο, οι κολυμβητές θα πρέπει να μεγιστοποιούν τη δύναμη έλξης στις φάσεις επιτάχυνσης του κύκλου χεριάς, και όταν μειώνεται η επιτάχυνση των μελών τους να βασίζονται περισσότερο στη δύναμη ανύψωσης.

Συνεπώς, παρόλο που το πρότυπο έλξης της χεριάς στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης, θα πρέπει να έχει κατεύθυνση κυρίως προς τα πίσω, οι κολυμβητές δεν κινούν και δεν θα πρέπει να κινούν τα χέρια τους κατευθείαν προς τα πίσω. Υπάρχει πάντοτε ένα μικρό ποσό πλευρικών κινήσεων του χεριού, ως αντίδραση για παράδειγμα στην περιστροφή του σώματος και στην επαναφορά του άλλου

χεριού, για την αποτελεσματικότερη ενεργοποίηση των μεγάλων μυϊκών ομάδων του κορμού, και την αύξηση της ώθησης επιμηκύνοντας την απόσταση που διανύει το χέρι προς τα πίσω, βρίσκοντας συνέχεια ακίνητο νερό (Sanders, 1998). Σύμφωνα με τους Marinho et al. (2009), ο καλύτερος τρόπος για να τη μεγιστοποιήσει της προώθησης στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης, είναι η υιοθέτηση ενός προτύπου χεριάς με κατεύθυνση διαγώνια προς τα πίσω, ενώ οι Riewald & Bixler (2001) επισημαίνουν ότι η παλάμη θα πρέπει να έχει προσανατολισμό προς τα πίσω, ακόμη και όταν το χέρι κινείται διαγώνια.

Άμεση επίδραση του λακτίσματος των ποδιών

Χρησιμοποιώντας βπλό λάκτισμα των ποδιών κατά τη διάρκεια σπριντ στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης, αυξάνεται η μέση κολυμβητική ταχύτητα κατά 13%, χωρίς ωστόσο να διαφοροποιείται ο προσανατολισμός και το μέγεθος των προωθητικών δυνάμεων του χεριού. Μειώνεται όμως η κλίση του κορμού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο (Gourgoulis et al., 2014), περιορίζοντας τη μετωπική επιφάνεια και κατά συνέπεια τη μετωπική αντίσταση που δέχεται το σώμα (Yanai & Wilson, 2008).

Άμεση επίδραση της κολύμβησης με κολυμβητικά χεράκια

Χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια αυξάνεται το μήκος χεριάς και η μέση κολυμβητική ταχύτητα, ενώ αντίθετα μειώνεται η συχνότητα χεριάς, καθώς αυξάνεται η διάρκεια της χεριάς. Ωστόσο, αυτές οι διαφοροποιήσεις είναι σημαντικές μόνο όταν χρησιμοποιούνται κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους (Gourgoulis et al., 2008b; Monteil & Rouard, 1992).

Καθώς, όταν χρησιμοποιούνται κολυμβητικά χεράκια, δεν διαφοροποιείται ούτε η σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της χεριάς, ούτε η σχετική διάρκεια της συνολικής προωθητικής (έλξη και ώθηση) και μη προωθητικής (γλίστρημα και επαναφορά) φάσης της χεριάς (Gourgoulis et al., 2008b), παραμένει αμετάβλητος και ο δείκτης συντονισμού μεταξύ των δύο χεριών (IdC), ο οποίος αντιστοιχεί στο πρότυπο του «πιασίματος» (catch-up), όπου υπάρχει ένα μικρό χρονικό κενό μεταξύ των προωθητικών φάσεων των δύο χεριών (Gourgoulis et al., 2009; Seifert et al., 2004).

Επίσης, παρόλο που χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια, καθώς αυξάνεται το μέγεθός τους μειώνεται το απόλυτο μήκος της υποβρύχιας έλξης του χεριού, παραμένει αμετάβλητο τόσο το σχετικό της μήκος, όσο και το μέγεθος των πλευρικών μετατοπίσεων του χεριού (Gourgoulis et al., 2008b). Αν και χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια μεγαλύτερου μεγέθους, μειώνεται η ταχύτητα του χεριού κατά τη φάση της έλξης και της ώθησης, επίσης δεν διαφοροποιείται σημαντικά ο προσανατολισμός του χεριού, καθώς παραμένουν αμετάβλητες οι γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού. Κατά συνέπεια δεν διαφοροποιείται η σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης (Gourgoulis et al., 2008b), παρόλο που καθώς αυξάνεται το μέγεθος της επιφάνειας του χεριού φορώντας κολυμβητικά χεράκια, αυξάνεται το μέγεθος τόσο των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης, όσο και της συνισταμένης και προωθητικής δύναμης του χεριού. Η δύναμη έλξης εξακολουθεί να υπερέχει στη φάση έλξης, και η δύναμη ανύψωσης να επιτυγχάνει τις υψηλότερες τιμές της στη φάση ώθησης (Gourgoulis et al., 2008c; Schleihau, 2004).

Η αύξηση της επιφάνειας του χεριού έχει θετική επίπτωση και στον δείκτη αποτελεσματικότητας της προώθησης (propelling efficiency), τόσο κατά τη συνολική υποβρύχια φάση, όσο και στις επιμέρους φάσεις της έλξης και της ώθησης (Gourgoulis et al., 2008c), καταδεικνύοντας ότι η περισσότερη από την αναπτυσσόμενη δύναμη χρησιμοποιείται για την υπερνίκηση των δυνάμεων

αντίστασης και την προώθηση του κολυμβητή προς τα εμπρός, και όχι για την άσκοπη αύξηση της κινητικής ενέργειας του νερού (Cappaert et al., 1995). Αυτές οι αυξήσεις ωστόσο είναι σημαντικές μόνο όταν χρησιμοποιούνται κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους (Gourgoulis et al., 2008c).

Άμεση επίδραση της κολύμβησης με έλξη πρόσθετης αντίστασης

Κατά την κολύμβηση ελεύθερου με έλξη πρόσθετης αντίστασης, καθώς αυξάνεται το μέγεθος της αντίστασης μειώνεται σημαντικά το μήκος χεριάς και η μέση κολυμβητική ταχύτητα, αλλά και η συχνότητα χεριάς, λόγω αύξησης της συνολικής διάρκειας της χεριάς (Gourgoulis et al., 2010; Maglischo et al., 1985).

Επίσης, αυξάνεται σημαντικά η σχετική διάρκεια της φάσης έλξης κατά την κολύμβηση με έλξη μέτριας και μεγάλης πρόσθετης αντίστασης, σε σύγκριση με την κολύμβηση χωρίς έλξη πρόσθετης αντίστασης, καθώς και η σχετική διάρκεια της φάσης ώθησης κατά την κολύμβηση με έλξη όλων των μεγεθών πρόσθετης αντίστασης, συγκριτικά με την κολύμβηση χωρίς έλξη αντίστασης. Αντίθετα, η σχετική διάρκεια της επαναφοράς παρουσιάζει στατιστικά σημαντική μείωση κατά την κολύμβηση με έλξη μέτριας και μεγάλης πρόσθετης αντίστασης, σε σύγκριση με την κολύμβηση χωρίς έλξη αντίστασης. Ανεξάρτητα από το μέγεθος της πρόσθετης αντίστασης αυξήθηκε σημαντικά η συνολική προωθητική φάση (έλξη και ώθηση), ενώ μειώθηκε στατιστικά σημαντικά η συνολική μη προωθητική φάση της χεριάς (επαναφορά και γλίστρημα), χωρίς να υπάρχουν διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεγεθών πρόσθετης αντίστασης (Gourgoulis et al., 2010).

Η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφοροποιήσεων στη σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της χεριάς, κατά την κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης, είχε αντίκτυπο και στον δείκτη συντονισμού μεταξύ των δύο χεριών (IdC), ο οποίος παρόλο που εξακολουθούσε να έχει αρνητικές τιμές, αυξήθηκε σημαντικά και μετατοπίστηκε από το πρότυπο συντονισμού του «πιασίματος» («catch-up») στο πρότυπο της «αντίθεσης» («opposition») (Gourgoulis et al., 2013b). Αυτή η διαφοροποίηση μπορεί να θεωρηθεί ως μια θετική τροποποίηση, ιδιαίτερα κατά την κολύμβηση sprint μικρών αποστάσεων, καθώς σύμφωνα με τον Sanders (2002), οι κολυμβητές για να μεγιστοποιήσουν την προώθησή τους θα πρέπει να αυξάνουν τον χρόνο εφαρμογής των προωθητικών τους δυνάμεων και να μειώνουν το χρονικό κενό μεταξύ των προωθητικών δράσεων των δύο χεριών. Ωστόσο θα πρέπει να επισημανθεί ότι το πρότυπο της «αντίθεσης», που αποσκοπεί στην αύξηση της συνέχειας εφαρμογής των προωθητικών δυνάμεων και στη μείωση της διακύμανσης της κολυμβητικής ταχύτητας στα πλαίσια ενός κύκλου χεριάς, είναι μόνο σε θεωρητικό επίπεδο ο καλύτερος τρόπος συντονισμού (Seifert et al., 2010). Παρόλο που συχνά το πρότυπο του «πιασίματος» θεωρείται ως τεχνικό σφάλμα, ή έλλειψη συντονισμού, σύμφωνα με τους Seifert et al. (2007) είναι χρήσιμο σε αργούς ρυθμούς και σε μεγάλες αγωνιστικές αποστάσεις, γιατί ευνοεί το γλίστρημα που ακολουθεί τις προωθητικές δράσεις των χεριών, επιτρέποντάς τα να αποκτήσουν μια πλεονεκτική θέση για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των κατ' εξοχήν προωθητικών φάσεων της χεριάς που ακολουθούν, των φάσεων της έλξης και της ώθησης, ενώ ταυτόχρονα, η έκταση των χεριών πάνω από το κεφάλι μειώνει την μετωπική αντίσταση που δέχεται το σώμα.

Καθώς αυξανόταν η πρόσθετη αντίσταση αυξανόταν και το απόλυτο μήκος χεριάς, ενώ αντίθετα δεν διαφοροποιήθηκε το σχετικό μήκος της χεριάς και οι πλευρικές μετατοπίσεις του χεριού. Δεν διαφοροποιήθηκε ούτε η μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού, ούτε η γωνία επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού, σε καμία από τις επιμέρους προωθητικές φάσεις της χεριάς (Gourgoulis et

al., 2010). Ως φυσικό επακόλουθο, τόσο κατά την έλξη, όσο και κατά την ώθηση, δεν διαφοροποιήθηκε σημαντικά το μέγεθος ούτε της δύναμης έλξης και της δύναμης ανύψωσης, ούτε η συνισταμένη και η προωθητική δύναμη του χεριού, ενώ επίσης δεν διαφοροποιήθηκε ούτε η σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης. Ωστόσο, αν και όχι στατιστικά σημαντικά, στη φάση της έλξης παρατηρήθηκε μείωση της αναλογίας «δύναμη ανύψωσης/δύναμη έλξης», καταδεικνύοντας αύξηση της υπεροχής της δύναμης έλξης, έναντι της δύναμης ανύψωσης (Gourgoulis et al., 2013a), κάτι που θα πρέπει να εκτιμηθεί ως θετική διαφοροποίηση. Στη συγκεκριμένη φάση της χεριάς, σύμφωνα με τους Rushall et al. (1994) και Sanders (1998), κορυφαίοι κολυμβητές βασίζονται περισσότερο στην ανάπτυξη δυνάμεων έλξης, παρά στην ανάπτυξη δυνάμεων ανύψωσης, χρησιμοποιώντας μεγάλες γωνίες επίθεσης του χεριού, έτσι ώστε η συνισταμένη τους δύναμη να έχει περισσότερο κατεύθυνση προς τα εμπρός και να μειώνεται η γωνία μεταξύ του διανύσματος της και του άξονα προώθησης των κολυμβητών. Κάτι τέτοιο παρατηρήθηκε κατά την κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης, όπου η αντίστοιχη γωνία από 26 μοίρες κατά την κολύμβηση ελευθέρου χωρίς έλξη πρόσθετης αντίστασης, μειώθηκε κατά την κολύμβηση με έλξη μέτριας και μεγάλης πρόσθετης αντίστασης σε 18 και 14 μοίρες, αντίστοιχα.

Περιορισμοί

Κατά την αξιοποίηση των ευρημάτων των προαναφερόμενων μελετών θα πρέπει ωστόσο να λαμβάνονται υπόψη οι υφιστάμενοι περιορισμοί, ιδιαίτερα σε ότι αφορά την εκτίμηση των προωθητικών δυνάμεων, καθώς βασίστηκε σε έμμεσες μεθόδους, χρησιμοποιώντας υδροδυναμικούς συντελεστές που εξήχθησαν από ομοιώματα χεριών (Sanders, 1999), ενώ τα δεδομένα για τον προσανατολισμό (γωνία επίθεσης και γωνία καθοδήγησης) και τη συνισταμένη ταχύτητα του χεριού, προήλθαν από τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση των υποβρύχιων φάσεων της χεριάς. Συνεπώς, ακολουθώντας μια τέτοια προσέγγιση, εμπεριέχονται σφάλματα κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης, λόγω διάθλασης, και μεγέθους των υδροδυναμικών συντελεστών, ενώ παρόλο που συνεκτιμήθηκε η επιτάχυνση του χεριού, υπολογίστηκε μόνο η συνιστώσα της στην κατεύθυνση κίνησης των χεριών. Επίσης, δεν συνεκτιμήθηκε, λόγω περιορισμένου εξοπλισμού, η επίδραση των στροβιλισμών του νερού (vortex) (Matsuuchi et al., 2009), καθώς και η επίδραση του πήχη και της περιστροφής του χεριού γύρω από τον ώμο (Toussaint et al., 2002).

Συμπεράσματα

Παρά τους υφιστάμενους περιορισμούς, από τα ευρήματα των προαναφερόμενων μελετών είναι σαφές ότι για την αποτελεσματική εφαρμογή των προωθητικών δυνάμεων του χεριού, έτσι ώστε η συνισταμένη δύναμη να έχει κατεύθυνση κυρίως προς τα εμπρός, προς την κατεύθυνση κίνησης, οι κολυμβητές θα πρέπει στη φάση έλξης να «πατούν» το νερό προς τα πίσω με μεγάλη γωνία επίθεσης και υπεροχή της δύναμης έλξης, ενώ στη φάση ώθησης θα πρέπει να «σαρώνουν» το νερό διαγώνια προς τα πίσω και έξω, με μικρή γωνία επίθεσης και έμφαση στη δύναμη ανύψωσης.

Το 6πλό λάκτισμα των ποδιών, πέρα από την άμεση προώθηση που παρέχει, παρόλο που δεν διαφοροποιεί το πρότυπο της χεριάς, συμβάλλει σε μια πιο αποτελεσματική προώθηση, μειώνοντας την κλίση και τη μετωπική επιφάνεια του σώματος, και κατά συνέπεια τις δυνάμεις αντίστασης.

Σε ότι αφορά τα κολυμβητικά χεράκια και την κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης, αποτελούν εξειδικευμένα προπονητικά μέσα, καθώς δεν αλλοιώνουν την κολυμβητική τεχνική, ενώ

όταν ο προπονητικός στόχος επικεντρώνεται στην τροποποίηση του συντονισμού μεταξύ των δύο χεριών, έτσι ώστε να υπάρχει μια συνεχής εφαρμογή προωθητικών δυνάμεων, περισσότερο ενδεδειγμένη είναι η κολύμβηση με έλξη πρόσθετης αντίστασης.

Βιβλιογραφία

- Barbosa, T. M., Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., & Vilas-Boas, J. P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 139-149.
- Berger, M. A. M., Hollander, A. P., & De Groot, G. (1997). Technique and energy losses in front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(11), 1491-1498.
- Bixler, B. (2005). Resistance and propulsion. In J. M. Stager & D.A. Tanner (Eds.), *Swimming* (pp. 59-101). Oxford, UK: Wiley-Blackwell Scientific Publications Limited.
- Cappaert, J. M., Pease, D. L., & Troup, J. P. (1995). Three-dimensional analysis of the men's 100-m freestyle during the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics* 11, 103-112.
- Deschodt, V. J., Arsac, L. M., & Rouard, A. H. (1999). Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 80, 192-199.
- Girold, S., Maurin, D., Dugué, B., Chatard, J.C. & Millet, G. (2007). Effects of dry-land vs. resisted and assisted - sprint exercises on swimming sprint performances. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (2), 599-605.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Vezos, N., & Mavromatis, G. (2006). Effect of two different sized hand paddles on the front crawl stroke kinematics. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46, 232-237.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Vezos, N., Boli, A., & Mavromatis, G. (2008a). Reconstruction accuracy in underwater three dimensional kinematic analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11, 90-95.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Vezos, N., Antoniou, P., & Mavromatis, G. (2008b). Hand orientation in hand paddle swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 429-434.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Vezos, N., Kasimatis, P., Antoniou, P., & Mavromatis, G. (2008c). Estimation of hand forces and propelling efficiency during front crawl swimming with hand paddles. *Journal of Biomechanics*, 41, 208 – 215.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Vezos, N., Antoniou, P., & Mavromatis, G. (2009). The influence of hand paddles on the arm coordination in female front crawl swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (3), 735-740.
- Gourgoulis, V., Antoniou, P., Aggeloussis, N., Mavridis, G., Kasimatis, P., Vezos, N., Boli, A., & Mavromatis, G. (2010). Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. *Journal of Sports Sciences*, 28 (11), 1165-1173.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Mavridis, G., Boli, A., Kasimatis, P., Vezos, N., Toubekis, A., Antoniou, P., & Mavromatis, G. (2013a). Acute effect of front crawl sprint resisted swimming on the propulsive forces of the hand. *Journal of Applied Biomechanics*, 29 (1), 98-104.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Boli, A., Michalopoulou, M., Toubekis, A., Kasimatis, P., Vezos, N., Mavridis, G., Antoniou, P., & Mavromatis G. (2013b). Inter-arm coordination and intra-

- cyclic variation of the hip velocity during front crawl resisted swimming. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53 (6), 612-619.
- Gourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Toubekis, A., Antoniou, P., Kasimatis, P., Vezos, N., Michalopoulou, M., Kambas, A., & Mavrommatis, G. (2014). The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences*, 32 (3), 278-289.
- Gourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Antoniou, P., Toubekis, A., & Mavrommatis, G. (2015). The influence of the hand's acceleration and the relative contribution of drag and lift forces in front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences*, 33 (7), 696-712.
- Kudo, S., Vennell, R., & Wilson, B. (2013). The effect of unsteady flow due to acceleration on hydrodynamic forces acting on the hand in swimming. *Journal of Biomechanics*, 46, 1697-1704.
- Maglischo, E.W., Maglischo, C.W., Zier, D.J. & Santos, T.R. (1985). The effect of sprint – assisted and sprint resisted swimming on stroke mechanics. *Journal of Swimming Research*, 1, 27-33.
- Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Kjendlie, P. L, Vilas-Boas, J. P., Alves, F. B., Rouboa, A. I., & Silva, A. J. (2009). Swimming Simulation: A New Tool for Swimming Research and Practical Applications. In M. Peters (Ed.), *Computational Fluid Dynamics for Sport Simulation* (pp. 33-61). Lecture Notes in Computational Science and Engineering 72. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Matsuuchi, K., Miwa, T., Nomura, T., Sakakibara, J., Shintani, H., & Ungerechts, B.E. (2009), Unsteady flow field around a human hand and propulsive force in swimming. *Journal of Biomechanics*, 42, 42-47.
- Monteil, K.M. & Rouard, A.H. (1992). Influence of the size of the paddles in front crawl stroke. In D. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming- Swimming Science VI* (pp. 99-104). London: E and FN Spon.
- Riewald, S., & Bixler, B. (2001). CFD analysis of a swimmer's arm and hand acceleration and deceleration. In J. Blackwell (Ed.), *XIX International Symposium on biomechanics in sports* (pp. 117-121). San Francisco: University of San Francisco.
- Rushall, B. S., Sprigings, E. J., Holt, L. E., & Cappaert, J. M. (1994). A Re-evaluation of forces in swimming. *Journal of Swimming Research*, 10, 6-30.
- Sanders, R. H. (1998). Lift performance in aquatic sports. In H. J. Riehle & M. M. Vieten (Eds.), *Proceedings of XVI International Symposium of Biomechanics in Sports* (pp. 25-39), Germany: University of Konstanz.
- Sanders, R. (1999). Hydrodynamic characteristics of a swimmer's hand. *Journal of Applied Biomechanics*, 15, 3-26.
- Sanders R. (2002). New analysis procedures for giving feedback to swimming coaches and swimmers. In K.E. Gianikellis, B.R. Mason, H. M. Toussaint, R. Arellano & R.H. Sanders (Eds.), *Scientific Proceedings – Applied Program – XXth International Symposium on Biomechanics in Sports – Swimming Caceres* (pp. 1-14). Spain: University of Extremadura.
- Schleihauf, R. E. (1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In J. Terauds, & E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 70-117). International Series of Sports Science, Vol. 8. Baltimore, MD: University Park Press.
- Schleihauf, R.E. (1983). Specificity of strength training in swimming: A biomechanical viewpoint. In A.P. Hollander, P.A. Huijng & G. de Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 184 – 191). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Schleihauf, R. E. (2004). *Biomechanics of Human Movement*. Authorhouse: Bloomington, Indiana.
- Seifert, L., Chollet, D., & Bardy, B.G. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: A dynamic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 22, 651-660.
- Seifert, L., Chollet, D., & Rouard, A. (2007). Swimming constraints and arm coordination. *Human Movement Science*, 26, 68-86.
- Seifert L. (2010). Inter-limb coordination in swimming. In P.L. Kjendlie, R.K. Stallman, & J. Cabri (Eds.), *Proceedings of Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 35 – 39). Oslo, Norway: Norwegian School of Sport Science.
- Toussaint, H. M., & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13 (1), 8-24.
- Toussaint, H. M., Hollander, A. P., Berg, C. v. d., & Vorontsov, A. R. (2000). Biomechanics of swimming. In W. E. Garrett, & D. T. Kirkendall (Eds.), *Exercise and Sport Science* (pp. 639-660). Philadelphia: Williams and Wilkins, Lippincott.
- Toussaint, H. M., Den Berg, C. V., & Beek, W. J. (2002). “Pumped-up propulsion” during front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 314-319.
- Vorontsov, A. R., & Rumyantsev, V. A. (2000). Propulsive forces in swimming. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in Sport – Performance, enhancement and injury prevention* (pp. 205-231). International Olympic Committee. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Watkins, J., & Gordon, A.T. (1983). The effects of leg action on performance in the sprint front crawl stroke. In A.P. Hollander, P.A. Huijing & G. de Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 310–314). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Yanai, T. (2001). Rotational effect of buoyancy in frontcrawl: does it really cause the legs to sink? *Journal of Biomechanics*, 34, 235-243.
- Yanai, T., & Wilson, B. D. (2008). How does buoyancy influence front-crawl performance? Exploring the assumptions. *Sports Technology*, 1(2-3), 89-99.
- <https://doi.org/10.1080/19346182.2008.9648458>



Research activity of the Aqua Laboratory of D.P.E.S.S.–S.P.E.S.S.O.T.–D.U.Th. on the propulsive forces in front-crawl swimming and the acute effect of using swimming training tools

Gourgoulis Vassilios

Professor, Democritus University of Thrace, Department of Physical Education and Sport Science,
Vice-Rector for Administrative Affairs D.U.Th

ABSTRACT

The current article summarizes the research activity of the Aqua Laboratory of D.P.E.S.S. of the Democritus University of Thrace, concerning the study of propulsive forces and the influence of leg kick during front-crawl swimming, as well as the acute effect of using swimming tools, such as hand paddles and sprint resisted swimming. The sample consisted of young female swimmers aged 14-17 years. Their underwater movement, performed with maximal intensity in the different measurement conditions (with or without leg kick or hand paddles or sprint resisted swimming), was recorded using 4 high-frequency cameras, followed by 3D kinematic analysis to determine specific stroke kinematic characteristics, the orientation of the hand and the estimation of the propulsive forces. For the statistical treatment of the data, analyzes of variance for repeated measurements were applied and it was found that, the drag force was greater in the pull phase, while in the push phase the generation of the lift force should be emphasized, the 6-beat leg kick contributes to a reduction of the frontal resistance, and both, hand paddles and sprint resisted swimming, are specific training tools that do not alter the swimming technique. However, if the training goal is focused on modifying the arm coordination, in order to achieve a continuous application of the propulsive forces, sprint resisted swimming is more appropriate.

Key words: hand paddles, sprint resisted swimming, leg kick, arm coordination

Corresponding address:

Gourgoulis Vassilios
Democritus University of Thrace
Department of Physical Education and Sport Sciences
University Campus, 69100 Komotini
vgoyrgoy@phyed.duth.gr

E-mail: