

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΗΣ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ

του
Βέζου Νικόλαου

Διδακτορική διατριβή που υποβάλλεται
στο καθηγητικό σώμα για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησής του
διδακτορικού τίτλου του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος
«Άσκηση και Ποιότητα Ζωής» των τμημάτων Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και
Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Παν / μίου Θράκης και του Παν / μίου Θεσσαλίας.

Κομοτηνή

2007

Εγκεκριμένο από το Καθηγητικό σώμα:

1^{ος} Επιβλέπων: Αγγελούσης Νικόλαος, Επικ. Καθηγητής

2^{ος} Επιβλέπων: Γούργουλης Βασίλειος, Επικ. Καθηγητής

3^{ος} Επιβλέπων: Μπαλτζόπουλος Βασίλειος, Καθηγητής



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 6465/1

Ημερ. Εισ.: 30/07/2008

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: Δ

797.21

ΒΕΖ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



0040000884 39



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ




Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΗΣ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ

Διδακτορική Διατριβή

του

Βέζου Νικόλαου

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων:

Αγγελούσης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

Μέλη:

Γούργουλης Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

Μπαλτζόπουλος Βασίλειος, Καθηγητής D.E.S.S. M.M.U.

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αγγελούσης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

Γούργουλης Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

Αντωνίου Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

Λάιος Αθανάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

Μαυρομάτης Γεώργιος, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

Ταξιλάρης Κυριάκος, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

Κιουμουρτζόγλου Ευθύμιος, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Δ.Π.Θ.

© 2007
Νικόλαου Βέζου
ALL RIGHTS RESERVED

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Νικόλαος Βέζος: Μηχανικοί παράγοντες της κολύμβησης
(Υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. Αγγελούση Νικόλαου)

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών της υποβρύχιας έλξης του χεριού στην ελεύθερη κολύμβηση, η διερεύνηση τυχόν διαφοροποιήσεων όταν χρησιμοποιούνται κολυμβητικά χεράκια διαφορετικού μεγέθους και ο προσδιορισμός των γωνιών προσανατολισμού του χεριού κατά τη διάρκεια της έλξης με ή χωρίς κολυμβητικά χεράκια. Δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 10 κολυμβήτριες ελεύθερου στυλ κολύμβησης, αγωνιστικών κατηγοριών, οι οποίες κολύπησαν μια απόσταση 25m με μέγιστη ένταση (100%), μια φορά χωρίς κολυμβητικά χεράκια, μια φορά με κολυμβητικά χεράκια μικρού μεγέθους (116 cm²) και μια φορά με κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους (286 cm²). Για τη καταγραφή της υποβρύχιας έλξης χρησιμοποιήθηκαν 4 S-VHS μηχανές λήψης (60 Hz) που τοποθετήθηκαν πίσω από ειδικά διαμορφωμένα περισκόπια και οι οπτικοί τους άξονες σχημάτιζαν ανά δύο γωνία 40 μοιρών. Η διαβάθμιση του χώρου διεξαγωγής της κίνησης πραγματοποιήθηκε μέσω ενός κύβου διαβάθμισης (24 σημεία ελέγχου), διαστάσεων 1m x 3m x 1m στους X, Y και Z άξονες, αντίστοιχα. Η καταγραφή των συντεταγμένων θέσης των επιλεγμένων σημείων πραγματοποιήθηκε μέσω του συστήματος APAS, η μετατροπή των δισδιάστατων συντεταγμένων οθόνης σε πραγματικές τρισδιάστατες συντεταγμένες πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου DLT και η εξομάλυνση των αρχικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω ψηφιακού κατωδιαβατού φίλτρου, με συχνότητα κοπής 6Hz. Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν παράγοντα και διαπιστώθηκε ότι καθώς αυξάνεται το μέγεθος από τα κολυμβητικά χεράκια δεν διαφοροποιείται στατιστικά σημαντικά η μέση γωνία επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού στις επιμέρους φάσεις της υποβρύχιας έλξης. Η διάρκεια της υποβρύχιας έλξης ($F_{2,18} = 12.831$; $p < 0.05$) όπως και της συνολικής έλξης ($F_{2,18} = 18.133$; $p < 0.05$) του χεριού με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια αυξάνονται στατιστικά σημαντικά, χωρίς ωστόσο να μεταβάλλεται σημαντικά η σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης. Όσον αφορά τις πλευρικές μετατοπίσεις του χεριού, δεν μεταβάλλονται σημαντικά, παρόλο που παρατηρείται μια τάση μείωσης, ενώ μειώνεται στατιστικά σημαντικά η μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού κατά την έλξη ($F_{2,18} = 80.662$; $p < 0.05$) και την ώθηση ($F_{2,18} = 18.242$; $p < 0.05$) τόσο με τα μικρά όσο και με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Επίσης παρατηρείται στατιστικά σημαντική αύξηση του μέσου μήκους χεριάς και με τα μικρά και με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια ($F_{2,18} = 24.738$; $p < 0.05$), ενώ με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια διαπιστώθηκε ακόμα, στατιστικά σημαντική μείωση της συχνότητας χεριάς ($F_{2,18} = 14.724$; $p < 0.05$) και στατιστικά σημαντική αύξηση της μέσης κολυμβητικής ταχύτητας ($F_{2,18} = 4.863$; $p < 0.05$). Συνεπώς, όταν χρησιμοποιούνται κολυμβητικά χεράκια, η σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των γωνιών προσανατολισμού του χεριού, ενδεχομένως παραμένει η ίδια, όπως κατά την κολύμβηση χωρίς κολυμβητικά χεράκια, παρά την τάση που εμφανίζεται για μείωση των πλευρικών μετατοπίσεων και την πιο ευθύγραμμη έλξη του χεριού προς τα πίσω, ενώ η αύξηση της επιφάνειας ώθησης του χεριού έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η συχνότητα χεριάς των

κολυμβητριών παράλληλα όμως να αυξάνεται το μήκος της χεριάς τους και η κολυμβητική τους ταχύτητα.

Λέξεις – Κλειδιά: Ελεύθερη κολύμβηση, κολυμβητικά χεράκια, τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση, γωνία επίθεσης και καθοδήγησης.

ABSTRACT

Nikolaos Vezos: Stroke mechanics in front crawl swimming
(Under the supervision of Assistant Professor Aggeloussis Nikolaos)

The purpose of the present study was to record the underwater stroke kinematics of front crawl swimmers and to investigate possible modifications in the sweepback and pitch angles of the hand in front crawl swimming using different sized hand paddles. Ten female competitive freestyle swimmers performed three maximal trials of 25m with and without hand paddles of two different sizes (small paddles: 116cm², large paddles: 268cm²). The underwater motion of each subject's right arm was filmed using four S-VHS cameras, operating at 60 fields/s, which were positioned per two at an angle of 40 degrees behind of 4 stationary periscopes systems. The spatial coordinates of selected points were calculated using the DLT procedure with 24 control points and after the digital filtering of the raw data with a cutoff frequency of 6 Hz. For the statistical treatment of the data the analysis of variance for dependent samples with one within subject factor was used. The analysis of the data revealed that as the size of swimming paddles is increased, are not altered the pitch angle and the sweepback angle of the hand in the individual phases of the underwater stroke. The time to complete the underwater arm stroke ($F_{2,18} = 12.831$; $p < 0.05$) and the total arm stroke ($F_{2,18} = 18.133$; $p < 0.05$) were significantly increased. The medial displacement of the hand during the outswEEP, insweep and push phase were slightly reduced while medial hand velocity during the insweep ($F_{2,18} = 80.662$; $p < 0.05$) and the push ($F_{2,18} = 18.242$; $p < 0.05$) phase were greatly reduced when paddles were worn. Moreover, the stroke length ($F_{2,18} = 24.738$; $p < 0.05$) was greatly increased and especially when large paddles were worn the stroke rate ($F_{2,18} = 14.724$; $p < 0.05$) was greatly reduced and the mean swimming velocity ($F_{2,18} = 4.863$; $p < 0.05$) was greatly increased. Consequently, the relative contribution of drag and lift forces should be remain the same, while the reduced stroke rate and increased stroke length and mean velocity should be attributed to the increased surface area of the swimmers hand.

Key – Words: Front crawl swimming, hand paddles, three-dimensional kinematic analysis, pitch angle and sweepback angle.

Στην οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Έχω την ανάγκη να εκφράσω τις πιο θερμές ευχαριστίες και την εκτίμησή μου προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αγγελούση Νικόλαο για την καθοδήγηση και συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια αυτών των τεσσάρων ετών. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, τον κ. Μπαλιτζόπουλο Βασίλειο για τις ουσιαστικές συμβουλές του τόσο κατά τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου όσο και κατά τη διάρκεια της διδακτορικής μου διατριβής και τον κ. Γούργουλη Βασίλειο που μου προσέφερε απλόχερα την παρότρυνσή του και τη βοήθειά του κάθε φορά που οι ανάγκες της έρευνας, και όχι μόνο, το απαιτούσαν ενώ η καθοδήγησή του όλα αυτά τα χρόνια ήταν εξαιρετικά σημαντική. Επιπλέον, ευχαριστώ τα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής για τη συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της συγκεκριμένης διατριβής.

Ευχαριστώ τον κ. Μαυρίδη Γεώργιο που δέχτηκε να συμμετάσχουν στην παρούσα έρευνα οι κολυμβητές του αγωνιστικού τμήματός του, όπως και τους κ. Αντωνίου Παναγιώτη και Τουμπέκη Αργύρη. Τους κ. Κασιμάτη Παναγιώτη, Τριανταφύλλου Δημήτριο, Καλύβα Βασίλειο και την κ. Γιαννακού Ερασμία, τα υπόλοιπα μέλη του Εργαστηρίου Εμβιομηχανικής, για την πολύτιμη συνεργασία τους καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της έρευνας, όπως και την κ. Αναγνωστοπούλου Νικολέτα για την ηθική συμπαράστασή της.

Ένα θερμό ευχαριστώ στον κ. Τοκμακίδη Σάββα που ως Αντιπρύτανης του Δ.Π.Θ. συνέβαλε τα μέγιστα για τη λειτουργία του Πανεπιστημιακού Κολυμβητηρίου και τη θέρμανση της πισίνας των 25m, που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των μετρήσεων της συγκεκριμένης διατριβής, όπως τον ευχαριστώ και για την ουσιαστική συνεισφορά του ως Ιδρυματικό Υπεύθυνο στη προσπάθειά μας, με τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αγγελούση Νικόλαο, για την Υποβολή της Υποτροφίας «Ηράκλειτος».

Ευχαριστώ όλους όσους με βοήθησαν και που βρίσκονταν δίπλα μου. Ευχαριστώ πολύ τ' αδέρφια μου για τη συμπαράστασή τους και τους γονείς μου για τις θυσίες που έκαναν. Ευχαριστώ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
ABSTRACT	iii
ΑΦΙΕΡΩΣΗ	iv
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	x
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
Ερευνητικές Υποθέσεις	5
Στατιστικές Υποθέσεις	5
Περιορισμοί Έρευνας	9
Λειτουργικοί Ορισμοί	9
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	10
Κολυμβητικά χεράκια κατά την ελεύθερη κολύμβηση	12
Γωνίες Προσανατολισμού και Προωθητικές Δυνάμεις	18
Δυνάμεις – Συντελεστές (Έλξης και Ανύψωσης)	23
Μέθοδοι υπολογισμού των γωνιών προσανατολισμού και σφάλματα μέτρησης	32
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	44
Δείγμα	44
Περιγραφή συνθηκών και οργάνων μέτρησης	44
Διαδικασία Μέτρησης	47
Σχεδιασμός της έρευνας	52
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	53
Μέσο Μήκος Χεριάς	53
Συχνότητα Χεριάς	54
Μέση κολυμβητική ταχύτητα	55
Διάρκεια συνολικής έλξης	56
Απόλυτη και σχετική διάρκεια γλιστήματος	57
Απόλυτη και σχετική διάρκεια έλξης	59
Απόλυτη και σχετική διάρκεια ώθησης	61
Απόλυτη και σχετική διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης	63
Απόλυτη και σχετική διάρκεια επαναφοράς	65
Απόλυτη και σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης	67
Απόλυτη και σχετική διάρκεια της μη προωθητικής φάσης	69
Απόλυτο μήκος χεριάς	71
Σχετικό μήκος χεριάς	72
Πρώτη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, κατά το γλίστημα και την έλξη	73
Πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα κατά την έλξη	75

	Σελίδα
Δεύτερη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, κατά την ώθηση	77
Πλευρική μετατόπιση αθροιστικά (έξω-μέσα-έξω)	79
Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα	80
Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην έλξη	81
Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην ώθηση	82
Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στο γλίστρημα	83
Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην έλξη	84
Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην ώθηση	85
Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στο γλίστρημα	86
Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην έλξη	87
Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην ώθηση	88
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	89
Μήκος χεριάς, Συχνότητα χεριάς και Μέση κολυμβητική ταχύτητα	89
Χρονική διάρκεια των επιμέρους φάσεων	92
Μετατόπιση του χεριού στις επιμέρους φάσεις	96
Συνισταμένη ταχύτητα του χεριού	98
Μέση γωνία επίθεσης και καθοδήγησης της επιμέρους φάσεις	100
Συμπεράσματα	103
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Συνδυασμός σημείων και αναδόμηση διανυσμάτων	35
Πίνακας 2. Διακύμανση και μέσο σφάλμα διανυσμάτων	36
Πίνακας 3. Μέσο Μήκος Χεριάς	53
Πίνακας 4. Συχνότητα Χεριάς	54
Πίνακας 5. Μέση κολυμβητική ταχύτητα	55
Πίνακας 6. Διάρκεια συνολικής έλξης	56
Πίνακας 7. Απόλυτη διάρκεια γλιστρήματος	57
Πίνακας 8. Σχετική διάρκεια γλιστρήματος	58
Πίνακας 9. Απόλυτη διάρκεια έλξης	59
Πίνακας 10. Σχετική διάρκεια έλξης	60
Πίνακας 11. Απόλυτη διάρκεια ώθησης	61
Πίνακας 12. Σχετική διάρκεια ώθησης	62
Πίνακας 13. Απόλυτη διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης	63
Πίνακας 14. Σχετική διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης	64
Πίνακας 15. Απόλυτη διάρκεια επαναφοράς	65
Πίνακας 16. Σχετική διάρκεια επαναφοράς	66
Πίνακας 17. Απόλυτη διάρκεια της προωθητικής φάσης	67
Πίνακας 18. Σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης	68
Πίνακας 19. Απόλυτη διάρκεια της μη προωθητικής φάσης	69
Πίνακας 20. Σχετική διάρκεια της μη προωθητικής φάσης	70
Πίνακας 21. Απόλυτο μήκος χεριάς	71
Πίνακας 22. Σχετικό μήκος χεριάς	72
Πίνακας 23. Πρώτη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, κατά το γλίστρημα και την έλξη	74
Πίνακας 24. Πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα κατά την έλξη	76

Πίνακας 25. Δεύτερη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, κατά την ώθηση	78
Πίνακας 26. Πλευρική μετατόπιση αθροιστικά (έξω-μέσα-έξω)	79
Πίνακας 27. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα	80
Πίνακας 28. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην έλξη	81
Πίνακας 29. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην ώθηση	82
Πίνακας 30. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στο γλίστρημα	83
Πίνακας 31. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην έλξη	84
Πίνακας 32. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην ώθηση	85
Πίνακας 33. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στο γλίστρημα	86
Πίνακας 34. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην έλξη	87
Πίνακας 35. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην ώθηση	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Συντελεστές έλξης και ανύψωσης με εύρος γωνιών επίθεσης	19
Σχήμα 2. Σύγκριση των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης κάτω από σταθερές και δυναμικές συνθήκες μέτρησης	22
Σχήμα 3. Ενδεικτικές γωνίες επίθεσης του χεριού και δυνάμεις προώθησης	27
Σχήμα 4. Γωνίες καθοδήγησης του χεριού	29
Σχήμα 5. Μοντέλο Lauder et al. (2001) – Αναδόμηση διανυσμάτων	34
Σχήμα 6. Συνδυασμός διανυσμάτων και γωνίες προσανατολισμού	37
Σχήμα 7. Σύγκριση μεθόδων αναδόμησης διανυσμάτων	38
Σχήμα 8. Υπολογισμός της γωνίας επίθεσης του χεριού	41
Σχήμα 9. Κολυμβητικά χεράκια μικρού και μεγάλου μεγέθους	45
Σχήμα 10. Περισκόπιο και καταγραφή της κίνησης	45
Σχήμα 11. Διαδικασία μέτρησης	46
Σχήμα 12. Κύβος Διαβάθμισης	47
Σχήμα 13. Υποβρύχιες φάσεις της κίνησης του χεριού (πλάγια όψη)	48
Σχήμα 14. Υποβρύχιες φάσεις της κίνησης του χεριού (οπίσθια όψη)	48
Σχήμα 15. Ορισμός του επιπέδου του χεριού	50
Σχήμα 16. Τα 2 διανύσματα που ορίζονται στο επίπεδο του χεριού	50
Σχήμα 17. Το εξωτερικό γινόμενο των δύο διανυσμάτων	50
Σχήμα 18. Η διεύθυνση του εξωτερικού γινομένου	50
Σχήμα 19. Ορισμός της γωνίας επίθεσης	51
Σχήμα 20. Η γωνία καθοδήγησης του χεριού	51
Σχήμα 21. Ορισμός της γωνίας καθοδήγησης	52
Σχήμα 22. Μέσο Μήκος Χεριάς	53
Σχήμα 23. Συχνότητα Χεριάς	54
Σχήμα 24. Μέση κολυμβητική ταχύτητα	55



Σχήμα 25. Διάρκεια συνολικής έλξης	56
Σχήμα 26. Απόλυτη διάρκεια γλιστρήματος	57
Σχήμα 27. Σχετική διάρκεια γλιστρήματος	58
Σχήμα 28. Απόλυτη διάρκεια έλξης	59
Σχήμα 29. Σχετική διάρκεια έλξης	60
Σχήμα 30. Απόλυτη διάρκεια ώθησης	61
Σχήμα 31. Σχετική διάρκεια ώθησης	62
Σχήμα 32. Απόλυτη διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης	63
Σχήμα 33. Σχετική διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης	64
Σχήμα 34. Απόλυτη διάρκεια επαναφοράς	65
Σχήμα 35. Σχετική διάρκεια επαναφοράς	66
Σχήμα 36. Απόλυτη διάρκεια της προωθητικής φάσης	67
Σχήμα 37. Σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης	68
Σχήμα 38. Απόλυτη διάρκεια της μη προωθητικής φάσης	69
Σχήμα 39. Σχετική διάρκεια της μη προωθητικής φάσης	70
Σχήμα 40. Απόλυτο μήκος χεριάς	71
Σχήμα 41. Σχετικό μήκος χεριάς	72
Σχήμα 42. Υποβρύχιας φάσεις του χεριού με πλευρικές μετατοπίσεις	73
Σχήμα 43. Υποβρύχιας φάσεις του χεριού χωρίς πλευρικές μετατοπίσεις	73
Σχήμα 44. Πρώτη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω	74
Σχήμα 45. Υποβρύχιας φάσεις του χεριού με πλευρικές μετατοπίσεις	75
Σχήμα 46. Υποβρύχιας φάσεις του χεριού χωρίς πλευρικές μετατοπίσεις	75
Σχήμα 47. Πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα κατά την έλξη	76
Σχήμα 48. Υποβρύχιας φάσεις του χεριού με πλευρικές μετατοπίσεις	77
Σχήμα 49. Υποβρύχιας φάσεις του χεριού χωρίς πλευρικές μετατοπίσεις	77

Σχήμα 50. Δεύτερη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, κατά την ώθηση	78
Σχήμα 51. Πλευρική μετατόπιση αθροιστικά (έξω-μέσα-έξω)	79
Σχήμα 52. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα	80
Σχήμα 53. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην έλξη	81
Σχήμα 54. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην ώθηση	82
Σχήμα 55. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στο γλίστρημα	83
Σχήμα 56. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην έλξη	84
Σχήμα 57. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην ώθηση	85
Σχήμα 58. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στο γλίστρημα	86
Σχήμα 59. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην έλξη	87
Σχήμα 60. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην ώθηση	88
Σχήμα 61. Μέση γωνία επίθεσης της υποβρύχιας έλξης του χεριού	101
Σχήμα 62. Μέση γωνία καθοδήγησης της υποβρύχιας έλξης του χεριού	102

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΗΣ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ

Η μυϊκή δύναμη των άνω άκρων και η σωστή τεχνική, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την επίτευξη υψηλών ταχυτήτων στην ελεύθερη κολύμβηση (Costill, Sharp & Troup, 1980; Birrer & Levine, 1987). Ωστόσο, σύμφωνα με τους Costill, Maglisco & Richardson (1992), η ικανότητα ανάπτυξης υψηλών τιμών δύναμης έξω από το νερό, δεν εξασφαλίζει απαραίτητα και την ικανότητα επίτευξης υψηλών κολυμβητικών ταχυτήτων.

Παρόλο που μπορεί να θεωρηθεί ότι οι δυνατοί μυϊκά κολυμβητές είναι γρηγορότεροι, δεν είναι εύκολο να αποδειχθεί η σχέση μεταξύ δύναμης και κολυμβητικής ταχύτητας. Για παράδειγμα, ενώ οι Sharp, Troup & Costill το 1982, διαπίστωσαν υψηλή συσχέτιση μεταξύ της δύναμης που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης έλξης σε «κολυμβητικό πάγκο» και της κολυμβητικής ταχύτητας σε μια απόσταση περίπου 25m, οι Sharp, Costill & King (1983) αντίθετα, επισημαίνουν ότι σε αθλητές υψηλού επιπέδου, δεν παρουσιάστηκε υψηλή σχέση μεταξύ της δύναμης που παράγεται κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης έλξης σε κολυμβητικό πάγκο και της κολυμβητικής ταχύτητας. Το αποτέλεσμα αυτό, θα μπορούσε να οδηγήσει στην υπόθεση, ότι η δύναμη δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη γρήγορη κολύμβηση, τουλάχιστον σε ώριμους κολυμβητικά και αναπτυγμένους αθλητές. Ωστόσο, μια πιο λογική εξήγηση είναι, ότι οι μετρήσεις δύναμης έξω από το νερό, δεν αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια τη δύναμη που αναπτύσσεται στο υδάτινο περιβάλλον (Costill et al. 1992).

Οι περισσότεροι κολυμβητές για να αυξήσουν τη δύναμη τους, χρησιμοποιούν διάφορες μορφές προπόνησης με αντιστάσεις (Maglisco, 2003; Payton & Lauder, 1995; Maglisco, 1987). Κατά την εκτέλεση ασκήσεων δύναμης έξω από το νερό είναι δύσκολο όμως να εφαρμοστεί το πρότυπο της κίνησης των διαφόρων κολυμβητικών στυλ (Schleihauf, 1983) και κατά συνέπεια, το προπονητικό αποτέλεσμα μπορεί να μεταφερθεί μόνο εν μέρει στη συγκεκριμένη αγωνιστική δεξιότητα (Toussaint & Beek, 1992). Σύμφωνα άλλωστε με τον Maglisco (1987), η ανάπτυξη της εξειδικευμένης δύναμης στη προπόνηση αποτελεί σημαντικό παράγοντα σε οποιοδήποτε πρόγραμμα ανάπτυξης δύναμης ή ισχύος (Huijing, Hollander & Groot, 1983; Schleihauf, 1983). Το κινητικό πρότυπο των ασκήσεων δύναμης θα πρέπει να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο τη

συγκεκριμένη αγωνιστική δεξιότητα (Canavan, Garrett & Armstrong, 1996; Costill et al. 1980; Huijing et al. 1983; Maglisco, 1987, Schleihauf, Gray & DeRose, 1983). Οι ασκήσεις με αντιστάσεις που μοιάζουν περισσότερο, έχουν δηλαδή κοινά στοιχεία με το πρότυπο της κίνησης και εξασκούν τις κατάλληλες μυϊκές ομάδες, είναι πιο αποτελεσματικές.

Οι πιο συνηθισμένες μορφές προπόνησης με αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της δύναμης των κολυμβητών, είναι: ελεύθερα βάρη, ισοκινητικές ασκήσεις, λάστιχα, κολυμβητικοί πάγκοι, προσδεμένη κολύμβηση ή έλξη αντικειμένων αντίστασης (π.χ. αλεξίπτωτα ή λεκάνες) και κολυμβητικά χεράκια. Η προπόνηση αντίστασης με κολυμβητικά χεράκια είναι μια ιδιαίτερα δημοφιλής μέθοδος που φαίνεται να περιλαμβάνει το πρότυπο της έλξης που παρατηρείται στην ελεύθερη κολύμβηση (Payton & Lauder, 1995). Θεωρείται ότι συμβάλλουν στη νευρομυϊκή εκμάθηση (Maglisco, 2003), ενώ αυξάνοντας την επιφάνεια του χεριού (Maglisco, 1993) και κατά συνέπεια την αντίσταση του νερού που πρέπει να υπερνικήσει ο κολυμβητής, θεωρείται ότι επιφέρουν αύξηση της δύναμης των άνω άκρων και αύξηση της κολυμβητικής ταχύτητας, μέσω αύξησης του μήκους χεριάς (Payton & Lauder, 1995).

Η επίδραση που έχουν τα κολυμβητικά χεράκια στο πρότυπο έλξης της ελεύθερης κολύμβησης απασχόλησε πολλούς ερευνητές. Οι Stoner & Luedtke (1980), εφαρμόζοντας δυσδιάστατη κινηματική ανάλυση και χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια μεγέθους $222\text{cm}^2 - 250\text{cm}^2$ κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι παρόλο που αυξάνεται σημαντικά ο συνολικός χρόνος της χεριάς, δεν μεταβάλλεται σημαντικά το πρότυπο της κίνησης. Οι Bollens & Clarys (1986) μελέτησαν τη μυοηλεκτρική δραστηριότητα κολυμβητών, χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια που το μέγεθος τους κυμαίνονταν από 223cm^2 έως 431cm^2 , και κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι η δραστηριοποίηση των μυϊκών ομάδων που συμμετέχουν στη κίνηση μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με τη δραστηριοποίησή τους κατά την έλξη χωρίς κολυμβητικά χεράκια.

Οι Monteil & Rouard (1990), παρατήρησαν ότι τα κολυμβητικά χεράκια αυξάνουν το συνολικό χρόνο της υποβρύχιας έλξης της χεριάς των κολυμβητών, ενώ η διαφοροποίηση του μεγέθους τους δεν αλλάζει αυτή τη παράμετρο. Σε μεταγενέστερη έρευνα τους, οι Monteil & Rouard (1992), ανέφεραν, ότι κολυμβητικά χεράκια μεγέθους 96cm^2 , 224cm^2 και 374cm^2 , αυξάνουν σε γενικές γραμμές την ένταση της μυϊκής δραστηριότητας στην ελεύθερη κολύμβηση, και αργότερα παρατήρησαν (Monteil & Rouard, 1994) ότι, μολονότι η κίνηση με κολυμβητικά χεράκια μεσαίου μεγέθους (264cm^2) αυξάνει το συνολικό χρόνο της υποβρύχιας έλξης του χεριού, δεν μεταβάλλει τη

σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων. Αντίθετα, οι Payton & Lauder (1995), κατά την ελεύθερη κολύμβηση με μέγιστη ένταση, χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους (480cm^2), διαπίστωσαν ότι όχι μόνο αυξάνεται ο συνολικός χρόνος της υποβρύχιας έλξης, αλλά μεταβάλλεται και η χρονική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της χεριάς. Οι Gourgoulis, Aggeloussis, Vezos & Mavromatis (2006) ωστόσο, διατηρώντας σταθερή τη συχνότητα της χεριάς, διαπίστωσαν ότι ο συνολικός χρόνος της υποβρύχιας έλξης του χεριού δεν διαφοροποιήθηκε με κολυμβητικά χεράκια μικρού (116cm^2) και μεγάλου (311cm^2) μεγέθους, όπως δεν διαφοροποιήθηκε και η σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων.

Τα κολυμβητικά χεράκια, θεωρείται επίσης ότι βοηθούν τον κολυμβητή να εφαρμόζει την κατάλληλη γωνία επίθεσης, δηλαδή τη γωνία που σχηματίζει το επίπεδο του χεριού με την κατεύθυνση της κίνησής του, κατά τη διάρκεια των επιμέρους φάσεων της έλξης και συμβάλλουν ουσιαστικά στη νευρομυϊκή εκμάθηση, εάν εφαρμόζονται κατάλληλα (Gmunder, 2002). Ωστόσο δεν υπάρχουν αντίστοιχα ερευνητικά δεδομένα.

Για να αξιολογηθούν πλήρως τα κινηματικά χαρακτηριστικά της κίνησης με κολυμβητικά χεράκια και να εντοπιστούν τυχόν διαφοροποιήσεις στο πρότυπο της κίνησης συγκριτικά με την ελεύθερη κολύμβηση, απαιτούνται ακριβή χρονικά και κινηματικά δεδομένα. Σε προηγούμενες μελέτες (Monteil & Rouard, 1994; 1992; 1990; Stoner & Luedtke, 1979) χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές δισδιάστατης ανάλυσης των κινηματικών χαρακτηριστικών της έλξης με κολυμβητικά χεράκια. Εξαιρέση αυτών, αποτελούν οι μελέτες των Payton & Lauder (1995) και των Gourgoulis et al. (2006), οι οποίοι εφάρμοσαν τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση. Οι Payton & Lauder (1995) χρησιμοποίησαν ωστόσο κολυμβητικά χεράκια πολύ μεγάλου μεγέθους (480cm^2), τα οποία δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στη προπόνηση, χωρίς να συγκρίνουν τις διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται με χεράκια μικρότερου μεγέθους, ενώ οι Gourgoulis et al. (2006) μελέτησαν τις μεταβολές που δημιουργούνται στην υποβρύχια έλξη του χεριού χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικού μεγέθους κολυμβητικά χεράκια (116cm^2 και 311cm^2), διατηρώντας όμως σταθερή τη συχνότητα χεριάς και κολυμπώντας στο 80% της μέγιστης έντασης. Σε καμία από τις προαναφερόμενες έρευνες δεν μελετήθηκαν ωστόσο οι διαφοροποιήσεις που δημιουργούνται με κολυμβητικά χεράκια στις γωνίες προσανατολισμού (επίθεσης και καθοδήγησης) του χεριού κατά τη διάρκεια της έλξης.

Η γωνία επίθεσης του χεριού (pitch angle), ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του χεριού και του διανύσματος της ταχύτητας του χεριού που καθορίζει τη πορεία της κίνησής του, ενώ η γωνία καθοδήγησης (sweepback angle)

καθορίζει την πλευρά του χεριού που καθοδηγεί την κίνηση σχετικά με τη ροή του νερού (Payton & Bartlett, 1995). Ο υπολογισμός των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον προσδιορισμό των προωθητικών δυνάμεων. Ο Maglisch (2003) υποστηρίζει ότι κορυφαίοι κολυμβητές χρησιμοποιούν γωνίες επίθεσης κατά την υποβρύχια έλξη που μεγιστοποιούν τη συνεισφορά των δυνάμεων έλξης στη προωθητική δύναμη, δηλαδή των δυνάμεων που ασκούνται αντίθετα από την κατεύθυνση της κίνησης του χεριού του κολυμβητή. Όσο μεγαλύτερες είναι οι γωνίες επίθεσης, δηλαδή τείνουν στις 90°, τόσο περισσότερο συμμετέχουν στη προώθηση οι δυνάμεις έλξης, συγκριτικά με τις δυνάμεις ανύψωσης, δηλαδή τις δυνάμεις που ασκούνται κάθετα στη κατεύθυνση των δυνάμεων έλξης. Η μεγαλύτερη συμμετοχή των δυνάμεων έλξης στην προωθητική δύναμη των κολυμβητών υποστηρίζεται σε αρκετές ακόμη μελέτες (Bixler, 1999; Berger, Hollander & de Groot, 1995; Cappaert, 1992).

Η πιο δημοφιλής διαδικασία για τον υπολογισμό των προωθητικών δυνάμεων στην κολύμβηση εφαρμόστηκε από τον Schleihauf (1979), που χρησιμοποίησε έναν συνδυασμό κινηματικών δεδομένων, μετά από τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση της υποβρύχιας έλξης του χεριού, και υδροδυναμικών συντελεστών έλξης και ανύψωσης του χεριού. Ο Schleihauf (1979) αρχικά, και οι Berger, Hollander & de Groot (1995) και Sanders (1999) μεταγενέστερα, καθόρισαν τους συντελεστές έλξης και ανύψωσης όντας συναρτήσεις του προσανατολισμού ενός ομοιώματος χεριού. Για τον καθορισμό των υδροδυναμικών συντελεστών έλξης και ανύψωσης και τον υπολογισμό των προωθητικών δυνάμεων κατά τη διάρκεια της κολύμβησης, απαιτείται όπως έχει αναφερθεί, ο καθορισμός των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού (Schleihauf, 1979). Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία ωστόσο, δεν υπάρχουν αντίστοιχα ερευνητικά δεδομένα για τις γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού των κολυμβητών, όταν χρησιμοποιούνται κολυμβητικά χεράκια.

Στόχος λοιπόν της παρούσας έρευνας, ήταν η μελέτη των κινηματικών χαρακτηριστικών της υποβρύχιας έλξης του χεριού στην ελεύθερη κολύμβηση και η διερεύνηση τυχόν διαφοροποιήσεων κατά την έλξη με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, καθώς επίσης και ο προσδιορισμός των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης.

Ερευνητικές Υποθέσεις

Η βασική ερευνητική υπόθεση της παρούσας μελέτης ήταν ότι με την κολύμβηση με αντιστάσεις και συγκεκριμένα με κολυμβητικά χεράκια, διαφοροποιούνται τα κινηματικά χαρακτηριστικά της υποβρύχιας έλξης του χεριού. Ταυτόχρονα, μεταβάλλονται η μέση κολυμβητική ταχύτητα, οι χρονικές παράμετροι και η συχνότητα χεριάς, καθώς και οι γωνίες προσανατολισμού του χεριού (γωνία επίθεσης και καθοδήγησης).

Στατιστικές Υποθέσεις

- 1. Μηδενική Υπόθεση:** δεν θα υπάρξουν διαφορές στο μέσο μήκος χεριάς μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).
- 2. Μηδενική Υπόθεση:** δεν θα υπάρξουν διαφορές στη συχνότητα χεριάς μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).
- 3. Μηδενική Υπόθεση:** δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση κολυμβητική ταχύτητα (ισχύου) κατά την υποβρύχια έλξη του χεριού από την είσοδο του έως την έξοδο του από το νερό μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).
- 4. Μηδενική Υπόθεση:** δεν θα υπάρξουν διαφορές στη συνολική διάρκεια της έλξης του χεριού (της χρονικής στιγμής δηλαδή, που μεσολαβούσε από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την είσοδο του και πάλι στο νερό) μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).
- 5. Μηδενική Υπόθεση:** δεν θα υπάρξουν διαφορές στη διάρκεια της μετατόπισης του χεριού κατά τη πρώτη φάση του γλιστρήματος (από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την μέγιστη μετατόπιση του στον επιμήκη άξονα Y) μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).
- 6. Μηδενική Υπόθεση:** δεν θα υπάρξουν διαφορές στη σχετική διάρκεια (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού) της πρώτης φάσης του γλιστρήματος (από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την μέγιστη μετατόπιση του στον επιμήκη άξονα Y), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).
- 7. Μηδενική Υπόθεση:** δεν θα υπάρξουν διαφορές στη διάρκεια της μετατόπισης του χεριού κατά τη φάση της έλξης (από τη μέγιστη μετατόπιση του στον επιμήκη άξονα Y –

ολοκλήρωση γλιστρήματος, έως το σημείο "ταύτισης" με την άρθρωση του ώμου στον κατακόρυφο άξονα Z), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

8. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη σχετική διάρκεια (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού) της φάσης της έλξης (από τη μέγιστη μετατόπιση του στον επιμήκη άξονα Y – ολοκλήρωση γλιστρήματος, έως το σημείο "ταύτισης" με την άρθρωση του ώμου στον κατακόρυφο άξονα Z), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

9. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη διάρκεια της μετατόπισης του χεριού κατά τη φάση της ώθησης (από το σημείο "ταύτισης" του χεριού με την άρθρωση του ώμου στον κατακόρυφο άξονα Z, έως την έξοδο του χεριού από το νερό), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

10. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη σχετική διάρκεια (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού) της φάσης της ώθησης (από το σημείο "ταύτισης" του χεριού με την άρθρωση του ώμου στον κατακόρυφο άξονα Z, έως την έξοδο του χεριού από το νερό), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

11. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη συνολική διάρκεια της μετατόπισης του χεριού κατά την υποβρύχια έλξη (της χρονικής στιγμής δηλαδή, που μεσολαβούσε από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την έξοδο του από το νερό), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

12. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη σχετική συνολική διάρκεια (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού) της μετατόπισης του χεριού κατά την υποβρύχια έλξη (της χρονικής στιγμής δηλαδή, που μεσολαβούσε από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την έξοδο του από το νερό), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

13. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη διάρκεια επαναφοράς του χεριού έξω από το νερό (μετά την ολοκλήρωση της υποβρύχιας έλξης κι έξοδος του χεριού από το νερό έως την επόμενη είσοδός του), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

14. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη σχετική διάρκεια (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού) επαναφοράς του χεριού έξω από το νερό (μετά την ολοκλήρωση της υποβρύχιας έλξης κι έξοδος του χεριού από το

νερό έως την επόμενη είσοδός του), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

15. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη διάρκεια της μετατόπισης του χεριού κατά την προωθητική φάση (αθροιστικά η διάρκεια της φάσης της έλξης και της ώθησης), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

16. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη σχετική διάρκεια (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού) της προωθητικής φάσης (αθροιστικά η διάρκεια της φάσης της έλξης και της ώθησης), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

17. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη διάρκεια της μετατόπισης του χεριού κατά τις μη προωθητικές φάσεις (γλιστρήματα και επαναφορά του χεριού), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

18. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη σχετική διάρκεια (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού) των μη προωθητικών φάσεων (αθροιστικά η διάρκεια του γλιστρήματος και επαναφοράς του χεριού), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

19. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω σε σχέση με το νερό (απόλυτο μήκος χεριάς) κατά την προωθητική φάση (αθροιστικά η διάρκεια της φάσης έλξης και ώθησης), στον επιμήκη άξονα Υ, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

20. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω σε σχέση με το σώμα του κολυμβητή (σχετικό μήκος χεριάς), στον επιμήκη άξονα Υ (αθροιστικά η διάρκεια της φάσης της έλξης και της ώθησης), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

21. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μετατόπιση του χεριού προς τα έξω (στον εγκάρσιο άξονα Χ) κατά τη φάση του γλιστρήματος και της έλξης, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

22. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μετατόπιση του χεριού κατά τη φάση της έλξης προς τα μέσα (στον εγκάρσιο άξονα Χ), μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

23. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω κατά τη φάση της ώθησης, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

24. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη πλευρική μετατόπιση του χεριού αθροιστικά, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

25. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση συνισταμένη κολυμβητική ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

26. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση συνισταμένη κολυμβητική ταχύτητα του χεριού στην έλξη, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

27. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση συνισταμένη κολυμβητική ταχύτητα του χεριού στην ώθηση, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

28. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση γωνία επίθεσης του χεριού στο γλίστρημα, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

29. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην έλξη, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

30. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην ώθηση, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

31. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στο γλίστρημα, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

32. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην έλξη, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

33. Μηδενική Υπόθεση: δεν θα υπάρξουν διαφορές στη μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην ώθηση, μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια).

Περιορισμοί έρευνας

Κατά τη διάρκεια της έρευνας υπήρξαν κάποιοι περιοριστικοί παράγοντες, κυρίως ως προς την επιλογή του δείγματος. Πιο συγκεκριμένα, για πρακτικούς λόγους οι κολυμβήτριες που έλαβαν μέρος στην έρευνα ήταν μέσου επιπέδου (υψηλού σχετικά επιπέδου για τη χώρα μας, μέσου όμως επιπέδου για την παγκόσμια κολύμβηση). Επίσης, για πρακτικούς λόγους, η έρευνα υλοποιήθηκε στο Πανεπιστημιακό κολυμβητήριο της Κομοτηνής και δεν υπήρχε η δυνατότητα να λάβει μέρος στη διεξαγωγή της, η ελίτ της Ελληνικής κολύμβησης, π.χ. η Εθνική ομάδα.

Λειτουργικοί Ορισμοί

APAS (Ariel Performance Analysis System). Το σύστημα ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε για τη καταγραφή των συντεταγμένων θέσης των επιλεγμένων σημείων των κολυμβητριών.

DLT (Direct Linear Transformation – Άμεσος Γραμμικός Μετασχηματισμός). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή των δισδιάστατων συντεταγμένων οθόνης σε πραγματικές τρισδιάστατες συντεταγμένες.

RMS (Root Mean Square – Ρίζα των Μέσων Τετραγωνικών Διαφορών). Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των σφαλμάτων του κύβου διαβάθμισης.

$$(E_{RMS} = \sqrt{\Sigma(X_R - X_I)^2 / N})$$

όπου N αντιστοιχεί στον αριθμό των προσπαθειών, X_R στις πραγματικές τιμές, και X_I στις υπολογιζόμενες τιμές σφάλματος (Hatze, 1988).

Δύναμη έλξης (drag force). Η δύναμη που ασκείται αντίθετα από την κατεύθυνση της κίνησης του χεριού του κολυμβητή.

Δύναμη ανύψωσης (lift force). Η δύναμη που ασκείται κάθετα στη κατεύθυνση της δύναμης έλξης.

Γωνία επίθεσης (pitch angle). Η γωνία επίθεσης του χεριού, ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του χεριού και του διανύσματος της ταχύτητας του χεριού που καθορίζει τη πορεία της κίνησής του.

Γωνία καθοδήγησης (sweepback angle). Η γωνία καθοδήγησης του χεριού, ορίζεται από τη πλευρά του χεριού που καθοδηγεί την κίνηση σχετικά με τη ροή του νερού.

Μέσο μήκος χεριάς (Stroke Length). Ο μέσος όρος της μετατόπισης του αριστερού και δεξιού ισχίου στον επιμήκη άξονα Y, κατά τη διάρκεια μιας ολοκληρωμένης αριστερής και δεξιάς χεριάς, αντίστοιχα.



Μέση κολυμβητική ταχύτητα (Stroke Velocity). Το πηλίκο του μέσου μήκους χεριάς (SL), προς τη μέση διάρκεια (T) της αριστερής και δεξιάς χεριάς ($v = SL/T$).

Συχνότητα χεριάς (Stroke Rate). Το πηλίκο της μέσης κολυμβητικής ταχύτητας προς το μέσο μήκος χεριάς ($SR = v/SL$).

Διάρκεια χεριάς. Από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την είσοδο του και πάλι στο νερό.

Διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης. Η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη διάρκεια της συνολικής χεριάς) διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης, ορίζεται από την είσοδο έως την έξοδο του χεριού από το νερό.

Διάρκεια γλιστρήματος. Η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη διάρκεια της συνολικής χεριάς) διάρκεια της φάσης του γλιστρήματος, ορίζεται από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την μέγιστη μετατόπιση του στον επιμήκη άξονα Y.

Διάρκεια έλξης. Η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη διάρκεια της συνολικής χεριάς) διάρκεια της φάσης της έλξης, ορίζεται από τη μέγιστη μετατόπιση του χεριού στον επιμήκη άξονα Y, που οριοθετεί την ολοκλήρωση του γλιστρήματος, έως το σημείο "ταύτισης" του με την άρθρωση του ώμου, στον επιμήκη άξονα Y.

Διάρκεια ώθησης. Η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη διάρκεια της συνολικής χεριάς) διάρκεια της φάσης της ώθησης, ορίζεται από το σημείο "ταύτισης" του χεριού με την άρθρωση του ώμου στον επιμήκη άξονα Y, έως την έξοδο του από το νερό.

Διάρκεια επαναφοράς. Η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη διάρκεια της συνολικής χεριάς) διάρκεια της φάσης της επαναφοράς, ορίζεται από την ολοκλήρωση της υποβρύχιας έλξης και την έξοδο του χεριού από το νερό έως την επόμενη είσοδό του.

Διάρκεια προωθητικής και μη προωθητικής φάσης. Η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη διάρκεια της συνολικής χεριάς) διάρκεια της προωθητικής και μη προωθητικής φάσης, ορίζεται από τη διάρκεια των φάσεων, αθροιστικά δηλαδή, έλξης και ώθησης, και γλιστρήματος και επαναφοράς, αντίστοιχα.

Απόλυτο μήκος χεριάς. Η μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω, σε σχέση με το νερό, κατά την προωθητική φάση.

Σχετικό μήκος χεριάς. Η μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω, σε σχέση με το σώμα της κολυμβήτριας.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η δύναμη των άνω άκρων και του κορμού του σώματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων στην κολύμβηση (Bigger et al. 1987; Costill et al. 1980), καθώς ιδιαίτερα στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης η συμμετοχή των χεριών για την προώθηση του σώματος ανέρχεται στο 85% (Toussaint et al. 1992). Κατά συνέπεια, οι περισσότεροι κολυμβητές προσπαθούν να βελτιώσουν τη δύναμη των χεριών τους μέσω διαφόρων μορφών προπόνησης, καταφεύγοντας κυρίως σε προπόνηση με αντιστάσεις (Maglischo, 2003; Payton & Lauder, 1995; Maglischo, 1987).

Κατά την εκτέλεση ασκήσεων δύναμης έξω από το νερό, είναι δύσκολο να εφαρμοστεί το πρότυπο της κίνησης των διαφόρων κολυμβητικών στυλ (Schleihauf, 1983), με αποτέλεσμα, το προπονητικό όφελος να μπορεί να μεταφερθεί μόνο εν μέρει στη συγκεκριμένη αγωνιστική δεξιότητα (Toussaint & Beek, 1992). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου, όπως αναφέρει ο Maglischo (2003), είναι ότι στη προσπάθειά τους οι κολυμβητές να βελτιώσουν τη δύναμη τους, δουλεύουν με επιβαρύνσεις μεγαλύτερες απ' ότι δουλεύουν μέσα στο νερό. Η πλειοψηφία αυτών των μεθόδων όμως, επιφέρουν διαφοροποιήσεις στη μηχανική της χεριάς τους και τις περισσότερες φορές είναι μη αποτελεσματικές.

Υπάρχουν ωστόσο μέθοδοι, που χαρακτηρίζονται από υψηλή αποτελεσματικότητα και δεν εμποδίζουν τους κολυμβητές να διατηρούν την ποιότητα της μηχανικής της χεριάς τους όπως και τη συχνότητα και το μήκος της, καθώς τις χρησιμοποιούν. Εάν η συχνότητα της χεριάς των κολυμβητών παραμένει κοντά στα αγωνιστικά επίπεδα και το μήκος της χεριάς τους διατηρείται, τότε οι κολυμβητές μπορούν να βελτιώσουν την δύναμη τους και να αυξήσουν την ταχύτητα τους χωρίς να δημιουργηθούν διαφοροποιήσεις στα βασικά κινηματικά χαρακτηριστικά της χεριάς τους. Όταν οι κολυμβητές μπορούν να διατηρούν αυτά τα στοιχεία, η προπόνηση αντίστασης είναι η ιδανικότερη μέθοδος για την αύξηση της δύναμης της χεριάς τους από κάθε άλλη μέθοδο (Maglischo, 2003).

Για την αποτελεσματικότητα της προπόνησης ωστόσο, είναι καθοριστικής σημασίας η αρχή της εξειδίκευσης, σύμφωνα με την οποία το κινητικό πρότυπο των ασκήσεων δύναμης θα πρέπει να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο τη συγκεκριμένη αγωνιστική δεξιότητα (Canavan et al. 1996; Maglischo, 1987; Huijing et al. 1983;

Schleihauf et al. 1983; Costill et al. 1980). Μια από τις πιο δημοφιλείς μορφές προπόνησης αντίστασης, είναι η κολύμβηση με κολυμβητικά χεράκια, η χρήση των οποίων σύμφωνα με τους Stoner & Leudtke (1979) και Monteil & Rouard (1994, 1992), φαίνεται να μην μεταβάλλει το πρότυπο της κίνησης κατά το ελεύθερο στυλ κολύμβησης.

Κολυμβητικά χεράκια κατά την ελεύθερη κολύμβηση

Τα κολυμβητικά χεράκια χρησιμοποιούνται συχνά από τους προπονητές για να αυξήσουν τη δύναμη των άνω άκρων των κολυμβητών τους και ταυτόχρονα να βελτιώσουν το μήκος της χεριάς τους (Payton & Lauder, 1995). Χρησιμοποιούνται κυρίως για την αύξηση της επιφάνειας των χεριών (Maglischo, 1993), αυξάνοντας έτσι την αντίσταση του νερού που χρειάζονται να υπερνικήσουν οι κολυμβητές, με άμεσο αποτέλεσμα μέσω της αύξησης της δύναμής τους, την αύξηση της κολυμβητικής τους ταχύτητας (Maglischo, 2003). Οι Toussaint et al. (1991), παρατήρησαν ότι η προωθητική αποδοτικότητα της χεριάς των κολυμβητών με κολυμβητικά χεράκια είναι υψηλότερη ενώ ο Schleihauf (1979) διαπίστωσε, ότι η δράση προωθητικής δύναμης από το χέρι του κολυμβητή είναι ανάλογη με την επιφάνεια και την ταχύτητα του χεριού του.

Συνεπώς, αν και ο άμεσος στόχος της προπόνησης με αντιστάσεις είναι η αύξηση της δύναμης της χεριάς των κολυμβητών, ο στόχος αυτός για να είναι αποτελεσματικός, πρέπει να συνοδεύεται και από την παράλληλη διατήρηση της ποιότητας των βασικών κινηματικών χαρακτηριστικών της χεριάς τους, οπότε, τα κολυμβητικά χεράκια που πρέπει να επιλέγονται για να χρησιμοποιούνται στην προπόνηση, όσον αφορά το μέγεθος τους, αποτελεί στοιχείο καθοριστικής σημασίας για τους προπονητές.

Ο Maglischo (1987) υποστήριξε, ότι τα κολυμβητικά χεράκια χρησιμοποιούνται για την αύξηση της δύναμης των κολυμβητών. Παρ' όλα αυτά, οι Bollens & Clarys (1986), μελετώντας κατά το ελεύθερο στυλ κολύμβησης, τη μυοηλεκτρική δραστηριότητα κολυμβητών που χρησιμοποίησαν κολυμβητικά χεράκια μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, από 223 cm² έως 431 cm², κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι ο βαθμός δραστηριοποίησής των μυών τους έμοιαζε σε μεγάλο βαθμό, είτε χρησιμοποιούνταν κολυμβητικά χεράκια, είτε όχι. Οι Monteil & Rouard (1992, 1990) επιβεβαίωσαν τις διαπιστώσεις των Bollens & Clarys (1986), και ανέφεραν, ότι κολυμβητικά χεράκια μεγέθους 96 cm², 224 cm² και 374 cm², δεν αυξάνουν σε γενικές γραμμές την ένταση της μυοηλεκτρικής δραστηριότητας των άνω άκρων στην ελεύθερη κολύμβηση.

Η προπόνηση με κολυμβητικά χεράκια, όπως αναφέρει ο Maglisch (2003) έχει γίνει μια δημοφιλής μέθοδος της προπόνησης με αντιστάσεις επειδή πιθανότατα οι αθλητές μπορούν να ξεπεράσουν τους καλύτερους χρόνους τους όταν τα χρησιμοποιούν. Τα κολυμβητικά χεράκια αυξάνουν την επιφάνεια του χεριού, κάτι που βοηθά τους κολυμβητές να κολυμπήσουν γρηγορότερα. Αλλά το να κολυμπούν γρηγορότερα με κολυμβητικά χεράκια δεν σημαίνει αυτόματα ότι βελτιώνουν και την ταχύτητα τους. Τα κολυμβητικά χεράκια επιτρέπουν στους κολυμβητές να αναπτύξουν γρηγορότερους χρόνους διότι αυξάνουν την επιφάνεια του χεριού τους. Βελτιώσεις της ταχύτητας της ελεύθερης κολύμβησης παρατηρούνται μόνο, όταν οι κολυμβητές είναι ικανοί να διατηρήσουν το μήκος της χεριάς τους ενώ αυξάνουν τη συχνότητα τους ή όταν μπορούν να αυξήσουν τη συχνότητα της χεριάς τους χωρίς να μειώνεται το μήκος της.

Οι Stoner & Luedtke (1979), χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια μεσαίου μεγέθους, 222 cm² και 250 cm², διαπίστωσαν, ότι ενώ τα κολυμβητικά χεράκια αυξάνουν σημαντικά το συνολικό χρόνο έλξης, δεν μεταβάλλουν σημαντικά το πρότυπο της κίνησης. Οι Monteil & Rouard (1994), επιβεβαίωσαν την προαναφερόμενη άποψη, και χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια ανάλογου μεγέθους (264 cm²), οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα, ότι τα κολυμβητικά χεράκια δεν μεταβάλλουν επιπλέον και τη σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της υποβρύχιας έλξης. Οι Monteil & Rouard (1994, 1992, 1990) καθώς και οι Stoner & Luedtke (1979) ωστόσο, επικεντρώθηκαν στη μελέτη των χρονικών παραμέτρων της υποβρύχιας κίνησης, ενώ δεν μελέτησαν τις γραμμικές μετατοπίσεις και ταχύτητες του χεριού κατά τη διάρκεια των επιμέρους φάσεων της. Επίσης, πραγματοποίησαν δυοδιάστατη ανάλυση της υποβρύχιας έλξης των κολυμβητών, παρά τον τρισδιάστατο χαρακτήρα της κίνησης του χεριού στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης (Maglisch, 1988; Maglisch, 1987; Schleichauf, 1983), κάτι που τόνισαν ιδιαίτερα και οι Payton & Lauder (1995) μεταγενέστερα, υποστηρίζοντας, πως για να αξιολογηθούν πλήρως τα κινητικά χαρακτηριστικά της υποβρύχιας έλξης, με ή χωρίς κολυμβητικά χεράκια, απαιτούνται ακριβή κινηματικά δεδομένα, κάτι που είναι εφικτό μόνο μέσω τρισδιάστατης κινηματικής ανάλυσης.

Οι Payton & Lauder (1995), χρησιμοποιώντας λοιπόν τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση, διαπίστωσαν ότι με κολυμβητικά χεράκια μεγέθους 480cm², αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά ο συνολικός χρόνος της υποβρύχιας έλξης του χεριού (0.78±0.13sec με 0.95±0.1sec) και επιπλέον, μεταβλήθηκε η διάρκεια των επιμέρους φάσεων κάθε χεριάς. Πιο συγκεκριμένα, παρατήρησαν ότι με τα κολυμβητικά χεράκια αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά η διάρκεια της φάσης έλξης προς τα κάτω (0.31±0.1sec με

0.4±0.14sec) και η φάση ώθησης (0.25±0.04sec με 0.32±0.06sec) ενώ η διάρκεια της φάσης έλξης προς τα μέσα (0.22±0.04sec με 0.23±0.05sec) αυξήθηκε ελάχιστα και μη στατιστικά σημαντικά. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, ότι οι Payton & Lauder (1995), χρησιμοποίησαν στη μελέτη τους κολυμβητικά χεράκια που δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στη προπόνηση και χαρακτηριστικό είναι, ότι δεν υπάρχει ανάλογη μελέτη στη βιβλιογραφία που να έχουν χρησιμοποιήσει ερευνητές τόσο μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

Οι Gourgoulis et al. (2006) μελετώντας μεταγενέστερα τρισδιάστατα την υποβρύχια έλξη εννέα κολυμβητριών, παρατήρησαν ότι ο συνολικός χρόνος της υποβρύχιας έλξης του χεριού τους δεν διαφοροποιήθηκε στατιστικά σημαντικά με κολυμβητικά χεράκια μικρού και μεγάλου μεγέθους (116cm² και 311cm², αντίστοιχα), όπως δεν διαφοροποιήθηκε στατιστικά σημαντικά και η σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων. Η διάρκεια της φάσης έλξης προς τα κάτω αυξήθηκε ελάχιστα, η διάρκεια της ώθησης μειώθηκε και η διάρκεια της φάσης έλξης προς τα μέσα παρέμεινε αμετάβλητη, σε σχέση πάντα με την έλξη χωρίς κολυμβητικά χεράκια. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, ότι οι κολυμβήτριες που συμμετείχαν στη συγκεκριμένη μελέτη, κολυμπούσαν στο 80% της μέγιστης έντασης και με προκαθορισμένη σταθερή συχνότητα χεριάς (0.55±0.07cycles/sec, 0.55±0.07cycles/sec και 0.56±0.07cycles/sec, με μικρά, μεγάλα και χωρίς κολυμβητικά χεράκια αντίστοιχα). Οι παραπάνω ερευνητές, ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα τόσο του συνολικού χρόνου της υποβρύχιας έλξης όσο και τη διάρκεια των επιμέρους φάσεών της, τόνισαν, ότι η έλλειψη στατιστικά σημαντικών διαφοροποιήσεων οφείλεται στη σταθερή συχνότητα χεριάς που διατηρούσαν οι κολυμβήτριες στις επιμέρους συνθήκες μέτρησης.

Οι Sidney et al. (2002) ωστόσο, διατηρώντας επίσης σταθερή τη συχνότητα χεριάς (35.2cycles/min και 36.2cycles/min, με και χωρίς κολυμβητικά χεράκια, αντίστοιχα) οκτώ κολυμβητών υψηλού επιπέδου, σε τεστ μέγιστης αερόβιας αντοχής, υποστήριξαν ότι με κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους (360cm²) αυξάνεται στατιστικά σημαντικά η σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης ως προς τη συνολική έλξη, από 46% σε 48%.

Πολλοί ερευνητές έχουν παρατηρήσει, ότι εκτός από τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού, η έλξη με κολυμβητικά χεράκια επηρεάζει και την προώθηση του κολυμβητή. Ο Toussaint (1991) μελέτησε τους μηχανισμούς του ελεύθερου στυλ κολύμβησης, με χεράκια μεγέθους 260cm² και χωρίς κολυμβητικά χεράκια και διαπίστωσε, ότι με τα κολυμβητικά χεράκια αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της προώθησης των κολυμβητών κατά 7,8% (Toussaint et al. 1989), συγκριτικά με την έλξη χωρίς κολυμβητικά χεράκια. Τα ευρήματα των μελετών των Ogita & Tabouta (1993) και

Ogita et al. (1999), επιβεβαίωσαν το συμπέρασμα των παραπάνω ερευνητών, και ανέφεραν πως η υψηλή ταχύτητα κολύμβησης με κολυμβητικά χεράκια, οδηγεί σε υψηλότερη προωθητική αποδοτικότητα.

Οι Gourgoulis et al. (2006) διατηρώντας τη συχνότητα χεριάς σταθερή στις επιμέρους μετρήσεις τους, παρατήρησαν, ότι χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια μεταβάλλεται τόσο η μέση κολυμβητική ταχύτητα όσο και το μήκος χεριάς. Χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια μικρού και μεγάλου μεγέθους υπολόγισαν ότι η μέση κολυμβητική ταχύτητα και το μήκος χεριάς, αυξήθηκαν στατιστικά σημαντικά κατά 3.7% και 6% και κατά 5.8% και 10% αντίστοιχα, δεδομένου ότι η κολυμβητική ταχύτητα προκύπτει από το γινόμενο της συχνότητας χεριάς (σταθερή στη συγκεκριμένη μελέτη) με το μήκος χεριάς (Craig & Pendergast, 1979).

Ο Maglisco (2003) υποστήριξε, πως οι κολυμβητές πρέπει να καταβάλλουν μεγάλη προσοχή στη συχνότητα της χεριάς τους, διατηρώντας την πολύ κοντά ή ίση των αγωνιστικών συχνοτήτων. Οι ταχύτητες της προπόνησης πρέπει να είναι μεγαλύτερες από αυτές που κολυμπούν οι αθλητές χωρίς κολυμβητικά χεράκια. Γι' αυτό τον λόγο, πολλοί προπονητές έχουν προτείνει ότι η χρησιμοποίησή τους αυξάνει την μυϊκή τους δύναμη και την ισχύ της χεριάς τους. Αυτή η υπόθεση είναι αβέβαιη. Μια αρχική μικρή αύξηση της δύναμης έλξης μπορεί να παρατηρηθεί με την επιπρόσθετη αντίσταση, μετά από μια γρήγορη προσαρμογή αυτής της επίδρασης όμως, της μικρής υπερφόρτωσης που παρατηρείται δηλαδή, ενδεχομένως να μη παρατηρηθεί καμιά επιπρόσθετη βελτίωση.

Οι Payton & Lauder (1995), αναφερόμενοι στη μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω σε σχέση με το νερό κατά την προωθητική φάση ή στο απόλυτο μήκος χεριάς διαφορετικά, παρατήρησαν, ότι με κολυμβητικά χεράκια το απόλυτο μήκος χεριάς μειώνεται στατιστικά σημαντικά. Στοιχείο που υποστήριξαν και οι Gourgoulis et al. (2006), που πιθανότατα οφείλεται στην αύξηση της επιφάνειας επαφής που δημιουργούν τα κολυμβητικά χεράκια με το νερό. Η μείωση του απόλυτου μήκους της χεριάς με κολυμβητικά χεράκια, αποδίδεται ακόμη, όπως αναφέρουν οι Payton & Lauder (1995), στην μικρότερη έκταση του χεριού προς τα πίσω κατά τη φάση της ώθησης. Αυτή η μικρότερη έκταση του χεριού κυρίως προκύπτει από τη περιορισμένη δύναμη των εκτεινόντων μυών του αγκώνα των κολυμβητών. Ωστόσο, η φάση της ώθησης, που αποτελεί την τελική φάση της υποβρύχιας έλξης, έχει ιδιαίτερη σημασία στο ελεύθερο στυλ κολύμβησης, μια και σ' αυτή τη φάση, όπως αναφέρουν οι Toussaint et al. (1991), αναπτύσσονται οι υψηλότερες τιμές δύναμης προώθησης.

Η αύξηση της επιφάνειας του χεριού με τα κολυμβητικά χεράκια και η αύξηση της αντίστασης του νερού που δημιουργείται, έχει ως αποτέλεσμα και τη μικρότερη ταχύτητα κίνησης του χεριού μέσα στο νερό (Payton & Lauder, 1995). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τα ευρήματα της μελέτης των Gourgoulis et al. (2006), καθώς διαπίστωσαν μείωση της μέγιστης γραμμικής ταχύτητας του χεριού κατά τη φάση της έλξης προς τα μέσα στον εγκάρσιο άξονα (μη στατιστικά σημαντική). Στη φάση της έλξης προς τα μέσα στον επιμήκη άξονα εντούτοις, όπως και κατά τη φάση της ώθησης στον ίδιο άξονα, προέκυψε στατιστικά σημαντική μείωση, όταν οι κολυμβητές χρησιμοποιούσαν κολυμβητικά χεράκια μικρού και μεγάλου μεγέθους, κατά 8.8% και 14.3%, και κατά 12.8% και 16.3%, αντίστοιχα. Οι Payton & Lauder (1995), μελετώντας τις διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στη ταχύτητα κίνησης του χεριού κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης, διαπίστωσαν πολύ μεγαλύτερες μεταβολές της μέγιστης ταχύτητας του χεριού με κολυμβητικά χεράκια απ' αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω από τους Gourgoulis et al. (2006). Αξιοσημείωτη είναι, η στατιστικά σημαντική μείωση της μέγιστης γραμμικής ταχύτητας του χεριού στον εγκάρσιο άξονα κατά τη διάρκεια της έλξης προς τα μέσα με κολυμβητικά χεράκια, που έφτασε το 43.6%. Ανάλογη μείωση, αν και σε μικρότερη ποσοστιαία βάση, παρατηρήθηκε στον επιμήκη άξονα κατά τη διάρκεια της ίδιας φάσης αλλά και κατά τη διάρκεια της ώθησης. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη γραμμική ταχύτητα του χεριού με κολυμβητικά χεράκια στις παραπάνω επιμέρους φάσεις της υποβρύχιας έλξης μειώθηκε στατιστικά σημαντικά κατά 34.7% και 36.8% αντίστοιχα.

Οι υψηλού επιπέδου κολυμβητές, όπως αναφέρουν οι Payton & Lauder (1995), εφαρμόζουν κατάλληλα το πρότυπο των πλευρικών μετατοπίσεων στην υποβρύχια έλξη τους, ώστε να μπορούν να εκμεταλλεύονται τις δυνάμεις ανύψωσης που αναπτύσσονται, για αποτελεσματικότερη προώθηση. Οι κολυμβητές που συμμετείχαν στη μελέτη τους κατά την υποβρύχια έλξη τους χωρίς κολυμβητικά χεράκια, μετατόπισαν το χέρι τους στη φάση έλξη προς τα μέσα 34 ± 7 εκατοστά, ενώ οι Schleichauf et al. (1988) ανέφεραν, ότι η μετατόπιση του χεριού κολυμβητών πολύ υψηλού επιπέδου στη φάση έλξης προς τα μέσα αγγίζει τα 37.1 ± 8.1 εκατοστά.

Τα κολυμβητικά χεράκια που χρησιμοποιήσαν στη μελέτη τους οι Gourgoulis et al. (2006) δεν διαφοροποίησαν σημαντικά τις πλευρικές μετατοπίσεις του χεριού κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης. Κατά την πρώτη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, παρατηρήθηκε ότι με τα μικρά και τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια η μετακίνηση του χεριού κυμάνθηκε στα $0.15 \pm 0.09\text{m}$ και $0.17 \pm 0.09\text{m}$ αντίστοιχα, συγκριτικά με τη μετατόπιση του χεριού χωρίς κολυμβητικά χεράκια ($0.16 \pm 0.07\text{m}$). Οι πλευρικές

μετατοπίσεις της προωθητικής φάσης παρουσίασαν παρόμοιες μεταβολές. Κατά την έλξη προς τα μέσα παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια ($0.07\pm 0.06\text{m}$) ενώ με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια ακολούθησε μια ελάχιστη αύξηση ($0.1\pm 0.05\text{m}$) σε σχέση με τη μετατόπιση του χεριού χωρίς κολυμβητικά χεράκια ($0.09\pm 0.05\text{m}$). Στη φάση της ώθησης με μικρά και χωρίς κολυμβητικά χεράκια δεν μεταβλήθηκε η μετατόπιση του χεριού (0.07 ± 0.05 και $0.07\pm 0.05\text{m}$, αντίστοιχα), ενώ με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, παρουσιάστηκε μεγαλύτερη μείωση ($0.04\pm 0.04\text{m}$), που δεν διαπιστώθηκε όμως να είναι στατιστικά σημαντική.

Οι Payton & Lauder (1995), παρατήρησαν, ότι κατά τη διάρκεια της έλξης προς τα μέσα, η μέση μετατόπιση της χεριάς όταν η κίνηση γινόταν χωρίς κολυμβητικά χεράκια ήταν κατά 62% μεγαλύτερη, αφού η πλευρική μετατόπιση του χεριού με κολυμβητικά χεράκια περιορίστηκε στα 21 ± 9 εκατοστά. Η μείωση που παρατηρήθηκε, ήταν αρκετά μεγαλύτερη απ' αυτή που παρουσίασαν οι Gourgoulis et al. (2006), οφείλεται όμως, στο διαφορετικό μέγεθος που είχαν τα κολυμβητικά χεράκια που χρησιμοποιήθηκαν στις μελέτες τους. Εντούτοις, οι Stoner & Luedtke (1979) είχαν διαπιστώσει ότι οι κολυμβητές ελεύθερου στυλ κολύμβησης τείνουν να μειώνουν τις πλευρικές μετατοπίσεις των χεριών τους όταν χρησιμοποιούν κολυμβητικά χεράκια. Γεγονός που αποτελεί μια έμμεση ένδειξη ότι κατά τη διάρκεια της έλξης με κολυμβητικά χεράκια οι κολυμβητές για την προώθησή τους βασίζονται περισσότερο στη δύναμη έλξης, παρά στη δύναμη ανύψωσης.

Σύμφωνα άλλωστε με τους Sanders (1998) και Rushall et al. (1994), όταν το πρότυπο της κίνησης δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλες πλευρικές μετατοπίσεις και δεν είναι τόσο καμπυλόγραμμο, η κυρίαρχη πηγή προώθησης των κολυμβητών είναι η δύναμη έλξης. Μολονότι η προώθηση στην κολύμβηση δημιουργείται από τον συνδυασμό των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης, οι δυνάμεις έλξης συνεισφέρουν πιο αποτελεσματικά από τις δυνάμεις ανύψωσης. Οι υψηλού επιπέδου κολυμβητές όπως αναφέρεται, χρησιμοποιούν μεγάλες γωνίες επίθεσης κατά τη διάρκεια της προωθητικής φάσης του χεριού τους, προκειμένου να εκμεταλλευτούν τη συμβολή των δυνάμεων έλξης, με αποτέλεσμα να δίνουν λιγότερη έμφαση στις πλευρικές μετατοπίσεις προκειμένου να βασιστούν στις δυνάμεις ανύψωσης. Οι Gourgoulis et al. (2006), αν και δεν υπολόγισαν τις γωνίες επίθεσης των κολυμβητών στη μελέτη τους, ανέφεραν ωστόσο, ότι η μείωση των πλευρικών μετατοπίσεων του χεριού κατά τη διάρκεια της προωθητικής φάσης, έμμεσα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η συνεισφορά των δυνάμεων έλξης κατά την φάση της έλξης,

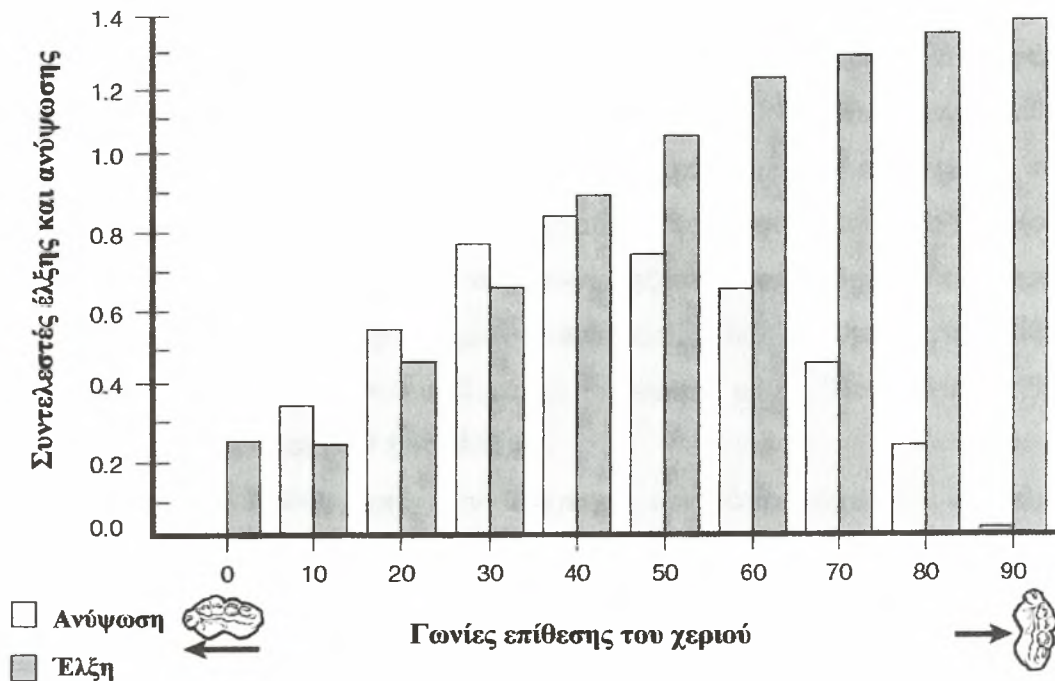
τόσο με κολυμβητικά χεράκια όσο και χωρίς κολυμβητικά χεράκια, φαίνεται να είναι μεγαλύτερη.

Ο Maglisco (2003) υποστήριξε, ότι οι υψηλού επιπέδου κολυμβητές «βάση διαίσθησης», επιλέγουν γωνίες επίθεσης κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης τους που μεγιστοποιούν τη συνεισφορά των δυνάμεων έλξης. Οι μεγάλες γωνίες επίθεσης του χεριού που επιλέγονται να χρησιμοποιούνται από τους κολυμβητές κατά τη διάρκεια της έλξης τους στη προωθητική φάση, προκύπτει γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο. Έχει αποδειχθεί από αρκετές μελέτες, όχι όμως σε πραγματικές συνθήκες κολύμβησης αλλά με «προσομοιώσεις» χεριών σε εργαστηριακό περιβάλλον, ότι η έλξη των κολυμβητών που διακρίνεται από μεγάλες γωνίες επίθεσης αναπτύσσουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις δυνάμεις έλξης παρά τις δυνάμεις ανύψωσης.

Γωνίες Προσανατολισμού και Προωθητικές Δυνάμεις

Ο Scleihauf (1979) πραγματοποίησε μετρήσεις δύναμης σε εργαστηριακό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας ένα πλαστικό ομοίωμα χεριού με σταθερή ταχύτητα κίνησης σε όλες τις συνθήκες των γωνιών επίθεσης (από 0 έως 90°, ανά 10°) και σε διαφορετικές συνθήκες γωνιών καθοδήγησης. Από τα ευρήματα της μελέτης του, προέκυψε ότι οι συντελεστές ανύψωσης του μοντέλου ήταν μεγαλύτεροι από τους συντελεστές έλξης όταν οι γωνίες επίθεσης του χεριού κυμαίνονταν από 10° έως 30°. Οι συντελεστές έλξης και ανύψωσης ήταν περίπου ίσοι με γωνία επίθεσης του μοντέλου στις 40°, ενώ οι συντελεστές έλξης παρουσίασαν μεγαλύτερη συνεισφορά στη προωθητική δύναμη με γωνίες επίθεσης του χεριού που ξεπερνούσαν τις 40° (σχήμα 1).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη του Scleihauf (1979), όπως αναφέρει ο Maglisco (2003), αποτελεί σημαντική ένδειξη εντούτοις, για το λόγο που οι υψηλού επιπέδου κολυμβητές χρησιμοποιούν γωνίες επίθεσης κατά την διάρκεια της προωθητικής τους φάσης, στα τρία από τα τέσσερα αγωνιστικά στυλ, από 50 έως 70°. Επομένως, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι κολυμβητές επιλέγουν μεγάλες γωνίες επίθεσης του χεριού τους κατά τη διάρκεια της έλξης τους, για να μεγιστοποιούν τη συνεισφορά των δυνάμεων έλξης στη προωθητική τους δύναμη, περισσότερο τουλάχιστον από τη συνεισφορά των δυνάμεων ανύψωσης.



Σχήμα 1: Συντελεστές έλξης και ανύψωσης με εύρος γωνιών επίθεσης του χεριού από 0° έως 90°, ανά 10° (από Maglisco, 2003).

Οι Bixler (1999), Berger et al. (1995) και Cappaert (1992) μεταγενέστερα, μελέτησαν τα μεγέθη των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης που αναπτύσσονται στην κολύμβηση, και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η κυρίαρχη προωθητική δύναμη στην αγωνιστική κολύμβηση είναι η δύναμη έλξης. Πιο συγκεκριμένα, οι Berger et al. (1995), διαπίστωσαν, εν αντιθέσει με τον Schleihaufl (1979), ότι ακόμα και με γωνία επίθεσης του χεριού μεταξύ 20 και 40°, η συμβολή των δυνάμεων έλξης στη προώθηση είναι λίγο μεγαλύτερη από διπλάσια σε σχέση με τη συμβολή των δυνάμεων ανύψωσης, ενώ η συνεισφορά των δυνάμεων έλξης με γωνία επίθεσης του χεριού από 40 έως 90°, τριπλασιάζεται σε σχέση με τη συνεισφορά των δυνάμεων ανύψωσης. Η Cappaert (1992) δεν ανέφερε απόλυτες τιμές δυνάμεων έλξης και ανύψωσης για όλο το εύρος γωνιών επίθεσης του χεριού που εξέτασε, αλλά παρατήρησε ότι η μέση δύναμη έλξης του χεριού κατά τη διάρκεια όλης της κίνησης, ήταν περίπου έξι φορές μεγαλύτερη από τη μέση δύναμη ανύψωσης (17.5N μέση δύναμη έλξης με 3.2N μέση δύναμη ανύψωσης).

Ο Bixler (1999), αναπτύσσοντας μια διαφορετική μέθοδο υπολογισμού των δυνάμεων που αναπτύσσονται στην κολύμβηση από τους παραπάνω ερευνητές, υπολόγισε τις δυνάμεις έλξης και ανύψωσης που αναπτύσσονται σ' ένα εύρος γωνιών επίθεσης του χεριού, σε συνδυασμό με δύο γωνίες καθοδήγησης. Με γωνία καθοδήγησης του χεριού

λουπόν στις 0° (οδηγός ο αντίχειρας), ο ερευνητής παρατήρησε ότι οι δυνάμεις έλξης συμμετείχαν σημαντικά περισσότερο από τις δυνάμεις ανύψωσης σε όλες τις γωνίες επίθεσης του χεριού κατά τη διάρκεια της έλξης προς τα μέσα. Ενδεικτικά ανέφερε, ότι οι δυνάμεις έλξης αυξήθηκαν από 30N σε περισσότερο από 60N καθώς η γωνία επίθεσης του χεριού αυξήθηκε από τις 0 στις 75° , το χρονικό διάστημα που οι δυνάμεις ανύψωσης κυμαίνονταν από 20N έως 30N. Με γωνία καθοδήγησης του χεριού στις 180° (οδηγός το μικρό δάχτυλο), οι δυνάμεις έλξης και ανύψωσης που αναπτύχθηκαν ήταν περίπου στο ίδιο επίπεδο. Οι δυνάμεις έλξης κυμαίνονταν από 35N έως 50N με γωνίες επίθεσης του χεριού μεταξύ 45 και 75° , ενώ οι δυνάμεις ανύψωσης με τις ίδιες γωνίες επίθεσης του χεριού, κυμαίνονταν από 25N έως 34N.

Ο Bixler (1999) από την εξαγωγή των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων, παρατήρησε ότι οι δυνάμεις έλξης με γωνίες επίθεσης του χεριού που συνήθως χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της έλξης προς τα μέσα και γωνία καθοδήγησης του χεριού στις 0° , συνεισφέρουν στη προωθητική δύναμη με ποσοστό που αγγίζει περίπου το 70%. Οι υπολογισμοί του προσδιόρισαν παρόμοια συμμετοχή των δύο προωθητικών δυνάμεων κατά τη διάρκεια της φάσης της ώθησης όταν η γωνία καθοδήγησης του χεριού ήταν στις 180° . Από τα αποτελέσματά του επίσης φανερώθηκε, ότι οι μεγαλύτερες προωθητικές δυνάμεις αναπτύσσονται όταν οι γωνίες επίθεσης του χεριού κυμαίνονται μεταξύ 60 και 90° με το χέρι να είναι σχεδόν κάθετο στη κατεύθυνση της κίνησης.

Όλες οι παραπάνω μελέτες αποδεικνύουν ότι η προωθητική δύναμη που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της κίνησης του χεριού μέσα στο νερό, κυρίαρχα επηρεάζεται από τη δύναμη έλξης. Η μελέτη του Bixler (1999) ήταν η μόνη που παρουσίασε σχετικά μεγάλη συνεισφορά της δύναμης ανύψωσης, κάτι που παρατηρήθηκε μόνο κατά τη διάρκεια των πλευρικών μετατοπίσεων του χεριού προς τα έξω, με γωνία καθοδήγησής του στις 180 μοίρες.

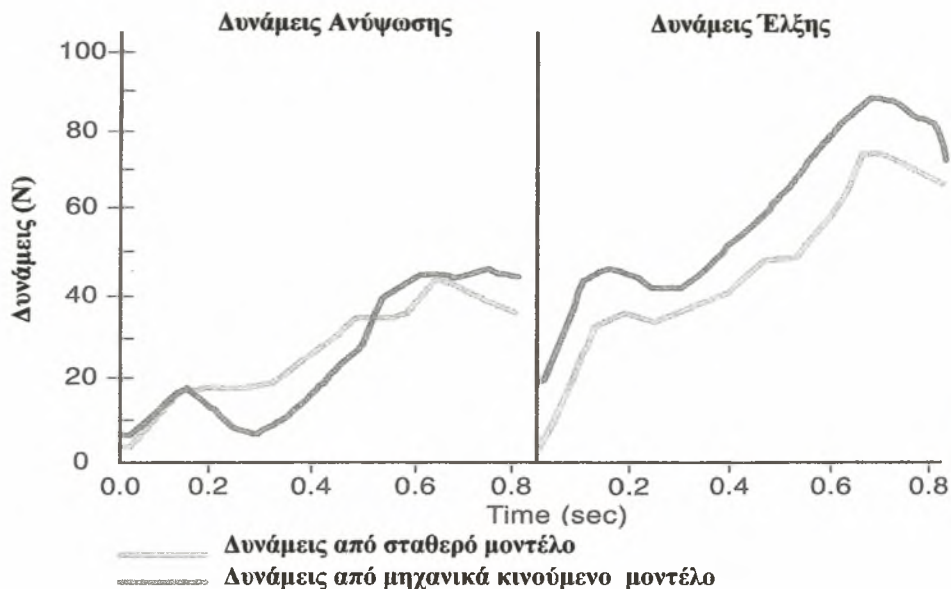
Η μεθοδολογία που ανέπτυξαν οι Scleihauf (1979) και Cappaert (1992), όπως αναφέρει ο Maglischo (2003), χαρακτηρίζονταν από τις σταθερές συνθήκες μέτρησης που ακολούθησαν οι παραπάνω ερευνητές, δηλαδή τη σταθερή θέση που είχαν τα μοντέλα τους μέσα στο νερό, τη σταθερή ταχύτητα της ροής του νερού καθώς και τις σταθερές γωνίες επίθεσης που χρησιμοποιούσαν ανά συνθήκη μέτρησης χωρίς αυτή να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Οι Berger et al. (1995) αντίθετα, κινούσαν το μοντέλο τους μέσα στο νερό, αλλά με σταθερή ταχύτητα, κι εφαρμόζαν κι αυτοί συγκεκριμένη γωνία επίθεσης ανά μέτρηση, όπως και ο Bixler (1999) που διατήρησε σταθερές ανά μέτρηση τις γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης του μοντέλου.

Σύμφωνα με τον Maglisch (2003), τίθεται υπό αμφισβήτηση η μέτρηση των δυνάμεων σε σταθερές συνθήκες. Τόσο οι κολυμβητές όσο και το νερό ποτέ δεν κινούνται με σταθερή ταχύτητα, συνεχώς επιταχύνουν ή επιβραδύνουν την κίνησή τους. Επιπρόσθετα, κανένα σημείο του χεριού των κολυμβητών δεν κινείται μέσα στο νερό με την ίδια ταχύτητα. Η ταχύτητα διαφορετικών σημείων στο χέρι ενός κολυμβητή, εξαρτάται αποκλειστικά από την απόσταση που έχουν από την άρθρωση του ώμου, που είναι το κέντρο περιστροφής του χεριού. Η κολυμβητική κίνηση επιπλέον, χαρακτηρίζεται από τον τρισδιάστατο χαρακτήρα της. Το χέρι του κολυμβητή δεν κινείται μέσα στο νερό σε μια σταθερή κατεύθυνση χωρίς να διαφοροποιούνται οι γωνίες επίθεσής του. Αντίθετα, αλλάζει κατευθύνσεις και γωνίες επίθεσης κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του. Η κίνηση του χεριού χαρακτηρίζεται από τις αλλαγές στην κατεύθυνσή του είτε στον επιμήκη και κατακόρυφο άξονα είτε και με τις πλευρικές μετατοπίσεις του στον εγκάρσιο άξονα, η ταχύτητά του διαφοροποιείται συνεχώς και οι γωνίες επίθεσής του ποικίλουν κατά τη διάρκεια της κίνησής του. Συνεπώς, μεθοδολογικά είναι πολύ δύσκολο να προσομοιωθεί η κολυμβητική κίνηση σε εργαστηριακές συνθήκες.

Η Thayer (1990), προσπαθώντας να περιορίσει όλους αυτούς τους μεθοδολογικούς προβληματισμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, προσπάθησε να προσεγγίσει την «πραγματική» υποβρύχια έλξη χρησιμοποιώντας ένα μηχανικά καθοδηγούμενο μοντέλο με σκοπό να υπολογίσει τις δυνάμεις έλξης και ανύψωσης που αναπτύσσονται στο χέρι του κολυμβητή, με τη διαφορά όμως, ότι η ροή του νερού δεν ήταν σταθερή. Τοποθέτησε 127 αισθητήρες πίεσης στο μοντέλο της, για να υπολογίσει τις δυνάμεις προώθησης. Το μοντέλο κινούνταν μέσα στο νερό με τρόπο που να ευνοείται η διαφοροποίηση των γωνιών επίθεσής του κατά τη διάρκεια των επιμέρους φάσεων της υποβρύχιας έλξης του. Επιπλέον, η παραπάνω ερευνήτρια υπολόγισε τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στο μοντέλο και κάτω από σταθερές συνθήκες, όπως είχε περιγραφεί προηγουμένα από τους Scleihauf (1979) και Cappaert (1992), για να συγκρίνει τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων.

Συγκρίνοντας λοιπόν τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων, παρατήρησε ότι με τη πρώτη μέθοδο υπολογισμού, οι δυνάμεις έλξης που αναπτύχθηκαν ήταν κατά 10 με 20N μεγαλύτερες απ' ό,τι της δεύτερης μεθόδου, ενώ αντίθετα, οι δυνάμεις ανύψωσης του κινούμενου μοντέλου που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του μέσου της έλξης, ήταν μικρότερες σε σχέση με τις δυνάμεις ανύψωσης που υπολογίστηκαν κάτω από σταθερές συνθήκες με παρόμοιες γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης. Εντούτοις, οι δυνάμεις ανύψωσης του κινούμενου μοντέλου διαπιστώθηκε ότι ήταν ελάχιστα μεγαλύτερες από τις

δυνάμεις ανύψωσης του σταθερού μοντέλου κατά τη διάρκεια της ολοκλήρωσης της υποβρύχιας έλξης, στη φάση της ώθησης (σχήμα 2).



Σχήμα 2: Σύγκριση των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης που αναπτύσσονται από σταθερό μοντέλο και από μηχανικά κινούμενο μοντέλο (από Maglisch, 2003).

Από τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας προκύπτει, ότι οι δυνάμεις έλξης που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της «πραγματικής» κολύμβησης είναι ενδεικτικά μεγαλύτερες από αυτές που υπολογίζονται κάτω από σταθερές συνθήκες, με σταθερή τη ταχύτητα του νερού και τη ταχύτητα του μοντέλου. Είναι εμφανές, όπως υποστηρίζει ο Maglisch (2003), ότι οι κολυμβητές αναπτύσσουν σημαντικά μεγαλύτερες δυνάμεις έλξης στις πραγματικές συνθήκες κολύμβησης απ' αυτές που παρουσίασαν οι προηγούμενοι ερευνητές με «πλαστικά μοντέλα» κάτω από σταθερές συνθήκες. Οι δυνάμεις έλξης που αναπτύχθηκαν στο μοντέλο της Thayer (1990), ήταν δύο με τρεις φορές μεγαλύτερες από τις δυνάμεις ανύψωσης κατά τη διάρκεια των επιμέρους φάσεων της υποβρύχιας έλξης. Κατά συνέπεια, προκύπτει το ενδεχόμενο ότι και οι κολυμβητές πιθανότατα αναπτύσσουν δύο με τρεις φορές μεγαλύτερες δυνάμεις έλξης από δυνάμεις ανύψωσης κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης τους σε πραγματικές αγωνιστικές συνθήκες κολύμβησης.

Η γωνία επίθεσης και η γωνία καθοδήγησης του χεριού αφενός μεν φανερώνουν, με έμμεσο τρόπο, τη συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης στη προωθητική δύναμη του χεριού, από τη στιγμή που ο προσανατολισμός του χεριού είναι κυρίαρχος παράγοντας παραγωγής της δύναμης προώθησης, αφετέρου, αυτές οι γωνίες

χρησιμοποιούνται στις υδροδυναμικές εξισώσεις μέσω των συντελεστών έλξης και ανύψωσης για τον υπολογισμό των προωθητικών δυνάμεων.

Η παρούσα μελέτη δεν πραγματεύεται τις δυνάμεις έλξης και ανύψωσης που αναπτύσσονται στην αγωνιστική κολύμβηση, υπολογίζονται όμως οι γωνίες προσανατολισμού του χεριού που εφαρμόζονται από τους κολυμβητές κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού τους σε «πραγματικές» συνθήκες κολύμβησης, κάτι που θα αποτελέσει ενδεχομένως βάσιμη ένδειξη για τον τρόπο εφαρμογής των δυνάμεων προώθησής μέσα στο νερό. Επιπλέον, μπορούν να ελεγχθούν με μεγαλύτερη ασφάλεια οι διαφοροποιήσεις που δημιουργούνται από τα κολυμβητικά χεράκια στη μηχανική της χεριάς των κολυμβητών και να αξιολογηθούν πληρέστερα.

Δυνάμεις – Συντελεστές (Έλξης και Ανύψωσης)

Το άθλημα της κολύμβησης αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο ποσοστό της ανθρώπινης αγωνιστικής και ψυχαγωγικής δραστηριότητας. Το επίπεδο γνώσης και κατανόησης της τεχνικής της κολύμβησης όμως, φαίνεται να μειονεκτεί σε σχέση με άλλες πιο δημοφιλείς δραστηριότητες. Υπάρχουν συγκεκριμένοι λόγοι για αυτήν την απόκλιση. Κατ' αρχάς, η κίνηση μέσα στο νερό εξαρτάται από την αλληλεπίδραση που δημιουργείται μεταξύ του αθλητή και του υγρού στοιχείου. Η ανάλυση αυτής της κίνησης απαιτεί τη μέτρηση δυνάμεων που δρουν στα άκρα και το σώμα του κολυμβητή. Αυτές οι δυνάμεις περιλαμβάνουν τις δυνάμεις έλξης, που ορίζονται ως οι δυνάμεις που αναπτύσσονται προς την κατεύθυνση της ροής του νερού και είναι αντίθετες από την κατεύθυνση της κίνησης του χεριού του κολυμβητή, και τις δυνάμεις ανύψωσης, που ορίζονται ως οι δυνάμεις που είναι κάθετες στην κατεύθυνση της ροής του νερού. Η άμεση μέτρηση των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού παρουσιάζει πολλές δυσκολίες. Η εκτίμηση και ο υπολογισμός των δυνάμεων που χρησιμοποιούν οι έμμεσες μέθοδοι μειονεκτεί, λόγω των προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά την ακριβή συλλογή των κινηματικών δεδομένων σε ένα περιβάλλον στο οποίο υπάρχει επαφή δύο μέσων, αέρα και νερού.

Το θεμελιώδες ερώτημα στην αγωνιστική κολύμβηση που δημιουργείται και προβληματίζει έντονα πολλούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια είναι πως μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικότερα οι προωθητικές δυνάμεις. Πολλοί υποστηρίζουν, ότι εφαρμόζοντας οι κολυμβητές πρότυπο έλξης που τους βοηθά να προωθούνται κυρίως από τις δυνάμεις έλξης μπορεί να βελτιστοποιήσει την απόδοσή τους. Κάποιοι άλλοι,

έχουν υιοθετήσει την άποψη ότι οι δυνάμεις ανύψωσης είναι οι δυνάμεις που μεγιστοποιούν τη προώθηση των κολυμβητών. Επομένως, ένας από τους βασικούς στόχους της ανάλυσης της τεχνικής της κολύμβησης είναι να καθοριστεί η σχετική συνεισφορά των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης στη προώθηση (Sanders, 1998).

Οι Brown & Counsilman (1971) και Counsilman (1971) υποστήριξαν, ότι οι υψηλού επιπέδου κολυμβητές χρησιμοποιούν πλευρικές κινήσεις «γνωρίζοντας» τη σημασία των δυνάμεων ανύψωσης, ενώ οι de Groot & van Ingen Schenau (1988) μεταγενέστερα, εξέφρασαν την ιδέα ότι οι προωθητικές δυνάμεις στην αγωνιστική κολύμβηση μπορεί και να είναι ακόμη αποτελεσματικότερες, όταν προέρχονται κυρίως από τις δυνάμεις ανύψωσης, παρά από τις δυνάμεις έλξης (Berger et al. 1995).

Αρχικά, η ερμηνεία της δύναμης ανύψωσης βασίστηκε στην αρχή του Bernoulli, σύμφωνα με την οποία, οι δυνάμεις ανύψωσης προκύπτουν από τη διαφορά στην πίεση που δημιουργείται όπως αυξάνεται η ροή του ρευστού γύρω από την πιο κυρτή πλευρά του «αντικειμένου». Θεωρήθηκε ότι το χέρι ενός κολυμβητή θα μπορούσε να ενεργήσει μ' αυτόν το τρόπο επειδή το πίσω μέρος του χεριού είναι πιο κυρτό απ' ότι το μπροστινό. Για να αναπτυχθεί δύναμη ανύψωσης ωστόσο, σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli, το χέρι πρέπει να κινείται με τέτοιο τρόπο ώστε η γωνία μεταξύ του επιπέδου του χεριού και της γραμμής κίνησής του, να είναι μικρή. Μ' αυτό τον τρόπο αναπτύσσονται δυνάμεις που συνήθως είναι ανύψωσης, παρά έλξης.

Η αρχή του Bernoulli είναι μόνο μια εξήγηση των κινηματικών της δύναμης ανύψωσης (Sprigings & Koehler, 1990). Είναι πλέον αποδεκτό ότι η δύναμη ανύψωσης μπορεί να παραχθεί από το χέρι του κολυμβητή μέσω της ώθησης του νερού προς τα πίσω χρησιμοποιώντας ενδιάμεσες γωνίες επίθεσης. Σε ιδανικές συνθήκες, ο συνδυασμός έλξης και ανύψωσης πρέπει να οδηγεί την συνισταμένη δύναμη στην επιθυμητή κατεύθυνση της κίνησης. Η αντίληψη ωστόσο ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της προωθητικής δύναμης στην ελεύθερη κολύμβηση οφείλεται στη συνεισφορά της δύναμης ανύψωσης, παρά της δύναμης έλξης, υποστηρίχθηκε έντονα από πολλούς ερευνητές (Costill et al. 1992).

Αρκετές μελέτες έχουν υποστηρίξει αυτή την άποψη (Barthels & Adrian, 1974, Schleihauf, 1974, 1979, Schleihauf et al. 1983, 1988, Reischle, 1979). Υπάρχουν αρκετοί λόγοι ωστόσο, για τους οποίους η τεχνική της ελεύθερης κολύμβησης χαρακτηρίζεται από την χρήση των δυνάμεων ανύψωσης παρά των δυνάμεων έλξης. Εάν η διαδρομή του χεριού κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης χαρακτηρίζεται από πλευρικές μετατοπίσεις, οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι προϊόν των δυνάμεων ανύψωσης. Το κυρίαρχο πλεονέκτημα της «καμπυλόγραμμης» πορείας του χεριού, είναι ότι η κίνησή του

χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη απόσταση που διανύει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα που αναπτύσσει, που μ' αυτόν το τρόπο επιτρέπει στις δυνάμεις να εφαρμόζονται σε μεγαλύτερο βαθμό και για περισσότερο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, εάν ένας κολυμβητής «οδηγεί» το χέρι του με την κατάλληλη γωνία επίθεσης και αναπτύσει δυνάμεις στην επιθυμητή κατεύθυνση, η προώθηση του μπορεί να βελτιστοποιηθεί με τη χρησιμοποίηση μιας διαδρομής με έντονες πλευρικές μετατοπίσεις (Toussaint & Beek, 1992; Toussaint, Jansen, & Kluit, 1991; de Groot & van Ingen Schenau, 1988; Alexander & Goldspink, 1977).

Επιπλέον, μέσω των πλευρικών μετατοπίσεων επιτρέπεται στις μεγάλες μυϊκές ομάδες να χρησιμοποιούνται αποτελεσματικότερα απ' ό,τι όταν το χέρι «τραβιέται» άμεσα προς τα πίσω. Λόγω αυτού, παράγεται μεγαλύτερη περιστροφή του κορμού που σε συνδυασμό με το ρολλάρισμα του κολυμβητή, πραγματοποιείται πιο αποτελεσματικά η αναπνοή του και η έξοδος του χεριού του από το νερό. Αυτή η τεχνική μπορεί να είναι μηχανικά πιο αποδοτική, και το πιο πειστικό επιχείρημα ίσως είναι, ότι καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια από τους κολυμβητές όταν η προώθηση αναπτύσσεται από τις δυνάμεις ανύψωσης παρά από τις δυνάμεις έλξης του χεριού (Toussaint & Beek, 1992). Κάτι που υποστήριζαν και οι de Groot & van Ingen Schenau (1988), αναφέροντας ότι με μεγάλες δυνάμεις ανύψωσης η απώλεια ενέργειας είναι μικρότερη.

Οι Holt & Holt (1989), Valiant et al. (1982) και Wood & Holt (1979) αντίθετα, υποστήριζαν πως η δύναμη έλξης είναι η κυρίαρχη δύναμη στη προώθηση του κολυμβητή. Οι Cappaert & Rushall (1994) και Cappaert (1993), χρησιμοποιώντας τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση και τους συντελεστές έλξης και ανύψωσης που παρουσίασε ο Schleihau (1979), υπολόγισαν τη συνεισφορά των δυνάμεων έλξης και των δυνάμεων ανύψωσης στη προωθητική δύναμη. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών που αξιολόγησαν υψηλού επιπέδου κολυμβητές, έδειξαν, ότι οι δυνάμεις έλξης συνεισφέρουν περισσότερο στη προωθητική δύναμη από τις δυνάμεις ανύψωσης σε όλα τα στυλ κολύμβησης, εκτός από το πρόσθιο.

Η Cappaert (1993) τόνισε, πως οι κολυμβητές τείνουν να χρησιμοποιούν ένα ευθύ τράβηγμα παρά να μεγιστοποιούν τη διαδρομή και την ταχύτητα του χεριού τους με τη χρησιμοποίηση πλευρικών μετατοπίσεων όπως είχε διαπιστωθεί τα προηγούμενα χρόνια. Οι Liu et al. (1993) και Hay et al. (1993) διατύπωσαν την ιδέα ότι η διαδρομή του χεριού ενός κολυμβητή που χαρακτηρίζεται από έντονες πλευρικές μετατοπίσεις οφείλεται και στο ρολλάρισμα του σώματός του.

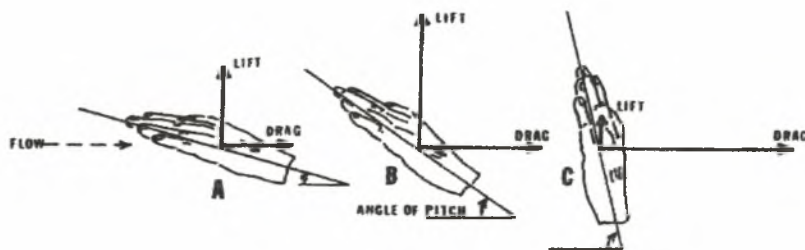
Ο Sanders (1997a & 1997b) προσπάθησε μέσω των συντελεστών έλξης και ανύψωσης, να ερμηνεύσει τις δύο προωθητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την υποβρύχια έλξη του χεριού. Καθόρισε τους συντελεστές έλξης και ανύψωσης για όλο το εύρος των πιθανών γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης όπως αρχικά παρουσιάστηκαν από τον Schleichauf (1979), και κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι οι μέγιστες δυνάμεις αναπτύσσονται όταν η γωνία επίθεσης του χεριού τείνει στις 90°. Μ' αυτόν τον προσανατολισμό του χεριού η δύναμη προώθησης οφείλεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στη δύναμη έλξης. Η δύναμη ανύψωσης παρουσίασε μεγαλύτερη συνεισφορά στη προωθητική δύναμη με γωνίες επίθεσης του χεριού κοντά στις 45°. Όταν οι συντελεστές χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά με τα τρισδιάστατα κινηματικά δεδομένα για να υπολογιστούν οι προωθητικές δυνάμεις στην πραγματική κολύμβηση, διαπιστώθηκε ότι η δύναμη έλξης είχε μεγαλύτερη συνεισφορά από τη δύναμη ανύψωσης σε όλη τη διάρκεια της προωθητικής φάσης. Κατά τη διάρκεια της προωθητικής φάσης η γωνία επίθεσης του χεριού ήταν μεταξύ 50 και 60°. Ως εκ τούτου, από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι, παρόλο που και η δύναμη ανύψωσης έχει κάποια συμβολή στη προωθητική δύναμη, η κυρίαρχη προωθητική δύναμη στην ελεύθερη κολύμβηση είναι η δύναμη έλξης (Sanders, 1998).

Ο Schleichauf (1979) ήταν ο πρώτος που μελέτησε ερευνητικά τις δυνάμεις έλξης και ανύψωσης τόσο εργαστηριακά όσο και σε πραγματικές συνθήκες κολύμβησης. Εισήγαγε μια μέθοδο για να περιγράψει το πρότυπο της κίνησης του χεριού για την οποιαδήποτε κίνηση του κάθε στυλ, χρησιμοποιώντας τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση. Συνδυάζοντας αυτή τη μορφή ανάλυσης με υδροδυναμικά δεδομένα, ήταν σε θέση να υπολογίσει προωθητικές δυνάμεις. Η μέθοδος του βασίστηκε στην ιδέα ότι η προωθητική δύναμη κατά τη διάρκεια της κολύμβησης προκαλείται από τις μετακινήσεις του χεριού, που αναπτύσσει τις δυνάμεις έλξης και ανύψωσης. Οι δυνάμεις έλξης και ανύψωσης μπορούν να υπολογιστούν μέσω τρισδιάστατης κινηματικής ανάλυσης όταν οι πληροφορίες της θέσης και της ταχύτητας του χεριού συνδυάζονται με τα αποτελέσματα της έρευνας εργαστηριακών μετρήσεων, όπου οι συντελεστές της έλξης και της ανύψωσης μπορούν να υπολογιστούν.

Ο Schleichauf πραγματοποίησε εργαστηριακές μετρήσεις δύναμης με οκτώ διαφορετικές γωνίες καθοδήγησης και σε όλο το εύρος των γωνιών επίθεσης. Κατά την ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων του, διαπιστώθηκε ότι οι τιμές των συντελεστών ανύψωσης αυξάνονταν με μια γωνία επίθεσης του χεριού περίπου 40°, ενώ στη συνέχεια, όταν η γωνία επίθεσης του χεριού έτεινε στις 90°, μειώνονταν. Επιπρόσθετα,

παρατηρήθηκε ότι στις μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή έλξης και του συντελεστή ανύψωσης παρουσιάζεται ένα ευδιάκριτο πλεονέκτημα στην ανάπτυξη των δύο δυνάμεων όταν οι θέσεις των δακτύλων είναι ενωμένες. Όσον αφορά τη θέση του αντίχειρα, υπολογίστηκε πως όταν η θέση του χεριού απαιτεί υψηλή αναλογία δυνάμεων έλξης και ανύψωσης η πλήρης απαγωγή του αντίχειρα στο επίπεδο του χεριού είναι προτιμότερη από μια μερικώς απαγωγή της θέσης του.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τρεις μεμονωμένες γωνίες επίθεσης του χεριού. Καθώς αυξάνεται η γωνία επίθεσης του χεριού από "Α" σε "Β", παρατηρείται αύξηση των δυνάμεων ανύψωσης. Καθώς όμως η γωνία επίθεσης του χεριού τείνει στις 90° διαπιστώνεται ότι οι δυνάμεις ανύψωσης προσεγγίζουν το μηδέν. Όσον αφορά την ανάπτυξη των δυνάμεων έλξης, φαίνεται ότι αναπτύσσονται με τη συνεχόμενη αύξηση των γωνιών επίθεσης και κορυφώνονται όταν η γωνία επίθεσης του χεριού αγγίζει τις 90°. Η μεγαλύτερη ωστόσο προωθητική δύναμη που εμφανίζεται στο μοντέλο, είναι η δύναμη έλξης στη θέση "C" και είναι υψηλότερη κατά 30% από την μεγαλύτερη τιμή δύναμης ανύψωσης που εμφανίζεται στο μοντέλο, κατά την ανάλυση των επιμέρους γωνιών.



Σχήμα 3: Ενδεικτικές γωνίες επίθεσης του χεριού και δυνάμεις προώθησης.

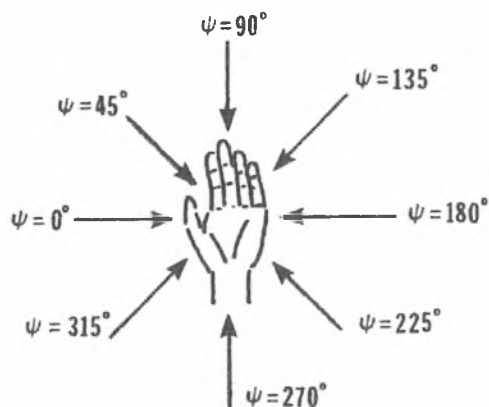
Η ταχύτητα ροής του νερού στη μελέτη του Schleihaufl ήταν ομοιόμορφη σε όλες τις γωνίες επίθεσης του χεριού, κάτι που σημαίνει ότι η συγκεκριμένη ερευνητική διαδικασία δεν είναι ιδιαίτερα ανάλογη με τις πραγματικές συνθήκες κολύμβησης. Σε μια κολυμβητική έλξη που αναπτύσσονται μεγάλες προωθητικές δυνάμεις, η ταχύτητα του χεριού θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό και από τη δύναμη των μυών που συμμετέχουν κατά τη διάρκεια της κίνησης. Η μυϊκή σύσπαση του χεριού δηλαδή, θα ισορροπήσει την αντίσταση του νερού στη κίνησή του κάτι που σημαίνει, ότι η δύναμη έλξης ενός κολυμβητή καθορίζεται και από την ταχύτητα του χεριού του.

Ο Sanders (1999) υποστήριξε με τη δική του μελέτη, ότι η εκτίμηση των δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της έλξης με την εφαρμογή της μεθόδου του Schleihaufl, ουσιαστικά παραμελείτε η επίδραση της επιτάχυνσης της ροής του νερού και η

ασταθής φύση των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης. Αποτέλεσμα αυτού, να δημιουργείται σημαντικό βαθμού σφάλμα κατά τον υπολογισμό της προωθητικής δύναμης του χεριού, εάν η επίδραση της επιτάχυνσής του δεν συμπεριλαμβάνεται στο μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού.

Όπως αναφέρει ο Sanders (1999), η επίδραση της επιτάχυνσης στη δύναμη έλξης και στη δύναμη ανύψωσης δεν έχει ερευνηθεί στην έλξη ενός κολυμβητή. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον Schleihauf (1979) για να συλλέξει και να αναλύσει τα στοιχεία της δύναμης, δεν φαίνεται να τεκμηριώνεται πλήρως. Επίσης, ο Schleihauf (1979) μελέτησε τις δυνάμεις σε δύο διαστάσεις μόνο, ενώ εξ ορισμού, η δύναμη ανύψωσης βρίσκεται πάντα σε ένα κάθετο επίπεδο της δύναμης έλξης, είναι δηλαδή κάθετη στην κατεύθυνση της κίνησης του χεριού. Φαίνεται ότι ο Schleihauf (1979) είχε απλοποιήσει τη διαδικασία του υπολογισμού των δυνάμεων. Η κυμαινόμενη φύση της κίνησης του χεριού μέσα στο νερό, αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που περιπλέκουν τον υπολογισμό των υδροδυναμικών συντελεστών έλξης και ανύψωσης. Ακόμα κι αν ο προσανατολισμός του χεριού είναι σταθερός, η ροή του νερού γύρω από το χέρι του κολυμβητή διαφοροποιείται συνεχώς, με συνέπεια, να δημιουργούνται συνεχείς διαφοροποιήσεις στους υδροδυναμικούς συντελεστές.

Ο Sanders (1999) χρησιμοποίησε ένα ομοίωμα χεριού ενός υψηλού επιπέδου κολυμβητή, με τον αντίχειρα του μοντέλου να βρίσκεται σε θέση προσαγωγής. Η θέση του χεριού είχε καθοριστεί σε ακριβείς γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης όσον αφορά τη ροή του νερού και η θέση του σε σχέση με τον πήχυ, ήταν καθορισμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγονται οι αναταράξεις του νερού. Οι δοκιμές του μοντέλου πραγματοποιήθηκαν για όλους τους συνδυασμούς των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης. Τα δεδομένα για τις γωνίες καθοδήγησης από 0° σε 90° και από 270° έως 360° (σχήμα 4) υπολογίστηκαν με την μεταφορά της κίνησης του χεριού προς τα εμπρός, και τα δεδομένα για τις γωνίες καθοδήγησης από 90° έως 270° υπολογίστηκαν με τη μεταφορά της κίνησης του χεριού προς τα πίσω (σχήμα 4).



Σχήμα 4: Γωνίες καθοδήγησης του χεριού.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου των δοκιμών η κίνηση του χεριού επιταχυνόταν και επιβραδυνόταν με συγκεκριμένες ταχύτητες που έχουν μεγάλη απόκλιση όμως από τις πραγματικές ταχύτητες του χεριού που επιτυγχάνονται στην αγωνιστική κολύμβηση. Οι συντελεστές που υπολόγισε ο Sanders (1999) ήταν αρκετά μικρότεροι από εκείνους που βρέθηκαν από τον Schleihau (1979) και των Berger et al. (1995). Για παράδειγμα, ο μεγαλύτερος συντελεστής έλξης σ' αυτή τη μελέτη ήταν 0.59 έναντι του μεγαλύτερου του Schleihau που πλησίασε το 1.4 και του μεγαλύτερου των Berger et al. (1995) που πλησίασε το 1.2.

Εντούτοις, ο Sanders (1999) παρατήρησε ότι κατά τη διάρκεια των περιόδων που οι επιταχύνσεις είναι μεγάλες και οι ταχύτητες είναι μικρές, όπως κατά τη διάρκεια της έναρξης της φάσης της έλξης, τη στιγμή δηλαδή που ξεκινούν οι προωθητικές δυνάμεις, η συμβολή της επιτάχυνσης στη συνολική δύναμη ήταν σχετικά πολύ μεγάλη (περίπου 8N). Αυτό ενίσχυσε τον ισχυρισμό των Pai & Hay (1988), που υποστήριξαν ότι τα αποτελέσματα της επιτάχυνσης πρέπει να εξετάζονται κατά τη διάρκεια του υπολογισμού των δυνάμεων του χεριού στην πραγματική – αγωνιστική κολύμβηση.

Η διαδικασία ανάλυσης που ανέπτυξε ο Schleihau (1979) για να μετρήσει και να υπολογίσει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται πάνω στο χέρι του κολυμβητή, όπως αναφέρουν οι Berger et al. (1995), δεν περιγράφεται πλήρως στη βιβλιογραφία και είναι πιθανόν η μέθοδος που χρησιμοποίησε να μην ήταν η σωστή. Στη μελέτη των Berger et al. (1995) τα δεδομένα της δύναμης υπολογίστηκαν (χρησιμοποιώντας παρόμοια μέθοδο μ' αυτή των πειραμάτων του Schleihau) με δύο μηχανικά χέρια που η έλξη τους πραγματοποιήθηκε (μηχανικά) σε μια δεξαμενή νερού με διαφορετικές ταχύτητες.

Για να συγκριθούν τα δεδομένα του Schleihau (1979) με τα αποτελέσματα της έρευνας των Berger et al. (1995), οι συντελεστές έλξης και οι συντελεστές ανύψωσης

υπολογίστηκαν εκ νέου. Η μορφή των καμπύλων ήταν περίπου η ίδια. Προέκυψαν μέγιστες τιμές στον ίδιο προσανατολισμό του χεριού, κάτι που φανέρωσε ότι τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του μοντέλου του Schleihauf (1979) και της έρευνας των Berger et al. (1995), ήταν περίπου τα ίδια. Εντούτοις, οι αποκλίσεις των συντελεστές έλξης και ανύψωσης με τις γωνίες επίθεσης που παρατηρήθηκαν ήταν ελαφρώς διαφορετικές.

Στα δεδομένα του Schleihauf, οι μέγιστες τιμές του συντελεστή έλξης ήταν υψηλότερες, ενώ του συντελεστή ανύψωσης παρουσιάστηκαν χαμηλότερες, απ' ότι στη μελέτη των Berger et al. (1995). Οι χαμηλότερες τιμές του Schleihauf όσον αφορά το συντελεστή ανύψωσης, θα μπορούσε ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός, ότι πιθανότατα μέτρησε τη δύναμη ανύψωσης σε μια προκαθορισμένη κατεύθυνση, από τη στιγμή που όπως αναφέρουν οι Berger et al. (1995), ο Schleihauf δεν έδωσε σαφείς πληροφορίες σχετικά με τη τεχνική της μέτρησής του στη βιβλιογραφία. Αυτό όμως θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια υποεκτίμηση της δύναμης ανύψωσης. Οι διαφορές στο υλικό που χρησιμοποιήσε, το μέγεθος του χεριού και το σχήμα του μοντέλου, μπορούν επίσης να θεωρηθούν υπεύθυνες για τις διαφορές που παρουσιάστηκαν στους συντελεστές έλξης και ανύψωσης. Τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη των Berger et al. (1995), ήταν περίπου ίδια στο σχήμα αλλά διαφορετικά στο μέγεθος, παρουσίασαν ουσιαστικές διαφορές, μόνο στις μικρές γωνίες επίθεσης του συντελεστή ανύψωσης. Ίσως οι μικρές διαφορές στο σχήμα, η θέση του αντίχειρα και η κάμψη του καρπού, να ήταν και οι αιτίες γι' αυτές τις διαφορές.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα αποτελέσματα της έρευνας των Berger et al. (1995), είναι ότι στη πραγματική κολύμβηση ο προσδιορισμός της θέσης του χεριού και του πήχυ κατά τη διάρκεια των επιμέρους φάσεων της έλξης, εμφανίζεται να είναι κρίσιμος για την παραγωγή των δυνάμεων ανύψωσης για μια πιο αποδοτική τεχνική. Τα δεδομένα της μελέτης των Berger et al. (1995), δείχνουν ότι ο βέλτιστος προσανατολισμός του χεριού όσον αφορά τη κατεύθυνση της κίνησης του χεριού θα ήταν με γωνία επίθεσής του στις 55° και καθοδήγησής του στις 0° (με οδηγό τον αντίχειρα) όπως και με γωνία επίθεσης και καθοδήγησής του χεριού στις 25° και 180° (με οδηγό το μικρό δάχτυλο) αντίστοιχα, με τη δύναμη ανύψωσης να παρουσιάζεται υψηλότερη σε αυτούς τους προσανατολισμούς του χεριού.

Η έλξη του χεριού που διακρίνεται από πλευρικές κινήσεις, που η ταχύτητα του χεριού είναι πάντα υψηλότερη από τη ταχύτητα του πήχυ, ενδεχομένως να είναι και η πιο αποδοτική, σε σχέση με την άμεση έλξη προς τα πίσω, που η ταχύτητα του χεριού και του πήχυ είναι παρόμοια. Το σχήμα του χεριού φαίνεται να αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα

για την παραγωγή των δυνάμεων ανύψωσης, ενώ ο προσανατολισμός του μοντέλου, παρουσιάζεται να είναι ο κυρίαρχος παράγοντας της ανάπτυξης της δύναμης έλξης. Η επίδραση της ταχύτητας και του μεγέθους του μοντέλου στις τιμές των συντελεστών έλξης και ανύψωσης παρουσιάστηκε να είναι μικρή. Σε μελλοντικές μελέτες ωστόσο, θα είναι χρήσιμο να υπολογιστεί η συμβολή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης μέσω της κινηματικής ανάλυσης της χεριάς κατά τη διάρκεια της κολύμβησης, και να ελεγχθεί ή να επιβεβαιωθεί η υπόθεση, ότι η αυξανόμενη συμβολή των δυνάμεων ανύψωσης κατά τη διάρκεια της έλξης θα μπορούσε να οδηγήσει στην αποτελεσματικότερη κολύμβηση, όπως προτείνεται από τους Toussaint et al. (1991).

Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των διαφορετικών μελετών μπορεί αρχικά να αποδοθεί στις διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Μέσω του υπολογισμού των συντελεστών έλξης και ανύψωσης ωστόσο, διαπιστώθηκε με σαφήνεια ότι τα μεγέθη της προωθητικής δύναμης παρουσιάζονται αρκετά μεγαλύτερα όταν η έλξη του χεριού πραγματοποιείται με μεγάλες γωνίες επίθεσης, κοντά στις 90°, παρόλο που αρκετές μελέτες προγενέστερων ετών, έχουν δείξει ότι η έλξη που χαρακτηρίζεται από μεγάλες γωνίες επίθεσης μπορεί να μην είναι αποδοτική.

Δεδομένου ότι η χρησιμοποίηση των γωνιών επίθεσης που είναι μικρότερες των 90°, μπορεί να είναι ευεργετικές για τους κολυμβητές παρά τους μικρότερους συνισταμένους συντελεστές που εμφανίζουν, όπως υποστήριξε ο Sanders (1999), είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί, και σε ποιες γωνίες καθοδήγησης αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις όταν οι γωνίες επίθεσης είναι ουσιαστικά μικρότερες των 90°. Στη μελέτη του Sanders (1999) ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι με γωνία επίθεσης του χεριού στις 45° μπορούν να αναπτυχθούν μεγάλες δυνάμεις με γωνίες καθοδήγησης που πλησιάζουν στις 45° και 135°.

Η ταχύτητα του χεριού έχει σημαντική επίδραση στον υπολογισμό των προωθητικών δυνάμεων. Δεδομένου ότι το τετράγωνο της ταχύτητας χρησιμοποιείται στις υδροδυναμικές εξισώσεις (1) και (2), ενισχύεται η επίδραση αυτής της μεταβλητής στις προωθητικές δυνάμεις.

$$F_L = \frac{1}{2} (\rho \cdot v^2 \cdot C_L \cdot S) \quad (1)$$

$$F_D = \frac{1}{2} (\rho \cdot v^2 \cdot C_D \cdot S) \quad (2)$$

όπου L = δύναμη ανύψωσης, D = δύναμη έλξης, ρ = πυκνότητα του νερού, V = ταχύτητα του χεριού, C_L = συντελεστής ανύψωσης του χεριού, C_D = συντελεστής έλξης του χεριού, και S = επιφάνεια του χεριού (Schleihauf, 1979).

Στην έρευνα των Berger et al. (1999), η ταχύτητα του χεριού υπολογίστηκε μέσω του μεσαίου σημείου μεταξύ της πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης και της κορυφής του τρίτου δάχτυλου. Πρέπει να σημειωθεί εντούτοις, ότι οι παραπάνω ερευνητές για τη καταγραφή της κίνησης των κολυμβητών τους, χρησιμοποίησαν τέσσερις μηχανές λήψεις προκειμένου να αυξήσουν στο μέγιστο την ακρίβεια των μετρήσεών τους. Λόγω λοιπόν των πλευρικών μετατοπίσεων του χεριού κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης, η ταχύτητα του χεριού διαπιστώθηκε ότι ήταν υψηλότερη στην κορυφή του τρίτου δάχτυλου απ' ότι στη πέμπτη μετακαρποφαλαγγική άρθρωση, ενώ η πιθανότητα κίνησης των δάχτυλων όσον αφορά τον καρπό του χεριού, μπορεί να επηρεάσει τις τιμές και των δύο παραπάνω ταχυτήτων (Berger et al. 1999).

Χρησιμοποιώντας την ταχύτητα της πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης και την ταχύτητα της κορυφής του τρίτου δάχτυλου, η μέση προωθητική δύναμη ήταν ελαφρώς μικρότερη όταν υπολογίζονταν με την ταχύτητα της πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης κι ελαφρώς μεγαλύτερη όταν υπολογίζονταν με την ταχύτητα της κορυφής του τρίτου δάχτυλου. Η μέση διαφορά άγγιξε τα 8.65 N (περίπου 21%) και τα 6.85 N (περίπου 17%), αντίστοιχα, ενώ ο υπολογισμός της μέσης δύναμης έλξης με μια ταχύτητα υψηλότερη κατά 0.1 m/sec οδήγησε σε μια απόκλιση της τάξεως των 4.9N, ή περίπου 16%.

Οι Schleihauf et al. (1983) υπολόγισαν τις προωθητικές δυνάμεις χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του υδροδυναμικού κέντρου του χεριού, το οποίο υπολογίστηκε να είναι 0.6 της απόστασης μεταξύ του καρπού και της κορυφής του τρίτου δάχτυλου. Η ταχύτητα αυτού του υδροδυναμικού κέντρου του χεριού (πρέπει να) ήταν κοντά σε αυτήν της πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης.

Μέθοδοι υπολογισμού των γωνιών προσανατολισμού και σφάλματα μέτρησης

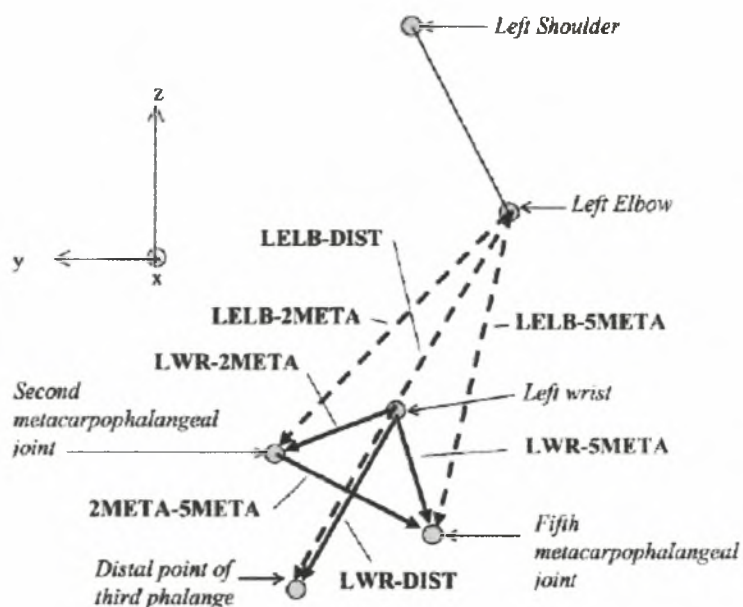
Η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον Schleihauf (1979) και τους Schleihauf et al. (1983) για τον υπολογισμό των δυνάμεων των χεριού που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης και βασίζεται στην τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση και στους υδροδυναμικούς συντελεστές έλξης και ανύψωσης του χεριού, έχει επίμονα αμφισβητηθεί (Toussaint et al. 2000; Berger et al. 1997; Pai & Hay, 1988).

Η ακριβής εκτίμηση των προωθητικών δυνάμεων στην κολύμβηση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την επιλογή των σημείων που βρίσκονται στο χέρι του κολυμβητή και σε μικρότερο βαθμό από την ακρίβεια της ψηφιοποίησης. Για την εκτίμηση των δυνάμεων

του χεριού, είναι απαραίτητο να καθοριστεί αρχικά το επίπεδο του χεριού, και στη συνέχεια να υπολογιστούν οι γωνίες επίθεσης και καθοδήγησής του (Schleihauf, 1979). Η αναδόμηση αυτών των διανυσμάτων με ακρίβεια είναι επομένως βασικής αρχής και σπουδαιότητας (Lauder et al. 2001).

Τρεις μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα για την αναδόμηση των γωνιών προσανατολισμού του χεριού. Η πρώτη χρονολογικά από τους Schleihauf et al. (1983), με τα σημεία που τοποθέτησαν και χρησιμοποίησαν οι ερευνητές για την ανάλυση της υποβρύχιας έλξης του χεριού να είναι: ο καρπός, η δεύτερη και πέμπτη μετακαρποφαλαγγική άρθρωση και η άκρη του τρίτου δάχτυλου. Η δεύτερη από τους Berger et al. (1995) και τα σημεία που τοποθέτησαν και χρησιμοποίησαν οι ερευνητές, ήταν: στο καρπό, στην άκρη του τρίτου δάχτυλου και στη πέμπτη μετακαρποφαλαγγική άρθρωση) και η πιο σύγχρονη από τους Lauder et al. (2001) με τα σημεία να τοποθετούνται στη θέση: του αριστερού και δεξιού ώμου, του αγκώνα, του καρπού, της δεύτερης και πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης, και της κορυφής του τρίτου δάχτυλου. Η διαφορά μεταξύ αυτών των μεθόδων προσδιορίστηκε στο συνδυασμό των διανυσμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την αναδόμηση των δύο γωνιών προσανατολισμού, επίθεσης και καθοδήγησης.

Για να αξιολογηθεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία των δύο πρώτων μεθόδων από τους Lauder et al. (2001), υπολογίστηκαν οι δύο γωνίες προσανατολισμού του χεριού, χρησιμοποιώντας νέους αλγόριθμους (Lauder 1 - 5), με έναν διαφορετικό συνδυασμό διανυσμάτων. Η βάση αυτού, ήταν να αποδείξει εάν τα σημεία και τα διανύσματα που χρησιμοποιήθηκαν προηγούμενα, παράγουν ή αποδίδουν τις πιο ακριβείς γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού και εάν πιο αξιόπιστοι υπολογισμοί των δύο γωνιών μπορούν να ληφθούν και από συνδυασμούς διαφορετικών διανυσμάτων. Για κάθε διάνυσμα, οι παραπάνω ερευνητές υπολόγισαν το ποσοστιαίο σφάλμα του μήκους τους και τα αποτελέσματα προσέφεραν μια ένδειξη της μεταβλητότητας της τρισδιάστατης αναδόμησης αυτών των διανυσμάτων. Ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής διακύμανσης υπολογίστηκαν για κάθε σφάλμα του μήκους του διανύσματος, ενώ η αξιοπιστία του αναδομημένου μήκους του κάθε διανύσματος υπολογίστηκε μέσω της μεθόδου των Bland & Altman, (1986) (Limits of Agreement).



Σχήμα 5: Μοντέλο των Lauder et al. (2001) – Αναδόμηση διανυσμάτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ταχύτητα του χεριού και του πήχυ έχει σημαντική επίδραση στο μέγεθος των προωθητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται, δεδομένου ότι ο υπολογισμός τους εξαρτάται από το τετράγωνο της ταχύτητας τους (Εξισώσεις 1 και 2). Για να αξιολογηθεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία των υπολογισμών της ταχύτητας, υπολογίστηκαν για κάθε προσπάθεια οι ταχύτητες της δεύτερης και πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης, της άκρης του τρίτου δάχτυλου και του μέσου σημείου μεταξύ της δεύτερης και πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης. Οι Lauder et al. (2001) χρησιμοποίησαν ένα πραγματικού μεγέθους μηχανικό χέρι εξομοιωμένο με ελεγχόμενη και υψηλής ταχύτητας επαναλαμβανόμενη υποβρύχια έλξη της ελεύθερης κολύμβησης για την τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μηχανές λήψης, συγχρονισμένες και ευθυγραμμισμένες κάθετα μεταξύ τους, με τον οπτικό άξονα της πρώτης να είναι κάθετος στον οπτικό άξονα της δεύτερης.

Η ψηφιοποίηση των επιλεγμένων σημείων πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα με την αναδόμηση των τρισδιάστατων συντεταγμένων να γίνεται χρησιμοποιώντας 12 σημεία ελέγχου (Lauder et al. 1998), με κύβο διαβάθμισης διαστάσεων 1.0m x 0.5m x 0.8m στους X, Y και Z άξονες, αντίστοιχα. Το απόλυτο μέσο σφάλμα σε κάθε άξονα καταγράφηκε στο 0.15, 0.4 και 0.11% για ένα σύνολο πέντε δοκιμών, ενώ τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν ψηφιοποιήθηκαν με συχνότητα δειγματοληψίας 25Hz. Στο σύνολο, προσδιορίστηκαν πέντε συνδυασμοί. Τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δύο γωνιών προσανατολισμού, επίθεσης και καθοδήγησης, όπως και ο συνδυασμός των σημείων που

χρησιμοποιήθηκε από τους Berger et al. (1995) και Schleichauf et al. (1983) συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1).

Πίνακας 1. Συνδυασμός διανυσμάτων (όπου: LWR – αριστερός καρπός, META – μετ/γική άρθρωση, DIST – άκρο του τρίτου δάχτυλου και LELB - αριστερός αγκώνας)

Method	Vector combination ^a						
	LWR-2META	LWR-DIST	LWR-5META	2META-5META	LELB-2META	LELB-DIST	LELB-5META
Berger		✓	✓				
Schleichauf		✓		✓			
Lauder 1				✓		✓	
Lauder 2						✓	✓
Lauder 3					✓	✓	
Lauder 4			✓			✓	
Lauder 5	✓					✓	

Δεδομένου ότι το χέρι σ' αυτή τη μελέτη ήταν σταθερά άκαμπτο, πραγματοποιήθηκε η υπόθεση ότι η γωνία καθοδήγησης ήταν σταθερή σε όλη τη κίνηση. Ως εκ τούτου, οποιαδήποτε διακύμανση της γωνίας καθοδήγησης πραγματοποιούνταν, προσέφερε μια άμεση αρχική αξιολόγηση της ακρίβειας κάθε μεθόδου. Για τις γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης, το απόλυτο σφάλμα των μέσων μετρήσεων υπολογίστηκε για κάθε μέθοδο αναδόμησης. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει την ακρίβεια των μεθόδων των Berger et al (1995) και Schleichauf (1979) μαζί με τους νέους συνδυασμούς διανυσμάτων που παρουσιάστηκαν στη μελέτη των Lauder et al. (2001).

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, διαπιστώθηκε ότι τα διανύσματα με τη μεγαλύτερη διακύμανση και το μεγαλύτερο μέσο σφάλμα, ήταν αυτά που τα σημεία τους ήταν πιο κοντά (με εξαίρεση των LWR – 2META). Για τα διανύσματα του αγκώνα με τα τρία σημεία της παλάμης του χεριού (δεύτερης και πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης και το άκρο του τρίτου δάχτυλου), η διακύμανση και το μέσο σφάλμα ήταν αρκετά χαμηλότερα (πίνακας 2). Οι τιμές γι' αυτά τα διανύσματα, περιλάμβαναν ένα εύρος μέσου ποσοστιαίου σφάλματος, από 1.28% (LELB-5META) σε 1.92% (LELB-2META), δυστυχώς όμως, δεν υπάρχουν δημοσιευμένα στοιχεία στη διεθνή βιβλιογραφία για πραγματικές συνθήκες κολύμβησης, έτσι ώστε να υπάρξει σύγκριση.

Πίνακας 2. Διακύμανση και μέσο σφάλμα διανυσμάτων

	Vector						
	LWR-2META	LWR-DIST	LWR-5META	2META-5META	LELB-2META	LELB-DIST	LELB-5META
Coeff. of variation (%)	55.6	73.8	78.6	74.1	68.6	72.9	60.7
Mean absolute error (% length)	4.1	2.7	5.0	8.3	1.9	1.6	1.3

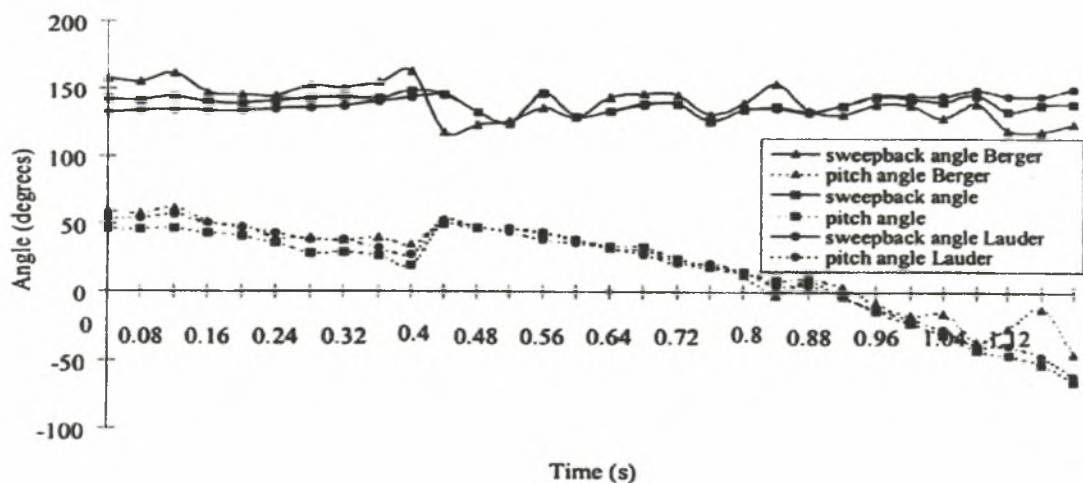
Για να οριστεί ένα επίπεδο, χρειάζεται να υπάρχουν το ελάχιστο τρία σημεία. Έχει αποδειχτεί στην κολύμβηση, ότι η γωνία του καρπού μεταβάλλεται ελάχιστα κατά τη χεριά, όπως αναφέρουν οι Lauder et al. (2001). Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης των Lauder et al. (2001), η βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των υπολογισμών του προσανατολισμού του χεριού είναι εφικτή, και μπορεί να επιτευχθεί μέσω ενός συνδυασμού διανυσμάτων που περιλαμβάνουν τη μικρότερη διακύμανση και τη μεγαλύτερη ακρίβεια στην αναδόμησή τους, εκείνα δηλαδή, που περιλαμβάνουν τον αγκώνα. Αυτή η προσέγγιση λειτουργεί καλύτερα για τις κολυμβητικές κινήσεις που περιλαμβάνουν γωνία της άρθρωσης του καρπού κοντά στο μηδέν. Αυτό συμβαίνει με τους υψηλού επιπέδου κολυμβητές, όπως αναφέρουν οι Lauder et al. (2001), όταν αναπτύσσουν τις υψηλότερες προωθητικές τους δυνάμεις, στο ενδιάμεσο της υποβρύχιας έλξης τους.

Οι συνδυασμοί των διανυσμάτων που αναλύθηκαν προηγούμενα, προσδιόρισαν συνδυασμούς που βελτίωσαν την αξιοπιστία και την ακρίβεια του υπολογισμού των δύο γωνιών προσανατολισμού. Η σημασία της ακρίβειας και της αξιοπιστίας της μέτρησης της ταχύτητας του χεριού δεν εκφράζεται μόνο από τις δύο εξισώσεις (1) και (2), αλλά και από τον υπολογισμό του προσανατολισμού του χεριού μέσω των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης, που και οι δύο γωνίες, υπολογίζονται σχετικά με το διάνυσμα της ταχύτητας. Η μελέτη των Lauder et al. (2001), είχε στόχο να θεμελιώσει την αξιοπιστία και την ακρίβεια των υπολογισμών της ταχύτητας του χεριού στις σημαντικές κατευθύνσεις της κίνησης, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικά σημεία – σημάδια, πάνω στο χέρι.

Η διαφορά μεταξύ των σημείων που χρησιμοποιούνταν για την αναδόμηση της ταχύτητας του χεριού στις προσθιοπίσθιες και κατακόρυφες κατευθύνσεις ήταν ελάχιστη. Το μέσο απόλυτο σφάλμα ήταν 1.9% και 2.8% της μέσης συνισταμένης ταχύτητας του χεριού στις δύο κατευθύνσεις, αντίστοιχα, εξισώνοντας τα συγκεκριμένα ποσοστά

σφάλματος με αυτά των Payton & Bartlett (1995), που ανέφεραν σφάλματα στη μέτρηση της ταχύτητας του χεριού, του μέσου σημείου δηλαδή μεταξύ της δεύτερης και πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης, 6% για μια ψηφιοποίηση και 2% για επαναλαμβανόμενες ψηφιοποιήσεις, στο σύνολο 10 επαναλήψεων. Τα σφάλματα της έρευνας των Lauder et al. (2001) ήταν χαμηλότερα του εύρους σφαλμάτων που παρουσιάστηκαν από τους Payton & Bartlett (1995) για 10 ψηφιοποιήσεις. Συνεπώς, είναι σαφές ότι ο υπολογισμός της ταχύτητας του χεριού που αναφέρεται στη μελέτη των Lauder et al. (2001) παρουσίασε μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία.

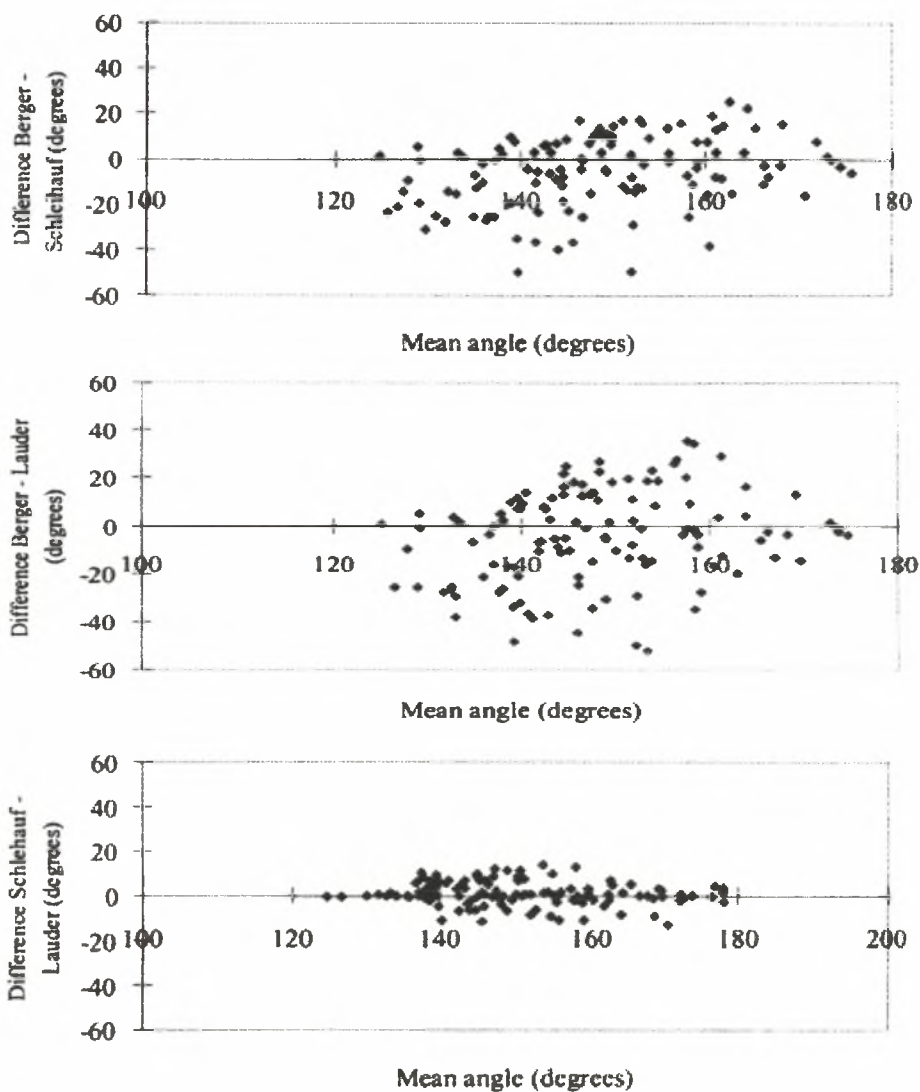
Ο πρώτος συνδυασμός των διανυσμάτων που χρησιμοποιήθηκε από τους Lauder et al. (2001), (Lauder 1, LELB-DIST και 2META-5META) ταυτίστηκε με τα αποτελέσματα της μελέτης των Berger et al. (1995) και του Schleihauf (1979) όσον αφορά τη γωνία καθοδήγησης ενώ παρουσίασε μικρή βελτίωση σε σχέση με τη γωνία επίθεσης (σχήμα 6). Όπως διαπιστώθηκε από τα αποτελέσματα, το τυπικό σφάλμα της γωνίας καθοδήγησης μεταξύ των μεθόδων του Schleihauf (1979) και των Lauder et al. (2001), ήταν πολύ μικρό και οι δύο μέθοδοι χαρακτηρίζονταν από παρόμοια αποτελέσματα ($SE=0.4^\circ$).



Σχήμα 6: Συνδυασμός διανυσμάτων και γωνίες προσανατολισμού

Το τυπικό σφάλμα (SE) μεταξύ της μελέτης των Berger et al. (1995) και του Schleihauf (1979) και μεταξύ της μελέτης των Berger et al. (1995) και των Lauder et al. (2001), ήταν 1.3 και 1.6°, αντίστοιχα. Τα επόμενα γραφήματα απεικονίζουν την ομοιότητα μεταξύ των μεθόδων. Είναι φανερό ότι η μέθοδος των Berger et al. (1995) διαφέρει από τη μέθοδο του Schleihauf (1979) και των Lauder et al. (2001). Δεδομένου ότι οι Berger et al. (1995) ανέφεραν, ότι η διαδικασία για τον υπολογισμό των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης ήταν βασισμένη στη μέθοδο του Schleihauf (1979), αναμενόμενο από τα

αποτελέσματα θα ήταν, ότι η σχέση μεταξύ αυτών των μεθόδων θα ήταν εξαιρετικά υψηλή (σχήμα 7).



Σχήμα 7: Σύγκριση μεθόδων αναδόμησης διανυσμάτων

Η μέθοδος του Schleihauf (1979) είχε σαφές πλεονέκτημα, όπως υποστήριξαν οι Lauder et al. (2001), έναντι της μεθόδου των Berger et al. (1995), δεδομένου ότι ο Schleihauf (1979) χρησιμοποίησε τέσσερα σημεία πάνω στη παλάμη του χεριού. Χρησιμοποίησε δύο διανύσματα που καθορίζονταν από τέσσερα σημεία και μολονότι αυτά δεν βρίσκονταν σ' ένα επίπεδο, ο συγκεκριμένος συνδυασμών των σημείων και προσδιορισμός των διανυσμάτων ήταν λιγότερο ευαίσθητος σε σφάλματα, εάν τα σφάλματα ήταν τυχαία, που κατά κανόνα είναι, όπως τα σφάλματα ψηφιοποίησης και της επεξεργασίας εικόνας. Το επιπλέον πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι, ότι είναι λιγότερο ευαίσθητη στις μικρές αλλαγές του σχήματος των χεριών που παρουσιάζεται, μεταξύ των κολυμβητών. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα όταν

υπολογίζονται οι δυνάμεις που αναπτύσσονται, δεδομένου ότι αυτοί οι υπολογισμοί δε επηρεάζονται σημαντικά από τις διαφορές του σχήματος των χεριών των κολυμβητών.

Η μέθοδος των Berger et al. (1995) αντίθετα, χρησιμοποίησε μόνο τρία από τα τέσσερα σημεία που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επομένως, η διαδικασία ήταν περισσότερο ευαίσθητη στα σφάλματα των συντεταγμένων των σημείων που προέκυπταν και μπορούσε να επηρεαστεί από τα σχετικά μικρά τυχαία σφάλματα στην αναδόμηση του κάθε σημείου ή μια αμελητέα αλλαγή του σχήματος του χεριού των κολυμβητών. Οι Payton & Bartlett (1995), ανέφεραν σφάλματα της γωνίας καθοδήγησης και της γωνίας επίθεσης που κυμαίνονταν από 2.5 έως 12.3° και 2.9 έως 10.1°, αντίστοιχα. Οι παραπάνω ερευνητές υπολόγισαν, ότι τα μέσα σφάλματα των συντελεστών της δύναμης ανύψωσης και της δύναμης έλξης, βασισμένα στις μετρήσεις αυτών των γωνιών, ήταν 27 και 20%, αντίστοιχα. Τα σφάλματα ωστόσο που ανέφεραν οι Payton & Bartlett (1995), όπως υποστήριζαν οι Lauder et al. (2001), παρουσιάζουν την απόκλιση της μέτρησης αυτών των γωνιών σε 10 προσπάθειες και όχι τη πραγματική μέτρηση της γωνίας καθοδήγησης και της γωνίας επίθεσης.

Το μέσο σφάλμα μέτρησης ωστόσο, για κάθε μέθοδο που εφάρμοσαν οι Lauder et al. (2001), ήταν μέσα στο εύρος του σφάλματος που υπολογίστηκε από την έρευνα των Payton & Bartlett (1995). Λαμβάνοντας υπόψη τη σχετικά μικρή περιοχή που τα διανύσματα χρησιμοποιήθηκαν για την αναδόμηση αυτών των γωνιών που μετρήθηκαν, είναι φανερό ότι αυτή η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη των Lauder et al. (2001), είναι και ακριβής και αξιόπιστη σε σχέση με τη προηγούμενη μελέτη. Τα συμπεράσματα από αυτή την έρευνα δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος (Lauder 1, 2001) βελτιώνει την ακρίβεια της μέτρησης της γωνίας καθοδήγησης και το πιο σημαντικό, ότι βελτιώνει την ακρίβεια της γωνίας επίθεσης.

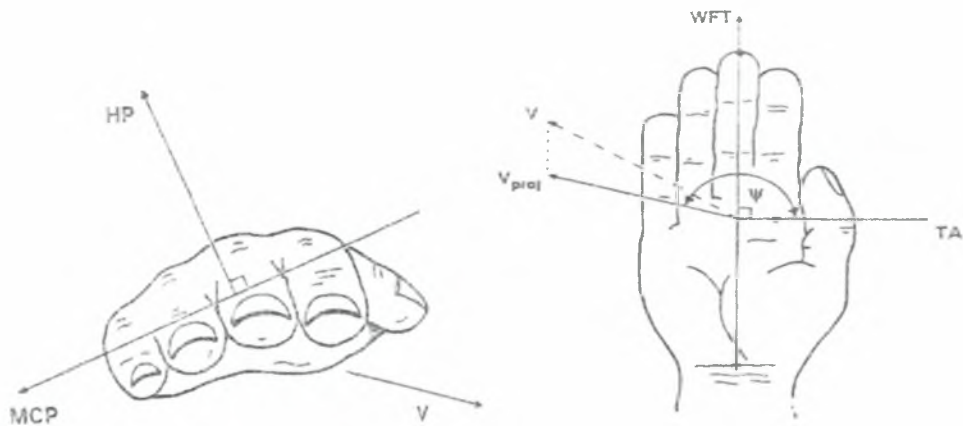
Μια σύγκριση μεταξύ των μεθόδων του Schleihauf (1979) και των Berger et al. (1995) έδειξε ότι η μέθοδος του Schleihauf (1979) παρέχει μια πιο ακριβή και πιο σταθερή αναδόμηση. Η μέθοδος του είναι λιγότερο ευαίσθητη στα τυχαία σφάλματα στα μεμονωμένα σημεία και κρίνεται καλύτερη τουλάχιστον σε εργαστηριακές συνθήκες. Εντούτοις, η μέθοδος της Berger και συν., (1995) απαιτεί λιγότερα σημεία για την αναδόμηση και αυτό μπορεί να αποτελεί πλεονέκτημα σε πραγματικές συνθήκες όταν μερικά από τα σημεία χάνονται από τις αναταράξεις του νερού.

Οι Payton και Bartlett (1995), προσδιόρισαν ποσοτικά το σφάλμα μέτρησης στις προωθητικές δυνάμεις που υπολογίζονται από τα κινηματικά χαρακτηριστικά. Η αξιοπιστία των κινηματικών μετρήσεων, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί ίσως τον

σημαντικότερο παράγοντα της τρισδιάστατης ανάλυσης αφού επηρεάζει την ισχύ των προωθητικών δυνάμεων. Οι παραπάνω ερευνητές πραγματοποίησαν τρισδιάστατη κινηματική ανάλυση σ' έναν πρόσθιο κολυμβητή υψηλού επιπέδου. Η υποβρύχια έλξη του χεριού καταγράφηκε από δύο κάμερες, με τη μια κάμερα να είναι τοποθετημένη ακριβώς μπροστά από τον κολυμβητή με τον οπτικό της άξονα να συμπίπτει με την κατεύθυνση κολύμβησής του, ενώ η άλλη κάμερα ήταν τοποθετημένη απ' τη δεξιά πλευρά του κολυμβητή με τον οπτικό της άξονα να είναι κάθετος στην κατεύθυνσή του. Το οπτικό πεδίο κάθε κάμερας ήταν ταυτόσημο (σύμπτυξε) με τα εξωτερικά όρια του κύβου διαβάθμισης (με διαστάσεις 0.85 x 0.75 x 0.85m στους X, Y, και Z άξονες αντίστοιχα και 34 σημεία ελέγχου γνωστών διαστάσεων κατανεμημένα μέσα κι έξω από τον κύβο), για να εξασφαλιστεί ότι η καταγεγραμμένη εικόνα ήταν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.

Δέκα εξεταστές ψηφιοποίησαν την υποβρύχια έλξη του χεριού με συχνότητα δειγματοληψίας 50Hz. Τέσσερα σημεία ψηφιοποιήθηκαν στο δεξί χέρι του κολυμβητή τα οποία είχαν μαρκαριστεί με μαύρη ταινία: το κέντρο της άρθρωσης του καρπού, η δεύτερη και πέμπτη μετακαρποφαλαγγική άρθρωση και η άκρη του μεσαίου δάχτυλου. Τα μέσα σφάλματα αναδόμησης των τρισδιάστατων συντεταγμένων ήταν 2.3, 3.3 και 2.9 mm στους X, Y και Z άξονες, αντίστοιχα, ενώ η ταχύτητα του χεριού (v) ορίστηκε από τη μέση συνισταμένη ταχύτητα της 2^{ης} και 5^{ης} ΜΚΑ με τη γωνία επίθεσης και τη γωνία καθοδήγησης του χεριού να υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους των Schleihauf et al. (1983).

Το επίπεδο του χεριού ορίστηκε από δύο διάνυσματα: το διάνυσμα μεταξύ δεύτερης και πέμπτης μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης (MCP) και το διάνυσμα του καρπού με την άκρη του τρίτου δάχτυλου (WFT). Το εξωτερικό γινόμενο του MCP και του WFT καθόρισε το διάνυσμα (HP), το οποίο ήταν κάθετο στο επίπεδο του χεριού. Η γωνία επίθεσης του χεριού υπολογίστηκε ως η γωνία μεταξύ της ταχύτητας του χεριού και του HP μείον 90° (σχήμα 8), ενώ η γωνία καθοδήγησης του χεριού ορίστηκε από τη γωνία μεταξύ της προβολής της ταχύτητας του χεριού πάνω στο επίπεδο του χεριού (v_{proj}) κι ένα κάθετο διάνυσμα (TA) στο επίπεδό του, ρυθμισμένο με κατεύθυνση δεξιόστροφη. Το διάνυσμα TA ορίστηκε ως το κάθετο διάνυσμα, και διασταύρωνε το διάνυσμα WFT, που «περνούσε» μέσα από την δεύτερη μετακαρποφαλαγγική άρθρωση (σχήμα 8).



Σχήμα 8: Υπολογισμός της γωνίας επίθεσης του χεριού (Payton & Bartlett, 1995).

Τα γραφήματα των συντελεστών έλξης και ανύψωσης του Schleihaufl (1979), ψηφιοποιήθηκαν χειροκίνητα, μ' έναν TDS HR48 ψηφιοποιητή, και στη συνέχεια μετασχηματίστηκαν (transformed) σε αναλυτικές συναρτήσεις με την εφαρμογή των quintic splines. Οι μέσες τιμές των δύο γωνιών υπολογίστηκαν από τις 10 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για κάθε εικόνα που αναλύθηκε, και αυτές οι τιμές στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν τους αντίστοιχους συντελεστές έλξης και ανύψωσης. Τα υπολογισμένα σφάλματα που σχετίζονταν με μια απλή μέτρηση των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης ήταν $5,7^\circ$ και $6,5^\circ$, αντίστοιχα. Αυτά τα σφάλματα αναμένονταν να είναι όμοιου μεγέθους, αφού οι δύο γωνίες υπολογίστηκαν από τις ίδιες τρισδιάστατες συντεταγμένες. Τα σφάλματα στις γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης διακυμάνθηκαν ωστόσο (αναφέρονται παραπάνω). Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να προσδιοριστεί, κυρίως από την αλλαγή του προσανατολισμού του χεριού του κολυμβητή σε σχέση με τους άξονες των δύο καμερών κατά τη διάρκεια της έλξης.

Ο κολυμβητής προσθίου που αναλύθηκε σ' αυτή τη μελέτη χρησιμοποίησε υποβρύχια επαναφορά των χεριών. Η είσοδος των χεριών του πάνω από την επιφάνεια του νερού, που επιτρέπεται στο πρόσθιο, θα δημιουργούσε ανατάραξη του νερού και παγίδευση του αέρα στη ροή του νερού γύρω από το χέρι. Αυτό θα δημιουργούσε διαστρέβλωση της εικόνας του χεριού κατά την έναρξη του τραβήγματος, με συνέπεια να δημιουργηθούν μεγαλύτερα σφάλματα στις μετρήσεις των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης σε αυτή τη φάση. Δεδομένου ότι το ελεύθερο στυλ κολύμβησης, το ύπτιο και η πεταλούδα χαρακτηρίζονται από την είσοδο του χεριού πάνω από το νερό, τα σφάλματα στις μετρήσεις της ταχύτητας και του προσανατολισμού του χεριού αυτών των στυλ είναι πιθανό να είναι αρκετά μεγάλα.

Τα μέσα σφάλματα των συντελεστών έλξης (C_D) και ανύψωσης (C_L) βασισμένα σε μια απλή μέτρηση των γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης, υπολογίστηκαν κατά 27 και 20%, αντίστοιχα. Εντούτοις, όπως τονίστηκε από τους ερευνητές, οι συντελεστές έλξης και ανύψωσης είναι σε σημαντικό βαθμό πιο ευαίσθητοι σε σφάλματα της γωνίας επίθεσης παρά σε σφάλματα της γωνίας καθοδήγησης του χεριού. Παρατηρήθηκε, ότι το μέγεθος των συνιστωσών των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης εξαρτάται αποκλειστικά από τη γωνία επίθεσης του χεριού. Μεταβάλλοντας τη γωνία επίθεσης και τη κατεύθυνση της κίνησης του χεριού, είναι πιθανόν να μεταβάλλονται και οι δυνάμεις έλξης και ανύψωσης. Επιπλέον, η γωνία επίθεσης του χεριού πρέπει να είναι διαρκώς προσαρμοσμένη στις οποιεσδήποτε μεταβολές της κατεύθυνσης της έλξης. Για να επιλεγθεί η γωνία επίθεσης του χεριού που δίνει τον καλύτερο ή ιδανικότερο συνδυασμό των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης, οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης, ο κολυμβητής πρέπει να έχει την αίσθηση του νερού. Αυτό συσχετίζεται όμως κατά πολύ, όπως αναφέρεται από τους Toussaint & Beek (1992), και με το ταλέντο του κάθε κολυμβητή.

Η χρησιμοποίηση εντούτοις, τεσσάρων μηχανών λήψης από τους Berger et al. (1999), αντί των δύο που χρησιμοποιήθηκαν από τους Payton & Bartlett (1995), οδήγησε σε μικρότερα σφάλματα στις δύο γωνίες, και, επομένως, μικρότερο σφάλμα στη μέση προωθητική δύναμη. Για να αξιολογηθεί η ευαισθησία αυτής της δύναμης σε κάθε μία από αυτές τις δύο γωνίες, εκτιμήθηκε η απόκλιση της μέσης προωθητικής δύναμης που οφείλεται σε συστηματικά σφάλματα της γωνίας επίθεσης (2°) και της γωνίας καθοδήγησης (20°) του χεριού. Τα μεγέθη των αποκλίσεων αυτών των γωνιών ήταν οι μέγιστες υπολογισμένες αποκλίσεις. Είναι σαφές ότι η προωθητική δύναμη δεν είναι πολύ «ευαίσθητη» σ' αυτές τις αποκλίσεις των γωνιών (8.5% και 12.8% αλλαγή της δύναμης, αντίστοιχα) και επιπλέον, οι αποκλίσεις των γωνιών προσανατολισμού δεν θα είναι συστηματικές αλλά τυχαίες, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μια μικρότερη απόκλιση στη μέση τιμή της προωθητικής δύναμης.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί, ότι οι πηγές του συστηματικού σφάλματος των μετρήσεων της ταχύτητας και του προσανατολισμού του χεριού θα μπορούσε να περιλαμβάνει την παραμόρφωση της εικόνας σαν αποτέλεσμα της καταγραφής μέσω τριών μέσων (αέρας, πλέξιγκλας και νερό). Τα σφάλματα κατά την τρισδιάστατη αναδόμηση είναι επίσης πιθανόν, να οφείλονται σε ατέλειες της γεωμετρίας του κύβου διαβάθμισης. Ο καθορισμός επίσης ενός επιπέδου στο χέρι από δύο μη τεμνόμενα διανύσματα (MCP και WFT) εισάγουν επίσης ένα συστηματικό σφάλμα στους συντελεστές δύναμης εάν το καθορισμένο επίπεδο δεν συμπίπτει με αυτό που καθορίστηκε από τον Schleihauf (1979)

στις δοκιμές του στα μοντέλα χεριών. Ακόμη κι αν η ταχύτητα και ο προσανατολισμός του χεριού μπορεί να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια, δεν επακολουθεί ότι οι υπολογισμένες υδροδυναμικές δυνάμεις από αυτές τις παραμέτρους είναι ακριβείς, δεδομένου ότι ορισμένες υποθέσεις σύμφωνες με την μέθοδο του Schleihauf (1979) δεν έχουν αξιολογηθεί ακόμη. Ειδικότερα, έχει γίνει η υπόθεση ότι οι συντελεστές έλξης και ανύψωσης ενός άκαμπτου χεριού ενός κολυμβητή, που ωστόσο μπορεί να παραμορφωθεί αρκετά κατά τη διάρκεια της έλξης, είναι ίσοι με εκείνους ενός άκαμπτου μηχανικού χεριού.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δείγμα

Δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν κολυμβήτριες που ανήκαν σε κολυμβητικούς συλλόγους της Θεσσαλονίκης και της περιφέρειας της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Τα χαρακτηριστικά του δείγματος ήταν:

- μέγεθος δείγματος: 10 κολυμβήτριες αγωνιστικών κατηγοριών με αγωνιστικό στυλ την ελεύθερη κολύμβηση,
- ηλικία: $18,2 \pm 4,7$ έτη,
- ύψος: $1,73 \pm 0,38$ m,
- σωματική μάζα: $60 \pm 6,3$ kg
- επίδοση στα 100m ελεύθερο: $63,3 \pm 2,27$ sec

Σύμφωνα με το διεθνές σύστημα κατάταξης των κολυμβητών, εγκεκριμένο από την παγκόσμια ομοσπονδία κολύμβησης (FINA – <http://www.swimnews.com/ranking>), οι κολυμβήτριες που συμμετείχαν στη παρούσα έρευνα συγκέντρωναν από 678 έως 880 ($756,4 \pm 56,1$) βαθμούς σύμφωνα με τη καλύτερη επίδοσή τους στα 100m ελεύθερης κολύμβησης σε πισίνα 50m τη συγκεκριμένη αγωνιστική περίοδο (2004-2005) που συμμετείχαν στη μελέτη.

Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι οι κολυμβήτριες που συμμετέχουν απλά στο πανελλήνιο πρωτάθλημα, δηλαδή, ενώ έχουν το όριο συμμετοχής τους δεν καταφέρνουν να προκριθούν από τις προκριματικές στις τελικές σειρές, παρουσιάζουν επιδόσεις που κυμαίνονται από 550 έως 600 βαθμούς.

Περιγραφή συνθηκών και οργάνων μέτρησης

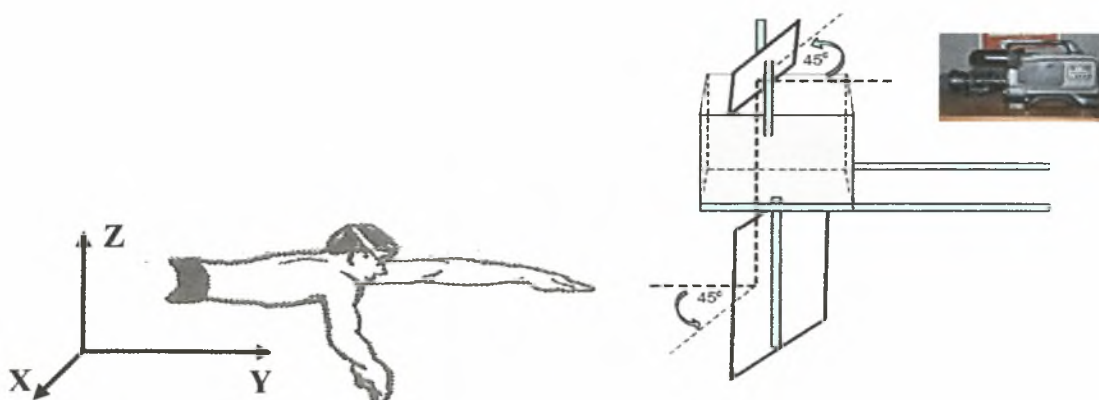
Μετά από προθέρμανση 1000 m, κάθε εξεταζόμενη κολύμπησε με τυχαία σειρά 25 m ελεύθερο χωρίς χεράκια, 25 m με μικρά κολυμβητικά χεράκια (116 cm^2) και 25 m με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (268 cm^2) (σχήμα 9). Όλες οι αποστάσεις διανύθηκαν με μέγιστη ένταση (100%). Για να αποκλιστεί η συμμετοχή των ποδιών, όλες οι κολυμβήτριες κολυμπούσαν σε όλες τις συνθήκες μέτρησης με pull buoy, δηλαδή, χωρίς κτύπημα των ποδιών και χωρίς αναπνοή περίπου για 10 με 15m στο μέσο της πισίνας όπου

καταγραφόταν η κίνηση. Μεταξύ των δοκιμασιών μεσολαβούσε διάλειμμα 3 min, ώστε να αποκλειστεί η επίδραση της κόπωσης.



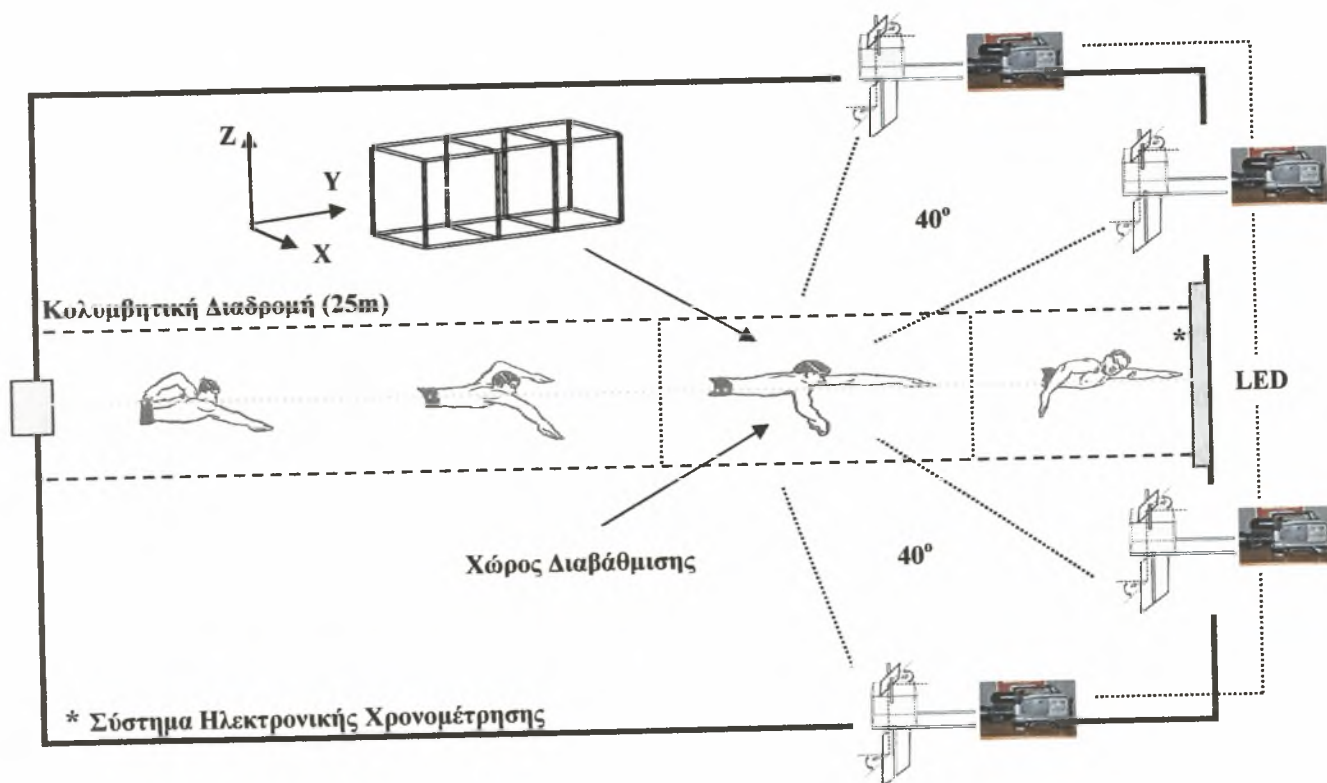
Σχήμα 9: A) Κολυμβητικά χεράκια μικρού (116cm^2) και B) μεγάλου μεγέθους (268cm^2)

Για τη διεξαγωγή της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν οι εγκαταστάσεις του πανεπιστημιακού κολυμβητηρίου του Δημοκρίτειου Πανεπιστήμιου Θράκης. Για τη καταγραφή της υποβρύχιας έλξης των χεριών των κολυμβητριών χρησιμοποιήθηκαν 4 S-VHS μηχανές λήψης (2 Panasonic PV-900 και 2 Panasonic AG-188) με συχνότητα λήψης 60Hz, οι οποίες τοποθετήθηκαν πίσω από ειδικά διαμορφωμένα περισκόπια (Σχήμα 10 και 11) έτσι ώστε να είναι ανεξάρτητες από αυτά και οι οπτικοί τους άξονες να σχηματίζουν ανά δύο γωνία 40 μοιρών. Κάθε περισκόπιο αποτελούνταν από δύο παράλληλους καθρέφτες που ήταν τοποθετημένοι σε γωνία 45 μοιρών, όσον αφορά το οριζόντιο επίπεδο και με απόσταση μεταξύ τους 1m. Οι διαστάσεις του μικρότερου καθρέφτη που ήταν πάνω από την επιφάνεια του νερού ήταν $35\text{cm} \times 35\text{cm}$, ενώ του μεγαλύτερου που βρίσκονταν 60cm κάτω από την επιφάνεια του νερού ήταν $110\text{cm} \times 40\text{cm}$. Το κύριο σώμα κάθε περισκοπίου περιλάμβανε έναν κυματοθραύστη με διαστάσεις $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 40\text{cm}$, ενώ η γυάλινη βάση του επέτρεπε την καταγραφή του ειδώλου της υποβρύχιας κίνησης με μηχανές λήψης εκτός νερού.



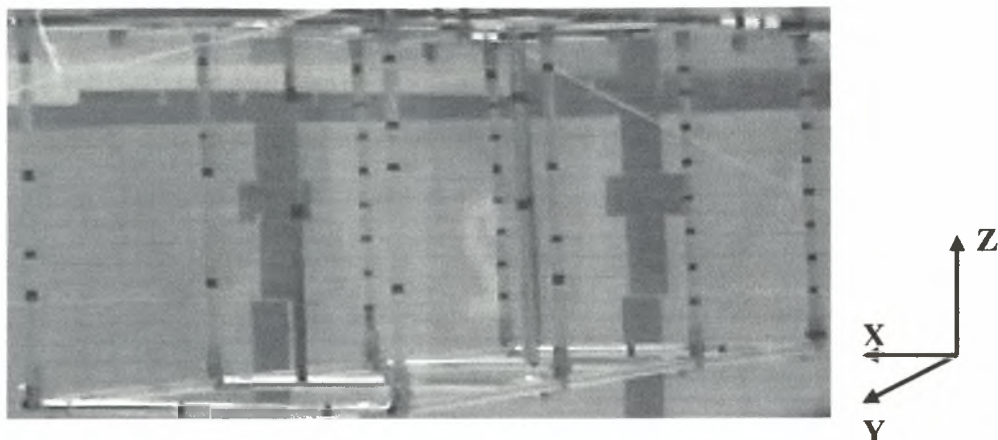
Σχήμα 10: Περισκόπιο και καταγραφή της κίνησης.

Τα τέσσερα περισκόπια ήταν τοποθετημένα στα τοιχώματα του κολυμβητηρίου. Τα δύο μπροστά από τον κολυμβητή, ενώ τα άλλα δύο στα πλάγια τοιχώματα του κολυμβητηρίου. Ο συγχρονισμός των τεσσάρων μηχανών λήψης πραγματοποιήθηκε μέσω ενός συστήματος από LED που ήταν τοποθετημένο στο οπτικό πεδίο της κάθε κάμερας και ενεργοποιούνταν από έναν εξεταστή σε κάθε πέρασμα των κολυμβητριών μέσα από τον ειδικά διαβαθμισμένο χώρο (Σχήμα 11).



Σχήμα 11: Διαδικασία μέτρησης

Η διαβάθμιση του χώρου διεξαγωγής της κίνησης πραγματοποιήθηκε μέσω ενός κύβου διαβάθμισης, διαστάσεων 1m x 3m x 1m στους X, Y και Z άξονες (X = εγκάρσιος άξονας, Y = επιμήκης άξονας, Z = κατακόρυφος άξονας) αντίστοιχα. Στην αρχή τοποθετούνταν μέσα στο νερό, στο χώρο που θέλαμε να διαβαθμίσουμε, και στη συνέχεια αφαιρούνταν για να πραγματοποιήσουν τα περάσματα τους απ' τον ίδιο χώρο οι κολυμβήτριες. Πάνω στο κύβο διαβάθμισης καθορίστηκαν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες είκοσι τεσσάρων σημείων ελέγχου που μετρήθηκαν με ακρίβεια χιλιοστού του μέτρου (Σχήμα 12).



Σχήμα 12: Κύβος Διαβάθμισης με 24 σημεία ελέγχου (περιμετρικά του κύβου).

Διαδικασία Μέτρησης

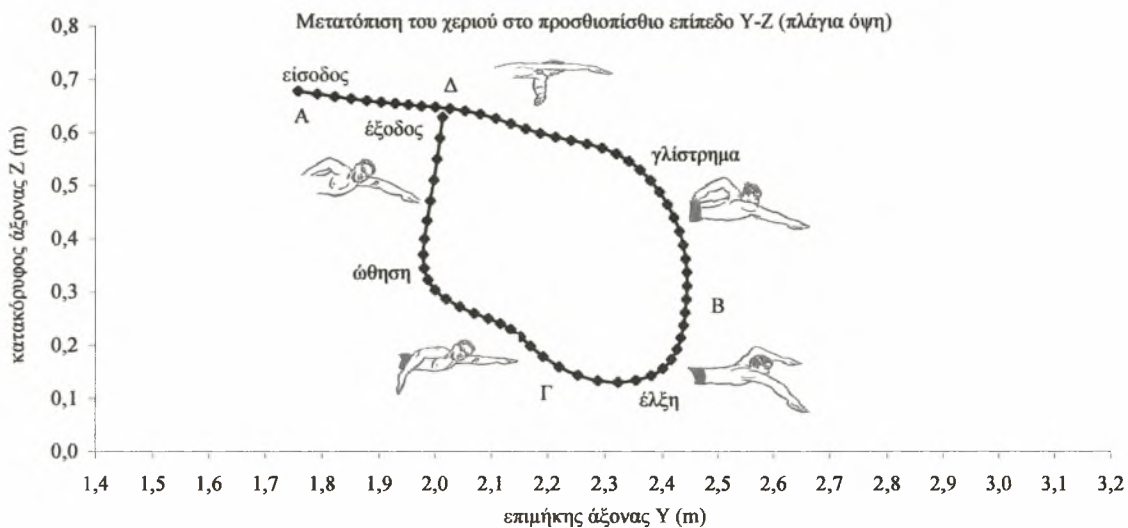
Πάνω στο δεξί χέρι των κολυμβητριών βάφτηκαν σημάδια με μαύρο μαρκαδόρο, στην πρώτη φάλαγγα του μεσαίου δάχτυλου, στο κέντρο του καρπού και στην 2^η και 5^η μετακαρποφαλαγγική άρθρωση. Επιπλέον βάφτηκαν σημάδια στο ακρώμιο του δεξιού ώμου και στο δεξί και αριστερό ισχίο των κολυμβητριών στο ύψος της μείζονος τροχαντήρας του μηριαίου οστού. Η καταγραφή των συντεταγμένων θέσης των επιλεγμένων σημείων πραγματοποιήθηκε μέσω του συστήματος Ariel Performance Analysis System (APAS) και η μετατροπή των δισδιάστατων συντεταγμένων οθόνης σε πραγματικές τρισδιάστατες συντεταγμένες πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου του Άμεσου Γραμμικού Μετασχηματισμού (Direct Linear Transformation - DLT).

Οι τιμές του RMS (Root Mean Square – Ρίζα των Μέσων Τετραγωνικών Διαφορών) σφάλματος, βάσει 8 σημείων στον κύβο διαβάθμισης που δεν συμμετείχαν στη διαβάθμιση του χώρου, ανέρχονταν στα 2,35mm, 4,64mm και 2,59mm για τους X, Y και Z άξονες, αντίστοιχα. Η εξομάλυνση των αρχικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω ψηφιακού φίλτρου με συχνότητα κοπής η οποία καθορίστηκε, στα 6Hz, μετά από ανάλυση υπολοίπων, μεταξύ μη εξομαλυμένων και εξομαλυμένων δεδομένων για ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων.

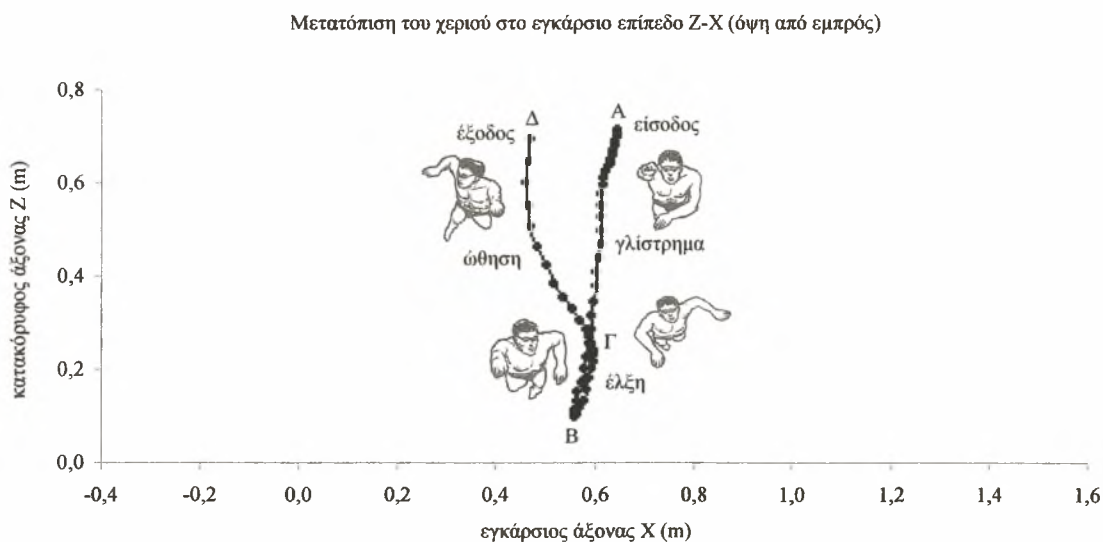
Για την λεπτομερέστερη ανάλυσή της, η κίνηση του δεξιού χεριού διαχωρίστηκε σε τέσσερεις φάσεις (σχήμα 13 και 14):

- α) φάση γλιστρήματος: από την είσοδο του χεριού στο νερό (Α) έως την μέγιστη μετατόπιση του προς τα εμπρός στον επιμήκη άξονα Y (Β),
- β) φάση έλξης: από τη μέγιστη μετατόπιση του χεριού προς τα εμπρός στον επιμήκη άξονα Y, έως το σημείο «ταύτισής» του με την άρθρωση του ώμου στον επιμήκη άξονα Y (Γ),

γ) φάση ώθησης: από το σημείο «ταύτισης» του χεριού με την άρθρωση του ώμου στον επιμήκη άξονα Y (Γ), έως την έξοδο του χεριού από το νερό (Δ), και
 δ) φάση επαναφοράς: από την ολοκλήρωση της υποβρύχιας έλξης και την έξοδο του χεριού από το νερό (Δ) έως την επόμενη είσοδό του (Α).



Σχήμα 13: Υποβρύχιες φάσεις της κίνησης του χεριού (πλάγια όψη)



Σχήμα 14: Υποβρύχιες φάσεις της κίνησης του χεριού (όψη από εμπρός)

Για μια πιο λεπτομερή ανάλυση της κίνησης υπολογίστηκαν το μέσο μήκος χεριάς, η συχνότητα χεριάς και η μέση κολυμβητική ταχύτητα. Το μέσο μήκος χεριάς (SL) υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος της μετατόπισης του αριστερού και δεξιού ισχίου στον επιμήκη άξονα Y, κατά τη διάρκεια μιας ολοκληρωμένης αριστερής και δεξιάς χεριάς, αντίστοιχα, δηλαδή από την είσοδο του χεριού έως την είσοδο του και πάλι μέσα στο νερό. Η μέση κολυμβητική ταχύτητα (v) καθορίστηκε ως το πηλίκο του μέσου μήκους χεριάς

(SL), προς τη μέση διάρκεια (T) της αριστερής και δεξιάς χεριάς ($v = SL/T$). Η συχνότητα χεριάς ορίστηκε ως το πηλίκο της μέσης κολυμβητικής ταχύτητας προς το μέσο μήκος χεριάς ($SR = v/SL$).

Επιπλέον υπολογίστηκαν:

- η διάρκεια της συνολικής έλξης, από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την είσοδο του και πάλι στο νερό,
- η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη διάρκεια της συνολικής έλξης του χεριού) διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης, από την είσοδο έως την έξοδο του χεριού από το νερό,
- η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της έλξης του χεριού) διάρκεια του γλιστρήματος, από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την μέγιστη μετατόπιση του στον επιμήκη άξονα Y,
- η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της έλξης του χεριού) διάρκεια της έλξης, από τη μέγιστη μετατόπιση του χεριού στον επιμήκη άξονα Y, που οριοθετεί την ολοκλήρωση του γλιστρήματος, έως το σημείο "ταύτισης" του με την άρθρωση του ώμου, στον επιμήκη άξονα Y,
- η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της έλξης του χεριού) διάρκεια της ώθησης, από το σημείο "ταύτισης" του χεριού με την άρθρωση του ώμου στον επιμήκη άξονα Y, έως την έξοδο του από το νερό,
- η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της έλξης του χεριού) διάρκεια της επαναφοράς, μετά την ολοκλήρωση της υποβρύχιας έλξης και την έξοδο του χεριού από το νερό έως την επόμενη είσοδό του,
- η απόλυτη και σχετική (ποσοστιαία ως προς τη συνολική διάρκεια της έλξης του χεριού) διάρκεια της προωθητικής και μη προωθητικής φάσης, αθροιστικά δηλαδή, η διάρκεια των φάσεων, έλξης και ώθησης, και γλιστρήματος και επαναφοράς, αντίστοιχα
- το απόλυτο (μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω, σε σχέση με το νερό, κατά την προωθητική φάση) και σχετικό (μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω σε σχέση με το σώμα του κολυμβητή) μήκος χεριάς,
- η πρώτη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω κατά το γλίστρημα και την έλξη, που ορίζεται από τη μέγιστη πλευρική μετατόπιση του χεριού στον εγκάρσιο άξονα X, η πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα, που ορίζεται από τη διαφορά της μέγιστης και ελάχιστης πλευρικής μετατόπισης του χεριού στον εγκάρσιο άξονα X

και η δεύτερη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω κατά την ώθηση, που ορίζεται από τη διαφορά της ελάχιστης και της μέγιστης πλευρικής μετατόπισης του χεριού στον εγκάρσιο άξονα X,

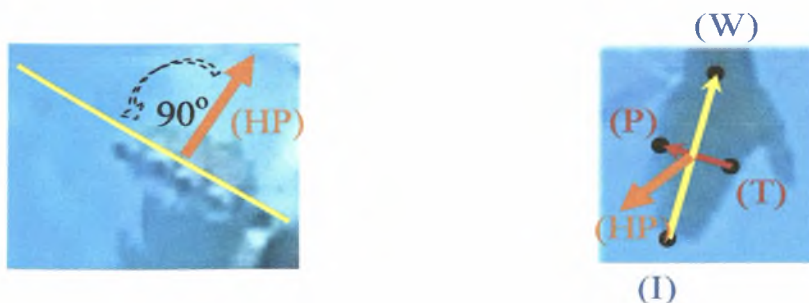
- η πλευρική μετατόπιση αθροιστικά που αποτελεί το άθροισμα όλων των πλευρικών μετατοπίσεων κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης ανεξάρτητα από το πρότυπο έλξης,
- η μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα, την έλξη και την ώθηση, η οποία καθορίστηκε βάσει της ταχύτητας του μέσου σημείου μεταξύ της 2^{ης} και 5^{ης} μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης, και
- η γωνία επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού (σχήμα 19 και 20).

Η γωνία επίθεσης του χεριού ορίστηκε ως η γωνία μεταξύ του επιπέδου του χεριού και του διανύσματος της ταχύτητας του, που καθορίζει την πορεία της κίνησής του. Το επίπεδο του χεριού ορίστηκε από τα τέσσερα σημεία πάνω στο χέρι (σχήμα 15) που με τη σειρά τους όριζαν δύο διανύσματα, τα διανύσματα IW και TP (σχήμα 16).



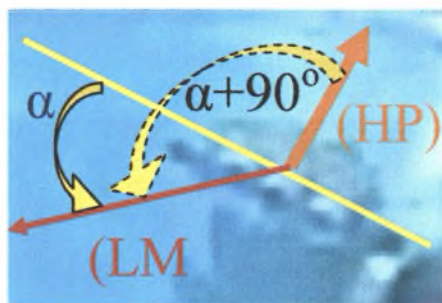
Σχήμα 15 και 16: Ορισμός του επιπέδου του χεριού από 4 σημεία, και τα 2 διανύσματα που ορίζονται σ' αυτό.

Το εξωτερικό γινόμενο των δύο αυτών διανυσμάτων είναι ένα νέο διάνυσμα (HP) κάθετο στα δύο διανύσματα IW και TP, και μέσω αυτού μπορεί να καθοριστεί το επίπεδο του χεριού (σχήμα 17 και 18).



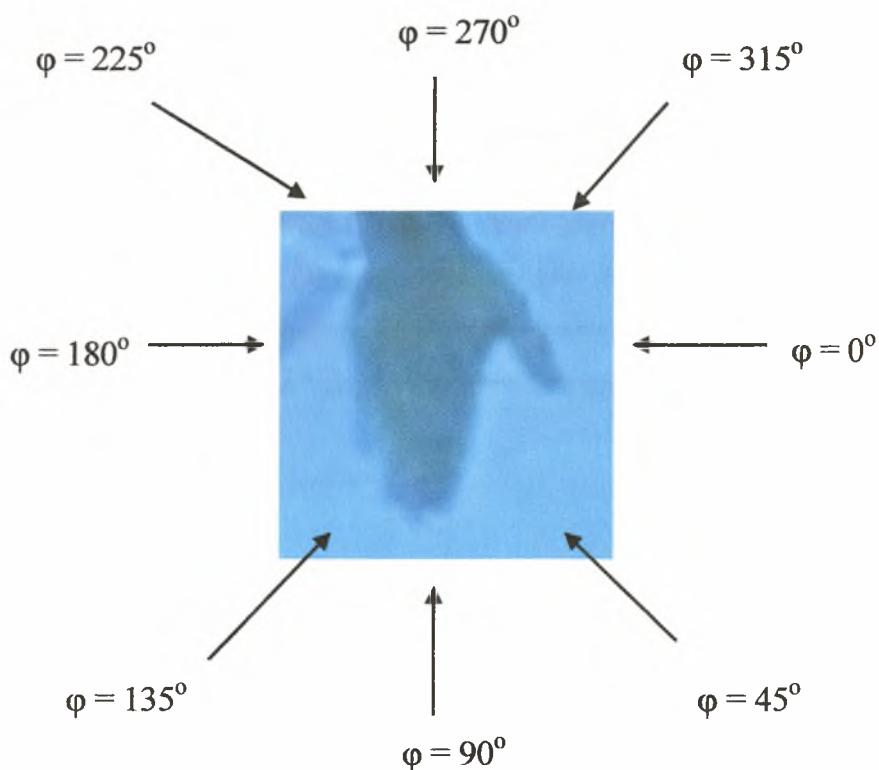
Σχήμα 17 και 18: Το εξωτερικό γινόμενο των δύο διανυσμάτων που ορίζεται, και η διεύθυνση του ως προς τα δύο διανύσματα του χεριού

Η γωνία επίθεσης προκύπτει από τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του διανύσματος της ταχύτητας του χεριού (LM) και του διανύσματος HP μείον 90° (σχήμα 19).



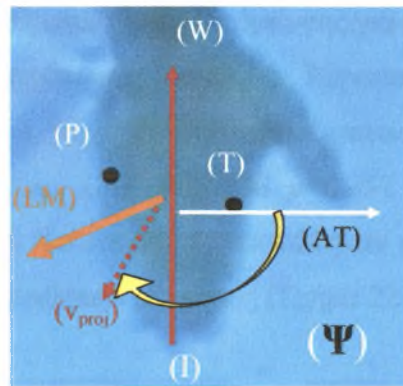
Σχήμα 19: Ορισμός της γωνίας επίθεσης

Η γωνία καθοδήγησης του χεριού (σχήμα 20) καθορίζει την πλευρά του χεριού που καθοδηγεί την κίνηση σχετικά με τη ροή του νερού.



Σχήμα 20: Η γωνία καθοδήγησης του χεριού

Ορίστηκε, ως η γωνία μεταξύ της προβολής του διανύσματος της ταχύτητας του χεριού (LM) πάνω στο επίπεδο του (vproj), και ενός εγκάρσιου διανύσματος (AT), το οποίο επίσης βρίσκεται πάνω στο επίπεδο του χεριού. Το διάνυσμα AT ορίζεται ως ένα διάνυσμα που είναι κάθετο, τέμνει το διάνυσμα IW και διέρχεται από την 2η μετακαρποφαλαγγική άρθρωση (σχήμα 21).



Σχήμα 21: Ορισμός της γωνίας καθοδήγησης

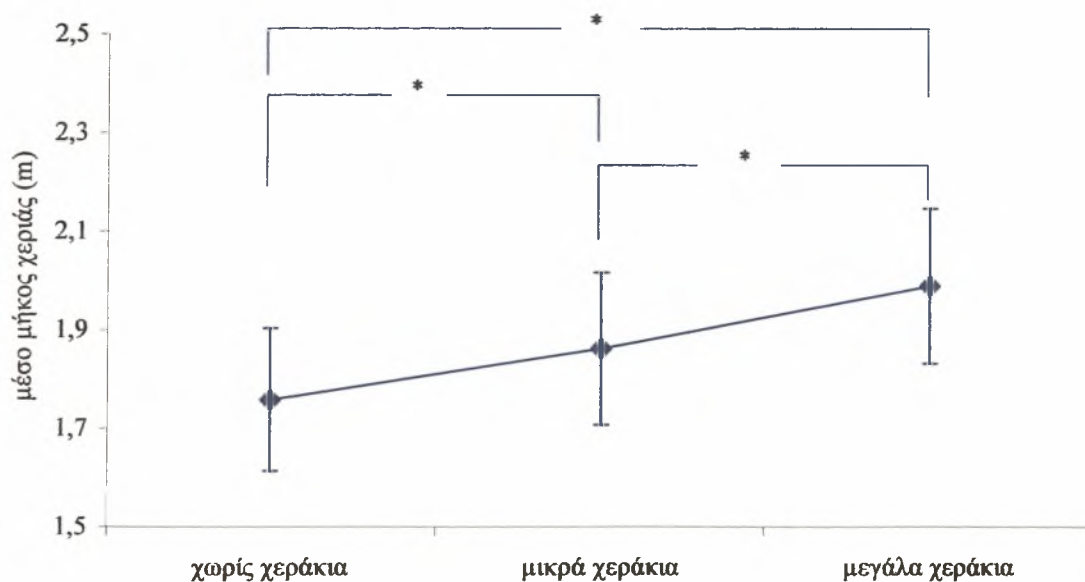
Σχεδιασμός της έρευνας

Για τη στατιστική επεξεργασία των παραπάνω παραμέτρων εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν παράγοντα (συνθήκη μέτρησης), ο οποίος είχε τρεις βαθμίδες (χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια). Για τον εντοπισμό των στατιστικά σημαντικών διαφορών εφαρμόστηκε το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, ο έλεγχος της κανονικής κατανομής πραγματοποιήθηκε μέσω του test Kolmogorov-Smirnov και το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε ως $p < 0.05$.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Μέσο Μήκος Χεριάς

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 1, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=24.738, p<0.05$), στο μέσο μήκος χεριάς. Από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, διαπιστώθηκαν μάλιστα στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των συνθηκών μέτρησης (Σχήμα 22 και Πίνακας 3).



Σχήμα 22: Μέσο μήκος χεριάς κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

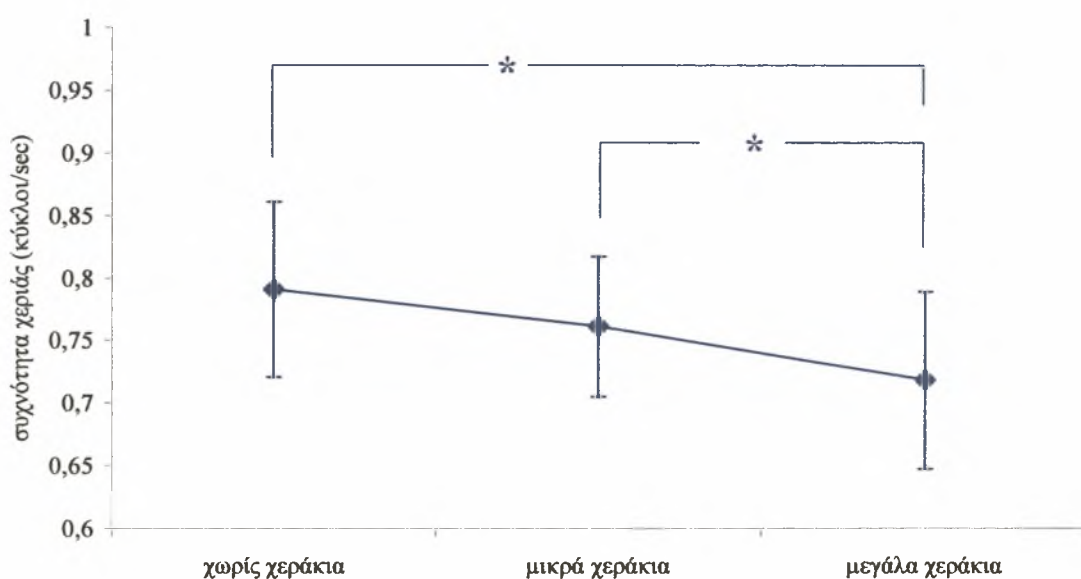
Πίνακας 3. Μέσο μήκος χεριάς (m)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
1.759 ± 0.145	1.863 ± 0.154	1.989 ± 0.157	24.738*

* $p < 0.05$

4.2 Συχνότητα Χεριάς

Σ' ότι αφορά τη συχνότητα χεριάς, από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 2, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=14.724$, $p<0.05$). Μάλιστα, από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της κολύμβησης χωρίς χεράκια και της κολύμβησης με μεγάλα χεράκια καθώς και μεταξύ της κολύμβησης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 23 και Πίνακας 4).



Σχήμα 23: Συχνότητα χεριάς κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

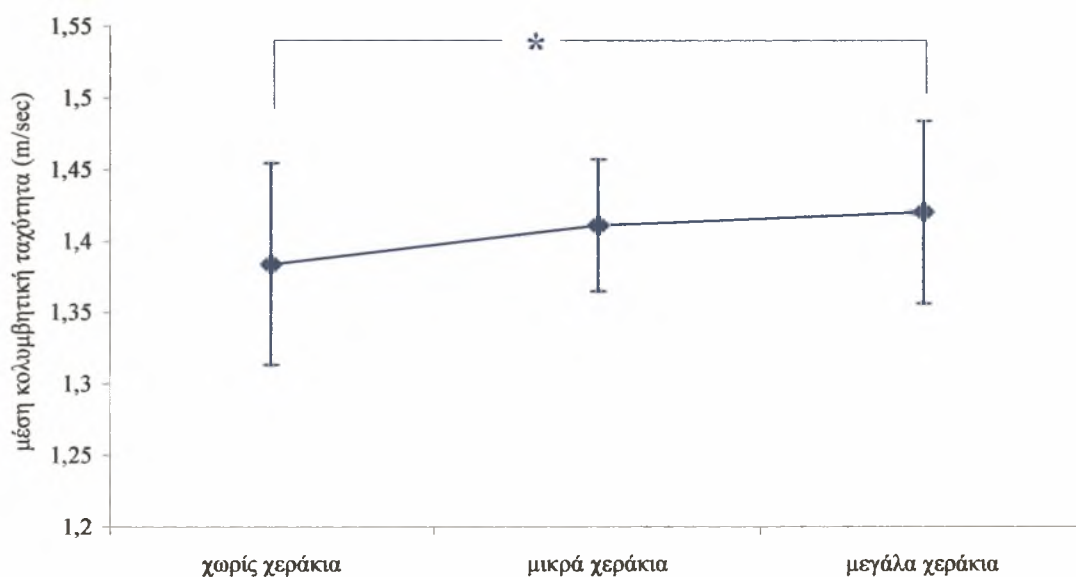
Πίνακας 4. Συχνότητα χεριάς (κύκλοι/sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.791± 0.070	0.761± 0.560	0.718 ± 0.071	14.724*

* $p < 0.05$

4.3 Μέση κολυμβητική ταχύτητα

Στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης», διαπιστώθηκε και στη μέση κολυμβητική ταχύτητα ($F_{(2,18)}=4.863, p<0.05$), καθώς από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 3. Ωστόσο, από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, στατιστικά σημαντικές διαφορές προέκυψαν μόνο μεταξύ της κολύμβησης χωρίς και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 24 και Πίνακας 5).



Σχήμα 24: Μέση κολυμβητική ταχύτητα κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

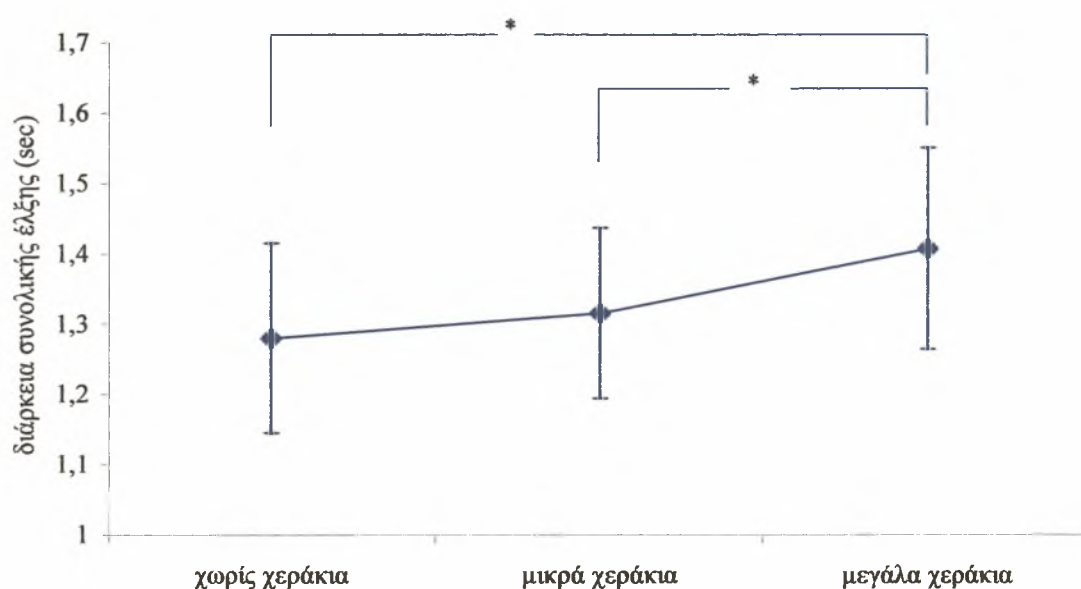
Πίνακας 5. Μέση κολυμβητική ταχύτητα (m/sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
1.384 ± 0.078	1.411 ± 0.046	1.420 ± 0.064	4.863*

* $p < 0.05$

4.4 Διάρκεια συνολικής έλξης

Αναφορικά με τη συνολική διάρκεια της έλξης του χεριού (από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την είσοδο του και πάλι) διαπιστώθηκε από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures) στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=18.133, p<0.05$), και κατά συνέπεια απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 4. Από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, προέκυψαν ωστόσο στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ της κολύμβησης χωρίς και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, καθώς και μεταξύ της κολύμβησης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 25 και Πίνακας 6).



Σχήμα 25: Διάρκεια της συνολικής έλξης του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

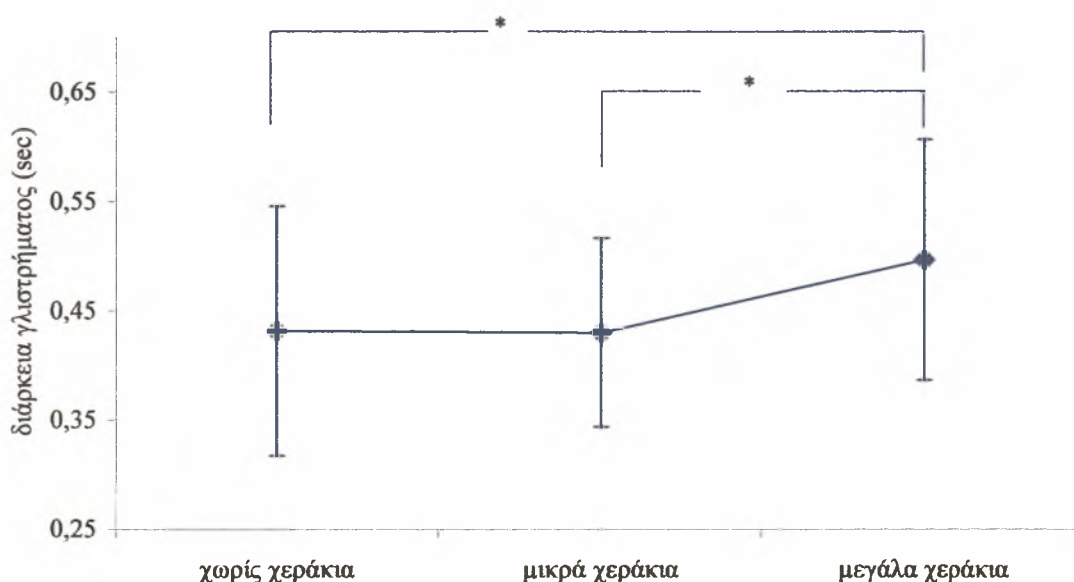
Πίνακας 6. Διάρκεια συνολικής έλξης (sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
1.280 ± 0.135	1.316 ± 0.122	1.408 ± 0.143	18.133*

* $p < 0.05$

4.5 Απόλυτη και σχετική διάρκεια γλιστρήματος

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures) απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 5, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=7.173$, $p<0.05$), στη διάρκεια της φάσης του γλιστρήματος, από την είσοδο του χεριού στο νερό έως την μέγιστη μετατόπιση του στον επιμήκη άξονα Υ. Από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ της κολύμβησης χωρίς και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, όσο και μεταξύ της κολύμβησης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 26 και Πίνακας 7).



Σχήμα 26: Απόλυτη διάρκεια της φάσης του γλιστρήματος κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

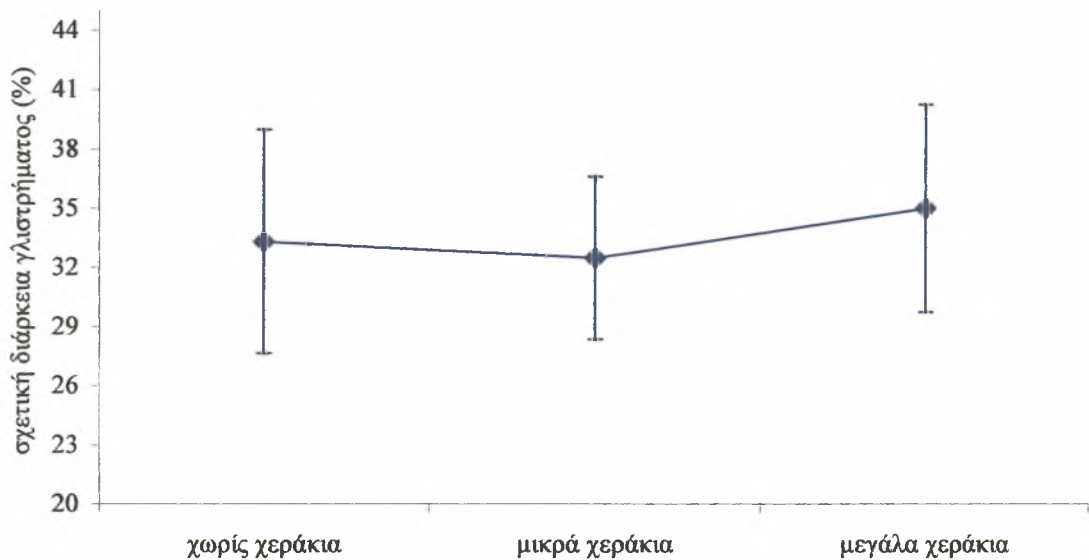
Πίνακας 7. Απόλυτη διάρκεια γλιστρήματος (sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.432 ± 0.114	0.430 ± 0.086	0.497 ± 0,099	7.173*

* $p < 0.05$

Αντίθετα, εκφράζοντας τη διάρκεια του γλιστρήματος ως ποσοστό της συνολικής διάρκειας της έλξης, από την ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures) έγινε αποδεκτή η

μηδενική υπόθεση αριθμός 6, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=2.585, p>0.05$), στη σχετική διάρκεια της φάσης του γλιστρήματος (Σχήμα 27 και Πίνακας 8).



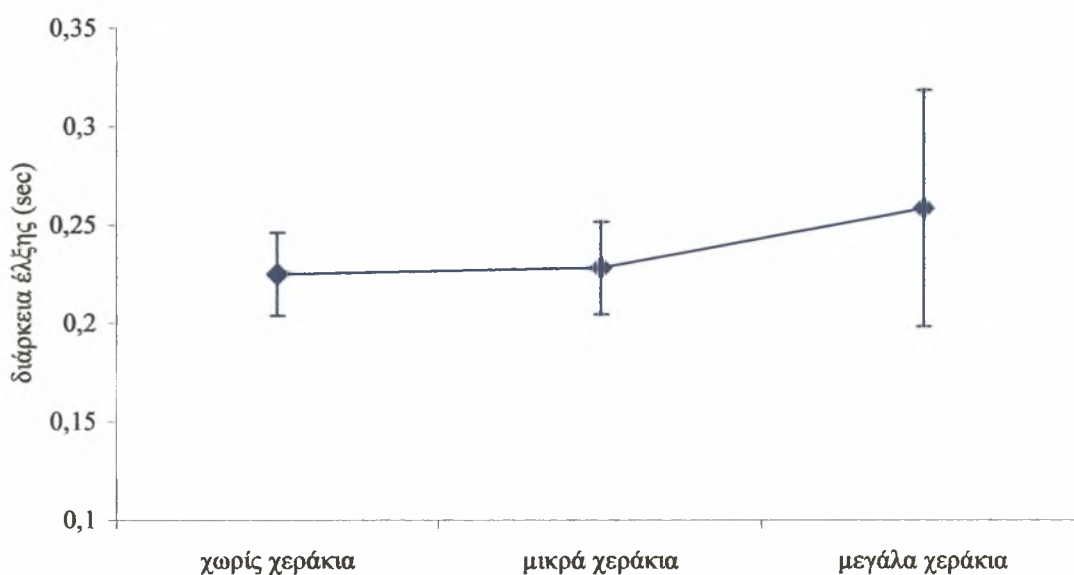
Σχήμα 27: Σχετική διάρκεια του γλιστρήματος του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 8. Σχετική διάρκεια γλιστρήματος (%)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
33.319 ± 5.669	32.499 ± 4.133	35.027 ± 5.269	2.585

4.6 Απόλυτη και σχετική διάρκεια έλξης

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures) έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 7, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=2.029$, $p>0.05$), στη διάρκεια της φάσης της έλξης, δηλαδή από τη μέγιστη μετατόπιση του χεριού στον επιμήκη άξονα Y, που καθορίζει την ολοκλήρωση του γλιστρήματος, έως το σημείο «ταύτισής» του με την άρθρωση του ώμου, στον επιμήκη άξονα Y (Σχήμα 28 και Πίνακας 9).



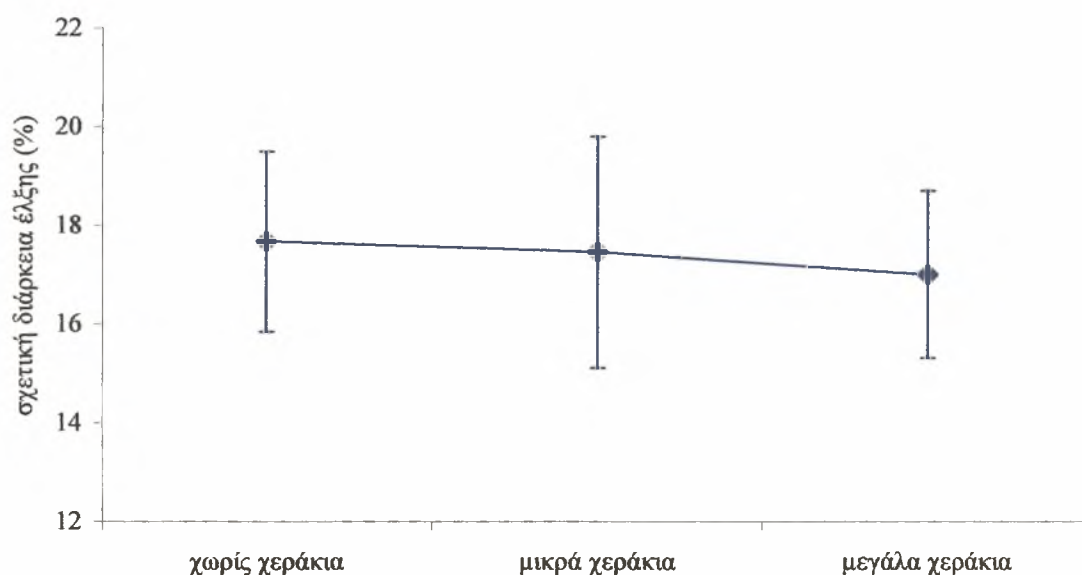
Σχήμα 28: Απόλυτη διάρκεια της φάσης έλξης κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 9. Απόλυτη διάρκεια έλξης (sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.225 ± 0.211	0.228 ± 0.236	0.258 ± 0.602	2.029

Το ίδιο διαπιστώθηκε και σ' ότι αφορά τη σχετική διάρκεια της έλξης, εκφράζοντάς την ως ποσοστό της συνολικής διάρκειας της έλξης του χεριού από την είσοδο του στο νερό, έως την είσοδο του και πάλι. Συγκεκριμένα, από την ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 8, αφού δεν

διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=0.425, p>0.05$), στη σχετική διάρκεια της φάσης της έλξης (Σχήμα 29 και Πίνακας 10).



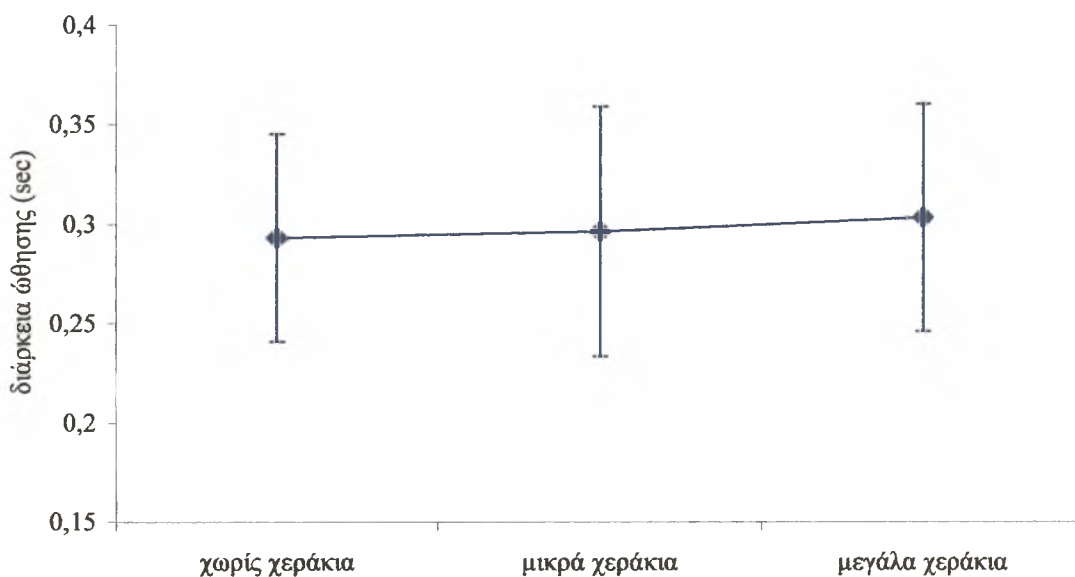
Σχήμα 29: Σχετική διάρκεια της φάσης έλξης του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 10. Σχετική διάρκεια της έλξης (%)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
17.672 ± 1.826	17.466 ± 2.344	17.016 ± 1.697	0.425

4.7 Απόλυτη και σχετική διάρκεια ώθησης

Αναφορικά με την απόλυτη διάρκεια της φάσης ώθησης, δηλαδή από τη χρονική στιγμή «ταύτισης» του χεριού με την άρθρωση του ώμου στον επιμήκη άξονα Y έως την έξοδο του από το νερό, από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 9, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=0.528, p>0.05$) (Σχήμα 30 και Πίνακας 11).



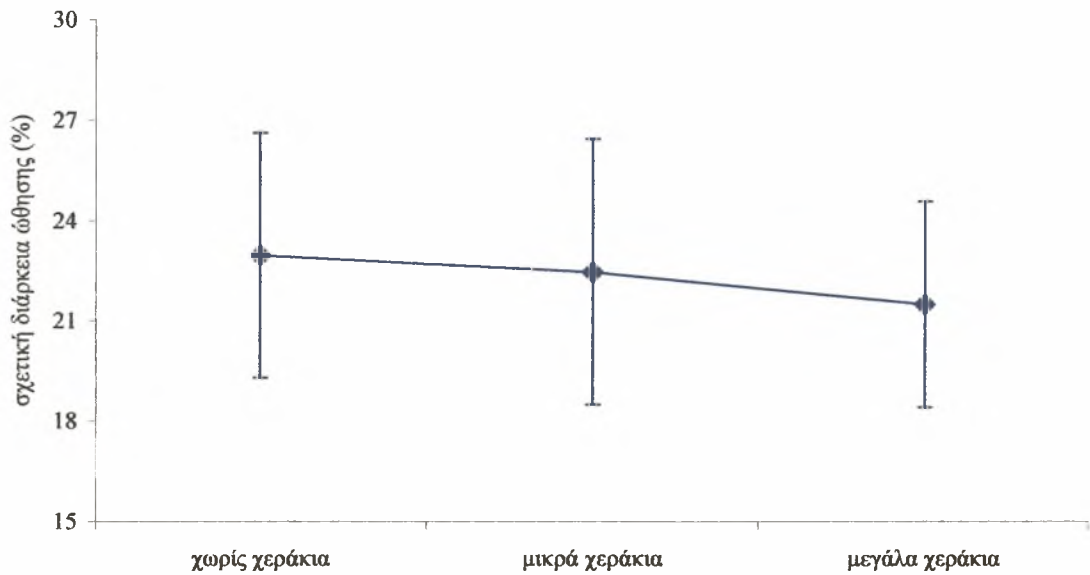
Σχήμα 30: Απόλυτη διάρκεια της φάσης ώθησης κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 11. Απόλυτη διάρκεια ώθησης (sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.293 ± 0.052	0.296 ± 0.063	0.303 ± 0.057	0.528

Σ' ότι αφορά τη σχετική διάρκεια της φάσης ώθησης, εκφράζοντας την διάρκεια ως ποσοστό της συνολικής διάρκειας της έλξης του χεριού, από την ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 10, αφού δεν

διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=1.558, p>0.05$), (Σχήμα 31 και Πίνακας 12).



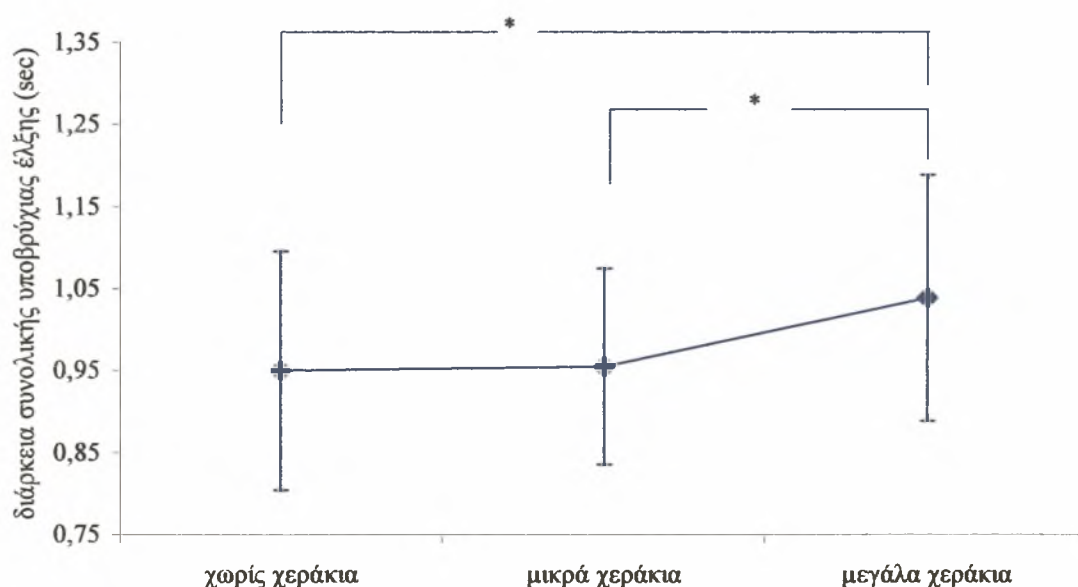
Σχήμα 31: Σχετική διάρκεια της ώθησης του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 12. Σχετική διάρκεια της ώθησης (%)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
22.956 ± 3.650	22.469 ± 3.972	21.513 ± 3.080	1.558

4.8 Απόλυτη και σχετική διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 11, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=12.831, p<0.05$), στη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού, από την είσοδό του έως την έξοδο του από το νερό. Από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, διαπιστώθηκαν ωστόσο στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ της κολύμβησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της κολύμβησης με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, καθώς και μεταξύ της κολύμβησης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 32 και Πίνακας 13).



Σχήμα 32: Διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

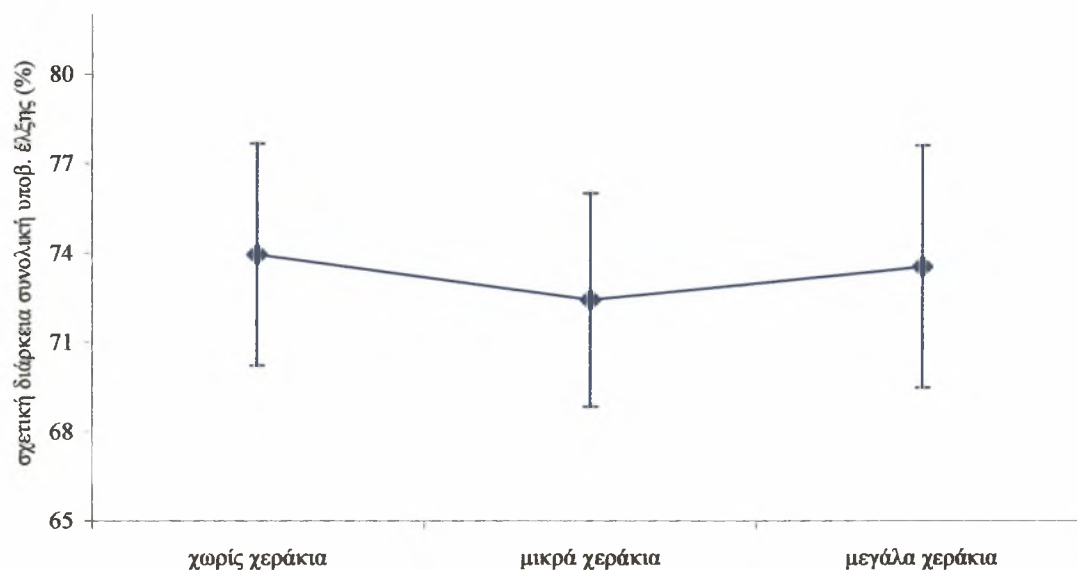
Πίνακας 13. Διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης (sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.950 ± 0.145	0.955 ± 0.119	1.038 ± 0.150	12.831*

* $p < 0.05$

Ωστόσο, εκφράζοντας τη διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης ως ποσοστό της συνολικής διάρκειας της έλξης, από την ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures),

έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 12, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=2.331, p>0.05$), (Σχήμα 33 και Πίνακας 14).



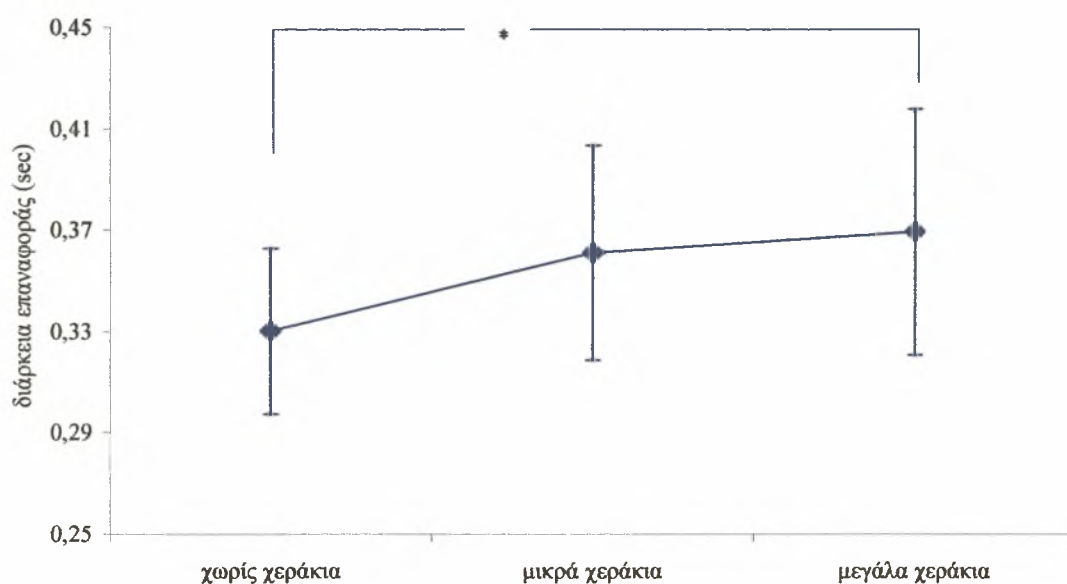
Σχήμα 33: Σχετική διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 14. Σχετική διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης του χεριού (%)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
73.948 ± 3.725	72.435 ± 3.573	73.556 ± 4.067	2.331

4.9 Απόλυτη και σχετική διάρκεια επαναφοράς

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 13, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=6.573, p<0.05$), στη διάρκεια επαναφοράς του χεριού έξω από το νερό, η οποία οριοθετείται από την ολοκλήρωση της υποβρύχιας έλξης και την έξοδο του χεριού από το νερό έως την επόμενη είσοδό του. Ωστόσο, από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ της κολύμβησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της κολύμβησης με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 34 και Πίνακας 15).



Σχήμα 34: Διάρκεια της επαναφοράς του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

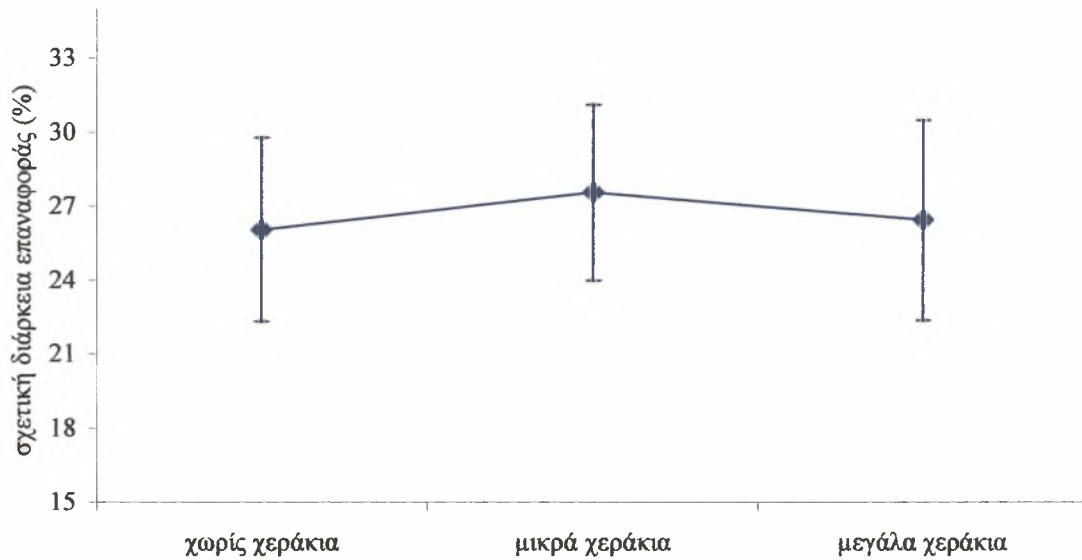
Πίνακας 15. Διάρκεια επαναφοράς του χεριού (sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.330 ± 0.033	0.361 ± 0.042	0.369 ± 0.485	6.573*

* $p < 0.05$

Εκφράζοντας όμως τη διάρκεια της συνολικής υποβρύχιας έλξης ως ποσοστό της συνολικής διάρκειας της έλξης του χεριού, από την ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures),

έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 14, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=2.331, p>0.05$), στη σχετική διάρκεια της (Σχήμα 35 και Πίνακας 16).



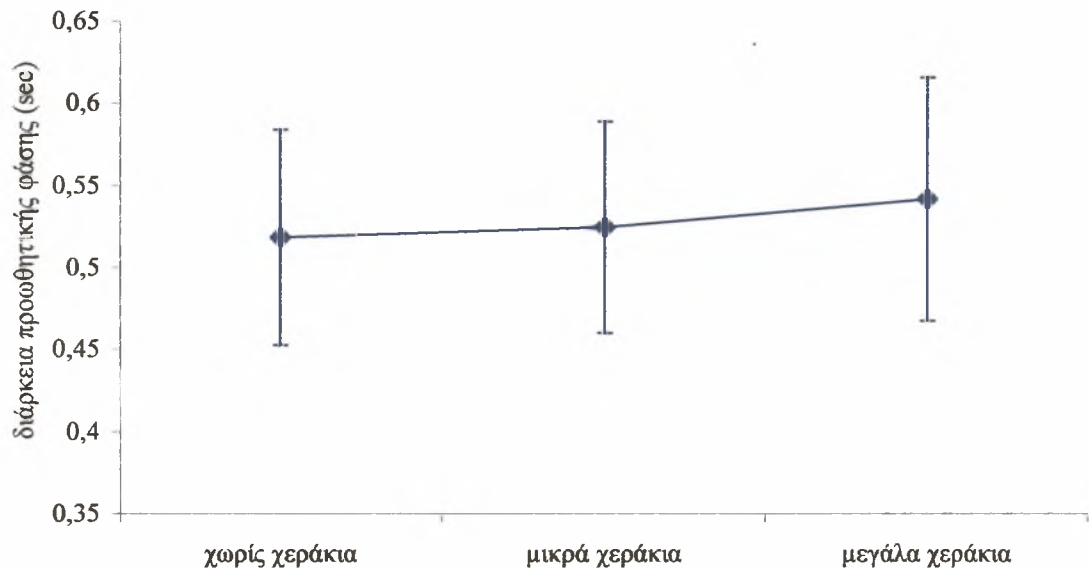
Σχήμα 35: Σχετική διάρκεια της επαναφοράς του χεριού έξω από το νερό κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 16. Σχετική διάρκεια της επαναφοράς του χεριού έξω από το νερό (%)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
26.052 ± 3.725	27.565 ± 3.573	26.443 ± 4.067	2.331

4.10 Απόλυτη και σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης

Σ' ότι αφορά τη διάρκεια της προωθητικής φάσης, που περιλαμβάνει τη φάση της έλξης και της ώθησης, από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 15, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=2.131, p>0.05$) (Σχήμα 36 και Πίνακας 17).



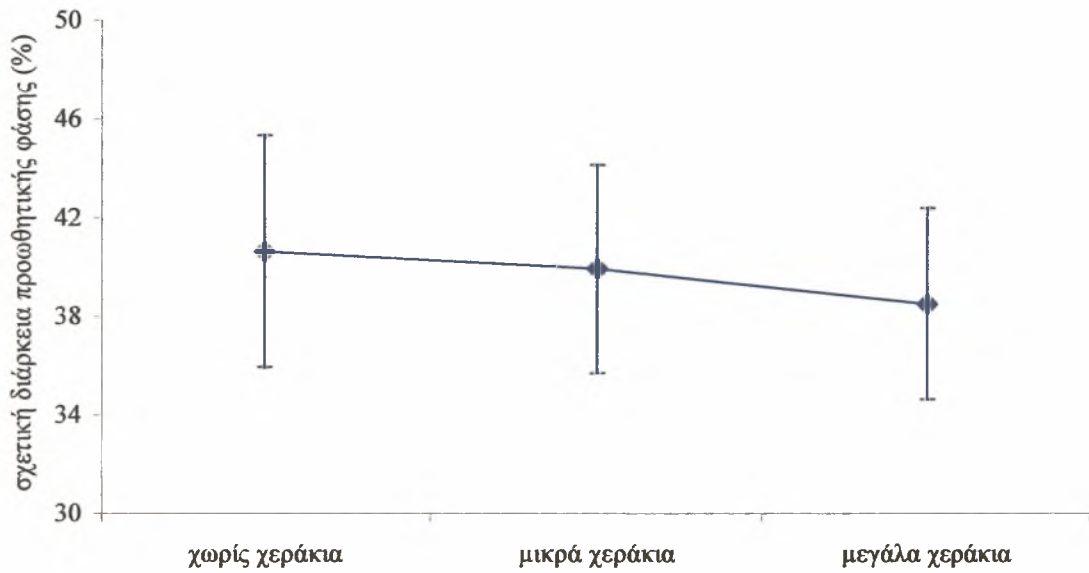
Σχήμα 36: Διάρκεια της προωθητικής φάσης κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 17. Διάρκεια προωθητικής φάσης (sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.519 ± 0.065	0.525 ± 0.064	0.542 ± 0.074	2.131

Το ίδιο προέκυψε και σε ότι αφορά τη σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης εκφράζοντάς την ως ποσοστό της συνολικής διάρκειας της έλξης. Πιο συγκεκριμένα, από την ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 16, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη

μέτρησης» ($F_{(2,18)}=1.997, p>0.05$), στη σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης (Σχήμα 37 και Πίνακας 18).



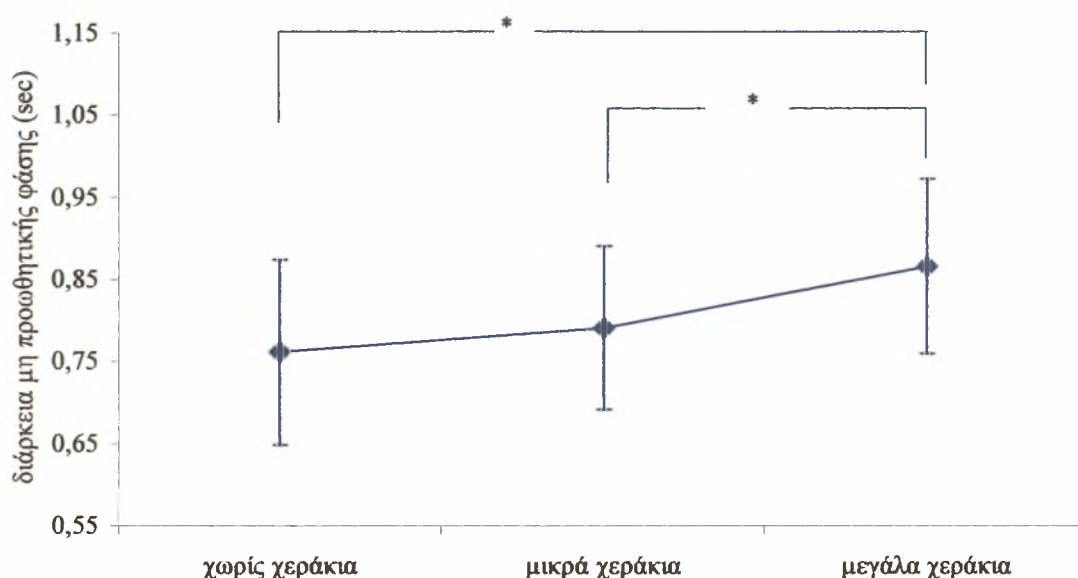
Σχήμα 37: Σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 18. Σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης (%)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
40.628 ± 4.693	39.935 ± 4.226	38.529 ± 3.878	1.997

4.11 Απόλυτη και σχετική διάρκεια της μη προωθητικής φάσης

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 17, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=10.059, p<0.05$), στη διάρκεια της μη προωθητικής φάσης που περιλαμβάνει το γλίστρημα και την επαναφορά. Από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni διαπιστώθηκαν ωστόσο στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ της κολύμβησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της κολύμβησης με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, και μεταξύ της κολύμβησης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 38 και Πίνακας 19).



Σχήμα 38: Διάρκεια της μη προωθητικής φάσης κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

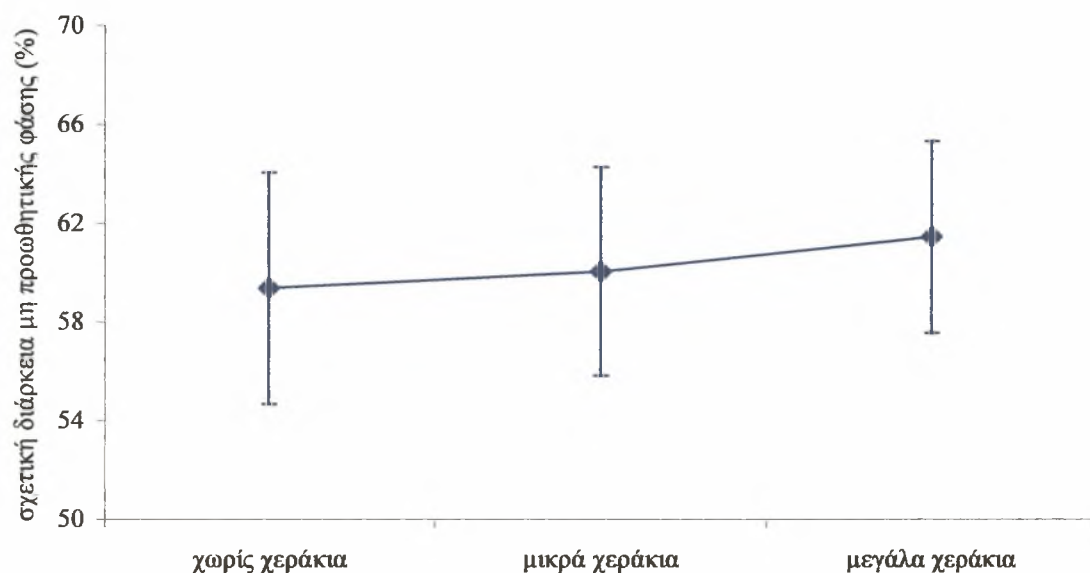
Πίνακας 19. Διάρκεια μη προωθητικής φάσης (sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.762 ± 0.113	0.791 ± 0.099	0.866 ± 0.106	10.059*

* $p < 0.05$

Αντίθετα, εκφράζοντας τη διάρκεια της μη προωθητικής φάσης ως ποσοστό της συνολικής διάρκειας της έλξης, από την ανάλυση διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε

αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 18, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=1.997, p>0.05$) (Σχήμα 39 και Πίνακας 20).



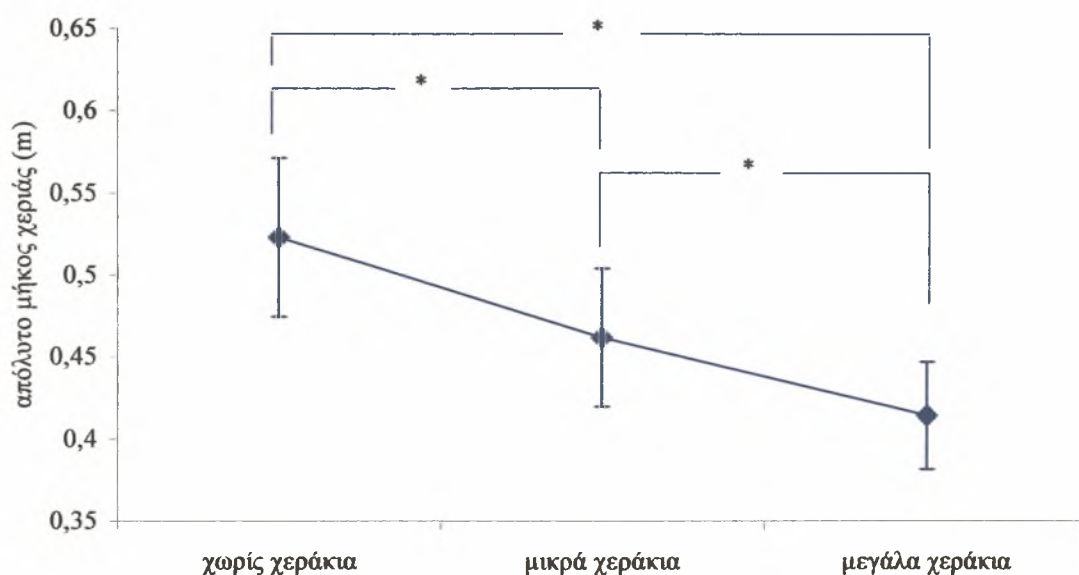
Σχήμα 39: Σχετική διάρκεια της προωθητικής φάσης του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 20. Σχετική διάρκεια της μη προωθητικής φάσης (%)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
59.372 ± 4.693	60.064 ± 4.226	61.471 ± 3.878	1.997

4.12 Απόλυτο μήκος χεριάς

Σχετικά με το απόλυτο μήκος χεριάς, δηλαδή τη μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω σε σχέση με το νερό στον επιμήκη άξονα Y, από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 19, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=30.232, p<0.05$). Από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, διαπιστώθηκαν μάλιστα στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των συνθηκών μέτρησης (Σχήμα 40 και Πίνακας 21).



Σχήμα 40: Απόλυτο μήκος χεριάς κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

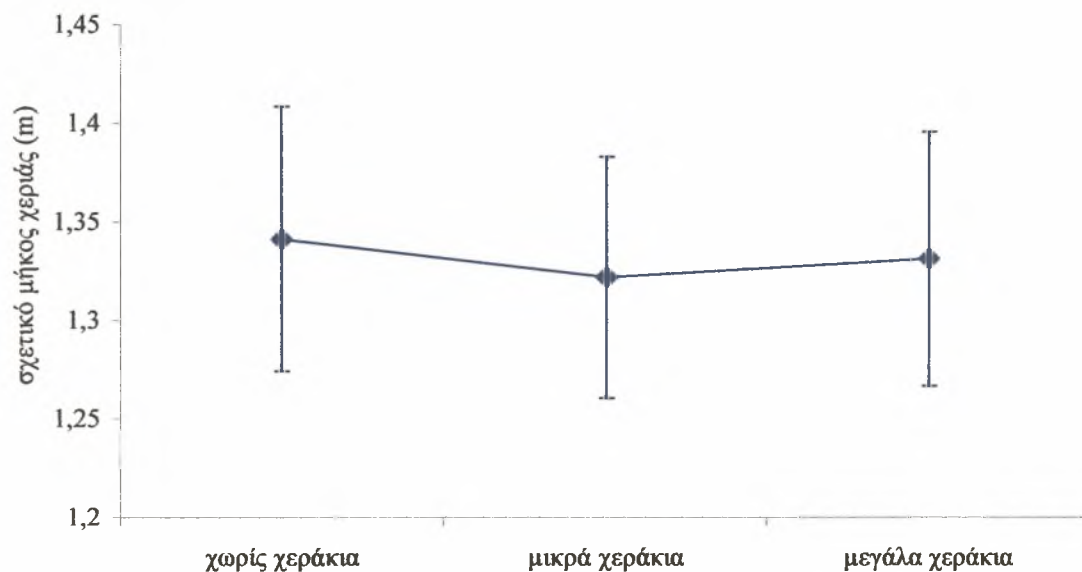
Πίνακας 21. Απόλυτο μήκος χεριάς (m)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.523 ± 0.048	0.462 ± 0.042	0.414 ± 0.033	30.232*

* $p < 0.05$

4.13 Σχετικό μήκος χεριάς

Σ' ότι αφορά το σχετικό μήκος χεριάς, δηλαδή στη μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω στον επιμήκη άξονα Υ, σε σχέση με το σώμα του κολυμβητή, από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 20, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=0.413, p>0.05$) (Σχήμα 41 και Πίνακας 22).



Σχήμα 41: Σχετικό μήκος χεριάς κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

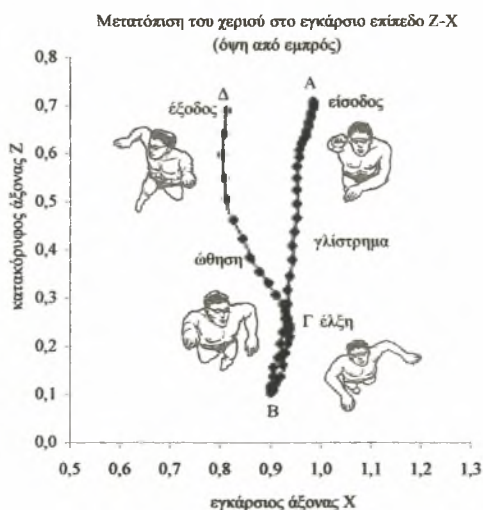
Πίνακας 22. Σχετικό μήκος χεριάς (m)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
1.341 ± 0.067	1.322 ± 0.061	1.331 ± 0.064	0.413

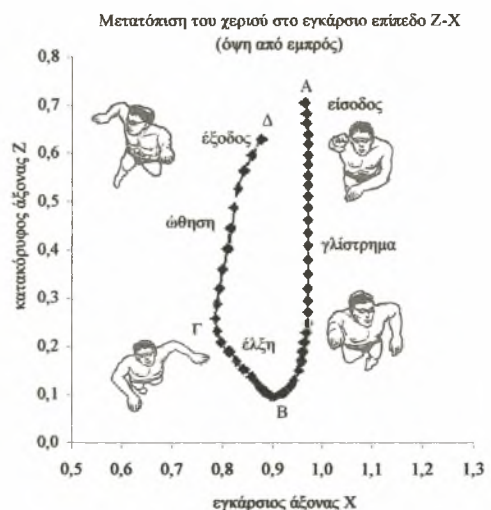
4.14 Πρώτη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, κατά το γλίστρημα και την έλξη

Η πρώτη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω κατά το γλίστρημα και την έλξη, ορίζεται από τη μέγιστη πλευρική μετατόπιση του χεριού στον εγκάρσιο άξονα X, σε σχέση με την είσοδό του στο νερό. Ωστόσο, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε, ότι μόνο 6 από τις 10 κολυμβήτριες παρουσίασαν ένα πρότυπο έλξης του χεριού «έξω – μέσα – έξω», κολυμπώντας χωρίς και με κολυμβητικά χεράκια, ενώ οι υπόλοιπες 4 κατά την κολύμβηση με κολυμβητικά χεράκια παρουσίασαν ένα πρότυπο έλξης του χεριού συνέχεια προς τα έξω. Συνεπώς, στις τελευταίες περιπτώσεις δεν μπορούσαν να καθοριστούν οι επιμέρους φάσεις έλξης προς τα έξω, προς τα μέσα και πάλι προς τα έξω, παρά μόνο η συνολική πλευρική μετατόπιση του χεριού από την είσοδο έως την έξοδο του από το νερό. Οπότε, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, αφορούν τις έξι κολυμβήτριες που το πρότυπο της έλξης τους χαρακτηρίστηκε από τη πρώτη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, τη πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα κατά την έλξη και τη δεύτερη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω κατά την ώθηση (σχήμα 42 και 43).

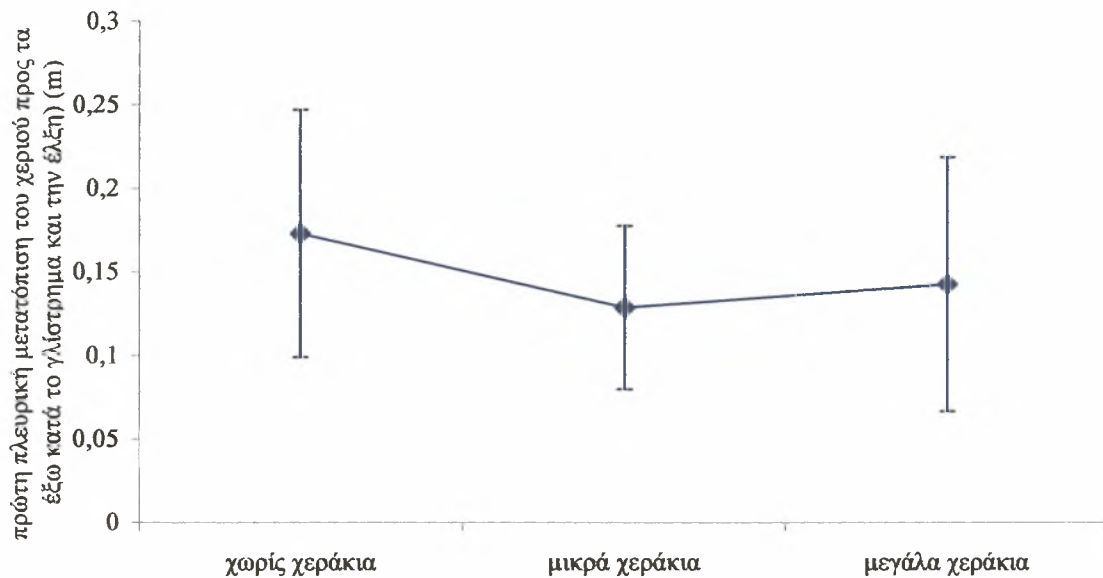
Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 21, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,10)}=3.266, p>0.05$), στη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω κατά τη φάση του γλιστρήματος και της έλξης (Σχήμα 44 και Πίνακας 23).



Σχήμα 42: Υποβρύχιες φάσεις της έλξης του χεριού, με πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, προς τα μέσα και πάλι προς τα έξω (6 κολυμβήτριες).



Σχήμα 43: Υποβρύχιες φάσεις της έλξης του χεριού χωρίς πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα (4 κολυμβήτριες).



Σχήμα 44: Πρώτη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω στο γλίστρημα και την έλξη κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

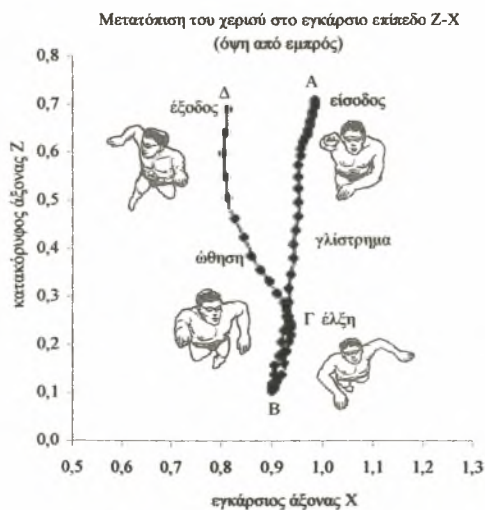
Πίνακας 23. Πρώτη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω στο γλίστρημα και την έλξη (m)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
0.173 ± 0.074	0.129 ± 0.049	0.143 ± 0.076	3.266

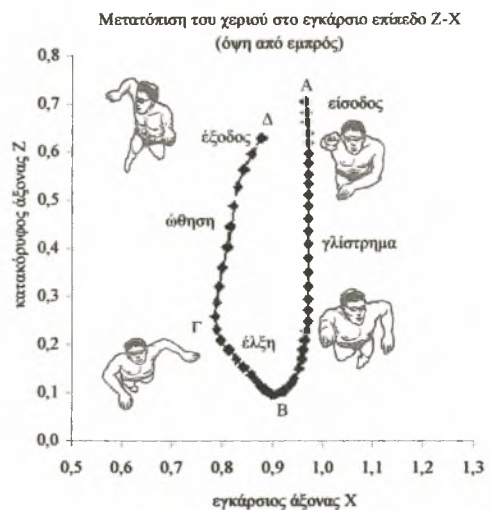
4.15 Πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα κατά την έλξη

Η πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα μέσα ορίζεται, από τη διαφορά της μέγιστης και ελάχιστης πλευρικής μετατόπισης του χεριού στον εγκάρσιο άξονα X. Αυτό σημαίνει, ότι όταν η κολυμβήτρια «τραβάει» το χέρι της προς τα μέσα, κάτω από το σώμα της, οι τιμές της πλευρικής μετατόπισης του χεριού είναι αρνητικές, λόγω διεύθυνσης των αξόνων του κύβου διαβάθμισης. Επειδή όμως από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε, ότι στο πρότυπο έλξης τεσσάρων κολυμβητριών δεν παρουσιάστηκε έλξη προς τα μέσα, αλλά η διαδρομή του χεριού τους συνέχιζε προς τα έξω, τα δεδομένα τους όσον αφορά τις πλευρικές μετατοπίσεις, δεν αξιολογήθηκαν για τη συγκεκριμένη φάση μαζί με των υπόλοιπων (έξι) κολυμβητριών. Οπότε, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, αφορούν τις έξι κολυμβήτριες που το πρότυπο της έλξης τους χαρακτηρίστηκε από τη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα μέσα, κατά την έλξη (σχήμα 45 και 46).

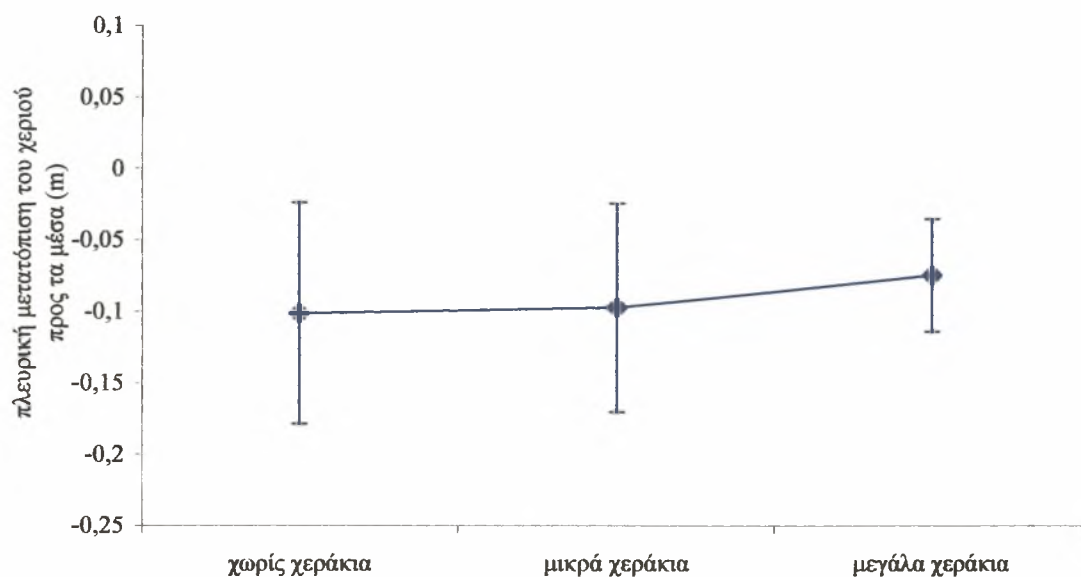
Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 22, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,10)}=1.406, p>0.05$), στην πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα μέσα (Σχήμα 47 και Πίνακας 24).



Σχήμα 45: Υποβρύχιες φάσεις της έλξης του χεριού, με πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα (6 κολυμβήτριες).



Σχήμα 46: Υποβρύχιες φάσεις της έλξης του χεριού χωρίς πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα (4 κολυμβήτριες).



Σχήμα 47: Πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα μέσα κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

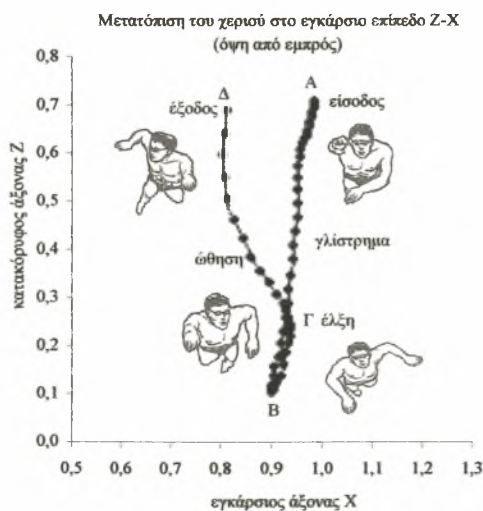
Πίνακας 24. Πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα μέσα (m)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
-0.101 ± -0.077	-0.097 ± -0.073	-0.074 ± -0.039	1.406

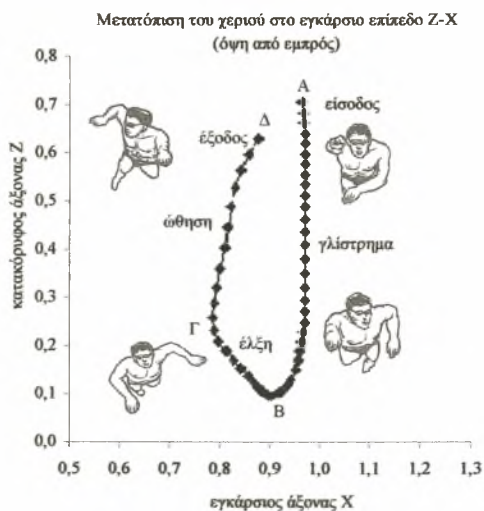
4.16 Δεύτερη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω, κατά την ώθηση

Η πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω κατά την ώθηση ορίζεται από τη διαφορά της ελάχιστης και της μέγιστης πλευρικής μετατόπισης του χεριού στον εγκάρσιο άξονα X. Όταν η κολυμβήτρια «τραβάει» το χέρι της προς τα έξω, σε σχέση με το σώμα της, οι τιμές της πλευρικής μετατόπισης του χεριού είναι θετικές, λόγω διεύθυνσης των αξόνων του κύβου διαβάθμισης. Επειδή όμως όπως ήδη αναφέρθηκε στην ανάλυση και περιγραφή των δύο προηγούμενων πλευρικών μετατοπίσεων, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε, ότι στο πρότυπο έλξης τεσσάρων κολυμβητριών δεν παρουσιάστηκε έλξη προς τα μέσα, αλλά η διαδρομή του χεριού τους συνέχιζε προς τα έξω ύστερα από την ολοκλήρωση της πρώτης πλευρικής μετατόπισης προς τα έξω, τα δεδομένα τους όσον αφορά τις πλευρικές μετατοπίσεις, δεν αξιολογήθηκαν για τη συγκεκριμένη φάση μαζί με των υπόλοιπων (έξι) κολυμβητριών. Συνεπώς, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, αφορούν τα δεδομένα των έξι κολυμβητριών που το πρότυπο της έλξης τους χαρακτηρίστηκε από τη δεύτερη πλευρική μετατόπιση προς τα έξω κατά την ώθηση μετά την ολοκλήρωση της πλευρικής μετατόπισης προς τα μέσα κατά την έλξη (σχήμα 48 και 49).

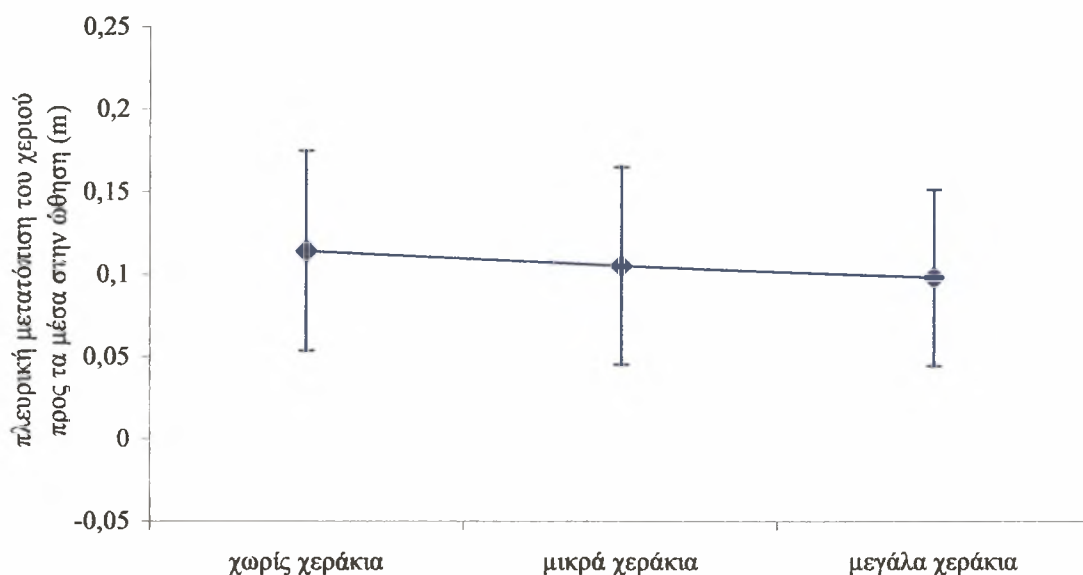
Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 23, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,10)}=0.259, p>0.05$), στην δεύτερη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω, κατά τη φάση της ώθησης (Σχήμα 50 και Πίνακας 25).



Σχήμα 48: Υποβρύχιες φάσεις της έλξης του χεριού, με πλευρική μετατόπιση προς τα έξω κατά την ώθηση, μετά την πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα (6 κολυμβήτριες).



Σχήμα 49: Υποβρύχιες φάσεις της έλξης του χεριού, με πλευρική μετατόπιση προς τα έξω κατά την ώθηση, χωρίς όμως πλευρική μετατόπιση προς τα μέσα (4 κολυμβήτριες).



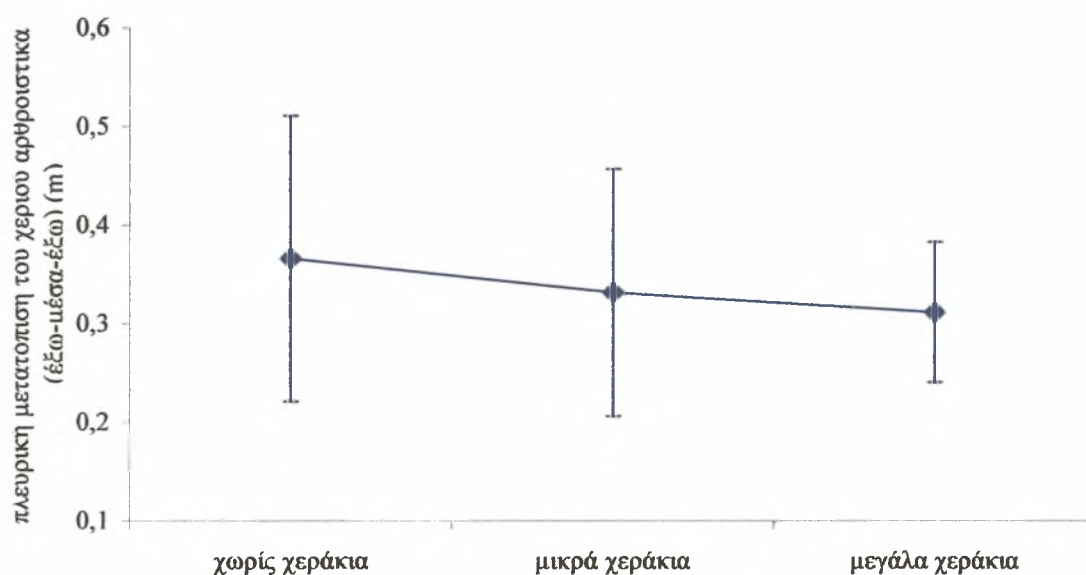
Σχήμα 50: Δεύτερη πλευρική μετατόπιση του χεριού προς τα έξω στη φάση της ώθησης (άξονας X) κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 25. Δεύτερη πλευρική μετατόπιση του χεριού (έξω) στη φάση της ώθησης (άξονας X) (m)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.114 ± 0.061	0.106 ± 0.601	0.098 ± 0.053	0.259

4.17 Πλευρική μετατόπιση αθροιστικά (έξω-μέσα-έξω)

Παρόλο, που, όπως έχει ήδη αναφερθεί, τέσσερις κολυμβήτριες δεν παρουσίασαν ένα πρότυπο έλξης «έξω – μέσα – έξω», και κατά συνέπεια δεν συμπεριλήφθησαν στον υπολογισμό των επιμέρους πλευρικών μετατοπίσεων, μπορεί να συνυπολογιστεί η συνολική πλευρική μετατόπιση του χεριού τους. Έτσι από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις (ANOVA Repeated Measures) και έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 24, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=1.558, p>0.05$), στην συνολική πλευρική μετατόπιση του χεριού (Σχήμα 51 και Πίνακας 26).



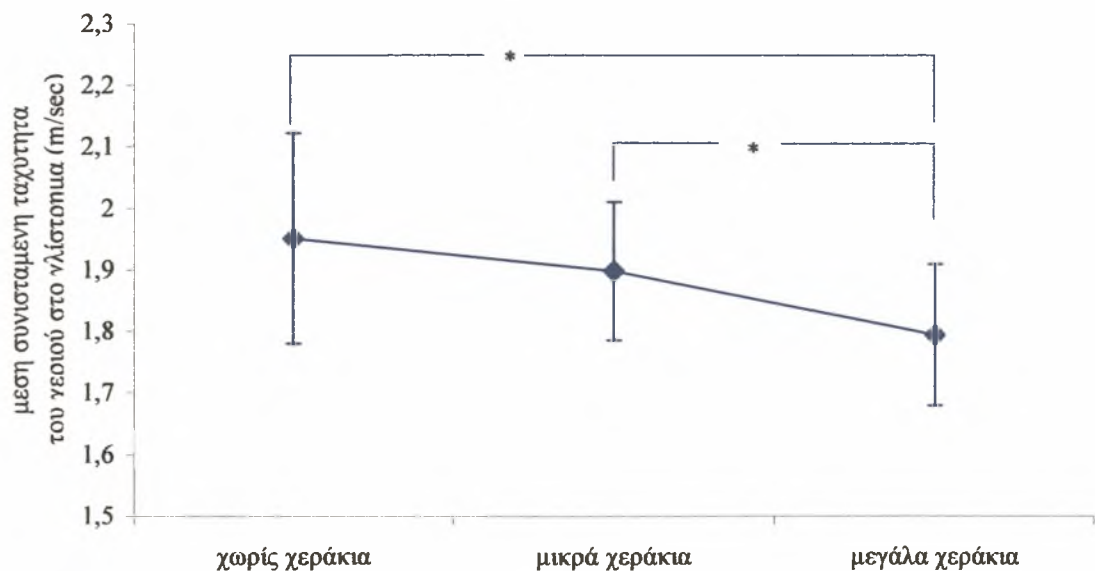
Σχήμα 51: Συνολική πλευρική μετατόπιση του χεριού (άξονας X) κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά χεράκια και με μεγάλα χεράκια.

Πίνακας 26. Συνολική πλευρική μετατόπιση του χεριού (άξονας X) (m)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
0.366 ± 0.145	0.332 ± 0.125	0.312 ± 0.071	1.558

4.18 Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 25, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=9.860, p<0.05$), στη μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού κατά τη διάρκεια του γλιστήματος. Από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, διαπιστώθηκαν ωστόσο στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ της κολύμβησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της κολύμβησης με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, καθώς και μεταξύ της κολύμβησης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 52 και Πίνακας 27).



Σχήμα 52: Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

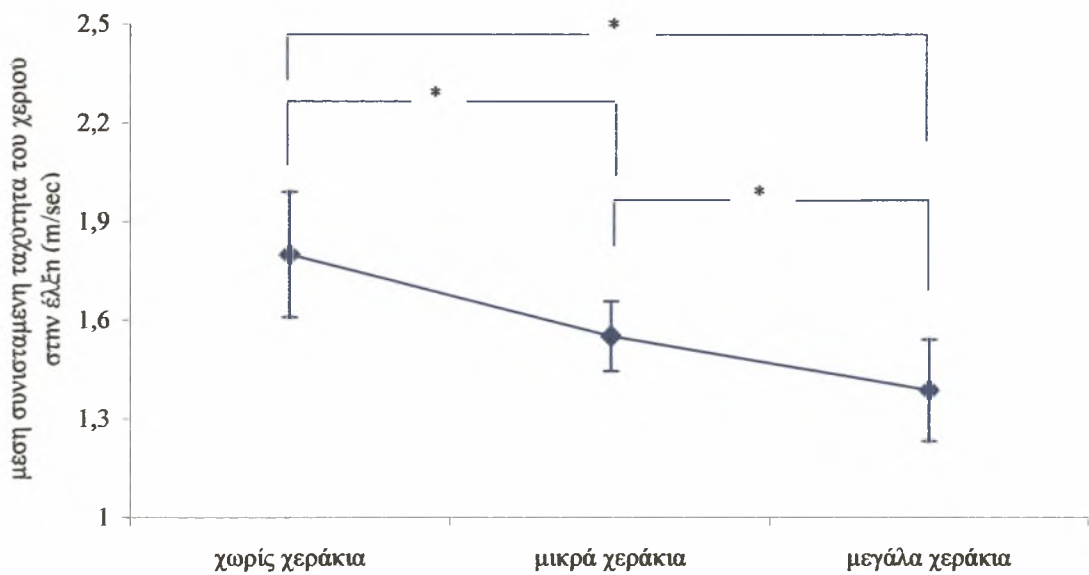
Πίνακας 27. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα (m/sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
1.951 ± 0.171	1.898 ± 0.112	1.794 ± 0.115	9.860*

* $p < 0.05$

4.19 Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην έλξη

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 26, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=80.662, p<0.05$), στη μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην έλξη. Από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, διαπιστώθηκαν μάλιστα στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των συνθηκών μέτρησης (Σχήμα 53 και Πίνακας 28).



Σχήμα 53: Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην έλξη κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

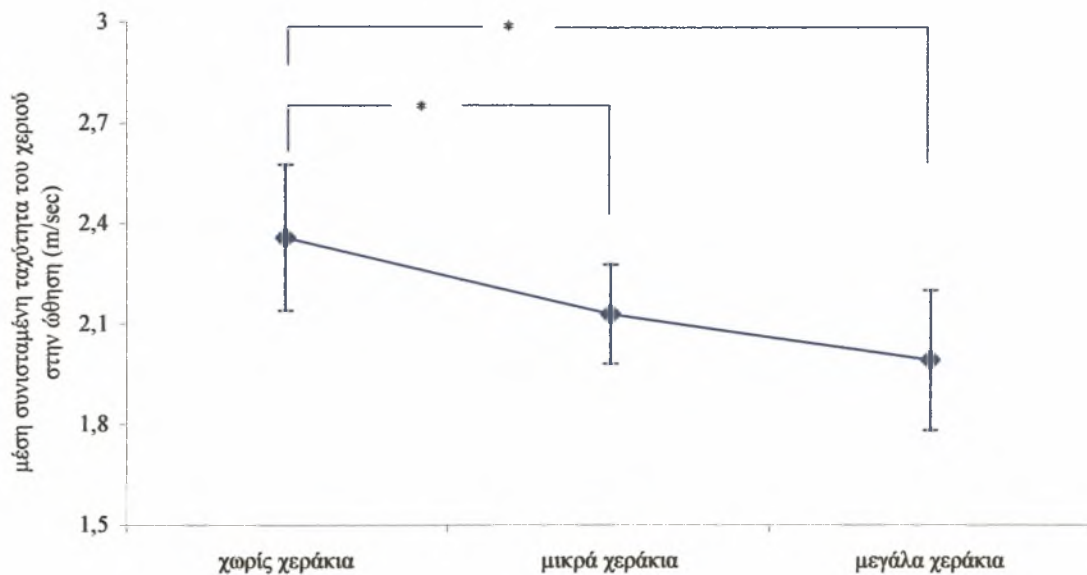
Πίνακας 28. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην έλξη (m/sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F' τιμή
1.801 ± 0.191	1.552 ± 0.106	1.387 ± 0.154	80.662*

* $p < 0.05$

4.20 Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην ώθηση

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 27, αφού διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=18.242, p<0.05$), στη μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην ώθηση. Ωστόσο, από το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni, διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της κολύμβησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της κολύμβησης τόσο με μικρά κολυμβητικά χεράκια όσο και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (Σχήμα 54 και Πίνακας 29).



Σχήμα 54: Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην ώθηση κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

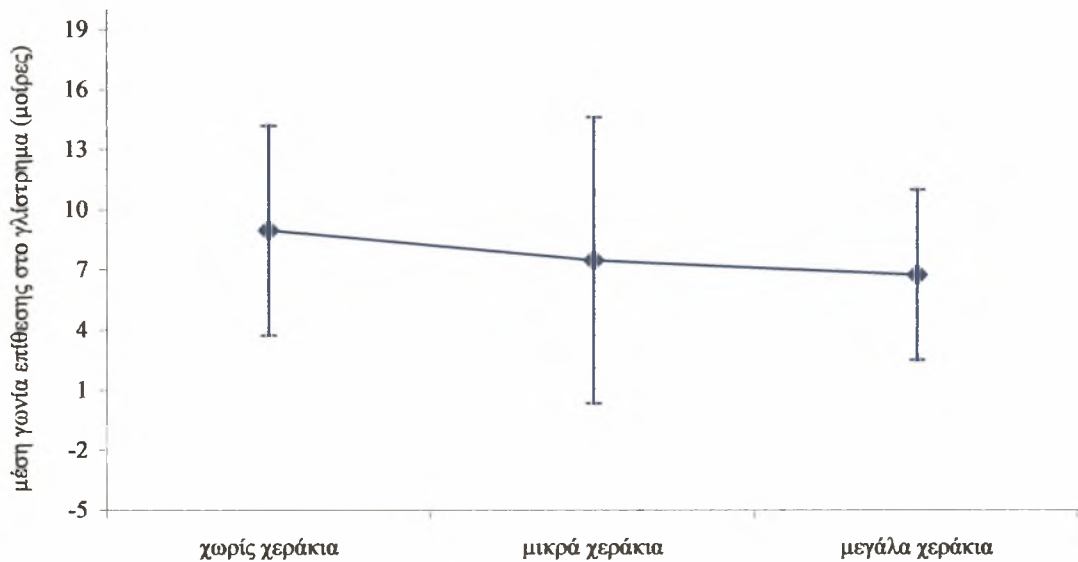
Πίνακας 29. Μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στην ώθηση (m/sec)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
2.358 ± 0.218	2.123 ± 0.148	1.992 ± 0.209	18.242*

* $p < 0.05$

4.21 Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στο γλίστρημα

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 28, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=0.795, p>0.05$), στη μέση γωνία επίθεσης του χεριού κατά τη διάρκεια του γλιστρήματος (Σχήμα 55 και Πίνακας 30).



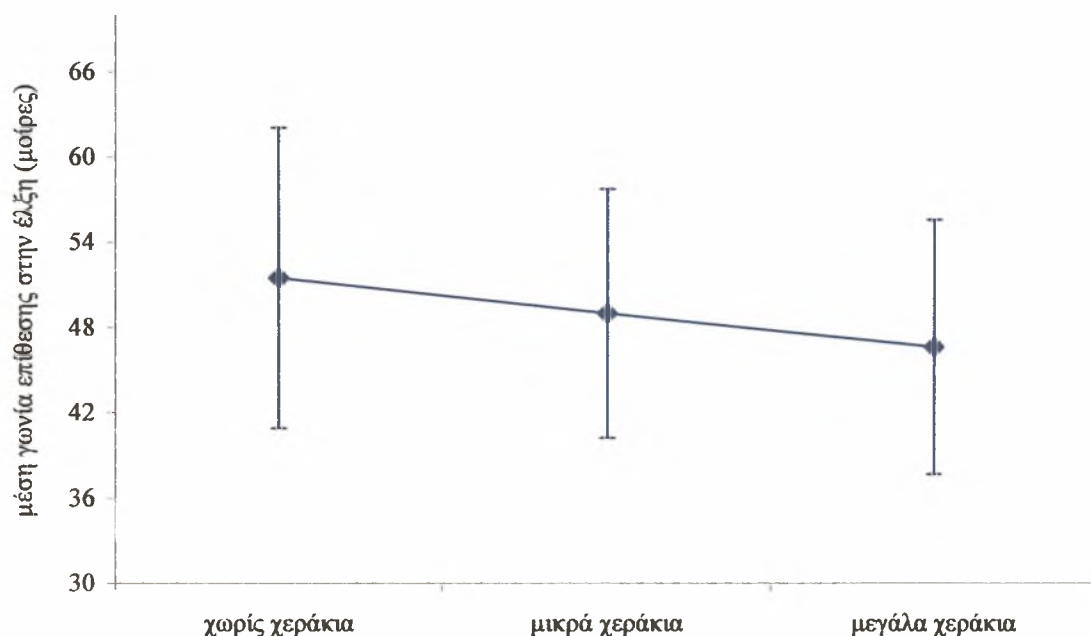
Σχήμα 55: Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στο γλίστρημα κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

Πίνακας 30. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στο γλίστρημα (μοίρες)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
8.963 ± 5.233	7.487 ± 7.154	6.768 ± 4.262	0.795

4.22 Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην έλξη

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 29, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=2.951, p>0.05$), στη μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην έλξη (Σχήμα 56 και Πίνακας 31).



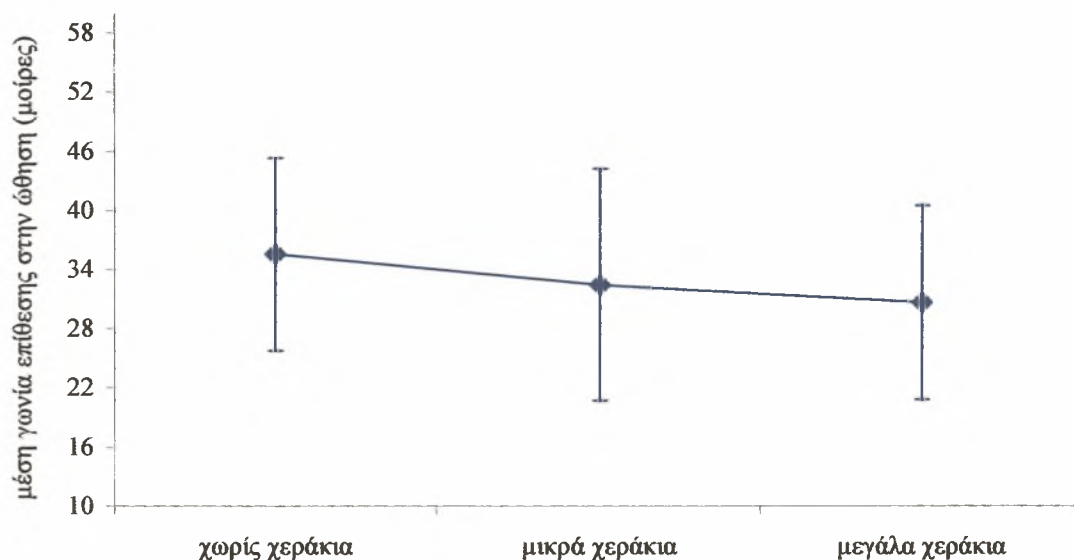
Σχήμα 56: Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην έλξη κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

Πίνακας 31. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην έλξη (μοίρες)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
51.49 ± 10.59	48.99 ± 8.773	46.64 ± 8.962	2.951

4.23 Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην ώθηση

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 30, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=2.218, p>0.05$), στη μέση γωνία επίθεσης του χεριού, στην ώθηση (Σχήμα 57 και Πίνακας 32).



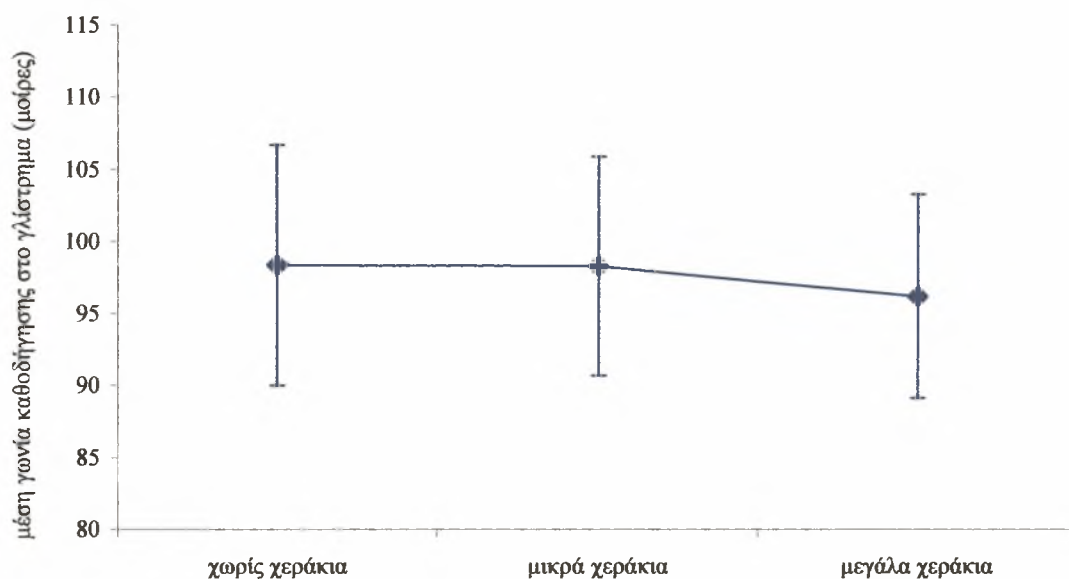
Σχήμα 57: Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην ώθηση κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

Πίνακας 32. Μέση γωνία επίθεσης του χεριού στην ώθηση (μοίρες)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
35.57 ± 9.77	32.48 ± 11.79	30.70 ± 9.88	2.218

4.24 Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στο γλίστρημα

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 31, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=0.813$, $p>0.05$), στη μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού κατά τη διάρκεια του γλίστρηματος (Σχήμα 58 και Πίνακας 33).



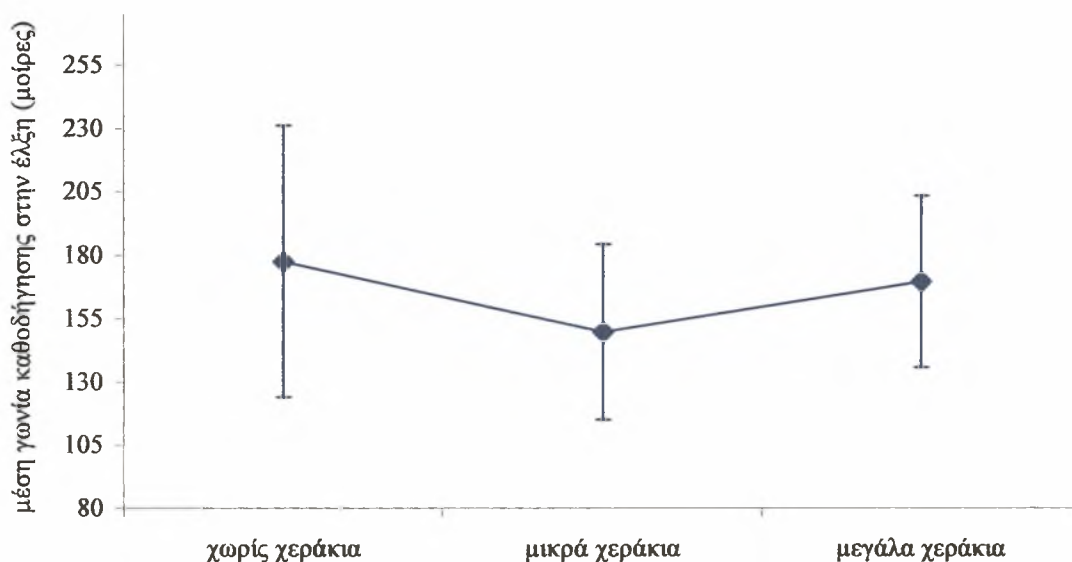
Σχήμα 58: Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στο γλίστρημα κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

Πίνακας 33. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στο γλίστρημα (μοίρες)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
98.35 ± 8.33	98.32 ± 7.58	96.25 ± 7.09	0.813

4.25 Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην έλξη

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), έγινε αποδεκτή η μηδενική υπόθεση αριθμός 32, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=3.338$, $p>0.05$), στη μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού, στην έλξη (Σχήμα 59 και Πίνακας 34).



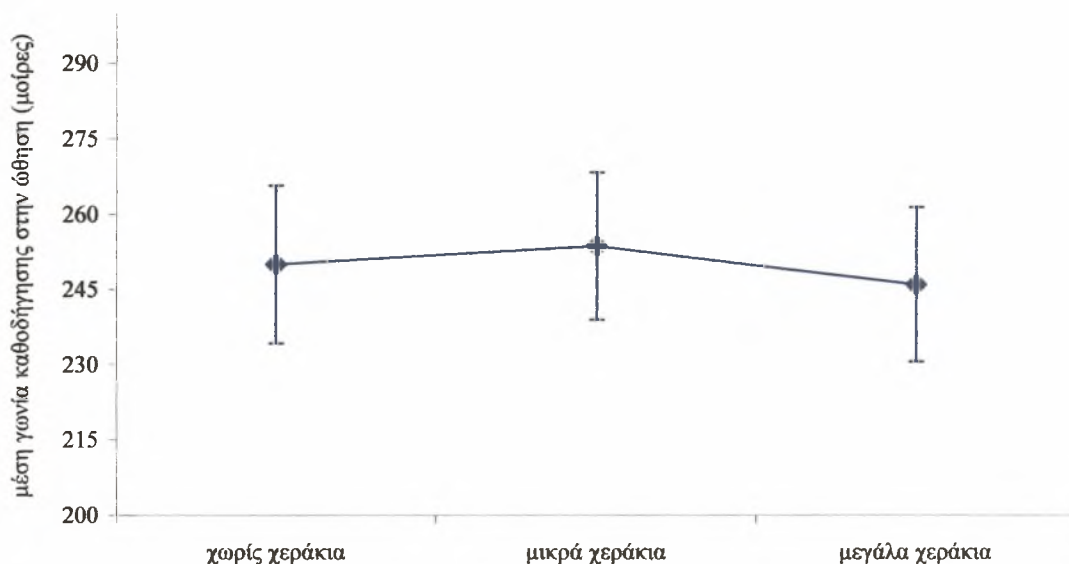
Σχήμα 59: Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην έλξη κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

Πίνακας 34. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην έλξη (μοίρες)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	F τιμή
177.6 ± 53.53	149.92 ± 34.74	169.81 ± 33.91	3.338

4.26 Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην ώθηση

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για εξαρτημένες μετρήσεις ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα (ANOVA Repeated Measures), απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση αριθμός 33, αφού δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «συνθήκη μέτρησης» ($F_{(2,18)}=1.227$, $p>0.05$), στη μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού, στην ώθηση (Σχήμα 60 και Πίνακας 35).



Σχήμα 60: Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην ώθηση κατά την κολύμβηση χωρίς χεράκια, με μικρά κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

Πίνακας 35. Μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού στην ώθηση (μοίρες)

Χωρίς κολυμβητικά χεράκια	Μικρά κολυμβητικά χεράκια	Μεγάλα κολυμβητικά χεράκια	<i>F</i> τιμή
250.02 ± 15.72	253.73 ± 14.67	246.09 ± 15.39	1.227

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα μπορούν να διαχωριστούν, για καθαρά πρακτικούς λόγους σε τέσσερις κατηγορίες. Σ' αυτά που αφορούν:

- το μήκος χεριάς, τη συχνότητα χεριάς και τη μέση κολυμβητική ταχύτητα,
- τη χρονική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της υποβρύχιας έλξης του χεριού,
- τη μετατόπιση του χεριού στις επιμέρους φάσεις της υποβρύχιας έλξης,
- τις επιμέρους ταχύτητες που αναπτύσσονται από το χέρι κατά τη διάρκεια της έλξης, και
- τις γωνίες επίθεσης (pitch angle) και καθοδήγησης (sweepback angle) του χεριού στις επιμέρους φάσεις.

Μήκος χεριάς, συχνότητα χεριάς και μέση κολυμβητική ταχύτητα

Η κολυμβητική ταχύτητα (v) είναι το γινόμενο του μήκους χεριάς (SL) και της συχνότητας χεριάς (SR): $v = SL \times SR$ (Craig & Pendergast, 1979). Ως εκ τούτου, με δεδομένη σταθερή ταχύτητα, οποιαδήποτε αλλαγή της συχνότητας (SR) θα επιφέρει ένα αντίστροφο μήκος χεριάς (SL) όπως έχει παρατηρηθεί από πολλές μελέτες (Wakayoshi, Acquisto, Cappaert & Troup, 1995; Keskinen, Tilli & Komi, 1989; Craig & Pendergast, 1979). Στη παρούσα μελέτη εντούτοις, διαφοροποιήθηκε η κολυμβητική ταχύτητα κι αυτό ήταν αποτέλεσμα κυρίως της μεταβολής του μήκους χεριάς. Παρατηρήθηκε, ότι κατά τη κολύμβηση με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια διαφοροποιήθηκε στατιστικά σημαντικά τόσο το μήκος όσο και η συχνότητα χεριάς. Το μήκος χεριάς αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά κατά 13%, ενώ η συχνότητα χεριάς μειώθηκε κατά 9.3%. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν να αυξηθεί η μέση κολυμβητική ταχύτητα στατιστικά σημαντικά (2.6%). Με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια ωστόσο, η συχνότητα χεριάς μειώθηκε μόλις 4% ενώ η μέση κολυμβητική ταχύτητα αυξήθηκε κατά 1.9%, χωρίς ωστόσο αυτή η αύξηση να είναι στατιστικά σημαντική, παρόλο που το μήκος χεριάς αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά κατά 6%. Ο Maglisco (2003) τόνισε, ότι χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια, βελτιώσεις της ταχύτητας της ελεύθερης κολύμβησης παρατηρούνται μόνο, όταν οι κολυμβητές είναι ικανοί να διατηρήσουν ή να αυξήσουν τη συχνότητα της χεριάς τους. Από τα ευρήματα

της παρούσας μελέτης ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια η συχνότητα έλξης των κολυμβητριών μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό εν αντιθέσει με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια που μειώθηκε ελάχιστα. Συνεπώς, προκύπτει έντονα το στοιχείο της αμφισβήτησης της αποτελεσματικότητας της συγκεκριμένης μεθόδου προπόνησης, όταν τα κολυμβητικά χεράκια που χρησιμοποιούνται κατά κόρον από τους προπονητές είναι αυθαίρετης επιλογής ως προς το μέγεθος τους.

Κατά τη διάρκεια της κολύμβησης με κολυμβητικά χεράκια οι κολυμβητές μπορούν να ωθήσουν μεγαλύτερη ποσότητα νερού λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας προώθησης και γι' αυτόν τον λόγο παρατηρούνται και στη παρούσα έρευνα οι διαφοροποιήσεις του μήκους και της συχνότητας χεριάς. Σύμφωνα με τους Toussaint, Janssen & Kluit (1991, 1989) η αύξηση της επιφάνειας προώθησης, με κολυμβητικά χεράκια, οδηγεί σε αύξηση της αποδοτικότητας των προωθητικών φάσεων της υποβρύχιας έλξης με αποτέλεσμα την αύξηση της κολυμβητικής ταχύτητας και παράλληλη αύξηση του μήκους χεριάς κατά 17%. Σε ανάλογο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Payton & Lauder (1995) υποστηρίζοντας (θεωρητικά – δεν παρουσίασαν δεδομένα για τη μεταβολή του μήκους της χεριάς των κολυμβητών) ότι όταν οι κολυμβητές χρησιμοποιούν κολυμβητικά χεράκια αυξάνεται το μήκος της χεριάς τους από τη στιγμή που όπως αναφέρουν και οι Kjendlie et al. (2003), το μήκος χεριάς (SL) εξαρτάται από τη παραγωγή δύναμης και από την επιφάνεια προώθησης του χεριού. Επίσης, οι Gourgoulis et al. 2006, παρατήρησαν, ότι με σταθερή συχνότητα χεριάς η μέση κολυμβητική ταχύτητα αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια κατά 6%, και με τα μικρά 3.7%

Οι Keskinen et al. (1989) τόνισαν ότι το μήκος χεριάς (SL) συσχετίζεται σημαντικά ($r = 0,59$) με την απόδοση (v) σε υψηλές ταχύτητες ενώ οι Wakayoshi et al. (1995) παρατήρησαν ότι οι κολυμβητές υψηλών επιδόσεων, έχουν μεγαλύτερο μήκος χεριάς (SL) από κολυμβητές χαμηλότερων επιδόσεων σε σταθερή (δεδομένη) υπομέγιστη ταχύτητα. Οι Wakayoshi, Yoshida, Ikuta, Mutoh και Miyashita (1993) συμπέραναν από τα ευρήματα της μελέτης τους ότι η αύξηση της μέγιστης ταχύτητας σχετίζεται κυρίως με την αύξηση του μήκους χεριάς (SL), παρά με την αύξηση της συχνότητάς της (SR). Έχει αποδειχθεί επίσης σε αρκετές μελέτες (Ahlemann, 1981; Pelayo, Wille, Sidney, Berthoin & Lavoie, 1997; Kjendlie, Stallman & Stray-Gundersen, 2003) ότι η αύξηση της μέγιστης ταχύτητας από την προεφηβική ηλικία (περίπου των 11 ετών) σχετίζεται με την αύξηση του μήκους χεριάς (SL) ενώ η συχνότητα χεριάς (SR) δεν αυξάνεται με την ηλικία.

Σύμφωνα με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, η συχνότητα χεριάς των κολυμβητριών χωρίς κολυμβητικά χεράκια ήταν 0.791cycles/sec (47.46cycles/min), ενώ

μειώθηκε στους 0.761cycles/sec (45.66cycles/min) και 0.718cycles/sec (43.08cycles/min) με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, αντίστοιχα. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι οι Pelayo, Sidney, Kherif, Chollet & Tourny (1996) παρουσίασαν συχνότητα χεριάς 303 κολυμβητών και 325 κολυμβητριών εθνικών πρωταθλημάτων (της Ευρώπης) τη τελευταία πενταετία στο αγώνισμα των 50m, 57.61cycles/min και 56.39cycles/min, αντίστοιχα, ενώ η συχνότητα χεριάς 88 κολυμβητών και 85 κολυμβητριών με διακρίσεις στους Ολυμπιακούς Αγώνες ήταν 59.58cycles/min και 56.92cycles/min αντίστοιχα. Η συχνότητα χεριάς που ανέφεραν οι Chollet et al. (2000) για υψηλού επιπέδου κολυμβητές (βάση επίδοσης) στο αγώνισμα των 50m, ήταν 54cycles/min ενώ η μέση συχνότητα χεριάς κολυμβητών υψηλού, μέσου και χαμηλότερου επιπέδου μειώθηκε σε 51.8 cycles/min (το δείγμα της μελέτης του Chollet et al. 2000, ήταν κατά μεγαλύτερο ποσοστό άνδρες).

Οι Carpaert, Pease & Troup (1995), διαπίστωσαν, ότι πέντε κολυμβητές που συμμετείχαν στον τελικό των 100 μέτρων στους Ολυμπιακούς Αγώνες της Βαρκελώνης (1992) είχαν μικρότερη συχνότητα χεριάς από επτά κολυμβητές των προκριματικών που δεν προκρίθηκαν στον τελικό. Οι πρώτοι, είχαν συχνότητα χεριάς 49.2cycles/min ενώ οι δεύτεροι 54.6cycles/min, πρέπει να αναφερθεί όμως, ότι οι πέντε κολυμβητές είχαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερο μήκος χεριάς. Οι παραπάνω ερευνητές, παρατήρησαν μέσω των ευρημάτων τους, ότι οι πέντε πολύ υψηλού επιπέδου κολυμβητές παρήγαγαν παρόμοιες ή ακόμα και λίγο χαμηλότερες τιμές συνισταμένης προωθητικής δύναμης από τους επτά κολυμβητές, αλλά την ανέπτυξαν πιο αποτελεσματικά. Η προωθητική αποδοτικότητα των πέντε κολυμβητών ήταν υψηλότερη κατά τη διάρκεια της συνολικής έλξης και στατιστικά υψηλότερη κατά τη διάρκεια της φάσης της έλξης προς τα μέσα. Κατά συνέπεια, διαπιστώνεται ότι οι πολύ υψηλού επιπέδου κολυμβητές δεν αναπτύσσουν μεγαλύτερες προωθητικές δυνάμεις από τους υπόλοιπους, για να κολυμπήσουν γρηγορότερα, αλλά χρησιμοποιούν τις προωθητικές δυνάμεις πιο αποτελεσματικά, παρουσιάζουν συμμετρικό ρολλάρισμα του σώματός τους που μειώνει τις αντιστάσεις και φαίνεται να έχουν σημαντικά χαμηλότερη παλινδρομική πλευρική κίνηση των κάτω άκρων τους, αυξάνοντας έτσι την υδροδυναμική τους.

Οι Ogita, Onodera & Tabata (1999), ανέφεραν, ότι η ικανότητα των κολυμβητών να κολυμπούν πιο γρήγορα με κολυμβητικά χεράκια πιθανότατα οφείλεται στην υψηλότερη προωθητική αποδοτικότητα. Δεδομένου ότι η προωθητική αποδοτικότητα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της κολυμβητικής απόδοσης (Toussaint et al. 1988), δεν αποτελεί έκπληξη ότι προηγούμενες μελέτες (Toussaint et al. 1983, Sidney, Falgairette, Fustier, Morlon & Ria, 1988) έχουν δείξει ότι οι πολύ υψηλού επιπέδου κολυμβητές έχουν

και σημαντικά μεγαλύτερη επιφάνεια χεριού, απ' ότι οι "χαμηλότερου επιπέδου" κολυμβητές.

Χρονική διάρκεια των επιμέρους φάσεων

Αναφορικά με τη χρονική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της υποβρύχιας έλξης του χεριού διαπιστώθηκε αύξηση της συνολικής διάρκειας της υποβρύχιας έλξης του χεριού τόσο με μικρά (116cm^2) όσο και με μεγάλα (268cm^2) κολυμβητικά χεράκια, συγκριτικά με τη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού κατά την κολύμβηση χωρίς κολυμβητικά χεράκια. Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση μεταξύ της έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της έλξης με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια (0.950sec και 1.038sec, αντίστοιχα), όπως και μεταξύ της έλξης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση δεν παρατηρήθηκε όμως μεταξύ της έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της έλξης με μικρά κολυμβητικά χεράκια (0.950sec και 0.955sec, αντίστοιχα) αφού το ποσοστό αύξησης ήταν πάρα πολύ μικρό και επομένως μη στατιστικά σημαντικό.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η έλξη με κολυμβητικά χεράκια αυξάνει σημαντικά το συνολικό χρόνο της υποβρύχιας έλξης της χεριάς. Οι Payton και Lauder (1995), ανέφεραν, ότι παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη διάρκεια της υποβρύχιας έλξης του χεριού μεταξύ της κίνησης με και χωρίς κολυμβητικά χεράκια (0.95sec και 0.78sec, αντίστοιχα). Πρέπει να σημειωθεί, ότι τα χεράκια που χρησιμοποίησαν οι παραπάνω ερευνητές είχαν μέγεθος 480cm^2 , κάτι που σημαίνει, ότι η επιφάνεια τους ήταν 2.67 φορές μεγαλύτερη από την επιφάνεια του χεριού των κολυμβητών, κι εκεί ακριβώς αποδίδουν οι ερευνητές τη διαφοροποίηση του συνολικού χρόνου έλξης που είχαν μεταξύ τους οι δύο κινήσεις.

Οι Stoner και Luedtke (1980), χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια μικρότερου μεγέθους ($222\text{cm}^2 - 250\text{cm}^2$), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μολονότι η κίνηση με κολυμβητικά χεράκια αυξάνει σημαντικά το συνολικό χρόνο έλξης, δεν μεταβάλλει σημαντικά το "πρότυπο" της κίνησης. Οι Monteil και Rouard (1994), συμφώνησαν με τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνητών παρατηρώντας ότι με κολυμβητικά χεράκια μεσαίου μεγέθους (264cm^2) αυξάνεται η διάρκεια της συνολικής έλξης. Οι ίδιοι ερευνητές, με προγενέστερη μελέτη τους (Monteil & Rouard, 1990) είχαν διαπιστώσει ότι ο συνολικός χρόνος έλξης με κολυμβητικά χεράκια (χρησιμοποίησαν τριών ειδών κολυμβητικά χεράκια, μεγέθους: 96cm^2 , 224cm^2 και 374cm^2) αυξάνεται σε σχέση με τον συνολικό χρόνο έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια από 1.59sec σε 1.72sec (μέσος χρόνος

έλξης και των τριών μεγεθών) επειδή, όπως εξήγησαν, αυξάνεται η αντίσταση του νερού, που ασκείται στο χέρι των κολυμβητών.

Οι Gourgoulis et al. (2006) αντίθετα, διατηρώντας σταθερή συχνότητα έλξης, παρατήρησαν ότι ο συνολικός χρόνος της υποβρύχιας έλξης του χεριού δεν διαφοροποιήθηκε με κολυμβητικά χεράκια μικρού (116cm^2) και μεγάλου (311cm^2) μεγέθους, όπως δεν διαφοροποιήθηκε και η σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων. Το συγκεκριμένο εύρημα αποδίδεται στη σταθερή συχνότητα χεριάς που διατηρούσαν οι κολυμβητές στις επιμέρους μετρήσεις.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, κατά την κολύμβηση με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, προκύπτει αύξηση της διάρκειας του γλιστρήματος, της έλξης και της ώθησης κατά 15%, 14.8% και 3.4% με, αντίστοιχα, σε σχέση με τη διάρκεια των αντίστοιχων επιμέρους φάσεων, χωρίς κολυμβητικά χεράκια. Στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση παρατηρήθηκε ωστόσο, μόνο κατά τη διάρκεια του γλιστρήματος. Πρέπει να σημειωθεί, ότι στις αντίστοιχες φάσεις της υποβρύχιας έλξης, δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές αλλά ούτε και στο ελάχιστο ποσοστιαίες μεταξύ της κίνησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της κίνησης με μικρά κολυμβητικά χεράκια, αφού οι διαφοροποιήσεις ήταν από ελάχιστες έως μηδαμινές. Οι Payton και Lauder (1995), ανέφεραν ότι οι κολυμβητές "ξόδευαν" αναλογικά περισσότερο χρόνο στη φάση έλξης προς τα κάτω (downsweep) και στη φάση ώθησης (upsweep) και συνεπώς αναλογικά λιγότερο χρόνο στη φάση έλξης προς τα μέσα (insweep) με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια που χρησιμοποίησαν στη μελέτη τους. Αυτή η παρατήρηση, καθώς και τα ευρήματα της παρούσας έρευνας ήρθαν σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των Monteil και Rouard (1994), που διαπίστωσαν ότι η κίνηση με κολυμβητικά χεράκια δεν μεταβάλλει τις σχετικές διάρκειες των επιμέρους φάσεων στην ελεύθερη κολύμβηση.

Όσον αφορά τη διάρκεια της επαναφοράς του χεριού μετά την ολοκλήρωση της υποβρύχιας έλξης του μέχρι την έναρξη του νέου κύκλου, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση κατά 11.8% με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια σε σχέση με την επαναφορά χωρίς κολυμβητικά χεράκια. Αντίθετα, με μικρά κολυμβητικά χεράκια η αύξηση της διάρκειας επαναφοράς δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Αξιοσημείωτο είναι, πως δεν έχουμε ενδεικτικές τιμές διάρκειας της επαναφοράς του χεριού από άλλες μελέτες, για να αξιολογηθούν και να συγκριθούν με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης. Ωστόσο, οι Sidney et al. (2002) παρουσίασαν τις μεταβολές της κάθε φάσης της χεριάς με κολυμβητικά χεράκια, ποσοστιαία όμως και όχι απόλυτες τιμές και διαπίστωσαν ότι η επαναφορά του χεριού ενώ αποτέλεσε το 22% της συνολικής έλξης χωρίς κολυμβητικά

χεράκια το ποσοστό της επαναφοράς στη συνολική έλξη χρησιμοποιώντας κολυμβητικά χεράκια, μειώθηκε στο 21%. Στην παραπάνω μελέτη όμως, η συχνότητα χεριάς ήταν σταθερή και προκαθορισμένη.

Στη παρούσα έρευνα, τα χρονικά όρια των υποβρυχίων φάσεων καθορίστηκαν με βάση τον επιμήκη άξονα. Η πρώτη φάση της υποβρύχιας έλξης, η φάση του γλιστρήματος, ορίστηκε από την είσοδο του χεριού στο νερό έως τη μέγιστη μετατόπισή του στον προσθιοπίσθιο άξονα. Το τέλος του γλιστρήματος, σηματοδοτούσε ουσιαστικά την αρχή της έλξης που ολοκληρώνονταν στο σημείο "ταύτισης" του μέσου (μεταξύ της 2^{ης} και 5^{ης} ΜΚΑ) της παλάμης με την άρθρωση του ώμου στον επιμήκη άξονα. Η φάση της ώθησης που ξεκινούσε από εκείνο ακριβώς το σημείο ολοκληρώνονταν με την έξοδο του χεριού από το νερό. Στη μελέτη των Payton και Lauder (1995), ο διαχωρισμός των επιμέρους φάσεων της υποβρύχιας έλξης καθορίστηκε με βάση τις μέγιστες κι ελάχιστες τιμές της κίνησης του χεριού που εμφανίζονταν στο εγκάρσιο επίπεδο (x-z), ενώ στην έρευνα των Monteil και Rouard (1994), οι τέσσερις υποβρυχίες φάσεις καθορίστηκαν βάση των επιλεγμένων γωνιών του βραχίονα και του κορμού που εμφανίζονταν πλευρικά (y-z). Ο διαφορετικός διαχωρισμός της υποβρύχιας έλξης σε επιμέρους φάσεις όπως αναφέρθηκε στις παραπάνω μελέτες, δημιουργεί μια άμεση δυσκολία στη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ τους κι αυτό μπορεί να εξηγήσει ως έναν βαθμό, τα διαφορετικά συμπεράσματα που συνάγονται σχετικά με την επίδραση που έχουν τα κολυμβητικά χεράκια στα κινηματικά χαρακτηριστικά της χεριάς των κολυμβητών.

Στη παρούσα μελέτη, η διάρκεια της προωθητικής φάσης της υποβρύχιας έλξης (έλξη και ώθηση, αθροιστικά) μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης αυξήθηκε, αλλά όχι στατιστικά σημαντικά, ενώ όσον αφορά τη διάρκεια της μη προωθητικής φάσης (δηλαδή, γλιστρήματος και επαναφοράς αθροιστικά), διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση μεταξύ της κίνησης χωρίς και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, όπως και μεταξύ της κίνησης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η διάρκεια της μετατόπισης του χεριού μεταξύ της κίνησης χωρίς και με μικρά κολυμβητικά χεράκια, τόσο στις προωθητικές φάσεις όσο και στις μη προωθητικές φάσεις της υποβρύχιας έλξης αυξήθηκε ελάχιστα.

Στατιστικά σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε στη διάρκεια της συνολικής έλξης (υποβρύχια έλξη και φάση επαναφοράς, αθροιστικά) μεταξύ της κίνησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια όπως και μεταξύ της κίνησης με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Η στατιστικά σημαντική αύξηση που διαπιστώθηκε μεταξύ των κινήσεων πιθανότατα οφείλεται στη μεγάλη αύξηση που

παρατηρήθηκε στη διάρκεια του γλιστρήματος και τη διάρκεια της έλξης, που κυμάνθηκε από 13 έως 15% περίπου όπως και στη διάρκεια της επαναφοράς που η αύξηση έφτασε το 11 με 12%. Κατά την κίνηση με μικρά κολυμβητικά χεράκια, δεν παρουσιάστηκε υψηλή (στατιστική) διαφοροποίηση.

Στατιστικά σημαντικές διαφορές δεν παρουσιάστηκαν επίσης και στη σχετική διάρκεια των επιμέρους φάσεων της συνολικής έλξης του χεριού. Η διάρκεια του γλιστρήματος, της έλξης, της ώθησης και της επαναφοράς του χεριού αποτέλεσαν το 33.3%, 17.7%, 22.9% και 26,1% της συνολικής έλξης, αντίστοιχα, για τη κίνηση χωρίς κολυμβητικά χεράκια, ενώ με τα μικρά και τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια τα παραπάνω ποσοστά διαφοροποιήθηκαν ελάχιστα. Πιο συγκεκριμένα, τα ποσοστά των επιμέρους φάσεων κυμάνθηκαν στο 32.5% και 35% για το γλίστρημα, 17.5% και 17% για την έλξη, 22.5% και 21.5% για την ώθηση, και 27.5% και 26.5% για την επαναφορά, αντίστοιχα.

Έρχεται σε αντίθεση με τη παρούσα μελέτη η έρευνα των Sidney et al.(2002), που διαπίστωσαν ότι η σχετική διάρκεια της φάσης της ώθησης αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά όταν οι κολυμβητές χρησιμοποίησαν κολυμβητικά χεράκια. Οι Payton και Lauder (1995), κατέληξαν σε παρόμοιο συμπέρασμα με τους παραπάνω ερευνητές, αφού η σχετική διάρκεια της φάσης της ώθησης στη δική τους μελέτη αυξήθηκε από 32% σε 34% του συνολικού χρόνου της υποβρύχιας έλξης του χεριού.

Οι Chollet, Chalies και Chatard (2000), παρουσίασαν ενδεικτικές τιμές σε ποσοστιαία βάση των επιμέρους φάσεων της συνολικής έλξης κολυμβητών τριών κατηγοριών ανάλογα με την απόσταση την οποία κολυμπούσαν (800m, 100m και 50m) και το επίπεδο τους (τριών επιπέδων, βάση επιδόσεων). Τα ποσοστά των επιμέρους φάσεων για τους κολυμβητές υψηλού επιπέδου των 50 μέτρων, κυμάνθηκαν στο 22.1%, 26.7%, 26.3% και 24.9%. Ο μέσος όρος των επιμέρους φάσεων των αθλητών όλων των επιπέδων αυξήθηκε στο γλίστρημα (24.5%) και την επαναφορά (26.3%) ενώ μειώθηκε στις υπόλοιπες φάσεις (24.5% και 24.5%, αντίστοιχα). Για τους κολυμβητές των 800 και 100 μέτρων, τα ποσοστά των επιμέρους φάσεων κυμάνθηκαν στο 31.9% και 27.1%, 20.6% και 22.6%, 22.5% και 23.9%, και 25% και 26.4%, για το γλίστρημα, την έλξη, την ώθηση και την επαναφορά του χεριού, αντίστοιχα. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, ότι στη μελέτη των Chollet et al. (2000), συμμετείχαν κατά πλειοψηφία άνδρες κολυμβητές, οι αποστάσεις που διένυσαν για τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης ήταν μεγαλύτερες απ' ότι της παρούσας μελέτης, καθώς επίσης, και ο διαχωρισμός των φάσεων της συνολικής έλξης πραγματοποιήθηκε ποιοτικά και όχι ποσοτικά (με καταγραφή των καρτέ

από εξεταστή και όχι με κινηματική ανάλυση). Συνεπώς τα συγκεκριμένα δεδομένα με τα δεδομένα της παρούσας μελέτης, δεν μπορούν να συγκριθούν με μεγάλη ασφάλεια.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρατηρήθηκε μείωση της σχετικής διάρκειας της προωθητικής φάσης από 40.6% σε 38.5% και αύξηση της μη προωθητικής φάσης από 59.3% σε 61.5% όταν οι κολυμβητές χρησιμοποιούσαν κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους. Οι Sidney et al. (2002) διατηρώντας σταθερή τη συχνότητα έλξης, κατέληξαν σε διαφορετικά συμπεράσματα από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σχετική διάρκεια τόσο της προωθητικής (έλξη και ώθηση) όσο και της μη προωθητικής φάσης (γλίστρημα και επαναφορά) μεταξύ της κίνησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της κίνησης με κολυμβητικά χεράκια. Πιο συγκεκριμένα, η σχετική διάρκεια της κίνησης του χεριού στη προωθητική φάση αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά από 46% σε 48%, ενώ στη μη προωθητική φάση μειώθηκε στατιστικά σημαντικά από 54% σε 52%, αντίστοιχα για τις δύο κινήσεις.

Πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι τα κολυμβητικά χεράκια που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα μελέτη ήταν μεγέθους 268 cm² και οι δέκα κολυμβήτριες μέσου όρου ηλικίας 18 ετών, ενώ στη μελέτη των παραπάνω ερευνητών τα κολυμβητικά χεράκια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 360cm², οι οκτώ αθλητές (χωρίς να διευκρινίζεται από τους ερευνητές το φύλο τους) μέσου όρου ηλικίας 20 ετών και το πιο σημαντικό, η συχνότητα χεριάς των κολυμβητών που συμμετείχαν στη συγκεκριμένη μελέτη δεν διαφοροποιήθηκε (με ή χωρίς κολυμβητικά χεράκια, διατηρούνταν σταθερή).

Μετατόπιση του χεριού στις επιμέρους φάσεις

Συνεχίζοντας την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας, θα γίνει αναφορά στη μετατόπιση του χεριού στις διάφορες φάσεις της υποβρύχιας έλξης.

Στη παρούσα μελέτη, το απόλυτο μήκος χεριάς (μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω, σε σχέση με το νερό) των κολυμβητών μειώθηκε στατιστικά σημαντικά τόσο με μικρά όσο και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Κατά τη διάρκεια της έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια το απόλυτο μήκος χεριάς έφτασε τα 52.3cm, κατά τη διάρκεια της έλξης με μικρά κολυμβητικά χεράκια το απόλυτο μήκος χεριάς (46.2cm) μειώθηκε στατιστικά σημαντικά, ενώ κατά τη διάρκεια της έλξης με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια το απόλυτο μήκος χεριάς μειώθηκε ακόμη περισσότερο (41.4cm), και οφείλεται στην αύξηση της επιφάνειας αντίστασης που δημιουργείται από τα κολυμβητικά χεράκια και την αύξηση της κολυμβητικής ταχύτητας.

Οι Payton και Lauder (1995), παρουσίασαν αντίστοιχα αποτελέσματα με τη παρούσα μελέτη αφού οι διαφορές στο απόλυτο μήκος χεριάς μεταξύ της κίνησης του χεριού με (0,43m) και χωρίς κολυμβητικά χεράκια (0,60m) ήταν εξίσου μεγάλες και στατιστικά σημαντικές. Οι Gourgoulis et al. (2006), παρατήρησαν ότι το απόλυτο μήκος χεριάς των κολυμβητών που χρησιμοποίησαν κολυμβητικά χεράκια μικρού και μεγάλου μεγέθους (συγκριτικά με το απόλυτο μήκος χεριάς χωρίς κολυμβητικά χεράκια) μειώθηκε στατιστικά σημαντικά (από 58cm, μειώθηκε σε 53cm και 51cm), όπως και οι Βέζος και συν. (2004), που ανέφεραν ότι με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια μειώνεται στατιστικά σημαντικά το απόλυτο μήκος χεριάς των κολυμβητριών (50.9cm με 43.1cm).

Όσον αφορά το σχετικό μήκος χεριάς (μετατόπιση του χεριού προς τα πίσω σε σχέση με το σώμα του κολυμβητή), δεν παρατηρήθηκαν στη παρούσα μελέτη στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης, αφού το σχετικό μήκος χεριάς με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια μειώθηκε ελάχιστα (132cm και 133cm, αντίστοιχα) σε σχέση με το σχετικό μήκος χεριάς που υπολογίστηκε χωρίς κολυμβητικά χεράκια (134cm). Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασαν και οι Payton και Lauder (1995), αφού υπολόγισαν ότι το σχετικό μήκος χεριάς των κολυμβητών που έλαβαν μέρος στη μελέτη τους, χωρίς κολυμβητικά χεράκια άγγιξε το 1,49m ενώ με κολυμβητικά χεράκια μειώθηκε μόλις ένα εκατοστό (1,48m).

Οι πλευρικές μετατοπίσεις του χεριού (έξι κολυμβητριών) κατά τη διάρκεια των επιμέρους φάσεων της υποβρύχιας έλξης δεν διαφοροποιήθηκαν στατιστικά σημαντικά μεταξύ των τριών συνθηκών μέτρησης. Στην πρώτη προς τα έξω κίνηση κατά τη φάση του γλιστρήματος και της έλξης (στον εγκάρσιο άξονα X) παρατηρήθηκε μείωση της μετατόπισης του χεριού κατά 25% και 17% όταν χρησιμοποιούνταν κολυμβητικά χεράκια μικρού και μεγάλου μεγέθους αντίστοιχα. Αναφορικά με τη μετατόπιση του χεριού κατά τη φάση της έλξης και της ώθησης διαπιστώθηκε μείωση της πλευρικής μετατόπισης του χεριού κατά 14% και 26.8%, για τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια αντίστοιχα, ενώ η μείωση της πλευρικής μετατόπισης του χεριού που παρατηρήθηκε με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια δεν ξεπέρασε και στις δύο προωθητικές φάσεις το 7%.

Το άθροισμα των παραπάνω πλευρικών μετατοπίσεων (δέκα κολυμβητριών) κατά τη διάρκεια των επιμέρους φάσεων της συνολικής υποβρύχιας έλξης (ανεξαρτήτου πρότυπου έλξης) με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, συγκριτικά με το άθροισμα των πλευρικών μετατοπίσεων της υποβρύχιας έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια, μειώθηκε κατά 9.3% και 15% αντίστοιχα, χωρίς ωστόσο αυτές οι διαφορές να είναι στατιστικά σημαντικές.

Οι υψηλού επιπέδου κολυμβητές, όπως αναφέρουν οι Payton και Lauder (1995), εφαρμόζουν κατάλληλα το πρότυπο των πλευρικών μετατοπίσεων στην υποβρύχια έλξη τους, έτσι ώστε να μπορούν να εκμεταλλεύονται τις δυνάμεις ανύψωσης που αναπτύσσονται, για αποτελεσματικότερη προώθηση. Οι κολυμβητές που συμμετείχαν στη μελέτη τους κατά την υποβρύχια έλξη τους χωρίς κολυμβητικά χεράκια, μετατόπισαν το χέρι τους στη φάση έλξη προς τα μέσα 34 ± 7 εκατοστά, ενώ οι Schleihau et al. (1988) ανέφερε, ότι η μετατόπιση του χεριού κολυμβητών πολύ υψηλού επιπέδου στη φάση έλξης προς τα μέσα αγγίζει τα 37.1 ± 8.1 εκατοστά.

Οι Payton και Lauder (1995), παρατήρησαν, ότι κατά τη διάρκεια της έλξης προς τα μέσα, παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της κίνησης χωρίς χεράκια και της κίνησης με κολυμβητικά χεράκια, ενώ η μέση μετατόπιση της χεριάς όταν η κίνηση γινόταν χωρίς κολυμβητικά χεράκια ήταν κατά 62% μεγαλύτερη (το πλάτος χεριάς όταν η κίνηση γινόταν χωρίς χεράκια ήταν 0,34m ενώ με χεράκια 0,21m). Στη παρούσα μελέτη, η μετατόπιση του χεριού κατά τη διάρκεια της φάσης προς τα μέσα και της ώθησης ήταν $10.1 \pm 7.7\text{cm}$ και $11.4 \pm 6.1\text{cm}$ αντίστοιχα, χωρίς κολυμβητικά χεράκια, $9.7 \pm 7.3\text{cm}$ και $10.6 \pm 6\text{cm}$, αντίστοιχα, με μικρά κολυμβητικά χεράκια, και $7.4 \pm 3.9\text{cm}$ και $9.8 \pm 5.3\text{cm}$, αντίστοιχα, με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Η μείωση που παρατηρείται, είναι αρκετά μικρότερη απ' αυτή που αναφέρουν οι Payton και Lauder (1995), οφείλεται όμως, στο διαφορετικό μέγεθος που είχαν τα κολυμβητικά χεράκια που χρησιμοποιήθηκαν στις συγκεκριμένες μελέτες. Είναι φανερό επίσης, ότι στη παρούσα έρευνα η έλξη προς τα μέσα χωρίς κολυμβητικά χεράκια είναι σχετικά πολύ μικρότερη απ' αυτή που ανέφεραν οι παραπάνω ερευνητές. Αυτό οφείλεται, στη τάση που έχει αρχίσει τα τελευταία χρόνια να αναπτύσσεται, με μείωση των κυρτών κινήσεων του χεριού μέσα στο νερό, ευθυγράμμισής του και άμεσης έλξης του προς τα πίσω.

Συνισταμένη ταχύτητα του χεριού

Η ταχύτητα κολύμβησης εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα των προωθητικών δυνάμεων που αυξάνουν τη ταχύτητα, και των δυνάμεων αντίστασης που τείνουν να επιβραδύνουν τον κολυμβητή. Ο Counsilman (1968) υποστήριξε, ότι η υποβρύχια έλξη των κολυμβητών δεν χρειάζεται να στηρίζεται μόνο στην άμεση έλξη προς τα πίσω, προκειμένου να προωθούνται αλλά και οι πλευρικές μετατοπίσεις μέσω των δυνάμεων ανύψωσης που παράγονται μπορούν επίσης να συμβάλλουν στη προωθητική δύναμη (στην προς τα εμπρός κατεύθυνση) (Schleihau, 1979). Οι Sydney et al. (2002) υποστήριξαν, ότι με κολυμβητικά χεράκια αυξάνεται η επιφάνεια προώθησης και οι

κολυμβητές μπορούν να "σπρώξουν" μεγαλύτερη μάζα νερού στην αντίθετη κατεύθυνση κίνησης και να προωθούνται περισσότερο.

Η μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στη παρούσα μελέτη (η ταχύτητα του χεριού ορίστηκε ως ο μέσος όρος της συνισταμένης των ταχυτήτων της 2^{ης} και 5^{ης} ΜΚΑ) μειώθηκε σημαντικά στις επιμέρους φάσεις της υποβρύχιας έλξης. Πιο συγκεκριμένα, η μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού στο γλίστρημα μειώθηκε στατιστικά σημαντικά κατά 8.1% με κολυμβητικά χεράκια μεγάλου μεγέθους, ενώ με μικρά κολυμβητικά χεράκια η μείωση ήταν σαφώς μικρότερη. Στη μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού κατά τη διάρκεια της έλξης παρατηρήθηκαν και οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των τριών κινήσεων. Με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μείωση κατά 23% και με τα μικρά 13.8%, σε σχέση με την έλξη χωρίς κολυμβητικά χεράκια. Κατά τη διάρκεια της ώθησης παρουσιάστηκαν εξίσου σημαντικές διαφορές με τις προηγούμενες φάσεις. Τόσο με μεγάλα όσο και με μικρά κολυμβητικά χεράκια προέκυψε στατιστικά σημαντική μείωση της τάξεως του 15.6% και 10%, αντίστοιχα.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται, ότι μεταξύ της μέγιστης ταχύτητας του χεριού στην προς τα μέσα κίνηση με και χωρίς κολυμβητικά χεράκια στον εγκάρσιο άξονα X, παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση της μέγιστης ταχύτητας του χεριού χωρίς κολυμβητικά χεράκια ($2,09\text{msec}^{-1}$) σύμφωνα με τους Payton και Lauder (1995), αφού αυξήθηκε κατά 77% σε σχέση με τη ταχύτητα κίνησης με κολυμβητικά χεράκια ($1,18\text{msec}^{-1}$). Είναι εμφανές λοιπόν, ότι όσο αυξάνεται η "επιφάνεια έλξης" του χεριού, ανάλογα, μειώνεται και η ταχύτητα του. Η ίδια διαπίστωση έγινε και στη μελέτη των Gourgoulis et al. (2006) αφού παρατηρήθηκε σημαντική μείωση μεταξύ της κίνησης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της κίνησης με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέγιστη ταχύτητα του χεριού κατά την έλξη προς τα μέσα χωρίς κολυμβητικά χεράκια ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια κατά 38%.

Οι Payton και Lauder (1995), παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της μέγιστης ταχύτητας του χεριού στην έλξη προς τα μέσα με και χωρίς κολυμβητικά χεράκια, στον επιμήκη άξονα Y, ενώ η μέγιστη ταχύτητα της έλξης του χεριού χωρίς κολυμβητικά χεράκια αυξήθηκε πάνω από 50% ($1,50\text{msec}^{-1}$) σε σχέση με τη ταχύτητα έλξης με κολυμβητικά χεράκια ($0,98\text{msec}^{-1}$). Οι Gourgoulis et al. (2006), διαπίστωσαν ότι η μέγιστη ταχύτητα του χεριού κατά την έλξη προς τα μέσα στον επιμήκη άξονα Y, παρουσίασε στατιστικά σημαντική μείωση μεταξύ της έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της έλξης με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Πρέπει να αναφερθεί, ότι η

μέγιστη ταχύτητα έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια αυξήθηκε σε σχέση με την έλξη με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια κατά 16.7% (1.82msec^{-1} με 1.56msec^{-1}). Κατά τη διάρκεια της ώθησης, οι παραπάνω ερευνητές, παρατήρησαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών συνθηκών και διαπιστώθηκε ότι μεταξύ της έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της έλξης με μικρά αλλά και με μεγάλα κολυμβητικά χεράκια παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική μείωση κατά 12.8% και 16.3% αντίστοιχα.

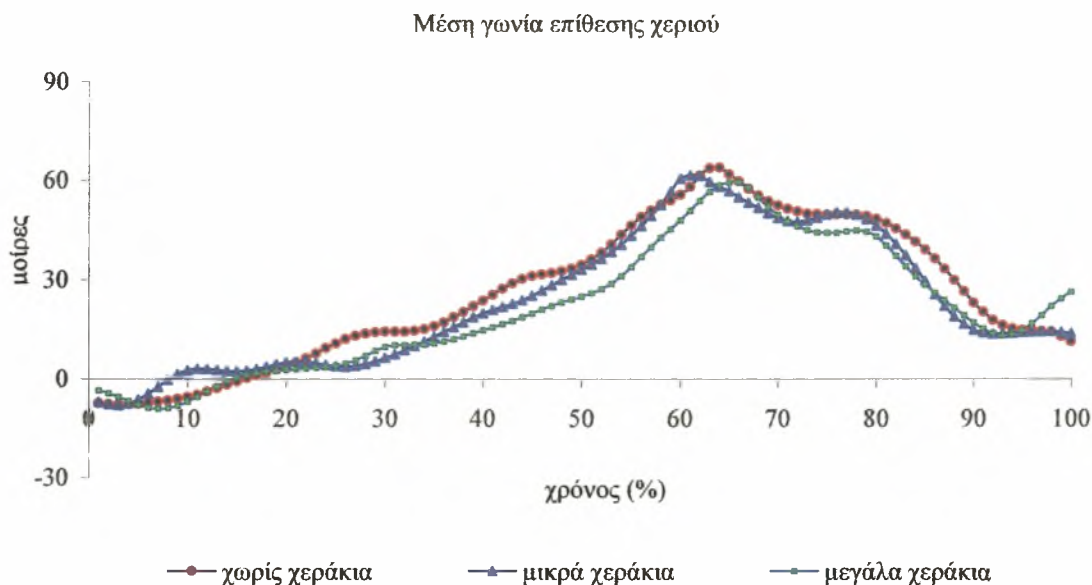
Οι Payton και Lauder (1995) ανέφεραν επίσης, ότι δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη μέγιστη πλευρική ταχύτητα του χεριού κατά τη διάρκεια της φάσης της ώθησης μεταξύ της έλξης του χεριού με και χωρίς κολυμβητικά χεράκια, ενώ η μέγιστη ταχύτητα του χεριού χωρίς κολυμβητικά χεράκια ($1,90\text{msec}^{-1}$) ήταν κατά 24% υψηλότερη από την έλξη με κολυμβητικά χεράκια ($1,53\text{msec}^{-1}$). Παρατήρησαν ακόμη, στατιστικά σημαντικές διαφορές κατά τη μέγιστη ταχύτητα του χεριού στη διάρκεια της φάσης της ώθησης μεταξύ της έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια και της έλξης με κολυμβητικά χεράκια ($1,88\text{msec}^{-1}$ με $1,19\text{msec}^{-1}$, αντίστοιχα) που ξεπέρασε το 50%.

Μέση γωνία επίθεσης και καθοδήγησης της επιμέρους φάσεις

Η μέση γωνία επίθεσης της υποβρύχιας έλξης του χεριού αθροιστικά, σε όλες τις επιμέρους φάσεις της, σχετικοποιημένες ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 61) και δείχνει να μη διαφοροποιείται σε σημαντικό βαθμό. Μεμονωμένα ωστόσο, οι επιμέρους φάσεις παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις, όχι όμως στατιστικά σημαντικές.

Στη πρώτη φάση της υποβρύχιας κίνησης του χεριού, στη φάση του γλιστρήματος, διαπιστώθηκε ότι τόσο με τα μικρά όσο και με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια υπήρξε μείωση της γωνίας επίθεσης του χεριού. Πιο συγκεκριμένα, με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια η μέση γωνία επίθεσης του χεριού κυμάνθηκε στις $7.5^\circ \pm 7.2^\circ$ ενώ με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια μειώθηκε ακόμα περισσότερο στις $6.8^\circ \pm 4.2^\circ$, συγκριτικά με την κολύμβηση χωρίς κολυμβητικά χεράκια ($9^\circ \pm 5.2^\circ$). Στη φάση της έλξης και της ώθησης οι διαφορές που παρουσιάστηκαν με και χωρίς κολυμβητικά χεράκια ήταν σαφώς μικρότερες. Η μέση γωνία επίθεσης του χεριού κατά τη διάρκεια της έλξης χωρίς κολυμβητικά χεράκια άγγιξε τις $51.5^\circ \pm 10.6^\circ$ ενώ με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια μειώθηκε στις $49^\circ \pm 8.7^\circ$ και $46.6^\circ \pm 9^\circ$, αντίστοιχα. Αναφορικά με τη μέση γωνία επίθεσης του χεριού κατά τη διάρκεια της δευτέρας προωθητικής φάσης, της φάσης της ώθησης, χωρίς κολυμβητικά χεράκια παρατηρήθηκε μέση γωνία επίθεσης $35.6^\circ \pm 9.8^\circ$,

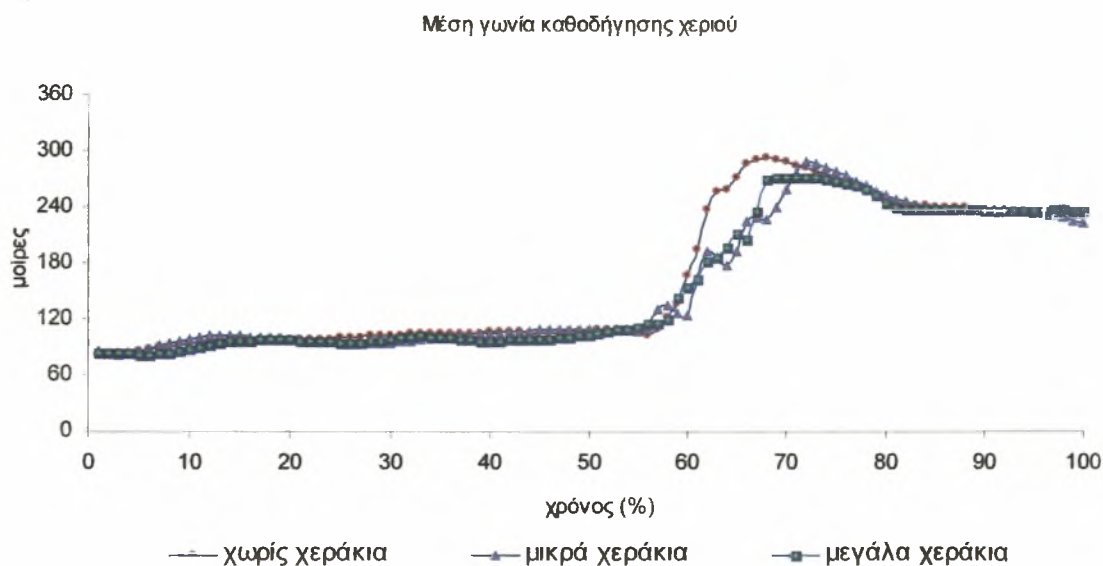
ενώ με τα μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια διαπιστώθηκε μείωση της μέσης γωνίας επίθεσης στις $32.5^\circ \pm 11.8^\circ$ και $30.7^\circ \pm 9.9^\circ$, αντίστοιχα.



Σχήμα 61: Μέση γωνία επίθεσης της υποβρύχιας έλξης του χεριού σχετικοποιημένη ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης, κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια.

Η μέση γωνία καθοδήγησης της υποβρύχιας έλξης του χεριού αθροιστικά σε όλες τις επιμέρους φάσεις όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 62), δείχνει να διαφοροποιείται στη φάση έλξης, όχι όμως σε σημαντικό βαθμό, ενώ στο γλίστρημα και στην ώθηση δεν φαίνονται οι καμπύλες να μεταβάλλονται ιδιαίτερα. Μεμονωμένα στις επιμέρους φάσεις, στη φάση του γλιστρήματος, διαπιστώθηκε ότι με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια δεν διαφοροποιήθηκε ούτε στο ελάχιστο η μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού ($98.35^\circ \pm 8.3^\circ$ χωρίς κολυμβητικά χεράκια και $98.32^\circ \pm 7.6^\circ$ με μικρά κολυμβητικά χεράκια) ενώ με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια παρατηρήθηκε ελαφρώς μεγαλύτερη μείωση της μέσης γωνίας καθοδήγησης που άγγιξε τις $96.25^\circ \pm 7.1^\circ$. Κατά τη διάρκεια της φάσης της έλξης, παρουσιάστηκε η πιο σημαντική μείωση (αλλά όχι στατιστικά σημαντική) της μέσης γωνίας καθοδήγησης του χεριού, αφού με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια η γωνία καθοδήγησης άγγιξε τις $149.9^\circ \pm 34.7^\circ$ και με τα μεγάλα τις $169.8^\circ \pm 33.9^\circ$, συγκριτικά με τη μέση γωνία καθοδήγησης του χεριού χωρίς κολυμβητικά χεράκια ($177.6^\circ \pm 53.5^\circ$). Αναφορικά με τη μέση γωνία καθοδήγησης κατά τη διάρκεια της φάσης της ώθησης παρατηρήθηκε μικρή αύξηση με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια και ελάχιστη μείωση με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια. Πιο συγκεκριμένα, χωρίς κολυμβητικά χεράκια η μέση γωνία καθοδήγησης έφτασε τις $250^\circ \pm 15.7^\circ$ ενώ με τα μικρά

και τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια κυμάνθηκε στις $253.7^{\circ} \pm 14.7^{\circ}$ και $246.1^{\circ} \pm 15.4^{\circ}$, αντίστοιχα.



Σχήμα 62: Μέση γωνία καθοδήγησης της υποβρύχιας έλξης του χεριού σχετικοποιημένη ως προς τη συνολική διάρκεια της υποβρύχιας έλξης, κατά την κολύμβηση χωρίς, με μικρά και μεγάλα κολυμβητικά χεράκια

Το γεγονός ότι οι κολυμβητές τείνουν να ευθυγραμμίσουν την υποβρύχια διαδρομή του χεριού τους κατά τη διάρκεια της έλξης αποτελεί έμμεσο στοιχείο ότι στηρίζονται στις δυνάμεις έλξης παρά στις δυνάμεις ανύψωσης (Sanders, 1998). Ο Sanders (1997a, 1997b), σε προηγούμενες μελέτες του καθόρισε τους συντελεστές έλξης και ανύψωσης με την ίδια μέθοδο που είχαν προσδιοριστεί από τον Schleihauf (1979) για να περιγράψει τη συμβολή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης στη προωθητική δύναμη με ένα μεγάλο εύρος γωνιών επίθεσης και καθοδήγησης. Διαπίστωσε, ότι όταν η γωνία επίθεσης του χεριού, σε σχέση με τη ροή του νερού, είναι κοντά στις 90 μοίρες, παράγονται και οι μεγαλύτερες δυνάμεις. Σε αυτόν τον προσανατολισμό η δύναμη οφείλεται εξ ολοκλήρου στην έλξη. Η ανύψωση έχει τη μεγαλύτερη συμμετοχή της στην συνισταμένη δύναμη με γωνίες επίθεσης κοντά στις 45 μοίρες. Όταν χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές αυτοί από κοινού με τα δεδομένα της τρισδιάστατης κινηματικής ανάλυσης για να υπολογιστούν οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στην αγωνιστική κολύμβηση, διαπιστώθηκε ότι η συμμετοχή της έλξης είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συμμετοχή της ανύψωσης κατά τη διάρκεια της προωθητικής φάσης της έλξης. Κατά τη διάρκεια της προωθητικής φάσης η γωνία επίθεσης του χεριού ήταν μεταξύ 50 και 60 μοιρών.

Αυτό σημαίνει, ότι η έλξη πραγματοποιούνταν με αυτές τις γωνίες επίθεσης του χεριού για να εκμεταλλευθεί ο κολυμβητής τις δυνάμεις έλξης. Από τα αποτελέσματα των μελετών του Sanders προκύπτει, ότι οι δυνάμεις έλξης είναι αυτές που συμβάλλουν κυρίως στη προώθηση, ενώ από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης εφόσον δεν διαφοροποιούνται σημαντικά οι γωνίες επίθεσης και καθοδήγησης του χεριού, υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις ότι ενδεχομένως τα κολυμβητικά χεράκια να μην διαφοροποιούν τη σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης στη συνισταμένη προωθητική δύναμη.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθώς αυξάνεται το μέγεθος από τα κολυμβητικά χεράκια δεν μεταβάλλονται η γωνία επίθεσης και η γωνία καθοδήγησης του χεριού στις επιμέρους φάσεις της υποβρύχιας έλξης μολονότι οι πλευρικές μετατοπίσεις του χεριού παρουσιάζουν μια τάση μείωσης. Αυξάνεται στατιστικά σημαντικά η μέση κολυμβητική ταχύτητα, η διάρκεια της υποβρύχιας αλλά και της συνολικής έλξης ενώ η μέση συνισταμένη ταχύτητα του χεριού σε όλες τις επιμέρους φάσεις της υποβρύχιας έλξης μειώνεται στατιστικά σημαντικά. Συνεπώς, όταν χρησιμοποιούνται κολυμβητικά χεράκια, η σχετική συμμετοχή των δυνάμεων έλξης και ανύψωσης ενδεχομένως παραμένει η ίδια όπως κατά την κολύμβηση χωρίς κολυμβητικά χεράκια, παρά την τάση για πιο ευθύγραμμη έλξη του χεριού προς τα πίσω, αν και σε μικρότερη απόσταση (μικρότερο απόλυτο μήκος χεριάς) ενώ η αύξηση της επιφάνειας ώθησης του χεριού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους χεριάς που συνοδεύεται όμως από ταυτόχρονη μείωση της συχνότητας χεριάς. Η συχνότητα χεριάς ωστόσο, μειώθηκε στατιστικά σημαντικά μόνο με τα μεγάλα κολυμβητικά χεράκια, κάτι που δεν παρατηρήθηκε με τα μικρά κολυμβητικά χεράκια, και σίγουρα αποτελεί στοιχείο προβληματισμού, διότι όπως αναφέρει και ο Maglischo (2003) η αποτελεσματικότητα τους κρίνεται από τη διατήρηση ή αύξηση της συχνότητας έλξης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahlemann, G. (1981). Zum entwicklungsverlauf von schwimmgeschwindigkeit zugfrequenz und zyklusweg beim sprint ueber eine dauer von 10s bei schuelern im alter von 9 bis 14 jahren. *Wiss Z. Dtsch Hochsch Korperkult Leipz*, 22, 65-72.
- Alexander, R. M. & Goldspink, G. (eds.). (1977). *Mechanics and energetics of animal locomotion*. London: Chapman and Hall.
- Barthels, K. & Adrian, M. J. (eds.). (1974). Three-dimensional spatial hand patterns of skilled butterfly swimmers. *Swimming II* (pp. 154-160). Baltimore: University Park Press.
- Berger, M. A. M., Hollander & A. P., De Groot, G. (1995). Hydrodynamic drag and lift forces on human hand, arm models. *Journal of Biomechanics*, 28(2), 125-133.
- Berger, M. A. M., de Groot, G. & Hollander, A. P. (1999). Determining propulsive forces in frontcrawl swimming. *Medicine and Science in Sports*, 29, 97-105.
- Βέζος Ν., Γούργουλης Β., Αγγελούσης Ν., Καλύβας Β., Χριστοφορίδης Χ., Μαυρομάτης Γ. (2004). Διαφοροποίηση των κινηματικών χαρακτηριστικών της υποβρύχιας έλξης του χεριού κολυμβητών και κολυμβητριών, κατά το ελεύθερο στυλ κολύμβησης, όταν χρησιμοποιούνται κολυμβητικά χεράκια διαφορετικού μεγέθους. *Αθλητική απόδοση και Υγεία*. IV, 3, 145 – 154. Τόμος IV, Τεύχος 1 – 4, 2004.
- Birrer, R. B. & Levine, R. (1987). Performance parameters in children and adolescent athletes. *Sports Medicine*, 1, 211-227.
- Bixler, B. S. (1999). The bombastic Bernoulli bandwagon: it's time to step off. *American Swimming magazine*, 4, 4-10.
- Bixler, B. S. & Riewald, S. (2002). Analysis of a swimmer's hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, 35, 713-714.
- Bollens, E. & Clarys, J. P. (1986). Front crawl training with hand paddles: a telemetric EMG investigation. In D. M. Landers (ed.), *Sport and Elite Performers* (pp. 38-42).
- Canavan, P. K., Garrett, G. E. & Armstrong, L. E. (1996). Kinematic and kinetic relationship between an Olympic-style lift and the vertical jump. *Journal of Strength and Conditioning and Research*, 10, 127-130.
- Cappaert, J., 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.

- Cappaert, J. (1992). Fluid forces on the hands and forearms. Chap. 12 in *International Center for Aquatic Research Annual: Studies By The International Center for Aquatic Research 1991-92*, edited by J. Troup, 93-98. Colorado Springs: United States Swimming Press.
- Chollet, D., Shalies, S. & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: Description and usefulness. *International Journal of Sports Medicine*. 21, 54-59.
- Costill, D., Sharp, R. & Troup, J. (1980). Muscle Strength: contributions to sprint training. *Swimming World*. 21, 29-34.
- Costill, D.L., Maglischo, E.W. & Richardson. A.B. (1992). *Swimming. Handbook of Sports Medicine and Science Swimming*. IOC Medical Commission Publications Advisory Committee. Oxford.
- Counsilman, J. E. (1968). *The science of swimming*. Englewood Cliff: Prentice-Hall.
- Counsilman, J. E. (1971). The application of Bernoulli's principle to human propulsion in water. In L. Leewillie and J. P. Clarys (Eds.), *Swimming I* (pp. 59-71). Baltimore, MD: University Park Press.
- De Groot, G. & Van Inger Schenau, G. L. (1988). Fundamental mechanics applied to swimming: technique and propelling efficiency. In B. E. Ungerechts, K. Reischle and K. Wilke (Eds.), *Swimming Science V* (pp.17-29). Champaign, IL: Human Kinetics.
- East, D. J. (1970). Swimming: An analysis of stroke frequency, stroke length and performance. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, 3, 16-27.
- Gmunder, F. (2002). Hand Paddles in Swimming,. Schwimmverein Limnat Zurich, (www.SwimmingPaddlesPaddelsimSchwimmen.htm).
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Vezos, N. & Mavromatis, G. (2006). Effect of two different sized hand paddles on front crawl stroke kinematics. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 46, 232-237.
- Hay, J.G. (1988). The status of research on the biomechanics of swimming. In B. E. Ungerechts, K. Wilke and Reischle, K. (Eds.), *Swimming V* (pp.3-14). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hollander, A. P., Groot, G. de, Ingen Schenau, G. J. van, Toussaint, H. M., Best, H. de, Peeters, W., Meulemans, A. & Schreurs, A. W. (1986). Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *Journal of Sports Science*. 4, 21-30.
- Huijing, P.A., Hollander, P.A. & De Groot, G. (1983). Efficiency and specificity of training in swimming: In A. P. Hollander, P. A. Huijing and G. De Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 1-6). Champlaign, IL: Human Kinetics.

- Kennedy, Jr, P. W., Wright, D. L. & Smith, G. A. (1989). Comparison of film and video techniques for the three-dimensional DLT repredictions. *International Journal of Sport Biomechanics*. 5, 457-460.
- Keskinen, K. L. & Komi, P. V. (1993). Stroking characteristics of front crawl swimming during exercise. *Journal of Applied Biomechanics*. 9, 219-222.
- Keskinen, K. L., Tilli, L. J. & Komi, P. (1989). Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. *Scandinavian Journal of Sports Science*, 11, 87-92.
- Kjendlie, P. L., Stallman, R. K. & Stray-Gundersen, J. (2003). Comparison of swimming techniques of children and adults swimmers. In J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 139-143). Saint-Etienne, France: Universite de Saint-Etienne.
- Lauder, M. A., Dabnichki, P. & Bartlett, R. M. (2001). Improved accuracy and reliability of sweepback angle, pitch angle and hand velocity calculations in swimming. *Journal of Biomechanics*. 34, 31-39.
- Letzelter, H. & Freitag, W. (1983). Stroke length and stroke frequency variations in men's and women's 100-m freestyle swimming. In A. P. Hollander, P. A. Huying and G. De Groot (Eds.), *Swimming IV* (pp. 315-322). Baltimore, MD: University Park Press.
- Maglischo, E.W. (2003). *Swimming fastest*. Champaign IL., Human Kinetics.
- Maglischo, C.W., Maglischo, E.W., Higgins, I., Hinrichs, R., Luedtke, D., Schleihauf R.E., & Thayer, A. (1988). A biomechanical analysis of the U.S. Olympic freestyle distance swimmers. In B.E., Ungerecht, K., Wilke, K. Reischie (Eds.), *Swimming science V* (pp351-391). Champaign, III: Human Kinetics.
- Maglischo, E.W. (1987). *Swimming Faster*. Coll. Metiers de L' Eau.
- Monteil, K. M. & Rouard, A. H. (1990). Influence of the size of the paddles in front crawl stroke. In D. Maclaren and T. A. Reilly (Eds.), *Lees. Biomechanics and Medicine in Swimming VI* (pp. 99-104). Liverpool.
- Monteil, K. M. & Rouard, A. H. (1994). Free swimming versus paddles swimming in front crawl. *Journal of Human Movement Studies*. 27, 89-99.
- Monteil, K.M. & Rouard, A.H. (1992). Influence of the size of the paddles in front crawl stroke. In D. MacLaren, T. Reilly and A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming: Swimming Science VI* (pp. 99-104). London: E and FN Spon.
- Ogita, F. & Tabata, I. (1993). Effect of hand paddles aid on oxygen uptake during arm-stroke-only swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 6, 489-493.

- Ogita, F. Onodera, T. & Tabata, I. (1999). Effects of hand paddles on anaerobic energy release during supramaximal swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31(5), 729-735.
- Pai, Y., Hay, J. & Wilson, B. D. (1984). Stroking techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Science*, 2, 225-239.
- Payton, C. J. & Bartlett, R. (1995). Estimating propulsive forces in swimming from three-dimensional kinematic data. *Journal of Sports Sciences*. 13, 447-454.
- Payton, C. J. and Lauder, M. A. (1995). The influence of hand paddles on the kinematics of front crawl swimming. *Journal of Human Movement Studies*. 28, 176-192.
- Pelayo, P., Wille, F., Sidney, M., Berthoin, S. & Lavoie, J. M. (1997). Swimming performances and stroking parameters in non skilled grammar school pupils: relation with age, gender and some anthropometric characteristics. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37, 187-193.
- Rackaham, G. W. (1975). An analysis of arm propulsion in swimming. In L. Lewillie and J. P. Clarys (Eds.), *Swimming II* (pp. 174-179). Baltimore: University Park Press.
- Reischle, K. (1979). A kinematic investigation on movement patterns in swimming with photo-optical methods. In J. Terauds, E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 127-136). Baltimore: University Park Press.
- Rushall, B. S., Sprigings, E. J., Holt, L. E. & Cappaert J. M. (1994). A re-evaluation of forces in swimming. *Journal of Swimming Resources*, 10, 6-30.
- Sanders, R.H. (1998). Lifting performance in aquatic sports. In H.I. Riehle and M.M. Vieten (Eds.) *Proceedings of the XVI International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp.25-39). Konstanz, Germany: Zabel, Radolfzell.
- Sanders, R.H. (1999). Hydrodynamic characteristics of a swimmer 's hand. *Journal of Applied Biomechanics*, 15, 3-26.
- Schleihauf, R. E. Jr. (1976). A hydrodynamic analysis of breaststroke pulling proficiency. *Swimming tech*, 100-105.
- Schleihauf, R. E. Jr. (1977). Swimming propulsion: a hydrodynamic analysis. In R. Ousley (Ed.), *A.S.C.A. convention*. Fort Lauderdale, Fla.
- Schleihauf, R.E. (1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In J. Terauds and E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 70-109). Baltimore, MD: University Park Press.
- Schleihauf, R.E. (1983). Specificity of strength training in swimming. In A. P. Hollander, P.A. Huijing, & G. de Groot (Eds.), *International Series on Sports Sciences: Vol.14. Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp.173-183). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Schleihauf, R.E. (1983). Specificity of strength training in swimming: A biomechanical viewpoint. In A.P. Hollander, P.A. Huijing and G. de Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 184–191). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Schleihauf, R.E. (1984). *The biomechanical analysis of swimming propulsion in the sprint front crawl stroke*. Unpublished Doctoral Dissertation, Columbia University, Columbia, NY.
- Schleihauf, R.E. (1974). A biomechanical analysis of freestyle. *Swimming Technique*, 11, 88-96.
- Schleihauf, R.E., Gray, L., & DeRose, J. (1983). Three-dimensional analysis of hand propulsion in the sprint front crawl stroke. In A. P. Hollander, P.A. Huijing, & G. de Groot (Eds.), *International Series on Sports Sciences: Vol.14. Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp.173-183). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schleihauf, R.E., Higgins, J.R., Hinricks, R., Luedtke, D., Maglisco, C.W., Maglisco, E.W., & Thayer, A. (1988). Propulsive techniques: front crawl stroke, butterfly, backstroke, and breaststroke. In B. Ungerecht, K. Wilke, & K. Reischle, (Eds.), *International Series on Sports Sciences: Vol. 18. Swimming Science V.* (pp. 53-60). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Sharp, R.L., Costill, D.L., King, D.S. (1983). Power characteristics of swimmers at the 1982 US senior national long course swimming championships. *Journal of Swimming Research*. 2(2), 5-10.
- Sharp, R.L., Troup, J.P., Costill, D.L. (1982). Relationship between power and sprint freestyle swimming. *Med. Sci. Sports Exercise*. 14, 53-56.
- Sidney, M., Falgairette, G., Fustier, B., Morlon, B. & Ria, B.(1988). Biomechanic analysis of swimming performance. In G. De Groot (Eds.), *International series on Biomechanics* (pp. 844-847). Illinois: Champaign,: Human Kinetics
- Sidney, M., Pelayo, P., Paillette, S., Hespel, J. M. & Chollet, D. (2001). Effect of Swim Paddles on the Intra-Cyclic Velocity Variations and on the Arm Coordination of Front Crawl Stroke. <http://coachesinfo.com>.
- Stoner, L.J. & Leudtke, D.L. (1979). Variations in the front crawl and back crawl armstrokes of varsity swimmers using hand paddles. In J. Terauds and E.W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 281-288).
- Thayer, A. M. (1990). *Hand pressures as predictors of resultant and propulsive hand forces in swimming*. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Iowa, Iowa City, Iowa.
- Toussaint, H. M., van der Helm, F. C. T., Elzerman, J. R., Hollander, A. P., de Groot, G., & van Ingen Schneau, G. J. (1983). A power balance applied to swimming. In J.P. Hollander, P.A. Huijing, & G. de Groot (Eds.), *International Series on Sports*

Sciences: Vol. 14. Biomechanics and Medicine in Swimming (pp.165-172). Human Kinetics, Champaign, IL.

- Toussaint, H.M. & Beek, P.J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13(1), 8–24.
- Toussaint, H.M., Beelen, A., Rodenburg, A., Sargeant, A. J., Groot, G.D., Hollander, A.P. & Schenau, G.J.V.I. (1988). Propelling efficiency of front crawl swimming. *Journal of Applied Physiology*, 65, 2506-2512.
- Toussaint, H.M., Groot, G.D., Savelberg, H.H.C.M., Vervoorn, K., Hollander A. P., & Schenau, G.J.V.I. (1988). Active drag related to velocity in male and female swimmers. *Journal of Biomechanics*, 21, 435-438.
- Toussaint, H.M., Hollander A. P., Van de Berg, C. & Vorontsov, A. (2000). Biomechanics of swimming. In Garrett, (Ed.), *Exercise: Basic and applied science*. Philadelphia: Lippincott Williams.
- Toussaint, H.M., Janssen, T., & Kluft, M. (1991). Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 24, 205-211.
- Wakayoshi, K. D., Acquisto, L. J., Cappaert, J. M. & Troup, J. P. (1995). Relationship between oxygen up-take, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 16, 19-23.
- Wakayoshi, K., Yoshida, Y., Ikuta, Y., Mutoh, Y. & Miyashita, M. (1993). Adaptations to 6 months of aerobic swim training-changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *International Journal of Sports Medicine*, 14, 368-372.

