



Εμβιομηχανική Ανασκόπηση των Τεχνικών Τμημάτων της Αγωνιστικής Κολύμβησης
Δήμητρα Ναυπακτίτου & Θεόδωρος Πλατάνου
Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΤΕΦΑΑ

Περίληψη

Στόχος της αγωνιστικής κολύμβησης είναι να διανυθεί μία απόσταση στο λιγότερο χρόνο. Ένα αγώνισμα κολύμβησης αποτελείται από επιμέρους τεχνικά τμήματα, τα οποία είναι η εκκίνηση, η στροφή και η ελεύθερη κολύμβηση. Στη μελέτη αυτή, έγινε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικής με τα τεχνικά τμήματα της εκκίνησης και της στροφής που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια ενός αγώνα κολύμβησης, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα προπονητικά συμπεράσματα. Από την ανασκόπηση των μέχρι σήμερα ερευνών, φαίνεται ότι τα επί μέρους τεχνικά τμήματα της αγωνιστικής κολύμβησης είναι καθοριστικά για μία υψηλή συνολική επίδοση. Συγκεκριμένα, με βάση τα στοιχεία που προέρχονται από αυτή την ανασκόπηση, οι τροποποιήσεις στην τεχνική της εκκίνησης μειώνουν σημαντικά τον χρόνο του αγωνίσματος, ειδικά στα αγωνίσματα ταχύτητας. Η βέλτιστη τεχνική εκκίνησης είναι αυτή που επιτρέπει στον κολυμβητή να παράγει τη μεγαλύτερη ώθηση, χωρίς να αυξηθεί ο χρόνος ώθησης. Επίσης, σημαντικό μέρος στην αγωνιστική κολύμβηση φαίνεται ότι είναι η είσοδος και η φάση γλιστρήματος μετά την εκκίνηση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των σχετικών ερευνών, η είσοδος και η φάση γλιστρήματος-κατά τη διάρκεια της οποίας ο κολυμβητής προσπαθεί να διατηρήσει την ταχύτητά του χωρίς να κάνει κινήσεις για να προωθηθεί- αντιπροσωπεύουν τη μεγαλύτερη ταχύτητα που πετυχαίνει ο κολυμβητής κατά τη διάρκεια του αγώνα. Όσο λιγότερο ευθυγραμμισμένο είναι το σώμα του κολυμβητή σ' αυτή τη φάση, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός επιβράδυνσής του. Ακόμη, κρίσιμο για μια αποτελεσματική εκκίνηση φαίνεται ότι είναι το βέλτιστο βάθος του νερού που πρέπει να γίνεται το γλιστρημα, καθώς και ο βέλτιστος χρόνος έναρξης των δελφινισμών (υποβρύχιας ποδιάς) και με εύρος ποδιάς ανάλογο με την ταχύτητα γλιστρήματος. Όσον αφορά στις στροφές, οι βελτιωμένες δεξιότητες αποτελούν σημαντικό μέρος της συνολικής επίδοσης στην κολύμβηση. Μια επιτυχημένη στροφή είναι το αποτέλεσμα πολλών παραγόντων και απαιτεί μια περίπλοκη σειρά κινήσεων για να επιτευχθεί η βελτιστοποίησή της. Η καλύτερη τεχνική είναι αυτή που πετυχαίνει μεγιστοποίηση της απόστασης, που αποκτάται μετά το σπρώξιμο του τοίχου, και ελαχιστοποίηση της επιβράδυνσης, που προκαλείται από την υδροδυναμική αντίσταση. Για το σχεδιασμό της προπόνησης κολύμβησης, οι σχετικές πληροφορίες που προέκυψαν από αυτή την ανασκόπηση μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην εκπόνηση πιο αποτελεσματικών προπονητικών προγραμμάτων και στη βελτίωση της απόδοσης του κολυμβητή.

Λέξεις κλειδιά: *εκκίνηση, στροφή, γλιστρημα, υποβρύχια κυματοειδής κολύμβηση*

Biomechanical Review of the Technical Components of Competitive Swimming

D;imitra Nafpaktitou & Theodoros Platanou

Department of Physical Education and Sports Sciences, University of Athens, Hellas

Abstract

The goal of a competitive swimmer is to travel a given distance in the minimum amount of time. A swimming event is composed of the start, turn and free swimming technical sections. In this study, the literature review which pertains to the start and turn technical components of the race was conducted to draw useful implications for training programs. From the up- to- date literature review, it seems that these technical components of competitive swimming are determinant for the overall performance. Specifically, relying on the implications drawn from this literature review, technical modifications to the swim start signifi-

cantly reduce the swimming race time, especially in the sprints. A starting technique that allows the swimmer to generate greater impulse without increasing block time would be the most optimal technique. Furthermore, the entry and glide phase of the start seems to be a significant part of the competitive swimming. According to the results of the relevant studies, the entry and glide phase- during which the swimmer attempts to maintain speed without actions to propel the body- represents the highest velocity experienced by the swimmer during a swimming race. The less streamlined the swimmer is during this phase, the greater the deceleration rate. Moreover, the optimal depth where the glide should be performed as well as the optimum time to initiate dolphin kicks (underwater kicking) the magnitude of which is related to the glide velocity, seem to be crucial for improving starting efficiency. As far as the turns are concerned, enhanced turning skill is an important component in overall swimming performance. A successful swim turn results from a multitude of factors and requires a complex series of maneuvers to optimize maximum turning performance. An optimal outbound turning technique maximizes the distance achieved from the wall push-off by minimizing the deceleration caused by the drag force. Concerning the design of swimming training, the pertinent information gained from this review could have a significant role in the elaboration of more efficient training programs as well as the improvement of swimming performance.

Key words: *start, turn, glide, undulatory underwater swimming*

Γενική Εισαγωγή

Η επιστήμη που μελετά την κίνηση των σωμάτων μέσα στο νερό ονομάζεται υδροδυναμική. Η επιστήμη της κολύμβησης ασχολείται με τους παράγοντες, που επηρεάζουν τη γρήγορη κίνηση του ανθρώπινου σώματος μέσα στο νερό. Εμβιομηχανική είναι η επιστήμη που εφαρμόζει τους νόμους της μηχανικής στα έμβια όντα. Αντικείμενό της μπορεί να αποτελέσει και η κίνηση του ανθρώπου μέσα στο νερό. Συνεπώς, η μελέτη της προώθησης του ανθρώπου μέσα στο νερό είναι ο συνδυασμός των πεδίων της εμβιομηχανικής και της υδροδυναμικής. Κάθε συζήτηση της υδροδυναμικής του κολυμβητή απαιτεί κατανόηση των βασικών αρχών της εμβιομηχανικής (Troup, 1999).

Η εμβιομηχανική είναι στενά συνδεδεμένη με την απόδοση του κολυμβητή. Συγκεκριμένες είναι οι ανασκοπήσεις που αναφέρονται στη μηχανική της κολύμβησης και οι οποίες ασχολούνται με την ανάλυση της μηχανικής της προώθησης (Toussaint & Beek, 1992, Toussaint & Hollander, 1994, Troup, 1999, Toussaint, Hollander, Berg, & Vorontsov, 2000, Toussaint & Truijens, 2005), τους παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του κολυμβητή (Toussaint & Beek, 1992, Troup, 1999, Toussaint et al., 2000, Toussaint & Truijens, 2005), την ενεργειακή δαπάνη στην κολύμβηση (Toussaint & Hollander, 1994), την παραγωγή ενέργειας κατά την κολύμβηση (Toussaint & Hollander, 1994), την περιγραφή απλού μαθηματικού πρότυπου για το ελεύθερο (Martin, Yeater, & White, 1981), την υδροδυναμική της υποβρύχιας κυματοειδούς κολύμβησης (Connaboy, Coleman, & Sanders, 2009), τη σχέση μεταξύ κινηματικής των άκρων και του κέντρου μάζας σώματος και μεταξύ ενεργειακών παραμέτρων και κινηματικής του κολυμβητή, καθώς επίσης και την πρόβλεψη της απόδοσής του από τις ενεργειακές παραμέτρους και τα κινηματικά χαρακτηριστικά του (Barbosa et al., 2010). Μόνο σε μια ανασκόπηση προτείνονται πρακτικές εφαρμογές, οι οποίες αναφέρονται στην αύξηση της «αίσθησης» του νερού, του μήκους χεριάς, του έργου ανά χεριά και της ισχύος (Toussaint & Beek, 1992). Από όσα γνωρίζουμε, δεν υπάρχει ανασκόπηση σχετική με τα επί μέρους τεχνικά τμήματα των κολυμβητικών αγωνισμάτων.

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η ανασκόπηση των ερευνών που αναφέρονται στην εκκίνηση, στη στροφή, στο γλιστρήμα, καθώς και στις πρακτικές εφαρμογές των ευρημάτων που αφορούν στα συγκεκριμένα τεχνικά μέρη των κολυμβητικών αγωνισμάτων, ούτως ώστε να προκύψουν στοιχεία που να μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην εκπόνηση πιο αποτελεσματικών προπονητικών προγραμμάτων και στη βελτίωση των επιδόσεων του κολυμβητή.

Ανασκόπηση σχετικών ερευνών

Εκκίνηση

Οι κολυμβητές για να πετύχουν καλύτερη επίδοση πρέπει να επωφεληθούν από τα τεχνικά μέρη τα οποία απαρτίζουν τα κολυμβητικά αγωνίσματα, δηλαδή: την εκκίνηση, τη στροφή, την κολύμβηση και τον τερματισμό. Η συνεισφορά του κάθε μέρους στη συνολική απόδοση του κολυμβητή εξαρτάται από την απόσταση του αγωνίσματος. Η εκκίνηση, έχει μεγαλύτερη βαρύτητα για την επιτυχία στα αγωνίσματα ταχύτητας παρά αποστάσεων. Οι Arellano, Moreno, Martinez και Ona (1996), καθώς και οι Mason και Cossor,

(2000), υποστηρίζουν ότι η απόδοση στα 50 και 100 m είναι στενά συνδεδεμένη με την επίδοση της εκκίνησης, η οποία όπως ορίζεται από τους Alves (1993) και Arellano et al. (1996) είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από το σήμα της εκκίνησης μέχρι τη στιγμή που το κεφάλι του κολυμβητή θα φτάσει στα 10 m, ενώ σύμφωνα με τους Issurin και Verbitsky, (2002), καθώς και τους Mason και Cossor, (2000), όταν φτάσει στα 15 m. Ο χρόνος εκκίνησης (στα 15 m) έχει βρεθεί ότι είναι 0.8% - 26.1% του συνολικού χρόνου του αγώνισματος, εξαρτάται δε από το αγώνισμα (Ruschel, Araujo, Pereira, & Roesler, 2007).

Κατά την εκκίνηση διακρίνονται διάφορες φάσεις. Ο Maglischo (2003) αναφέρει ότι η εκκίνηση αποτελείται από τρεις φάσεις: τη φάση που ο κολυμβητής ωθεί το βατήρα (συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος αντίδρασης), τη φάση που είναι στον αέρα, και εκείνη που είναι κάτω από το νερό. Η φάση δε που ο κολυμβητής είναι κάτω από το νερό, σύμφωνα με τον Elipot et al. (2009), χωρίζεται στο γλιστρήμα και στην υποβρύχια προωθητική κίνηση των ποδιών, για την οποία έχει επικρατήσει ο όρος *κυματοειδής υποβρύχια κολύμβηση* (Arellano, Llana, Tella, Morales & Mercade, 2005; Loebbecke, Mittal, Mark & Hahn, 2009).

Φάση ώθησης στο βατήρα και φάση στον αέρα. Η επίδοση της εκκίνησης επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σε έρευνες που έγιναν για να εξετάσουν την επίδραση της ταχύτητας πτήσης του κολυμβητή στον αέρα, η οποία είναι συνισταμένη της οριζόντιας και κατακόρυφης δύναμης που παράγονται κατά την ώθηση των ποδιών στο βατήρα, βρέθηκε ότι η οριζόντια ταχύτητα επηρεάζει άμεσα την επίδοση της εκκίνησης (Elipot et al., 2009). Σύμφωνα δε με τις έρευνες του Arellano et al. (2005), Mason, Alcock, και Fowlie (2007) και Galbraith, Scurr, Hencken, Wood και Graham-Smith (2008), η αύξηση της οριζόντιας δύναμης είναι αυτή που οδηγεί στην καλύτερη εκκίνηση, αφού ο κολυμβητής φεύγει πιο γρήγορα από το βατήρα και με μεγαλύτερη ταχύτητα (Honda, Sinclair, Mason, & Pease, 2010). Η οριζόντια ταχύτητα, κατά τη φάση που ο κολυμβητής είναι στον αέρα, είναι στενά συνδεδεμένη ($r = 0.60$) με την ταχύτητα κατά τη φάση του γλιστρήματος (Zatsiorsky, Bulgakova, & Chaplinsky, 1979). Επιπρόσθετα, η γωνία απογείωσης, η οριζόντια και κατακόρυφη ταχύτητα της πτήσης του σώματος και η γωνία εισόδου στο νερό μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την υποβρύχια φάση της εκκίνησης, η οποία είναι συνυφασμένη με τα ατομικά χαρακτηριστικά του κολυμβητή, όπως η καλά ευθυγραμμισμένη θέση του σώματος και η τεχνική της υποβρύχιας κίνησης (Elipot et al., 2009, Holthe & McLean, 2001, Miller, Allen, & Pein, 2002, Ruschel et al., 2007). Ο Ruschel et al., (2007) σε εξέταση της σχέσης της γωνία απογείωσης, της απόστασης πτήσης, της γωνίας εισόδου στο νερό, του μέγιστου βάθους και της μέσης ταχύτητας της υποβρύχιας φάσης βρήκαν σημαντική σχέση με την επίδοση της εκκίνησης ($r = -0.482, 0.512, 0.515, -0.645$ αντίστοιχα). Σχετικά με την απόσταση πτήσης οι Cossor και Mason, (2001) αναφέρουν ότι η μεγαλύτερη απόσταση πτήσης οδηγεί σε πιο γρήγορη εκκίνηση. Επιπλέον, οι φάσεις ώθησης και πτήσης επηρεάζουν σημαντικά τις δυνάμεις αντίστασης που ασκούνται στον κολυμβητή κατά το γλιστρήμα, όπου ο κολυμβητής στοχεύει στο να διατηρήσει όσο πιο μακριά γίνεται την υπερμέγιστη ταχύτητα που απέκτησε από την ώθηση, πριν αρχίσει να επιβραδώνει και να φτάνει στη μέση ταχύτητα του αγώνισματος (Mason et al., 2007, Welcher, Hinrichs, & George, 2008).

Φάση κάτω από το νερό. Όσον αφορά στη φάση κατά την οποία ο κολυμβητής είναι κάτω από το νερό, σφαιρική ανάλυση της εκκίνησης έδειξε ότι αυτή η φάση είναι αποφασιστική για μια αποτελεσματική εκκίνηση (Clothier, MacElroy, Blansby, & Payne, 2000; Cossor & Mason, 2001; Shin & Groppe, 1986). Είναι αξιοσημείωτο ότι το 95% της διακύμανσης του χρόνου εκκίνησης αποδίδεται στο χρόνο που ο κολυμβητής είναι κάτω από το νερό (Guimaraes & Hay, 1985).

Η μελέτη του Elipot et al. (2009) έδειξε ότι κατά το πρώτο μέρος της φάσης αυτής (δηλ. του γλιστρήματος), οι κολυμβητές υψηλού επιπέδου παρουσιάζουν πολύ καλή συνεργία μεταξύ των αρθρώσεων ώμων, ισχίων και γονάτων, χάρη στην οποία μπορούν να διατηρήσουν μια καλή ευθυγραμμισμένη θέση σε όλη τη διάρκεια του γλιστρήματος. Σ' αυτό το επίπεδο των αθλητών, η υδροδυναμική αντίστασή τους μειώθηκε και η υπερμέγιστη ταχύτητα διατηρήθηκε για περισσότερο χρόνο. Έτσι, σύμφωνα με τους Marinho et al. (2009), Havriluk (2007), Vilas-Boas, Cruz, Sousa, Conceição και Carvalho, (2000), Cossor και Mason (2001), κατά τη φάση του γλιστρήματος η καλά ευθυγραμμισμένη θέση του σώματος επηρεάζει άμεσα την υδροδυναμική αντίσταση και κατά κύριο λόγο την επιτυχία της εκκίνησης. Αυτό ενισχύεται και από τα ευρήματα της μελέτης των Chatard, Lavoie, Bourgoïn, και Lacour (1990b), οι οποίοι έδειξαν ότι η παθητική αντίσταση επηρεάζεται άμεσα από την ευλυγισία των αρθρώσεων. Έχει βρεθεί ότι όταν οι κολυμβητές μπαίνουν στο νερό έχουν ταχύτητα περίπου $3.61 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$, η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να παραχθεί στο δεύτερο μέρος της φάσης κάτω από το νερό, στην υποβρύχια προώθηση (Elipot et al., 2009).

Σε μία άλλη αντίστοιχη έρευνα από τους ίδιους ερευνητές, η αποτελεσματικότητα της φάσης που ο κολυμβητής είναι κάτω από το νερό φαίνεται να εξαρτάται από τον κατάλληλο συνδυασμό μεταξύ παραγωγής προωθητικών δυνάμεων και μείωσης της υδροδυναμικής αντίστασης (Elipot, Houel, Hellard, & Dietrich, 2010). Η εστίαση του ενδιαφέροντος στον κινητικό συντονισμό των μελών του σώματος κατά την υποβρύχια κυματοειδή κολύμβηση της εκκίνησης είναι ένα μεγάλο βήμα για την κατανόηση και τη βελτιστοποίηση της

φάσης αυτής, η οποία επηρεάζεται από ένα σημαντικό παράγοντα που είναι το εύρος κίνησης των ποδιών. Οι κολυμβητές πρέπει να βρουν τον καλύτερο συνδυασμό μεταξύ συχνότητας και εύρους κίνησης των ποδιών κατά την κυματοειδή φάση, καθώς επίσης και να εστιάσουν στο συνδυασμό κινήσεων σε αυτή τη φάση (Arellano, 2008). Οι Houel, Elipot, Andrée και Hellard (2010) βρήκαν ότι οι κολυμβητές μπορούν να αυξήσουν την ταχύτητά τους αυξάνοντας τη συχνότητα των κινήσεων των ποδιών και διατηρώντας μεγάλο μέσο όρο εύρους των κινήσεων αυτών. Ο Elipot et al., (2010) υποστηρίζουν ότι οι υψηλού επιπέδου κολυμβητές έχουν συγκεκριμένο κινητικό συντονισμό που τους οδηγεί σε μικρές γωνίες αρθρώσεων και παρουσιάζουν δυνατή συνέργια μεταξύ των αρθρώσεων του ισχίου και της ποδοκνημικής. Η άρθρωση του γονάτου είναι επίσης σημαντική, αλλά φαίνεται να έχει ανεξάρτητη επίδραση στο εύρος κίνησης των ποδιών. Σχετικά με την ιδανική στιγμή κατά την οποία ο κολυμβητής πρέπει να αρχίσει την προωθητική κίνηση των ποδιών μετά τη φάση του γλιστρήματος, οι Lyttle, Blanksby, Elliott και Lloyd (2000) βρήκαν ότι αυτή είναι όταν ο κολυμβητής έχει ταχύτητα $2.2-1.9 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, διάφοροι συγγραφείς έδειξαν ότι η ιδανική στιγμή για να αρχίσει η υποβρύχια κίνηση των ποδιών είναι όταν το κέντρο μάζας του κολυμβητή φτάσει περίπου στα 5.63-6.01 m από τον τοίχο (Elipot et al., 2009; Houel et al., 2010; Lyttle et al., 2000). Μετά τα 7 m θα χάσουν σε ταχύτητα περίπου $0.4 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$, ενώ αν αρχίσουν πιο πριν θα δημιουργήσουν μεγαλύτερη υδροδυναμική αντίσταση και θα περιοριστεί η απόδοση της υποβρύχιας φάσης της εκκίνησης. Αυτές οι αποστάσεις εξαρτώνται από την ικανότητα χτυπήματος των ποδιών του κολυμβητή (Elipot et al., 2009).

Στροφές

Ένα άλλο σημαντικό τεχνικό μέρος στη βελτιστοποίηση της συνολικής επίδοσης στα κολυμβητικά αγωνίσματα είναι η στροφή. Οι Puel, Morlier, Cid, Chollet, και Hellard. (2010) υποστηρίζουν ότι μια επιτυχημένη στροφή είναι το αποτέλεσμα πολλών παραγόντων και απαιτεί μια πολυσύνθετη σειρά κινήσεων. Η στροφή ελεύθερου στυλ αποτελείται από: την προσέγγιση, την τούμπα, την επαφή με τον τοίχο, το γλιστρήμα, την προώθηση κάτω από το νερό και την έξοδο. Ο συνολικός χρόνος στροφής ελεύθερου, σύμφωνα με τη μελέτη των Rejman και Borowska, (2008), είναι περίπου 8 sec.

Για την προσέγγιση, από τον Puel et al. (2010) υποστηρίζεται ότι η αύξηση της ταχύτητας στην αρχή της στροφής τείνει να μειώσει το χρόνο που χρειάζεται για την ολοκλήρωση της στροφής, και γι' αυτό οι προπονητές πρέπει να παροτρύνουν για «επίθεση» στον τοίχο. Οι Takahashi, Yoshida, Tsubakimoto και Miyashita (1983) εξηγούν ότι η ορμή πριν την στροφή ελεύθερου διατηρείται μερικώς και μετά τη στροφή. Το ότι οι ύπτιοι πρέπει να γυρίσουν σε πρηνή θέση πριν τη στροφή, έχει ως συνέπεια τη μεγάλη μείωση της ορμής, με αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας στην αρχή της τούμπας και τη μείωση της δύναμης κρούσης στον τοίχο.

Όσον αφορά στην επαφή με τον τοίχο και στην ώθηση, βρέθηκε ότι ο χρόνος στροφής μπορεί να ελαττωθεί εφαρμόζοντας μεγαλύτερη δύναμη κατά τη φάση του σπρώξιματος του τοίχου και μειώνοντας το χρόνο επαφής με αυτόν (Blanksby, Gathercole, & Marshall, 1995; Chow, Hay, Wilson, & Imel, 1984; Lyttle & Mason, 1997; Wakayoshi, Nomura, Takahashi, Mutoh, & Miyashita, 1992). Στις έρευνες των Blanksby, Gathercole, και Marshall (1996), Blanksby, Hodgkinson, και Marshall (1996b), Blanksby, Skender, Elliott, McElroy, και Landers (2004) αναφέρεται ότι στις στροφές του ελεύθερου και του ύπτιου ο μικρότερος συνολικός χρόνος στροφής έχει ως αποτέλεσμα γρηγορότερες στροφές, υψηλές κορυφώσεις δυνάμεων και γρήγορες κορυφώσεις ταχύτητας κατά τη φάση του σπρώξιματος.

Ο μέσος χρόνος επαφής με τον τοίχο βρέθηκε να είναι 0.28 sec για κολυμβητές υψηλού επιπέδου (Prins & Patz, 2006). Η τιμή αυτή είναι μικρότερη συγκριτικά με άλλες μελέτες. Συγκεκριμένα, στη μελέτη των Blanksby et al. (1996b) καταγράφηκαν τιμές 0.38 sec και 0.46 sec για τους έμπειρους κολυμβητές και κολυμβήτριες ελεύθερου αντίστοιχα, ενώ στις έρευνες των Lyttle, Blanksby, Elliott, και Lloyd (1999), Lyttle και Mason, (1997) και Tourny-Chollet, Chollet, Hogie και Papaodopoulos (2002), όπου συμμετείχαν έμπειροι ενήλικες κολυμβητές, κομάνθηκε μεταξύ 0.29-0.32 sec και 0.46-0.56 αντίστοιχα. Στη μελέτη του Tourny-Chollet et al. (2002), για τη στροφή πεταλούδας αναφέρεται ότι η μείωση του χρόνου επαφής με τον τοίχο και η αύξηση της ταχύτητας κατά το τέλος της ώθησης συντελούν στην καλύτερη στροφή. Επιπλέον, στη στροφή πεταλούδας σημειώθηκαν μεγαλύτερες ταχύτητες μετά το σπρώξιμο από ότι στη στροφή ελεύθερου με περιστροφή, ευρήματα που συμφωνούν με αυτά της μελέτης του Blanksby et al. (1996). Η μέση ταχύτητα που αποκτάται από το σπρώξιμο του τοίχου μετά την περιστροφή, καθώς και ο συνολικός χρόνος στροφής συσχετίζονται σημαντικά με το συνολικό χρόνο του αγωνίσματος (Chow et al., 1984; Wakayoshi et al., 1992). Στη μελέτη των Lyttle, Blanksby, Elliott και Lloyd (1998) αναφέρεται ότι το εύρος των ταχυτήτων κατά το σπρώξιμο και γλιστρήμα μετά από στροφή κυμαίνεται από 1.6 έως $3.1 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$.

Βάθος. Ένα άλλο τεχνικό στοιχείο σχετικό με την επαφή με τον τοίχο είναι το βάθος κάτω από την επιφάνεια

του νερού, στο οποίο τα πόδια έρχονται σε επαφή, καθότι όπως αναφέρεται από τον Blanksby et al. (2004), μπορεί να αλλάξει τη διαδρομή του σώματος κατά τη φάση του σπρώξιματος. Η τοποθέτηση των ποδιών πολύ ψηλά στον τοίχο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα με το σπρώξιμο του τοίχου ο κολυμβητής να φύγει βαθιά. Αντίθετα, τοποθετώντας τα πόδια πολύ βαθιά από την επιφάνεια του νερού, μπορεί ο κολυμβητής να φύγει κοντά στην επιφάνεια πολύ γρήγορα (Prins & Patz, 2006). Το ιδανικό βάθος στο οποίο πρέπει να ακουμπήσουν τα πόδια στον τοίχο κατά τη στροφή ελεύθερου, σύμφωνα με τις μελέτες των Maglischo (1993) και των Prins και Patz, (2006), είναι περίπου 30-40 cm από την επιφάνεια του νερού.

Βαθμός κάμψης ποδιών. Κατά την επαφή των ποδιών με τον τοίχο ο βαθμός κάμψης των ισχίων και γονάτων ποικίλει. Ο Blanksby et al. (1996) βρήκαν ότι ο λόγος της απόστασης των ισχίων από τον τοίχο προς το μήκος ποδιού έχει αρνητική συσχέτιση με το χρόνο στροφής. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη τιμή έχει το πηλίκιο (πιο τεντωμένα πόδια) τόσο μικρότερος ο χρόνος στροφής (Lyttle et al., 1999). Ιδανικά, η γωνία των γονάτων πρέπει να είναι 110⁰-120⁰ (Lyttle et al., 1999). Η άποψη αυτή υποστηρίζεται και από τον Takahashi et al. (1983), οι οποίοι βρήκαν ότι στη στροφή ελεύθερου μεγαλύτερη κορύφωση δύναμης ώθησης του τοίχου παρατηρήθηκε με γωνία γονάτων περίπου 120⁰. Οι ίδιοι ερευνητές, μετρώντας τη δύναμη κατά το κατακόρυφο άλμα, βρήκαν ότι η μεγαλύτερη δύναμη παράγεται σε παρόμοιο εύρος κίνησης (120⁰-140⁰). Επίσης βρέθηκε ότι η μεγαλύτερη τιμή πηλίκου (πιο τεντωμένα πόδια κατά την επαφή με τον τοίχο) έχει σημαντική συσχέτιση με μικρότερο χρόνο επαφής με τον τοίχο και μεγαλύτερες τιμές κορύφωσης της κάθετης στον τοίχο δύναμης κατά τη στροφή (Blanksby et al., 2004). Τα πιο τεντωμένα πόδια, όπως υποστηρίζουν ο Blanksby et al. (1996a, b) επιτρέπουν μικρότερο εύρος κίνησης πριν το πλήρες τέντωμά τους κατά το σπρώξιμο, συνεπώς μικρότερη απόσταση για επιτάχυνση. Ωστόσο, αν παραχθεί ικανοποιητική δύναμη, τότε η μείωση της απόστασης κατά την προσέγγιση και μετά την τούμπα μπορεί να μειώσει το χρόνο στροφής. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, υπάρχει μια βέλτιστη θέση για όλα αυτά, διότι υπερβολικό λύγισμα των ποδιών κατά το σπρώξιμο, όχι μόνο αυξάνει την απόσταση που πρέπει να διανυθεί προς και μετά τον τοίχο, αλλά αυξάνει και την αντίσταση που δημιουργείται από τη μετωπική επιφάνεια πλεύσης του σώματος. Αντίθετα, βρέθηκε ότι πιο μαζεμένα πόδια (τα ισχία πιο κοντά στον τοίχο, φυσικά μέχρι ένα ορισμένο όριο) έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερες ταχύτητες κατά το σπρώξιμο, και είναι καλύτερα ο κολυμβητής να είναι κοντά στον τοίχο παρά μακριά όταν αρχίζει το σπρώξιμο (Prins & Patz, 2006).

Όσον αφορά στη στροφή ύπτιου, με την εισαγωγή της καινούργιας στροφής το 1991, η οποία περιλαμβάνει την τούμπα, έχουν καταγραφεί καλύτεροι χρόνοι των αγωνισμάτων ύπτιου, αφού έχει παρατηρηθεί μείωση του χρόνου της κάθε στροφής κατά 0.2-0.6 sec (Handley, 1992; Peyrebrune, Hardy, & Cullen, 1992). Στην καινούργια στροφή, στην οποία δίνεται η δυνατότητα στον κολυμβητή να κάνει τούμπα πριν τον τοίχο, σύμφωνα με τον Blanksby et al. (2004), το κέντρο βάρους του σώματος βρίσκεται πιο μακριά από τον τοίχο από όταν έπρεπε να ακουμπήσει σε αυτόν με το χέρι, με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση της απόστασης που πρέπει να καλυφτεί κατά περίπου 15cm πριν και 15cm μετά την τούμπα. Στην ίδια μελέτη, βρέθηκε ότι για τη βελτιστοποίησή της πρέπει να μειωθεί ο χρόνος επαφής με τον τοίχο και τα γόνατα να έχουν μικρή κάμψη, ώστε το σώμα να έχει καλύτερη υδροδυναμική θέση.

Οι Lyttle και Benjanuvattra, (2007) υπογραμμίζουν ότι μεγαλύτερη κάμψη των γονάτων (μικρότερη από 90⁰ γωνία) έχει ως αποτέλεσμα ο τετρακέφαλος να αποκτά αναποτελεσματικό μήκος και έτσι να αναχαιτίζεται η ικανότητα γρήγορης παραγωγής δύναμης. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της μικρότερης κάμψης των γονάτων είναι ότι ο κολυμβητής έχει να διανύσει μικρότερη απόσταση προς και μετά τον τοίχο και έτσι εξοικονομεί χρόνο και ενέργεια κατά το συνολικό αριθμό στροφών. Περαιτέρω κάμψη των γονάτων, μετά την επαφή με τον τοίχο, είναι επιζήμια για την αποθηκευμένη ελαστική ενέργεια των μυών και πρέπει να αποφεύγεται. Συνεπώς, τα πόδια θα πρέπει να βρίσκονται λυγισμένα σε μία κατάλληλη γωνία. Στις μελέτες των Linthorne (2000) και Smidt (1973) καθίσταται σαφές ότι κατά τη στροφή, η οποία εκτελείται είτε με τα πόδια υπερβολικά τεντωμένα κατά την επαφή τους με τον τοίχο είτε υπερβολικά λυγισμένα, δεν μπορούν οι μύες των ποδιών να παράγουν τη βέλτιστη μυϊκή δύναμη.

Ωθηση. Σχετικά με την ώθηση στον τοίχο, στη μελέτη του Blanksby et al. (2004), βρέθηκε να υπάρχει σημαντική συσχέτιση με την ηλικία, το ανάστημα, το βάρος και το ύψος του μείζονος τροχαντήρα του μηριαίου. Στην ίδια μελέτη, η μέση τιμή ώθησης που έχει καταγραφεί για τις στροφές ύπτιου είναι 55.6Ns (SD=12.4Ns) και φαίνεται να είναι μικρότερη από αυτές που καταγράφηκαν κατά τις στροφές ελεύθερου στις μελέτες των Blanksby et al. (1996a, b) (177.2±50.2Ns, 295.8Ns), Nicol και Ktuger, (1979) (217±28 Ns), Takahashi et al. (1983) (262.7±53.8Ns).

Θέση των ποδιών. Επίσης, όπως επισημαίνεται στη μελέτη των Lyttle και Benjanuvattra, (2007), η θέση των ποδιών κατά την επαφή με τον τοίχο αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό. Η καλύτερη εκμετάλλευση των δυνάμεων που παράγονται κατά την ώθηση γίνεται όταν οι αστράγαλοι, τα ισχία και οι ώμοι βρίσκονται σε

ευθεία γραμμή. Ιδανικά, ο κολυμβητής πρέπει να έχει τον κορμό οριζόντιο, με τα χέρια τεντωμένα μπροστά πριν να αρχίσει το σπρώξιμο. Αυτό, του παρέχει το πλεονέκτημα ότι κρατά τη μετωπική επιφάνεια πλεύσης όσο γίνεται μικρότερη και αυξάνει την ευθυγράμμιση του σώματος κατά το σπρώξιμο.

Χρόνος επαφής των ποδιών με τον τοίχο. Στην ίδια μελέτη (Lyttle & Benjanuvatra, 2007), επισημαίνεται ότι η περίοδος επαφής των ποδιών με τον τοίχο χωρίζεται σε δύο φάσεις: την παθητική και την ενεργητική παραγωγής δύναμης. Η φάση παθητικής παραγωγής δύναμης περιλαμβάνει την αρχική επαφή των ποδιών με τον τοίχο (έκκεντρη συστολή του τετρακεφάλου) και έχει περιορισμένο όφελος στην ανάπτυξη της ταχύτητας του κολυμβητή. Η φάση ενεργητικής παραγωγής δύναμης περιλαμβάνει τη δυναμική έκταση των γονάτων και πελματιαία κάμψη του άκρου ποδιού (σύγκεντρη συστολή του τετρακεφάλου) για την ανάπτυξη ταχύτητας. Για τη βελτιστοποίηση της φάσης του σπρωξίματος είναι σημαντικό να ελαχιστοποιείται η παθητική φάση και να μεγιστοποιείται η ενεργητική, ενώ ο συνολικός χρόνος επαφής με τον τοίχο να είναι όσο το δυνατό μικρότερος. Τα ευρήματα της μελέτης των Lyttle και Benjanuvatra, (2004) ενισχύονται από τις έρευνες του Lyttle et al. (1999a,b), στις οποίες παρατηρήθηκε ότι ο μεγαλύτερος χρόνος της ενεργητικής φάσης επιφέρει πιο γρήγορες ταχύτητες κατά το τέλος του σπρωξίματος. Επισημαίνεται όμως ότι υπάρχει ένας βέλτιστος χρόνος σπρωξίματος, καθότι ένα γρήγορο σπρώξιμο μπορεί να μην παρέχει αρκετό χρόνο για να αναπτυχθεί η βέλτιστη ώθηση δύναμης, ενώ παρατεταμένος χρόνος μπορεί να βλάψει το συνολικό χρόνο στροφής. Γι αυτό, το ποσοστό του χρόνου επαφής με τον τοίχο που αναλώνεται στο σπρώξιμο θα μπορούσε να είναι πιο κρίσιμος παράγοντας για τον καθορισμό της τελικής ταχύτητας σπρωξίματος. Ο Blanksby et al. (1996) προτείνει στους προπονητές να έχουν προγράμματα για αύξηση δύναμης και ισχύος των ποδιών, ούτως ώστε να μειώνεται ο χρόνος ως τη στιγμή που οι κολυμβητές θα πετύχουν τη μεγαλύτερη κορύφωση δύναμης κατά το σπρώξιμο του τοίχου.

Στη μελέτη του Lyttle et al. (1999) η ενεργητική φάση της ώθησης των ποδιών στον τοίχο κολυμβητών υψηλού επιπέδου, ως ποσοστό επί του συνολικού χρόνου επαφής των ποδιών με τον τοίχο, παρουσίασε τιμές με μεγάλη διακύμανση μεταξύ τους, από 33% έως 94% του συνολικού χρόνου επαφής, με μέση τιμή 67.5%, και έδειξε ότι μεγαλύτερο ποσοστό ενεργητικής φάσης οδηγεί σε μεγαλύτερες τελικές ταχύτητες σπρωξίματος. Σε μία πιο πρόσφατη μελέτη, μεγαλύτερη μέση τιμή (74.3%) σημειώθηκε, ενώ αντίθετα δε βρέθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού ενεργητικής φάσης και της ταχύτητας σπρωξίματος (Prins & Patz, 2006). Η μέση ταχύτητα σπρωξίματος βρέθηκε να είναι 2.69 m sec⁻¹ για άντρες, μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα 2.47 m sec⁻¹ για άντρες και γυναίκες μαζί (Prins & Patz, 2006). Επίσης, πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα σπρωξίματος έχουν οι έμπειροι κολυμβητές σε σχέση με τους νέους κολυμβητές. Στις μελέτες των Lyttle et al. (1999) και Cossor, Blanksby και Elliott (1999), η μέση ταχύτητα σπρωξίματος αναφέρεται ότι είναι 2.75 m sec⁻¹ για έμπειρους και 1.14 m sec⁻¹ για νέους κολυμβητές αντίστοιχα.

Ο Lyttle et al. (1999) υποστηρίζει ότι το μέγεθος και το πότε θα επιτευχθεί η κορύφωση στη δύναμη σπρωξίματος παίζουν το μεγαλύτερο ρόλο στον καθορισμό της τελικής ταχύτητας σπρωξίματος. Διότι, αν η κορύφωση της δύναμης επιτευχθεί νωρίς κατά το σπρώξιμο, η κορύφωση αντίστασης θα ασκηθεί νωρίς και θα επιβραδύνει τον κολυμβητή, πριν τα πόδια ξεκολλήσουν από τον τοίχο. Συνεπώς, όπως επισημαίνεται, υπάρχει μια απαιτούμενη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ του μέτρου της κορύφωσης της δύναμης σπρωξίματος, του χρόνου σπρωξίματος και της συνισταμένης κορύφωσης της αντίστασης που δημιουργείται. Βρέθηκε ότι είναι καλύτερα η δύναμη να αναπτύσσεται βαθμιαία και με ελεγχόμενο τρόπο, ώστε η κορύφωση της δύναμης ώθησης να ασκηθεί πιο κοντά στο σημείο που τα πόδια αφήνουν τον τοίχο και ο κολυμβητής είναι σε πιο ευθυγραμμισμένη θέση, κατά την οποία υφίσταται μικρότερη αντίσταση. Δηλαδή, πιο ευθυγραμμισμένη θέση σώματος κατά τη φάση του σπρωξίματος και κατάλληλος χρόνος επίτευξης της κορύφωσης της δύναμης μειώνουν την κορύφωση της δύναμης αντίστασης και το συνολικό χρόνο στροφής. Πιθανόν, σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς, αυτή να είναι η προτιμητέα μέθοδος σπρωξίματος.

Η μελέτη του Klauck (2005) υποστηρίζει αυτή την άποψη, ενώ του Puel et al., (2010) έδειξε ότι οι καλύτερες κολυμβήτριες (όταν ο χρόνος στροφής είναι κριτήριο για την επίδοση) μπορούν να αναπτύξουν τη μέγιστη οριζόντια δύναμη κατά τη φάση του σπρωξίματος του τοίχου νωρίτερα.

Μια ακόμα αξιοσημείωτη παρατήρηση στη μελέτη του Lyttle et al., (1999) είναι ότι στην αρχή του σπρωξίματος παρατηρήθηκε μια μικρή χρονική περίοδος (0.05-0.10s) θετικής αντίστασης, που φανερώνει ότι το νερό θα μπορούσε να βοηθήσει στο σπρώξιμο. Πιστεύεται από τους ίδιους ερευνητές ότι αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να είναι το αποτέλεσμα μιας υψηλής αρνητικής πίεσης του νερού, που δημιουργείται όταν τα απόνερα του κολυμβητή χτυπούν στον τοίχο και επιστρέφουν. Μια γρήγορη περιστροφή του σώματος πριν τη στροφή ή απλά η πόζα σώματος του κολυμβητή μπορούν να δημιουργήσουν μεγαλύτερα απόνερα, με αποτέλεσμα την αύξηση της αρνητικής πίεσης και σε αυτή τη χρονική περίοδο της θετικής αντίστασης πρέπει ο κολυμβητής να αναπτύξει όσο το δυνατό, μεγαλύτερη ταχύτητα.

Φάση γλιστρήματος. Σχετικά με τη φάση του γλιστρήματος, υποστηρίζεται ότι το σώμα πρέπει να είναι σε κα-

λά ευθυγραμμισμένη θέση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η αντίσταση που αναπτύσσεται στις υψηλές ταχύτητες (Lyttle & Benjanuvatra, 2007). Η μείωση της αντίστασης μπορεί να μεταφραστεί άμεσα στη μείωση του χρόνου. Η έρευνα του Lyttle et al., (1998) έδειξε ότι στους έμπειρους κολυμβητές το γλιστρήμα πρέπει να γίνεται σε βάθος 0.4-0.6m από την επιφάνεια του νερού για ταχύτητες πάνω από 1.9 m sec^{-1} και 0.2m για πιο αργές ταχύτητες. Σε πιο πρόσφατη μελέτη επισημαίνεται ότι αυτό εξαρτάται και από το επίπεδο αναταραχής στην επιφάνεια του νερού και ότι το βέλτιστο βάθος προοδευτικά μειώνεται όσο ο κολυμβητής πλησιάζει στη φάση που ξαναρχίζει τις κολυμβητικές κινήσεις, αφού η αντίσταση που ασκείται στον κολυμβητή επηρεάζεται τόσο από το βάθος όσο και από την ταχύτητα του κολυμβητή (Lyttle & Benjanuvatra, 2007). Έτσι, σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, το κατάλληλο βάθος και η ευθυγραμμισμένη θέση του σώματος συνεπάγονται αύξηση της απόστασης γλιστρήματος για την ίδια χρονική περίοδο.

Θέση σώματος. Σε σύγκριση που έγινε μεταξύ του γλιστρήματος σε πρηνή και σε πλάγια ευθυγραμμισμένη θέση του σώματος δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές, παρόλο ότι υπήρχε μια τάση καταγραφής μεγαλύτερων καθαρών δυνάμεων (net forces) στην πρηνή θέση από ό,τι στην πλάγια (Lyttle et al., 2000).

Υποβρύχιες ποδιές. Όσον αφορά στις υποβρύχιες ποδιές, οι οποίες εκτελούνται κατά τη φάση του γλιστρήματος, ο Clothier et al. (2000) απέδειξαν ότι η επιβράδυνση είναι μικρότερη με τους δελφινισμούς από ότι με τις ποδιές ελεύθερου. Ο Lyttle et al. (2000) δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές στις καθαρές δυνάμεις (προωθητικές μείον δυνάμεις αντίστασης) μεταξύ δελφινισμών σε πλάγια και πρηνή θέση και ποδιών ελεύθερου σε πρηνή θέση σε κολυμβητές υψηλού επιπέδου, αν και υπήρχε μια τάση οι δελφινισμοί σε πρηνή θέση να είναι πιο αποτελεσματικοί. Σχετικά με το εύρος ποδιάς, συνιστώνται οι μικρότερες ποδιές, για να διατηρείται περισσότερο η ευθυγραμμισμένη θέση (Lyttle & Benjanuvatra, 2007).

Η κατάλληλη χρονική στιγμή που θα αρχίσουν οι υποβρύχιες ποδιές είναι ένα ακόμα πεδίο για βελτιστοποίηση της στροφής. Παρατηρήσεις κολυμβητών όλων των επιπέδων έδειξαν ότι μπορούν να αρχίσουν οποτεδήποτε, από αμέσως μετά το σπρώξιμο μέχρι μετά το ξεκίνημα των κολυμβητικών κινήσεων (Lyttle & Benjanuvatra, 2007). Όπως εξηγούν οι ίδιοι ερευνητές, με το ξεκίνημα αμέσως μετά το σπρώξιμο του τοίχου, η αντίσταση που δημιουργείται από την παρέκκλιση από την ευθυγραμμισμένη θέση είναι πιθανόν να αντισταθμίσει την προωθητική δύναμη που δημιουργείται από τις ποδιές. Αντίθετα, περιμένοντας πολύ για να αρχίσουν οι υποβρύχιες ποδιές, δεν θα προκύπτει μέγιστο όφελος. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τον Lyttle et al. (2000), οι οποίοι ρυμούλκησαν έμπειρους κολυμβητές που εκτελούσαν υποβρύχιες ποδιές, σε ταχύτητες που αντιπροσώπευαν τις ταχύτητες που αναπτύσσονται κατά τις στροφές (1.6 m sec^{-1} - 3.1 m sec^{-1}). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κολυμβητές πρέπει να αρχίσουν τις υποβρύχιες ποδιές όταν έχουν ταχύτητα μεταξύ 1.9 και 2.2 m sec^{-1} .

Στη μελέτη του Blanksby et al. (2004) συνιστάται να διατηρείται η ευθυγραμμισμένη θέση μετά από τη στροφή μέχρι η οριζόντια ταχύτητα να πλησιάσει τη μέση ταχύτητα του αγωνίσματος. Οι ίδιοι ερευνητές εξηγούν ότι οι κολυμβητές που έχουν μεγάλη οριζόντια ταχύτητα μετά τη στροφή δε διατηρούν την ευθυγραμμισμένη θέση περισσότερο από τους κολυμβητές με μικρότερες κορυφώσεις ταχύτητας, αλλά διανύουν μεγαλύτερη απόσταση στο ίδιο χρονικό διάστημα, και προσθέτουν ότι, στην περίπτωση που η ευθυγραμμισμένη θέση διατηρηθεί περισσότερο, επέρχεται μείωση της ταχύτητας σε τιμές μικρότερες από τη μέση ταχύτητα του αγωνίσματος. Έτσι, όπως υποστηρίζουν ο Blanksby et al. (1996a,b), απαιτείται περισσότερη ενέργεια και χρόνος για να ανακτηθεί η μέση ταχύτητα κολύμβησης.

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με τα προηγούμενα, για την στροφή της κολύμβησης συνιστάται οι κολυμβητές να πλησιάζουν στον τοίχο με μεγάλη ταχύτητα, να κάνουν γρήγορη τούμπα, να χτυπούν τον τοίχο σταθερά και με πιο τεντωμένα πόδια και το γλιστρήμα να διαρκεί μέχρι ο κολυμβητής να φτάσει στη μέση ταχύτητα του αγωνίσματος του.

Γλιστρήμα

Η φάση του γλιστρήματος μετά από εκκινήσεις και στροφές αντιστοιχεί στο 10-25% του συνολικού χρόνου του αγωνίσματος και εξαρτάται από το είδος του αγωνίσματος και το μήκος της πισίνας (Chatard, Collomp, Maglischio, & Maglischio 1990). Στο πρόσθιο οι φάσεις του γλιστρήματος αποτελούν το 44% του συνολικού χρόνου και κάνουν τους κολυμβητές πρόσθιου υψηλού επιπέδου να ξεχωρίζουν από τους απλά καλούς, αφού οι πρώτοι έχουν μεγαλύτερο χρόνο γλιστρήματος (D'Acquisto, Costill, Gehrsen, Wong-Tai, & Lee, 1988). Στη μελέτη του Marinho et al. (2009) αναφέρεται ότι κατά το γλιστρήμα μετά από εκκίνηση και στροφές οι κολυμβητές υψηλού επιπέδου έχουν συνήθως ταχύτητα $1.6 - 2 \text{ m-sec}^{-1}$, ενώ υψηλότερες ταχύτητες 2.8 m-sec^{-1} έχουν καταγράψει οι Polidori, Taiar, Fohanno, Mai και Lodini (2006). Αντίθετα, οι Lyttle και Benjanuvatra, (2007) αναφέρουν ότι κατά τη φάση εισόδου και γλιστρήματος η ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ $4-6 \text{ m-sec}^{-1}$. Σύμφωνα με τους Naemi, Easson, και Sanders (2010), η μέση ταχύτητα κατά την περίοδο του γλιστρήματος είναι δείκτης της απόδοσης αυτού. Αυτή εξαρτάται από την αρχική ταχύτητα, το μέγεθος της επι-

βράδυνσης και τη διάρκεια του γλιστρήματος. Η αρχική ταχύτητα του γλιστρήματος, σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, σχετίζεται με τις ενέργειες που έχουν προηγηθεί και επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της πριν του γλιστρήματος περιόδου, που περιλαμβάνει την είσοδο μετά την εκκίνηση, τη δύναμη του σπρωξιματος και τη θέση του σώματος κατά την επαφή με τον τοίχο στη στροφή. Σε άλλη μελέτη των Naemi και Sanders, (2008) αναφέρεται ότι το γλιστρήμα είναι αποδοτικό όταν το σώμα διατηρεί την ταχύτητά του και ελαχιστοποιεί την επιβράδυνσή του χωρίς να αυξάνεται το μεταβολικό κόστος.

Επομένως, κατά τη φάση του γλιστρήματος, ο κολυμβητής πρέπει να ελαχιστοποιήσει την οπισθόελκουσα δύναμη που υφίσταται και η οποία αντιτίθεται στην προς τα εμπρός κίνησή του. Επίσης, η καλά ευθυγραμμισμένη θέση του σώματος κάτω από το νερό κατά τη φάση του γλιστρήματος, παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία της εκκίνησης, περισσότερο από ότι παίζει η τεχνική των άλλων φάσεων και για το λόγο αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας η ανάλυση και η κατανόηση αυτής της φάσης (Cossor & Mason, 2001).

Ειδικά στο πρόσθιο, υπάρχουν δύο θέσεις του σώματος κατά τη φάση του γλιστρήματος-η πρώτη με τα χέρια τεντωμένα μπροστά, έχοντας τη μια παλάμη πάνω στην άλλη και η δεύτερη με τα χέρια τεντωμένα δίπλα στο σώμα. Σε μία πρόσφατη μελέτη βρέθηκε ότι και στις δύο θέσεις γλιστρήματος, η αντίσταση αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας (Costa et al., 2010). Επιπλέον, σύμφωνα με την ίδια μελέτη, στην πρώτη θέση γλιστρήματος η αντίσταση είναι μικρότερη για όλες τις ταχύτητες, αφού η αύξηση του μήκους του σώματος και του πηλίκου ύψος/βάρος^{1/3}, με το τέντωμα των χεριών μπροστά έχοντας τη μια παλάμη πάνω στην άλλη, μπορεί να μειώσει το συντελεστή αντίστασης και τη μετωπική επιφάνεια, ευρήματα που επιβεβαιώνονται και από άλλη μελέτη του Vilas-Boas et al. (2010). Στην πρώτη θέση γλιστρήματος επίσης, ο συντελεστής αντίστασης κυμάνθηκε μεταξύ 0.52 και 0.44 σε ταχύτητες 1.3 m·sec⁻¹ και 1.6 m·sec⁻¹ αντίστοιχα, δηλαδή μειώθηκε με την αύξηση της ταχύτητας, όπως αναφέρεται και στις μελέτες του Lyttle et al. (2000) και Marinho et al. (2009). Στη δεύτερη θέση γλιστρήματος, ο συντελεστής αντίστασης κυμάνθηκε μεταξύ 0.95 και 0.47 σε ταχύτητες 0.8 m·sec⁻¹ και 1.5 m·sec⁻¹ αντίστοιχα και παρουσίασε μεγαλύτερο εύρος τιμών.

Ο Marinho et al. (2009) καθώς και ο Costa et al. (2010), σε μια προσπάθεια να εξηγήσουν το λόγο για τον οποίο το γλιστρήμα με τα χέρια τεντωμένα μπροστά και τη μια παλάμη πάνω στην άλλη παρουσιάζει το μικρότερο συντελεστή αντίστασης, απέδωσαν το γεγονός στο ότι η θέση αυτή του σώματος είναι η πλέον υδροδυναμική θέση, αφού επιτρέπει τη μεγαλύτερη μείωση της αρνητικής υδροδυναμικής αντίστασης, που οφείλεται στη μορφολογία του ανθρωπίνου σώματος, εξομαλύνοντας έτσι το ανατομικό σχήμα του, ιδιαίτερα το κεφάλι και τους ώμους. Συνεπώς, οι κολυμβητές και οι προπονητές πρέπει κατά το γλιστρήμα μετά από εκκίνηση και στροφή να ελέγχουν τη θέση του σώματος, ιδιαίτερα στο πρόσθιο κατά τη δεύτερη θέση του γλιστρήματος, όπου η αντίσταση είναι μεγαλύτερη. Επίσης, να δίνουν έμφαση στο χρόνο του πρώτου παρά του δεύτερου γλιστρήματος στο πρόσθιο.

Ιδανικό βάθος Μια άλλη ενδιαφέρουσα παράμετρος είναι το ιδανικό βάθος στο οποίο πρέπει να γίνεται το υποβρύχιο γλιστρήμα, αλλά τα αποτελέσματα των ερευνών είναι αντικρουόμενα. Συγκεκριμένα, οι Vorontsov και Rumyantsev, (2000) ερευνήσαν το ζήτημα αυτό και υποστήριξαν ότι σε ένα συγκεκριμένο βάθος η υδροστατική πίεση είναι μεγαλύτερη από την πίεση που δημιουργείται από την κίνηση του κολυμβητή. Αυτό το βάθος βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ 0.7-1.2 m και εξαρτάται από την αντίσταση κυματισμού του κολυμβητή. Στο ερώτημα αν η συνολική αντίσταση θα είναι μικρότερη σε μεγαλύτερο των 1.2 m βάθος, οι ίδιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η αντίσταση κυματισμού θα είναι μειωμένη. Αντίθετα σε μία άλλη έρευνα, βρέθηκε ότι η αντίσταση που ασκείται στον κολυμβητή σε βάθος 0.60 m από την επιφάνεια του νερού ήταν περίπου 20% μεγαλύτερη από αυτήν που είχε καταγραφεί στην επιφάνεια (Jiskoot & Clarys, 1975). Όμως αυτά τα ευρήματα αντικρούουν εν μέρει το γεγονός ότι στην επιφάνεια του νερού υπάρχει η αυξημένη συμμετοχή της αντίστασης κυματισμού. Το γεγονός αυτό υποστηρίζεται από τις μελέτες της υδροδυναμικής, οι οποίες έδειξαν, όπως αναφέρουν οι Larsen, Yancher, και Bear (1981), ότι ο συντελεστής αντίστασης μειώνεται γρήγορα καθώς το σώμα κερδίζει σε βάθος, διότι μειώνεται η αντίσταση κυματισμού. Πιθανόν, σύμφωνα με την άποψη του Lyttle et al. (1999), στη μελέτη των Jiskoot και Clarys, (1975) οι χαμηλές ταχύτητες γλιστρήματος 1.5-1.9m·sec⁻¹ να ήταν ανεπαρκείς για να παραχθεί ουσιαστική αντίσταση κυματισμού. Οι Vennel, Pease, και Wilson (2006), εξετάζοντας το ιδανικό βάθος για την αποφυγή της αντίστασης κυματισμού, βρήκαν ότι αυτή έχει σχέση με την ταχύτητα κολύμβησης. Συγκεκριμένα, βρήκαν ότι για να αποφευχθεί σημαντική αντίσταση κυματισμού ο κολυμβητής πρέπει να είναι πιο βαθιά από 0.45 m και 0.70 m από την επιφάνεια του νερού, για ταχύτητες γλιστρήματος 0.9 m·sec⁻¹ (Fr = 0.2) και 2 m·sec⁻¹ (Fr =0.42) αντίστοιχα. Ο Lyttle et al. (1999) αναφέρουν επίσης ότι στους έμπειρους κολυμβητές υπάρχει σημαντική μείωση της αντίστασης σε βάθος 0.4 m από την επιφάνεια του νερού για όλες τις ταχύτητες πάνω από 1.9 m·sec⁻¹ και σε βάθος 0.2 m για μικρότερες. Και στις δύο προηγούμενες μελέτες, σε βάθη μεγαλύτερα από αυτές τις τιμές, η υδροδυναμική αντίσταση ήταν σχεδόν σταθερή και εξαρτιόταν μόνο από το ιζώδες του νερού και την αντίσταση πίεσης. Ο Marinho et al. (2010) αναφέρουν ότι πολλοί κολυμβητές υψηλού επιπέδου κατά το γλιστρήμα βρίσκονται σε βάθος με-

γαλύτερο από 60 cm. Οι ίδιοι ερευνητές διευκρινίζουν ότι, αν και με την αύξηση του βάθους μειώνεται η αντίσταση, η μείωση αυτή φαίνεται να είναι μικρότερη σε βάθη μεγαλύτερα των 2 m. Συνεπώς, το γλιστρημα σε βάθος μεγαλύτερο των 2 m δεν ενδείκνυται στους κολυμβητές. Υπογραμμίζουν δε ότι οι καινούργιες κολυμβητικές πισίνες προσπαθούν να έχουν κάποια στοιχεία κλειδιά που θα τις χαρακτήριζαν «γρήγορες κολυμβητικές πισίνες», όπως αυτή του Πεκίνου («The Ice Cube») με 3 m βάθος. Συνοψίζοντας, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι το βάθος εξαρτάται από το επίπεδο ικανότητας και την ταχύτητα του κολυμβητή, αφού αφενός η αντίσταση κυματισμού αυξάνει ανάλογα με τον κύβο της κολυμβητικής ταχύτητας και αφετέρου, όπως ο Vennell et al. (2006) αναφέρουν, η αύξηση αυτής της αντίστασης αρχίζει σε βάθος κατά το οποίο η διατάραξη της ροής του νερού γύρω από το σώμα του κολυμβητή αρχίζει να προσκρούει στην επιφάνεια του νερού.

Στη μελέτη του Marinho et al. (2009), που αφορούσε στη φάση του γλιστρήματος με την Computational Fluid Dynamics (CFD) τεχνική, θεωρήθηκε ότι η υδροδυναμική αντίσταση εξαρτιόταν μόνο από την αντίσταση τριβής και πίεσης, αφού το πρότυπο κολυμβητή ήταν σε βάθος 0.90 m από την επιφάνεια του νερού. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι κατά το γλιστρημα, με καθόλου ανωμαλίες στην επιφάνεια σώματος του πρότυπου κολυμβητή, η αντίσταση πίεσης αποτελεί το 87% και το 92% της συνολικής αντίστασης κατά τη θέση με τα χέρια τεντωμένα μπροστά και με τα χέρια δίπλα στο σώμα αντίστοιχα. Η αντίσταση τριβής έχει παρόμοιες τιμές και για τις δύο θέσεις, αντιπροσωπεύοντας το 13% και 8% της συνολικής αντίστασης, αυξάνει δε με την αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας του σώματος του πρότυπου κολυμβητή, με αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης πίεσης.

Σχόλια και συζήτηση

Η επίδοση στην κολύμβηση μετριέται με το συνολικό χρόνο εκκίνησης, στροφών και ελεύθερης κολύμβησης. Στην αγωνιστική κολύμβηση η εκκίνηση αποτελεί κρίσιμο μέρος της επίδοσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στις μικρές αποστάσεις, όπου η εκκίνηση έχει υπολογιστεί ότι αποτελεί μέχρι και το 30% του συνολικού χρόνου στα αγωνίσματα των 50 m. Γι' αυτό, οι μικρές βελτιώσεις στην τεχνική εκκίνησης οδηγούν σε ουσιαστικές αλλαγές στην τελική κατάταξη. Ένα σημαντικό στοιχείο είναι η δύναμη που ασκείται από τον κολυμβητή στο βατήρα και της οποίας η κατακόρυφη συνιστώσα θα επιταχύνει τον κολυμβητή προς κατακόρυφη διεύθυνση (αυξάνοντας το ύψος), ενώ η οριζόντια συνιστώσα θα τον επιταχύνει κατευθείαν μπροστά. Η σχέση μεταξύ κατακόρυφης και οριζόντιας δύναμης καθορίζει με ποια γωνία ο κολυμβητής φεύγει από το βατήρα. Η βέλτιστη γωνία απογείωσης θα αυξήσει την απόσταση πτήσης και επομένως την επίδοση. Συνεπώς, ο κολυμβητής πρέπει να στοχεύει αφενός στη μεγιστοποίηση της δύναμης που ασκείται από τα πόδια του στο βατήρα και αφετέρου στη γρήγορη μετατόπιση του κέντρου βάρους του προς τα μπροστά, κατά τη φάση που αυτός είναι στο βατήρα. Επειδή η τεχνική της εκκίνησης επηρεάζει τις φάσεις που ακολουθούν, ο κολυμβητής θα πρέπει αφενός να δίνει μεγάλη σημασία στη φάση που βρίσκεται στον αέρα, δηλαδή να στοχεύει σε μια απογείωση όσο γίνεται πιο μακριά (πετοχάινεται με όσο γίνεται μεγαλύτερη οριζόντια ταχύτητα και ιδανική γωνία απογείωσης) για να καλύψει τη μέγιστη απόσταση με μεγάλη ταχύτητα, την οποία έχει αναπτύξει κατά τη φάση που είναι στο βατήρα και αφετέρου να χρησιμοποιήσει την υποβρύχια φάση για να διατηρήσει την ταχύτητά του όσο γίνεται περισσότερο.

Είναι σημαντικό κατά την είσοδό του στο νερό ο κολυμβητής να έχει ευθυγραμμισμένο το σώμα του, αποφεύγοντας συχνά λάθη τεχνικής που είναι: το κεφάλι πιο χαμηλά, τα χέρια ή τα πόδια να μην είναι ενωμένα, τα γόνατα και οι αστράγαλοι να μην είναι τεντωμένα. Αυτά τα λάθη αυξάνουν την αντίσταση κατά την είσοδο στο νερό και επιβραδύνουν τον κολυμβητή.

Αξιοσημείωτη είναι η συνεισφορά της στροφής στα αγωνίσματα κολύμβησης, δεδομένου ότι έχει βρεθεί οι στροφές να καταλαμβάνουν το 20% του χρόνου στα 50 m σε 25 m πισίνα και 30-35% σε αγωνίσματα 200 m και πάνω. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι ο κολυμβητής πρέπει να δώσει ιδιαίτερη έμφαση στις στροφές προσπαθώντας να βελτιστοποιήσει τις παραμέτρους που καθορίζουν την αποτελεσματικότητά τους. Η μεγάλη ταχύτητα κατά την προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγαλύτερων δυνάμεων και αυτό συσχετίζεται με μικρότερο χρόνο επαφής με τον τοίχο και αύξηση της ταχύτητας μετά την ώθηση, με κατάληξη την καλύτερη επίδοση στροφής.

Το ότι το γλιστρημα παίζει καθοριστικό ρόλο στην επίδοση φαίνεται από το ότι ο χρόνος του γλιστρήματος ερμηνεύει το 95% της διασποράς του χρόνου εκκίνησης. Το γλιστρημα, καθώς και οι υποβρύχιες ποδιές, φαίνεται να αποτελούν σημαντικά μέρη της εκκίνησης και της στροφής. Το γλιστρημα, με καλά ευθυγραμμισμένο σώμα και ο κατάλληλο χρόνο έναρξης των υποβρύχιων ποδιών, επιφέρουν μείωση του συνολικού χρόνου εκκίνησης και στροφής, πρέπει δε να γίνεται βαθιά τόσο, ώστε η επαναφορά του κολυμβητή στην επιφάνεια να μην είναι απότομη. Συνεπώς, κατά το γλιστρημα πρέπει να αποφεύγονται λάθη όπως πόδια και χέρια να μην είναι ενωμένα και τεντωμένα, τα χέρια να μην είναι τεντωμένα πάνω από το κεφάλι, το κεφάλι να είναι πιο ψηλά ή πιο χαμηλά από την ευθεία του σώματος.

Τέλος, οι ατομικές διαφορές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους προπονητές, όταν προπονούν τους κολυμβητές τους στις εκκινήσεις και στροφές, η εξάσκηση των οποίων προτείνεται να ενσωματώνεται στο τέλος κάθε προπόνησης, ιδίως πριν τους αγώνες, και να δίνεται έμφαση στις πιο σημαντικές παραμέτρους τους.

Πρακτικές εφαρμογές και προτάσεις

Για τη βελτίωση της κολυμβητικής επίδοσης συνιστάται να δίνεται έμφαση:

- Στην προπόνηση μυϊκής ενδυνάμωσης, ιδιαίτερα του κάτω μέρους του σώματος, καθώς και στην προπόνηση ισχύος, προκειμένου να επιτευχθεί βελτίωση στην εκκίνηση, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική στις ταχύτητες, καθώς και βελτίωση στις στροφές, αφού έτσι μπορεί να αυξηθεί η κορύφωση της δύναμης σε λιγότερο χρόνο.
- Στις ασκήσεις ευλυγισίας των αρθρώσεων, ιδιαίτερα των τριών κύριων (ώμου-ισχίου-γόνατου), για βελτίωση της συνέργειας αυτών, με στόχο την καλύτερη ευθυγραμμισμένη θέση του σώματος κατά τη φάση του γλιστρήματος και τελικό αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης που εξασκείται κατά το γλιστρήμα, τη μείωση του χρόνου στροφής, καθώς και του ενεργειακού κόστους.
- Επίσης, κατά το γλιστρήμα πρέπει η προσοχή να εστιάζεται στο να είναι τα χέρια τελείως τεντωμένα μπροστά από το κεφάλι με τις παλάμες τη μια πάνω στην άλλη και τα πόδια να είναι ενωμένα με τα δάκτυλα τεντωμένα, το γλιστρήμα δε να γίνεται τόσο βαθιά ώστε η άνοδος να μην είναι απότομη. Τέλος, οι ασκήσεις τεχνικής συνιστάται να γίνονται με τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα και υπό πίεση αγώνα.

Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες

Προτείνεται περαιτέρω μελέτη της εκκίνησης στα άλλα τρία στυλ (πεταλούδα, πρόσθιο, ύπτιο). Επίσης, η μελέτη χρειάζεται να ασχοληθεί εκτενέστερα με την υποβρύχια φάση, μετά την εκκίνηση και τη στροφή και στο πότε είναι η κατάλληλη στιγμή για να αρχίσουν οι υποβρύχιες ποδιές. Το βάθος που πρέπει να έχει ο κολυμβητής κατά την υποβρύχια φάση, μετά από εκκίνηση και στροφή, σε σχέση με το επίπεδο των επιδόσεών του, είναι ακόμα ένα πεδίο που χρειάζεται διερεύνηση. Τέλος, πρέπει να μελετηθεί εκτενέστερα το κατά πόσο τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν την επίδοση.

Σημασία για τον Αγωνιστικό Αθλητισμό

Στην κολύμβηση υψηλού επιπέδου οι δυνατότητες για βελτίωση της επίδοσης είναι σχετικά περιορισμένες. Προπονητές και αθλητές επιζητούν συνέχεια αποτελεσματικότερες μεθόδους προς την κατεύθυνση αυτή. Ένα πεδίο που μπορεί να προσφέρει τέτοιες δυνατότητες είναι η βελτίωση της εκκίνησης και των στροφών, αφού αναλύσεις αγώνων δείχνουν ότι οι χρόνοι που δαπανώνται στην εκκίνηση και στις στροφές έχουν μεγάλη συσχέτιση με το συνολικό χρόνο επίδοσης. Η αποτελεσματική εκκίνηση, σε όλα τα αγωνίσματα κολύμβησης, εξαρτάται από το συνδυασμό των κινήσεων που γίνονται πάνω στο βατήρα και την πορεία του κολυμβητή μέχρι την είσοδο στο νερό, προκειμένου να επηρεαστούν θετικά οι επόμενες φάσεις. Οι στροφές καταλαμβάνουν σημαντικό μέρος του συνολικού χρόνου του αγωνίσματος και μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο στη νίκη ή στην ήττα σε σημαντικούς αγώνες. Τέλος, η φάση του γλιστρήματος είναι πολύ σημαντική, αφού ερμηνεύει το 95% της διακύμανσης του χρόνου εκκίνησης, και μπορεί να καλύψει όλες τις διαφορές που προκύπτουν από τη φάση ώθησης και πτήσης. Επιπλέον, η διάρκεια του γλιστρήματος μετά από εκκίνηση και στροφές αντιστοιχεί συνήθως στο 10-25% του συνολικού χρόνου του αγωνίσματος, γεγονός που καθιστά τη φάση αυτή πολύ σημαντική και καθοριστική για την αγωνιστική κολύμβηση και ως εκ τούτου την εμβιομηχανική μελέτη αναγκαία.

Βιβλιογραφία

- Alves, F. (1993). Analysis of swimming Races. In *Proceedings of the XIVth Congress of International Society of Biomechanics*. International Society of Biomechanics, Paris, 88-89.
- Arellano, R., Moreno, F. J., Martinez, M. & Ona, A. (1996). A device for quantitative measurement of starting time. In T.A. Troup, A.P. Hollander, D. Strasse, S.W. Trappe, J.M. Cappaert, T.A. Trappe, (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*, (pp. 195-200). London, UK: E & FN Spon.

- Arellano, R., Llana, S., Tella, V., Morales, E. & Mercade, J. (2005). A comparison CMJ, simulated and swimming grab start force recordings and their relationships with the start performance. *Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports, China*, 923-926.
- Arellano, R. (2008). Hydrodynamics of swimming propulsion. In M. Sidney, F. Potdevin, & P. Pelayo (Eds), *Proceedings of the IVth Journées Spécialisées de Natation*, Lille: Université de Lille, 21-35.
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C. & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13 (2), 262-269.
- Blanksby, B. A., Gathercole, D. G. & Marshall, R. N. (1995). Reliability of ground reaction force data and consistency of swimmers in tumble turn analysis. *Journal of Human Movement Studies*, 28, 193-207.
- Blanksby, B. A., Gathercole, D. G. & Marshall, R. N. (1996). Force plate and video analysis of the tumble turn by age-group swimmers. *Journal of Swimming Research*, 11, 40-45.
- Blanksby, B. A., Hodgkinson, J. N. & Marshall, R. N. (1996b). Force-time characteristics of freestyle tumble turns by elite swimmers. *The South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 19(1&2), 1-15.
- Blanksby, B. A., Skender, S., Elliott, B. C., McElroy, G. K. & Landers, G. (2004). An analysis of the rollover backstroke turn by age-group swimmers. *Sports Biomechanics*, 3, 1-14.
- Chatard, J. C., Collomp, C., Maglischo, C. W. & Maglischo, E. W. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 11, 156-161.
- Chatard, J. C., Lavoie, J. M., Bourgoin, B. & Lacour, J. R. (1990b). The contribution of passive drag as a determinant of swimming performance. *International Journal of Sports Medicine*, 11(2), 367-372.
- Chow, J. W-C., Hay, J. G., Wilson, B. D. & Imel, C. (1984). Turning techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 2(3), 169-182.
- Clothier, P. J., MacElroy, G. K., Blanksby, B. A. & Payne, W. R. (2000). Traditional and modified exits following freestyle tumble turns by skilled swimmers. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 22(1), 41-55.
- Connaboy, C., Coleman, S. & Sanders, R. H. (2009). Hydrodynamics of undulatory underwater swimming. *Sports Biomechanics*, 8(4), 360-380.
- Cossor, J. M., Blanksby, B. A. & Elliott, B. C. (1999). The influence of plyometric training on the freestyle tumble turn. *Journal of Science Medicine in Sport*, 2, 106-116.
- Cossor, J. M. & Mason, B. R., (2001). Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. In J. Blackwell, & R. Sanders (Eds), *Proceedings of XIX International Symposium on Biomechanics in Sports, San Francisco: University of San Francisco*, 70-74.
- Costa, L., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Fernandes, R. J., Marinho, D., Silva, A. J., Rouboa, A., Vilas-Boas, J. P. & Machado, L. (2010). Hydrodynamic characterization of the first and second glide position of the underwater stroke technique in breaststroke. In P.L. Kjendlie, R.K. Stallman, & J. Cabri (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, (pp. 62-63) Oslo, Norway: Norwegian School of Sport Science.
- D'Acquisto, L. J., Costill, D. L., Gehrsen, G. M., Wong-Tai, Y. & Lee, G. (1988). Breaststroke economy skill and performance: study of breaststroke mechanics using a computer based "velocity video". *Journal of Swimming Research*, 4, 9-14.
- Elipot, M., Hellard, P., Taïar, R., Boissière, E., Rey, J. L., Lecat, S. & Houel, N. (2009). Analysis of swimmers' velocity during the underwater gliding motion following grab start. *Journal of Biomechanics*, 42, 1367-1370.
- Elipot, M., Houel, N., Hellard, P. & Dietrich, G. (2010). Motor coordination during the underwater undulatory swimming phase of the start for high level swimmers. In P.L. Kjendlie, R.K. Stallman, & J. Cabri (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, (pp.72-72) Oslo, Norway: Norwegian School of Sport Science.
- Galbraith, H., Scurr, J., Hencken, L., Wood, L. & Graham-Smith, P. (2008). Biomechanical comparison of the track start and the modified one-handed track start in competitive swimming: An intervention study. *Journal of Applied Biomechanics*, 24, 307-315.
- Guimaraes, A. C. S. & Hay, J. G. (1985). A mechanical analysis of the grab starting technique in swimming. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 25-35.
- Handley, R. D. (1992). The rollover turn. How fast is it? *Swimming Technique*, 28(4), 29-31.
- Havriluk, R. (2007). Variability in measurement of swimming forces: a meta-analysis of passive and active drag. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78, 32-39.
- Holthe, M. J. & McLean, S. P. (2001). Kinematic comparison of grab start and track starts in swimming. In J. Blackwell, & R. Sanders (Eds), *Proceedings of XIX International Symposium on Biomechanics in Sports, San Francisco: University of San Francisco*, 31-34.

- Honda, K. E., Sinclair, P. J., Mason, B. R. & Pease, D. L. (2010). A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. In P.-L. Kjendlie, R.K. Stallman, & J. Cabri (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, Oslo, Norway: Norwegian School of Sport Science, 94-96.
- Houel, N., Elipot, M., Andr e, F. & Hellard, H. (2010). Kinematics analysis of undulatory underwater swimming during a grab start of National level swimmers. In P.L. Kjendlie, R.K. Stallman, & J. Cabri (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, (pp. 97-99). Oslo, Norway: Norwegian School of Sport Science.
- Issurin, V.B. & Verbitsky, O. (2002). Track start vs. Grab start: evidence of the Sydney Olympic Games. In J.C. Chatard, (Ed), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, Saint-Étienne: Universit  de Saint-Étienne 213-218.
- Jiskoot, J. & Clarys, J. P. (1975). Body resistance on and under the water surface. In J.P. Clarys & L. Lewillie (Eds), *Swimming III*, (pp. 105-109). Baltimore: University Park Press.
- Klauck, J. (2005). Push-off forces vs. kinematics in swimming turns: model based estimates of time-dependent variables. *Human Movement*, 6, 112-115.
- Larsen, O. W., Yancher, R. P. & Bear, C. L. H. (1981). Boat design and swimming performance. *Swimming Technique*, 18, 38-44.
- Linthorne, N. P. (2000). Optimum take-off range in vertical jumping. In 3rd Australian Biomechanics Conference. Queensland, Australia, Australia: Griffith University, 49-50.
- Loebbecke, A. V., Mittal, R., Mark, R. & Hahn, J. (2009). A computational method for analysis of underwater dolphin kick hydrodynamics in human swimming. *Sports Biomechanics*, 8(1), 60-77.
- Lyttle, A. D. & Mason, B. (1997). A kinematic and kinetic analysis of the freestyle and butterfly turns. *Journal of Swimming Research*, 12, 7-11.
- Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliott, B. C. & Lloyd, D. G. (1998). The effect of depth and velocity on drag during the streamlined glide. *Journal of Swimming Research*, 13, 15-22.
- Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliott, B. C. & Lloyd, D. G. (1999). Investigating kinetics in the freestyle flip turn. *Journal of Applied Biomechanics*, 15, 242-252.
- Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliott, B. C. & Lloyd, D. G. (1999). Optimal depth for streamlined gliding. In K.L. Keskinen, P.V. Komi, & A.P. Hollander (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, (pp. 165-170). Jyvaskyla: Gummerus Printing.
- Lyttle, A. D. Blanksby, B. A., Elliott, B. C., & Lloyd, D. G. (2000). Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *Journal of Sports Sciences*, 18, 801-807.
- Lyttle, A. D. & Benjanuvatra, N. (2004). Optimising swim turn performance. Retrieved from: <http://coachesinfo.com/category/swimming/281>.
- Lyttle, A. D. & Benjanuvatra, N. (2007). Start right? A biomechanical review of dive start performance. Retrieved from www.coachesinfo.com
- Maglischo, E. W. (1993). *Swimming even faster*. Palo Alto, California: Mayfield Publishing Co.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming even faster*. Champaign, IL : Human Kinetics.
- Marinho, D. A., Reis, V. M., Alves, F. B., Vilas-Boas, J. P., Machado, L., Silva, A. J. & Rouboa, A. I. (2009). Hydrodynamic drag during gliding in swimming. *Journal of Applied Biomechanics*, 25, 253-257.
- Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Mantripragada, N., Vilas-Boas, J. P., Rouard, A. H., Mantha, V. R., Rouboa, A. I. & Silva, A. J. (2010). The gliding phase in swimming: the effect of water depth. In P.-L. Kjendlie, R.K. Stallman, & J. Cabri (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, (pp. 122-124) Oslo, Norway: Norwegian School of Sport Science.
- Martin, R. B., Yeater, R. A. & White, M. K. (1981). A simple analytical model for the crawl stroke. *Journal of Biomechanics*, 14(8), 539-548.
- Mason, B.R. & Cossor, M. J. (2000). What can we learn from competition analysis at the 1999 Pan Pacific Swimming Championships? *Proceedings of XVIII Symposium on Biomechanics in Sports*, Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong, 75-82.
- Mason, B.R., Alcock, A. & Fowlie, J. (2007). A kinetic analysis and recommendations for elite swimmers performing the sprint start. *Proceedings of XXV International Symposium on Biomechanics in Sports*, Brazil, 192-195.
- Miller, M. K., Allen, D. & Pein, R. (2002). A kinematic and kinetic comparison of the grab and track starts in swimming. In J.C Chatard, (Ed), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, (pp. 231-235) Saint-Étienne: Universit  de Saint-Étienne.

- Naemi, R. & Sanders, R. H. (2008). A 'hydro-kinematic' method of measuring glide efficiency of a human swimmer. *Journal of Biomech Eng-Trans ASME*, 13 (061016).
- Naemi, R., Easson, W. J. & Sanders, R. H. (2010). Hydrodynamic glide efficiency in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 444-451.
- Nicol, K. & Kruger, F. (1979). Impulses exerted in performing several kinds of swimming turns. In J. Terauds and E.W. Bedingfield (Eds), *Swimming III*, (pp. 222-232). Baltimore: University Press.
- Peyrebrune, M., Hardy, C. & Cullen, P. (1992). The new 'no hand touch back crawl turns'. *The Swimming Times*, November, 19-22.
- Polidori, G., Taiar, R., Fohanno, S., Mai, T. H. & Lodini, A. (2006). Skin-friction drag analysis from the forced convection modeling in simplified underwater swimming. *Journal of Biomechanics*, 39, 2535-2541.
- Prins, J. H. & Patz, A. (2006). The influence of tuck index, depth of foot-plant, and wall contact time on the velocity of push-off in the freestyle flip turn. In J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, (pp. 82-85). Porto, Portugal.
- Puel, F., Morlier, J., Cid, M., Chollet, D. & Hellard, P. (2010). Biomechanical factors influencing tumble turn performance of elite female swimmers. In P.-L. Kjendlie, R.K. Stallman, & J. Cabri (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, (pp. 155-157) Oslo, Norway: Norwegian School of Sport Science.
- Rejman, M. & Borowska, G. (2008). Searching for criteria in evaluating the monofin swimming turn from the perspective of coaching and improving technique. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7, 67-77.
- Ruschel, C., Araujo, L., Pereira, S. & Roesler, H. (2007). Kinematical analysis of the swimming start: block, flight and underwater phases. *Proceedings of XXV International Symposium on Biomechanics in Sports*. Brazil, 385-388.
- Shin, I. & Groppe, J. (1986). A comparison of the grab start and track start as utilized by competitive swimmers. In D.L. Landers, (Ed), *Sport and Elite Performers*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.
- Smidt, G. (1973). Biomechanical analysis of knee flexion and extension. *Journal of Biomechanics*. 6, 79-92.
- Takahashi, G., Yoshida, A., Tsubakimoto, S. & Miyashita, M. (1983). Propulsive force generated by swimmers during a turning motion. In F. Dana & G. Peg (Eds), *Biomechanics and Medicine in swimming*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Tourny-Chollet, C., Chollet, D., Hogue, S. & Paparodopoulos, C. (2002). Kinematic analysis of butterfly turns of international and national swimmers. *Journal of Sports Science*, 20, 383-390.
- Toussaint, H. M. & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13(1), 8-24.
- Toussaint, H. M. & Hollander, A. P. (1994). Energetics of competitive swimming implication for training programmes. *Sports Medicine*, 18(6), 384-406.
- Toussaint, H. M., Hollander, A. P., Berg, C. V. D., & Vorontsov, A. R. (2000). Biomechanics of swimming. In W.E. Garrett & D.T. Kirkendall (Eds), *Exercise and Sport Science*. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins.
- Toussaint, H. M. & Truijens, M. (2005). Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology*, 55(1), 17-40.
- Troup, J. P. (1999). The physiology and biomechanics of competitive swimming. *Clinics in Sports Medicine*, 18 (2), 267-285.
- Vennell, R., Pease, D. & Wilson, B. (2006). Wave drag on human swimmers. *Journal of Biomechanics*, 39, 664-671.
- Vilas-Boas, J. P., Cruz, M. J., Sousa, F., Conceição, F. & Carvalho, J. M. (2000). Integrated kinematic and dynamic analysis of two track-start techniques. In R. Sanders, & Y. Hong (Eds), *Proceedings of the XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports*, Hong Kong: The Chinese University Press, 113-117.
- Vilas-Boas, J. P., Costa, L., Fernandes, R., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Marinho, D. A., Silva, A. J., Rouboa, A. I. & Machado, L. (2010). Determination of the drag coefficient during the first and second gliding positions of the breaststroke underwater stroke. *Journal of Applied Biomechanics*, 26, 324-331.
- Vorontsov, A. R. & Rumyantsev, V. A. (2000). Resistive force in swimming. In V. Zatsiorsky (Ed), *Biomechanics in Sport* (pp. 184-204). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Wakayoshi, K., Nomura, T., Takahashi, G., Mutoh, Y. & Miyashita, M. (1992). Analysis of swimming races in the 1989 Pan Pacific swimming championships and 1988 Japanese Olympic trials. In D. MacLaren, et al. (Eds), *Biomechanics and Medicine in swimming*. London, UK: E. & F. N. Spon.
- Welcher, R. L., Hinrichs, R. N. & George, T. R. (2008). Front-or Rear- weighted track start or grab start : Which is the best for female swimmers? *Sports Biomechanics* 7(1), 100-113.
- Zatsiorsky, V. M., Bulgakova, N, Zh. & Chaplinsky, N. M. (1979). Biomechanical analysis of starting tech-

niques in swimming. In J. Terauds & W. Bedingfield (Eds), *Swimming III*, Baltimore: University Park Press, 199-206.