

Η ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ

Γ. ΣΑΠΚΑΣ
Γ. ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΕΟΥΣ
Α. ΤΖΟΥΤΖΟΠΟΥΛΟΣ
Π. ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ
Δ. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ

Η φυσιολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τον τρόπο λειτουργίας των μυών και των υπολοίπων οργάνων. Η φυσιολογία της άθλησης είναι η επιστήμη που ασχολείται με τον τρόπο με τον οποίο οι μύες και τα άλλα όργανα λειτουργούν ώστε να επιτυγχάνονται υψηλού επιπέδου επιδόσεις σε αθλητικές δραστηριότητες. Στη φυσιολογία εντάσσονται πεδία, όπως ο κυτταρικός μεταβολισμός, η λειτουργία των μυϊκών ινών, η διατροφή και ο ενεργειακός μεταβολισμός.

ΔΙΑΠΛΑΣΗ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΜΕΤΡΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

Σε αντίθεση με τα περισσότερα χερσαία αθλήματα, η κολύμβηση δίνει έμφαση και στηρίζεται στη μυϊκή ισχύ των άνω άκρων. Οι επιτυχημένοι αθλητές του υγρού στίβου είναι σε γενικές γραμμές, λεπτοί και ψηλοί, με μακριά άκρα και ευρείς ώμους και διαθέτουν σχετικά μεγάλη μυϊκή μάζα, ιδίως στο μέσο και άνω τμήμα του σώματός τους (εικόνα 1).

Οι Araujo², Ackland¹ και συν. αναφέρουν ότι οι άνδρες κολυμβητές είναι κυρίως εξωμεσομορφικού σωματότυπου, ενώ οι γυναίκες ενδομεσομορφικού. Οι υψηλού επιπέδου αθλητές τείνουν να έχουν μακρύτερους βραχίονες και μεγάλης επιφάνειας άκρες χείρες. Σύμφωνα με αυτήν την εμβιομηχανική περιγραφή, ορισμένες ανθρωπομετρικές παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του αθλητή. Κατά την εξέταση των κολυμβητών που ασχολούνται με διαφορετικά κολυμβητικά στυλ, οι κολυμβητές στο ελεύθερο και το ύπτιο βρέθηκαν να είναι οι ψηλότεροι και βαρύτεροι (μεγαλύτερη μυϊκή μάζα), ενώ του προσθίου είναι οι «πιο κοντοί»⁹. Ο Clarys¹³ μελέτησε τις διαφορές στις διαστάσεις του σώματος μεταξύ των υψηλού επιπέδου και χαμηλότερου επιπέδου κολυμβητών και εκτίμησε τη συσχέτιση των διαφορών αυτών με την απόδοσή τους. Συμπέρανε ότι οι διαφορές στις δυνάμεις αντίστασης του νερού, εξαιτίας διαφορών στη διαμόρφωση του σώματος, δεν αποτελούν λόγο για καλύτερες επιδόσεις στην κολύμβηση. Είναι, μάλλον, η καλύτερη εφαρμογή των δραστηκών αυτών δυνάμεων κατά την κολύμβηση που βελτιώνουν την απόδοση του αθλητή.

ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΤΑΛΕΝΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΑΝΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Πρόσφατες μελέτες που εξετάζουν την ανάπτυξη³²⁻³⁹ παρείχαν πληροφορίες για την αναγνώριση ατόμων με δυνατότητες στην κολύμβηση.

Παρότι οι περισσότερες από τις πληροφορίες αυτές βασίζονται στο ρυθμό ανάπτυξης³⁹, μπορούν να παράσχουν στον αθλητίατρο εργαλεία για να καθορίσει επαρκώς τις δυνατότητες ανάπτυξης. Όταν συνεκτιμάται με την απόδοση του αθλητή, ο ρυθμός της



Εικόνα 1. Κολυμβητής κατά τη διάρκεια αγώνα σε στυλ «πεταλούδας». Παρατηρείται η εξαιρετική ανάπτυξη του μυϊκού συστήματος των άκρων που βοηθά ουσιαστικά στην προώθηση και εκτίναξη του κολυμβητή έξω από το νερό.



Εικόνα 2. Α. Αθλητής κατάδυσης. Παρατηρείται το εξαιρετικά ανεπτυγμένο μυϊκό σύστημα. **Β.** Αθλήτρια κατάδυσης. Παρατηρείται το ιδιαίτερα ανεπτυγμένο μυϊκό σύστημα, ιδιαίτερα των μυών των κάτω άκρων.

σωματικής ανάπτυξης μπορεί να αποτελέσει ένδειξη για τις δυνατότητες που μπορεί να έχει ο αθλητής στο συγκεκριμένο άθλημα. Ο Κανουρας³³ περιέγραψε το ρυθμό βελτίωσης των επιδόσεων σε 320 κολυμβητές διαφόρων ηλικιών.

Ο βαθμός βελτίωσης συσχετίζεται με την αναπτυξιακή εξέλιξη αυτών των παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση.

Ως παράδειγμα, η $VO_2\max$ βρέθηκε^{32,39} ότι φτάνει στο μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης στα 15,5 έτη. Μετά από τη χρονική αυτή στιγμή, μόνο ελαφρά αύξηση της $VO_2\max$ έχει παρατηρηθεί. Παρομοίως, ο αναερόβιος μεταβολισμός φτάνει στη μέγιστη ανάπτυξή του στα 16,5 χρόνια. Από πρακτικής πλευράς, φαίνεται λογικό να ξεκινήσει κανείς ειδική προπόνηση για τη βελτίωση μιας συγκεκριμένης μεταβλητής αφού επιτευχθεί η μέγιστη ανάπτυξη του συγκεκριμένου παράγοντα.

ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΦΡΟΝΤΙΔΑ

Οι Costill και συν.¹⁵ ανέφεραν μεταβολές στις τιμές του γλυκογόνου μετά από διαλείπουσα προπόνηση στην κολύμβηση. Τα επίπεδα του γλυκογόνου μειώνονταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα μετά από βραχεία διαστήματα προπόνησης υψηλής έντασης. Προτάθηκε ότι 6 ώρες ανάπαυσης μεταξύ της πρωινής και απογευματινής προπόνησης της πρώτης ημέρας, ίσως δεν επαρκούν για την αποκατάσταση των επιπέδων του γλυκογόνου.

Χρησιμοποίηση «καυσίμων» κατά την προπόνηση

Κατά τη διάρκεια παρατεταμένων προπονήσεων κολύμβησης, υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις σε υδατάνθρακες, για να διατηρηθούν τα επίπεδα του γλυκογόνου και η αποτελεσματικότητα της άσκησης. Εάν οι αποθήκες γλυκογόνου δε διατηρούνται και δεν υπάρχει προσφορά υδατανθράκων, θα συμβεί μετάθεση της χρήσης καυσίμου προς τα λιπίδια⁷. Για το λόγο αυτό, φαίνεται πως τα συμπληρώματα υδατανθράκων είναι χρήσιμα κατά τη διάρκεια της προπόνησης. Άλλες μελέτες³¹ υποστηρίζουν τη θέση ότι η υψηλή πρόσληψη υδατανθράκων με την τροφή εντός 30 λεπτών από την προπόνηση βοηθά στην επιτάχυνση της επανασύνθεσης του γλυκογόνου των



Εικόνα 3. Παρατηρείται η συνεχής κίνηση των άκρων ποδών που βοηθά στην προώθηση του σώματος του κολυμβητή.

μύων. Οι διατροφικές πρακτικές πριν την προπόνηση ή τον αγώνα πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε να εξασφαλίζεται η αφθονία γλυκογόνου των αποθηκών των μυών και του ήπατος.

Λίγες είναι οι μελέτες που περιγράφουν τις απαιτήσεις των αθλητών σε πρωτεΐνες³⁷. Συνεπώς, είναι δύσκολο να καθοριστεί εάν οι κολυμβητές έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε πρωτεΐνη που δε μπορούν να καλυφθούν απλά με την αύξηση της πρόσληψης θερμίδων¹¹.

Γενικά, φαίνεται πως οι κολυμβητές μπορούν να καλύψουν τις πρωτεϊνικές τους ανάγκες με την επαρκή κατανάλωση θερμίδων.

Εκτίμηση του σωματικού λίπους

Το ποσοστό του λίπους στο σώμα τόσο των κολυμβητών (εικόνα 2) όσο και των κολυμβητριών υψηλού επιπέδου είναι χαμηλότερο από το παρατηρούμενο στο γενικό πληθυσμό (περίπου 15% ως 20% λίπος σώματος για τους άνδρες και 20% ως 25% για τις γυναίκες). Όπως φαίνεται από το σχετικά μεγάλο εύρος στην εκατοστιαία αναλογία λίπους στο σώμα στους πλέον επιτυχημένους αθλητές, το χαμηλό ποσοστό λίπους στο σώμα φαίνεται να έχει μικρή επίδραση στις επιδόσεις στην κολύμβηση. Παρότι μπορεί να υπάρχει ένα ιδανικό εύρος ποσοστιαίας αναλογίας λίπους, δεν γίνεται να υποστηριχτεί η χρήση της μεταβλητής αυτής με τη μορφή ανεξάρτητης «ιδανικής» τιμής. Πιθανότατα, η καλύτερη χρήση της εκατοστιαίας αναλογίας λίπους στο σώμα είναι για την εξασφάλιση της αποφυγής ταχείας απώλειας βάρους. Κατά τον καθορισμό παραγόντων που επηρεάζουν την επίδοση, η μυϊκή ισχύς παίζει σημαντικότερο ρόλο.

Ευλυγισία

Έχει προταθεί ότι η αυξημένη ευκαμψία των αρθρώσεων βοηθά τον κολυμβητή να επιτύχει μεγαλύτερο εύρος κίνησης κατά την κίνηση των χεριών¹⁸. Ο Κανouras³² έχει αποδείξει ότι οι κολυμβητές υψηλού επιπέδου είναι πιο ευλύγιστοι στους ώμους και τις ποδοκνημικές από ότι οι αθλητές χαμηλότερων επιδόσεων. Αυτή η σχέση είναι αληθής για διάφορες ηλικιακές ομάδες, ακόμη και σε διαγωνιζόμενους στους Ολυμπιακούς αγώνες. Η ευλυγισία επηρεάζεται από τη λειτουργική ανατομική

(τένοντες, σύνδεσμοι, κ.λπ.) μιας απλής ή σύνθετης άρθρωσης και από το μέγεθος του υποστηρικτικού μυϊκού συστήματος. Αυτό αποτελεί μείζον μέλημα για αθλητές και προπονητές, καθώς προσπαθούν να επιτύχουν αύξηση της δύναμης με αύξηση της μυϊκής μάζας, χωρίς όμως να μειώνεται η ευλυγισία (εύρος της κίνησης) και οι σχετιζόμενοι με αυτή βιομηχανικοί παραγόντες²⁶. Η ευλυγισία ποικίλλει ανάλογα με το φύλο, αλλά και ανάλογα με το στυλ κολύμβησης του αθλητή. Οι γυναίκες τείνουν να είναι πιο ευλύγιστες από τους άνδρες της ίδιας ηλικίας και δυνατοτήτων. Όσοι κολυμπούν πρόσθιο έχουν πιο ευλύγιστες ποδοκνημικές (αναστροφή και εκστροφή) και μεγαλύτερη έξω στροφή του μηρού σε σχέση με τους κολυμβητές των υπολοίπων κολυμβητικών στυλ. Όσοι κολυμπούν πεταλούδα έχουν μεγαλύτερη ευλυγισία στη ράχη (έκταση κορμού) και τους ώμους (απαγωγή και κάμψη)³².

ΜΥΕΣ: ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ

Οι διαθέσιμες πλέον προς χρήση «χερσαίες» συσκευές ελέγχου, όπως οι κολυμβητικοί πάγκοι, έχουν προσφέρει μία μέθοδο μέτρησης της μυϊκής ισχύος σε μια κίνηση έλξης, η οποία σχεδόν αναπαράγει την κίνηση των άνω άκρων του κολυμβητή. Οι Costill και Miller¹⁶ καθώς και οι Sharp και συν.⁵⁵ κατέδειξαν ότι η κολύμβηση είναι ένα άθλημα που στηρίζεται στη μυϊκή ισχύ. Μολαταύτα, για έμπειρους κολυμβητές που έχουν ήδη επιτύχει ένα ορισμένο επίπεδο μυϊκής ισχύος, η περαιτέρω αύξησή της φαίνεται πως είναι λιγότερο σημαντική. Η ικανότητα διατήρησης της μέγιστης μυϊκής ισχύος τους σε υψηλό επίπεδο καθ' όλη τη διάρκεια του αγώνα είναι μια περισσότερο πολύτιμη ιδιότητα. Αυτή η ικανότητα σχετίζεται με την κολυμβητική τεχνική και τη μηχανική απόδοση του αθλητή¹². Πράγματι, αφού επιτευχθεί ένα ορισμένο επίπεδο μέγιστης ισχύος ώστε να θεωρείται ο αθλητής υψηλών επιδόσεων, ο κολυμβητής που έχει τη μεγαλύτερη προωθητική ικανότητα, παρά τη μικρότερη μέγιστη απόδοση ισχύος, θα είναι ταχύτερος κολυμβητής (εικόνα 3).

Η παραγωγή ενέργειας κατά την κολύμβηση ταχύτητας, εξαρτάται από τη μέγιστη ένταση και ταχύτητα συστολής των συστατών στοιχείων του μυός (ρυθμός ανάπτυξης δύναμης)⁵⁶. Η μέγιστη ένταση και ταχύτητα συστολής



Εικόνα 4. Κατάδυση από ύψος στο νερό του κολυμβητηρίου. Η έκταση της μετατόπισης των σωματικών υγρών επηρεάζεται από τη θέση του σώματος πριν την είσοδο στο νερό και μετά την κατάδυση.

ενός μυός είναι εν μέρει θέμα της δυνατότητας παραγωγής ενέργειας των συστατικών του στοιχείων. Μύες με μεγάλη αλληλοεπικάλυψη ινιδίων μπορούν να παράγουν υψηλή μέγιστη δύναμη. Μύες μεγάλου μήκους θα έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα επίτευξης μεγάλης ταχύτητας βράχυνσης.³⁰

ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΥΪΚΩΝ ΙΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ

Μελέτες που εξετάζουν την ποσοστιαία αναλογία μυϊκών ινών των μυών κολυμβητών έχουν αναφέρει ποικίλα αποτελέσματα. Οι μελέτες τυποποίησης μυϊκών ινών που έχουν γίνει σε κολυμβητές έχουν πιστοποιήσει ποσοστά της τάξεως του 30% ως 70% για μυϊκές ίνες τύπου Ι. Οι Gollnick και συν.²³, Lavoie και συν.³⁶, Costul και συν. και Nygaard και Neilsen⁵¹ έδειξαν ότι οι κολυμβητές επιδεικνύουν μια μεγάλη ποικιλία στην αναλογία των διαφόρων τύπων μυϊκών ινών, έτσι ώστε ο τύπος των μυϊκών ινών μόνος του να μη μπορεί να αποτελέσει καλή μέθοδο πρόβλεψης του επιπέδου των επιδόσεων.

Ο σχεδιασμός της προπόνησης πρέπει να στηρίζεται σε διαφορετικές αρχές για την κολύμβηση αντοχής απ' ό,τι για την κολύμβηση ταχύτητας. Οι κινητικές μονάδες των μυϊκών ινών επιστρατεύονται με βάση ένα κλιμακωτό πρότυπο¹⁰, γεγονός που ενδιαφέρει πρακτικά, όταν μελετώνται οι ειδικές απαιτήσεις μυϊκής λειτουργίας κατά τη διάρκεια των κολυμβητικών αγώνων. Κατά τη διάρκεια αγωνισμάτων αντοχής (για παράδειγμα 800 και 1500 m), η μυϊκή ισχύς σε κάθε χεριά είναι σχετικά χαμηλή. Έχει προταθεί ότι ίνες τύπου Ι ενεργοποιούνται εκλεκτικά κατά τους αγώνες αυτού του τύπου, καθώς είναι πιο ανθεκτικές στην κόπωση. Για τη γένεση υπομέγιστης ισχύος σε αγώνες 200 και 400m, επιστρατεύονται οι ίνες τύπου Ι και ΙΙα. Οι ίνες τύπου ΙΙα παράγουν σημαντικά μεγαλύτερη δύναμη από ό,τι οι ίνες τύπου Ια, αλλά κουράζονται σχετικά εύκολα¹⁰. Ίνες τύπου Ι, ΙΙα, αλλά και οι ταχύτερες ίνες τύπου ΙΙβ επιστρατεύονται σε αγωνίσματα ταχύτητας (50 και 100m), όπου απαιτείται η μέγιστη δύναμη και εκρηκτικότητα στην κίνηση. Οι ίνες τύπου ΙΙβ παράγουν υψηλή ενέργεια σε μικρό χρόνο, αλλά είναι ευαίσθητες

στην κόπωση¹⁰, γεγονός που μειώνει την απόδοση του αθλητή στην κολύμβηση ταχύτητας.

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Το γεγονός ότι οι περισσότερες αποστάσεις στους αγώνες κολύμβησης (>80%) είναι 200m ή μικρότερες (περίπου 130sec ή λιγότερο) δίνει έμφαση στη σημασία της απαίτησης και χρήσης ενέργειας από αναερόβιες πηγές. Το αναερόβιο προφίλ των κολυμβητών δε μπορεί να καθοριστεί με ευκολία, αλλά έχουν αναπτυχθεί δοκιμασίες ελέγχου που χρησιμοποιούν εξοπλισμό υψηλής τεχνολογίας και επεμβατικές μεθόδους^{45,53} προς αυτήν την κατεύθυνση. Δοκιμασίες που μετρούν το έλλειμμα σε οξυγόνο, τις ανάγκες σε οξυγόνο, τη μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα μετά την άσκηση, δοκιμασίες κολύμβησης με πρόσδεση του αθλητή, προσαρμοσμένες δοκιμασίες Wingate, δοκιμασίες κολύμβησης σε πάγκο και άλλες έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση των απαιτήσεων σε αναερόβια ενέργεια και της συμβολής του αναερόβιου μεταβολισμού στην κολύμβηση.

Πρόσφατα, μία δοκιμασία για τη μέτρηση της απόδοσης του αναερόβιου μεταβολισμού^{4,45} έχει προσαρμοστεί σε κολυμβητικές συνθήκες²⁸ στηριζόμενη στις δοκιμασίες κολυμβητικής οικονομίας. Η μέτρηση των αναερόβιων χαρακτηριστικών στηρίζεται στον υπολογισμό των εκτιμώμενων συνολικών απαιτήσεων σε ενέργεια για κολύμβηση πολύ υψηλής έντασης. Επειδή η οικονομία της κολύμβησης περιλαμβάνει μια σειρά (τεσσάρων ή περισσότερων) σταθερών, υπομέγιστης έντασης κολυμβήσεων, παριστά τις αερόβιες απαιτήσεις της κολύμβησης σε ένα εύρος ταχυτήτων. Η προκύπτουσα σχέση δαπάνης ενέργειας και ταχύτητας κολύμβησης (δηλαδή το οικονομικό προφίλ κολύμβησης) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό των απαιτήσεων ή της δαπάνης ενέργειας κατά την κολύμβηση σε ταχύτητες που απαιτούν καλά αξιοποιημένη ενέργεια από αναερόβιες πηγές.

Η οικονομία της κολύμβησης μπορεί να επηρεαστεί



Εικόνα 5. Εικονίζεται η είσοδος του σώματος υπό γωνία 30° περίπου και η εκτίναξη των ώμων - άνω άκρων προς τα πλάγια και πίσω.

από την τεχνική. Συνεπώς, όσο ικανότερος είναι ο κολυμβητής (γεγονός που στηρίζεται μερικώς στην καλή του τεχνική) τόσο χαμηλότερες θα είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις για δεδομένη ταχύτητα κολύμβησης. Ο παράγοντας αυτός οδηγεί σε μια περισσότερο οριζόντια κλίση στο διάγραμμα της οικονομίας στην κολύμβηση, όπως φαίνεται στους περισσότερους προπονημένους και ταχείς αθλητές. Το διάγραμμα της οικονομίας της κολύμβησης, για το λόγο αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τις συνολικές απαιτήσεις σε ενέργεια για δεδομένο επίπεδο παραγωγής έργου. Οι ενεργειακές απαιτήσεις σε δεδομένη ταχύτητα κολύμβησης μπορούν να υπολογιστούν και η επιλεγμένη ένταση έργου μπορεί να προσδιοριστεί με μια παρέμβαση στο διάγραμμα οικονομίας και υποθέτοντας ότι η γραμμή είναι ευθύγραμμη στο μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων. Οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις μπορούν τότε να υπολογιστούν ως το γινόμενο της δαπάνης ενέργειας για μια δεδομένη ταχύτητα επί το συνολικό χρόνο της κολυμβητικής δοκιμασίας. Ειδικότερα, η περιγραφή των αναερόβιων χαρακτηριστικών (δηλαδή του ελλείμματος O_2) καθορίζεται επιλέγοντας μια ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 100% του VO_{2max} , με τη δοκιμασία να διαρκεί για τουλάχιστον 4 λεπτά. Εφόσον οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες είναι γνωστές για τη δοκιμαστική αυτή κολύμβηση, η κατανάλωση του συσσωρευμένου O_2 μετράται ανά διαστήματα των 10 δευτερολέπτων και η τιμή του ελλείμματος O_2 λαμβάνεται ως η διαφορά μεταξύ της υπολογισθείσας απαίτησης σε ενέργεια και της τιμής της κατανάλωσης του συσσωρευμένου O_2 σε κάθε διάστημα για τη συνολική διάρκεια της δοκιμασίας. Το πρωτόκολλο της δοκιμασίας για τη μέτρηση του ελλείμματος O_2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τα αναερόβια χαρακτηριστικά του ατόμου.

Αποτελέσματα βασισμένα σε αυτή τη δοκιμασία μέτρησης του ελλείμματος O_2 δείχνουν ότι οι κολυμβητές υψηλών επιδόσεων έχουν μεγαλύτερες αναερόβιες εφεδρείες και χαμηλότερα ποσοστά προσαρμογής (καλύτερη χρήση του αναερόβιου συστήματος) κατά τη διάρκεια άσκησης

υψηλής έντασης, σε σχέση με τους χαμηλότερου επιπέδου αθλητές^{52,57,58}. Για παράδειγμα, οι κολυμβητές παγκόσμιας κλάσης έχουν μεγαλύτερη ικανότητα χρησιμοποίησης του αναερόβιου μεταβολισμού και μπορούν να προμηθευτούν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από αναερόβιες πηγές για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της άσκησης. Γι' αυτό, η κλίση της καμπύλης διακίνησης O_2 θα είναι σχετικά επίπεδη. Αντίθετα, οι μικρότερου βεληνεκούς αθλητές δε μπορούν να βασιστούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα στις αναερόβιες ενεργειακές τους εφεδρείες (επειδή είναι συγκριτικά μικρές) και η κλίση της καμπύλης διακίνησης του O_2 θα είναι περισσότερο κάθετη. Αυτό το πρωτόκολλο αποτελεί έναν καλό τρόπο περιγραφής της συνολικής δυνατότητας απόδοσης ενέργειας του οργανισμού του κάθε αθλητή χωριστά και καθιστά δυνατή τη διερεύνηση του κατά πόσο ο οργανισμός του κάθε αθλητή μπορεί να ανταποκριθεί ενεργειακά σε μηχανικό έργο των διαφόρων εντάσεων και χρονικής διάρκειας που απαντώνται στην κολύμβηση.

ΑΕΡΟΒΙΕΣ ΚΑΙ ΚΑΡΔΙΟΠΝΕΥΜΟΝΙΚΕΣ ΕΦΕΔΡΕΙΕΣ

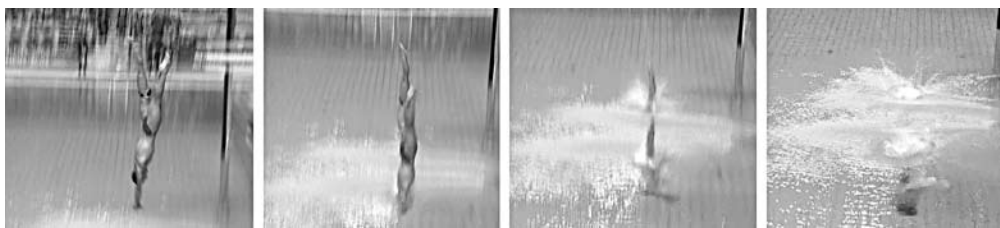
Εξαιτίας της φύσης της προπονητικής αγωγής που ακολουθούν οι αθλητές στην αγωνιστική κολύμβηση, οι κολυμβητές έχουν μεγάλες καρδιοπνευμονικές και αερόβιες εφεδρείες³. Οι Montpetit και συν.⁵⁰ ανακάλυψαν μεταβολές στη VO_{2max} κατά τη διάρκεια του τελευταίου διμήνου πριν από διεθνείς αγώνες και συμπέραναν ότι η VO_{2max} αποτελεί μικρό μόνο παράγοντα επίδρασης στην απόδοση του κολυμβητή και δεν αποτελεί καλό δείκτη για την πρόβλεψή της. Μελέτες από τους Handel και συν.⁶⁸ επιβεβαιώνουν και αυτές το συγκεκριμένο εύρημα. Προφανώς, η βελτίωση της απόδοσης του κολυμβητή δεν συσχετίζεται στενά με τις αερόβιες του εφεδρείες.

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗ

Το υδάτινο περιβάλλον θέτει μια μοναδική σειρά προβλημάτων και ερωτηματικών στον προπονητή και τον ειδικό στην αθλητική επιστήμη, επειδή οι φυσιολογικές αποκρίσεις του οργανισμού στην άσκηση στο νερό διαφέρουν από τις αντίστοιχες αποκρίσεις στην ξηρά. Για παράδειγμα, η καρδιοπνευμονική απόκριση, η ισορροπία των σωματικών υγρών και η θερμορύθμιση επηρεάζονται σημαντικά όταν ο άνθρωπος ασκείται στο νερό.

Περιορισμοί που τίθενται από τον ενεργειακό μεταβολισμό

Η ενδομυϊκή τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP), η φω-



Εικόνα 6. Διακρίνονται οι διάφορες φάσεις της εισόδου στο νερό των αθλητών της συγχρονισμένης κατάδυσης, όπου η σωστή θέση του σώματος και η ορθή γωνία εισόδου ελαχιστοποιούν τη μετατόπιση των σωματικών υγρών.

σφοκρεατινίνη (PCr) και οι αποθήκες γλυκογόνου είναι οι κύριες πηγές καυσίμου κατά τη διάρκεια της έντονης άσκησης⁶. Η ενέργεια για όλα τα κολυμβητικά αγωνίσματα (το μεγαλύτερο είναι τα 1500 μέτρα ελεύθερο, που διαρκεί περί τα 15 λεπτά) παρέχεται από τα αποθηκευμένα στους μυς καύσιμα στην αρχή του αγώνα. Εξαιτίας της μεγάλης έντασης των κολυμβητικών αγωνισμάτων και των ασταθών συνθηκών, είναι δύσκολο να μελετηθούν και να ποσοτικοποιηθούν οι μεταβολικές απαιτήσεις στις κούρσες της αγωνιστικής κολύμβησης. Είναι προφανές, όμως, ότι δεν είναι το διαθέσιμο ποσό γλυκογόνου ο περιοριστικός παράγοντας κατά την κούρσα και ότι μόνο ένα μικρό κλάσμα του εναποθηκευμένου στους μυς γλυκογόνου (φυσιολογικά επίπεδα) χρησιμοποιείται⁵⁴. Προβλήματα ή περιορισμοί στην απόδοση του αθλητή μπορεί να προκληθούν, όμως, όταν τα πριν την άσκηση επίπεδα γλυκογόνου είναι εξαντλημένα εξαιτίας της έντονης προπόνησης.

Τρεις άλλες εκδοχές θα μπορούσαν να ερμηνεύσουν τους περιορισμούς στην απόδοση του αθλητή κατά τη διάρκεια του αγώνα που τίθενται από τον ενεργειακό μεταβολισμό: 1) Η μείωση των ενδομυϊκών αποθηκών ATP και PCr, 2) η μείωση του ρυθμού παραγωγής και χρησιμοποίησης της ενέργειας⁴⁵ και 3) η διαταραχή της μυϊκής λειτουργίας που σχετίζεται με μεταβολές στο ενδομυϊκό pH^{25,52}. Ο ρυθμός απόδοσης ενέργειας σχετίζεται με τη ροή ενέργειας μέσω της μεταβολικής οδού, όπως αυτή ρυθμίζεται από την ενζυμική δραστηριότητα⁴⁹, συνεπώς, δυνητικά, όσο μεγαλύτερη η ενζυμική δραστηριότητα τόσο καλύτερο είναι το αναερόβιο προφίλ του αθλητή.

Περιορισμοί που τίθενται από την καρδιοπνευμονική απόκριση

Η κατάδυση στο νερό συνοδεύεται από αύξηση της πίεσης που ασκείται στην επιφάνεια του σώματος. Επιπρόσθετα, η πρηνής θέση του σώματος και οι περιορισμοί που τίθενται από τις κολυμβητικές κινήσεις στην αναπνοή οδηγούν σε καρδιαγγειακές και αναπνευστικές προσαρμογές που είναι μοναδικές για την κολύμβηση (εικόνα 4).

Έξω από το νερό, η πρηνής θέση (εικόνα 5) ευνοεί την

αύξηση της φλεβικής επαναφοράς στην καρδιά (αύξηση του τελοδιαστολικού όγκου) που επιτρέπει τη μείωση του καρδιακού ρυθμού για δεδομένη τιμή καρδιακής παροχής^{3,35}. Για δεδομένη τιμή υπομέγιστης $\dot{V}O_2$ ^{38,40} ο καρδιακός ρυθμός είναι χαμηλότερος κατά την κολύμβηση απ' ό,τι κατά την ποδηλασία ή το τρέξιμο στην ξηρά. Οι Holmer και Bergh²⁹ εντούτοις, διαπίστωσαν παραπλήσιους καρδιακούς ρυθμούς για δεδομένη τιμή $\dot{V}O_2$ κατά την κολύμβηση και το τρέξιμο. Οι πνευμονικοί όγκοι και οι συχνότητα των αναπνοών κατά την κολύμβηση καθορίζονται εν μέρει από τους περιορισμούς που τίθενται από τις κινήσεις των άνω άκρων στην κολύμβηση. Σε μια προσπάθεια να βοηθήσουν τους κολυμβητές τους να αντεπεξέλθουν επιτυχώς σε αυτές τις απαιτήσεις, πολλοί προπονητές εφαρμόζουν την «υποξική» προπόνηση. Η «υποξική» κολύμβηση πραγματοποιείται με τη λήψη λιγότερων αναπνοών από το φυσιολογικό¹⁷. Αντί να αναπνέει σε κάθε χεριά, ο αθλητής αναπνέει ανά δύο ή τρεις χεριές (εικόνα 5: εικονίζεται πλαγίως ο κολυμβητής που κολυμπά σε στυλ «πεταλούδας». Το πρόσθιο μέρος του σώματος πάνω από το νερό βρίσκεται σε γωνία 15°-20° σε σχέση με το νερό. Τα άνω άκρα βρίσκονται ήδη εκτός του νερού και αρχίζει η επαναφορά τους). Θεωρητικά, η μείωση στη συχνότητα των αναπνοών προκαλεί μεγαλύτερη πρόσληψη οξυγόνου από τους ασκούμενους μυς και αυξάνει τα επίπεδα του CO_2 (δηλαδή την PCO_2)²⁰. Η αύξηση της PCO_2 έχει όμως συσχετιστεί με κεφαλαλγία και επεισόδια απώλειας της συνείδησης¹⁹. Οι Gullstrand και Holmer²⁴, συγκρίνοντας την υποξική με τη συνηθισμένη προπόνηση, διαπίστωσαν χαμηλότερη καρδιακή συχνότητα και επίπεδα γαλακτικού στο αίμα κατά τη διάρκεια τμηματικής προπόνησης 100 ή 200 μέτρων, ενώ ο Counsilman¹⁷ διαπίστωσε αύξηση του καρδιακού ρυθμού κατά την υποξική προπόνηση. Απαιτούνται περισσότερες μελέτες για να γίνουν καλύτερα κατανοητές οι φυσιολογικές απαιτήσεις της υποξικής προπόνησης και να διαπιστωθεί εάν είναι χρήσιμη ως προπονητικό βοήθημα.

Περιορισμοί που τίθενται από τις μεταβολές στα σωματικά υγρά και τη θερμορύθμιση

Η κατάδυση στο νερό προκαλεί μετατόπιση των σωμα-

τικών υγρών. Η έκταση αυτής της μετατόπισης επηρεάζεται από τη θέση του σώματος πριν την είσοδο στο νερό και μετά την κατάδυση (εικόνα 6). Το βάθος κατάδυσης επίσης επηρεάζει τα σωματικά υγρά, αλλά ο παράγοντας βάθος είναι γενικά σταθερός στην αγωνιστική κολύμβηση. Η θερμοκρασία του νερού επίσης επιδρά, τόσο στην ισορροπία των υγρών του σώματος όσο και στην ανταλλαγή θερμότητας.

Τα υγρά μετατοπίζονται κατά την κατάδυση, κυρίως εξαιτίας της μείωσης των βαρυτικών επιδράσεων στο σώμα. Για παράδειγμα ένας κολυμβητής με σωματικό βάρος 70 κιλά ζυγίζει στο νερό (ανάλογα και με τη σύσταση του σώματός του) περί τα 10 κιλά. Η μετακίνηση από την όρθια θέση στην ξηρά στην πρηνή θέση στο νερό, ενεργοποιεί τη διούρηση και συνεπώς την αιμοσυμπύκνωση^{8,34,42,60}. Αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο πολλοί κολυμβητές αισθάνονται έπειξη προς ούρηση λίγο μετά την είσοδό τους στο νερό.

Έχει δοθεί πολύ μεγαλύτερη σημασία στη θερμορύθμιση κατά την κατάδυση στο νερό και την κολύμβηση^{21,22,27,41,43,47,48,50}, πολύ μικρό μέρος των ερευνών, όμως, αφορούν σε ένταση κολύμβησης παρόμοια με αυτήν που απαιτείται στην προπόνηση και τους αγώνες. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα αυτών των μελετών έχουν πρακτική εφαρμογή στον κολυμβητικό μαραθώνιο και τον κολυμβητικό διάπλου και παρέχουν μια θεμελιώδη βάση για την κατανόηση της θερμορύθμισης στο νερό.

Κατά την κολύμβηση, παρότι οι μεταβολικοί ρυθμοί αυξάνονται σε παρόμοια επίπεδα, η εξάτμιση εμποδίζεται από το νερό που περιβάλλει τον αθλητή και η μεταφορά θερμότητας είναι ο κύριος τρόπος αποβολής θερμότητας από το σώμα.

Το επίπεδο δραστηριότητας επηρεάζει τη θερμορύθμιση στο νερό και επομένως την άνετη παραμονή σε αυτό, γι' αυτό και, πρακτικά, όλοι οι κολυμβητικοί αγώνες διέπονται από τους κανονισμούς της Διεθνούς Ομοσπονδίας Ερασιτεχνικής Κολύμβησης (FINA), που καθορίζουν το «αγωνιστικό» εύρος της θερμοκρασίας του νερού σε 25 ως 27°C. Σ' ότι αφορά τη θερμορύθμιση, εντονότερο πρόβλημα υπάρχει κατά την προπόνηση των κολυμβητών από ό,τι κατά τους κολυμβητικούς αγώνες, κυρίως διότι η έντονη άσκηση για μεγάλες χρονικές περιόδους χωρίς διάλειμμα παράγει υψηλότερα ποσά θερμότητας στο σώμα. Κατά την είσοδο στο νερό, η θερμοκρασία του δέρματος έρχεται σε ισορροπία με τη θερμοκρασία του νερού⁴⁸. Εάν το νερό έχει θερμοκρασία χαμηλότερη των 33-34°C (θερμοουδετερότητα) και οι κολυμβητές δεν ασκούνται ή βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας, καθίστανται υποθερμικοί μετά από παρατεταμένη εμβάπτιση^{29,48}. Οι Bardzukas και συν.⁵ ανέφεραν ότι η θερμοκρασία πυρήνα του σώματος αυξάνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια υψηλής έντασης

προπόνησης. Διαπίστωσαν αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα κατά 1-2°C σε κολυμβητές μετά από προπόνηση μήκους 8.000 ως 10.000 μέτρων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ackland TR, Mazza JC, Carter L, et al. A survey of physique of world champion aquatic athletes. *Sports Coach* 1991; 14:10-11.
2. Araujo CGS. Somatotyping of top swimmers by the health-carter method. In *Swimming Medicine IV*. Baltimore, University Park Press; 1978. p. 188-99.
3. Arborelius M Jr, Balldin UI, Lilja B, et al. Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerospace Med* 1972; 43:592-8.
4. Astrand PO, Rodahl K. *Textbook of Work Physiology*. New York, McGraw-Hill; 1986.
5. Bardzukas AP, TVappe TA, Jozsi AC, et al. The effects of hydrating on thermal load and plasma volume during high intensity swimming training. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25:820.
6. Bergstrom, Hultman E. Nutrition for maximal sports performance. *JAMA* 1972; 221:999-1006.
7. Berning JR. The effect of carbohydrate feedings on four-hour swimmers. In Troup JP (ed). *International Center for Aquatic Research Annual*. Colorado Springs, U.S. Swimming Press; 1992. p. 145-9.
8. Boening D, Ulmer HV, Meier U, et al. Effects of a multi-hour immersion on trained and untrained subjects; I. Renal function and plasma volume. *Aerospace Med* 1972; 43:300-5.
9. Boulgakova N. *Selection et preparation des jeunes nageurs*. Paris: Vigot; 1990.
10. Burke RE. Motor units: Anatomy, physiology, and functional organization. In Brooks VB (ed): *Handbook of Physiology*. Section I, The Nervous System II. Washington: American Physiological Society; 1981. p. 345-422.
11. Butterfield G. Amino acids and high protein diets. In: Lamb DR, Williams MH, editors. *Ergogenics—Enhancement of Exercise and Sports Performance*. Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine, vol 4. Carmel, IN, Benchmark Press; 1991. p. 87-122.
12. Cappaert JM. The importance of propelling and mechanical efficiencies. In: Troup IP editor. *International Center for Aquatic Research Annual*. Colorado Springs: U.S. Swimming Press; 1991. p. 75-80.
13. Clarys JP. Human body dimensions and applied hydrodynamics: Selection criteria for top swimmers. *SNIPES Journal* 1986; 23:32-41.
14. Costill DL, Fink WJ, Hargreaves M, et al. Metabolic characteristics of skeletal muscle during detraining from competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17:339-43.
15. Costill DL, Flynn MG, Kirwan JP, et al. The effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 20:249-54.
16. Costill DL, Miller J. Nutrition for endurance sport: Carbohydrate and fluid balance. *Int J Sports Med* 1980; 1:2-14.
17. Counsilman JE. Hypoxic and other methods of training evaluated. *Swimming Techniques* 1975; 12:19-26.

18. Counsilman JE. *The Science of Swimming*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, Inc, 1968.
19. Craig AB. Summary of 58 cases of consciousness underwater during swimming. *Med Sci Sports* 1976; 8:171-5.
20. Craig AB: The fallacies of hypoxic training in swimmers. In: Terauds J, Bedingfield W, editors. *Swimming*. Baltimore: University Park Press; 1979. p. 235-9.
21. Craig AB, Dworak M. Thermal regulation of man exercising during water immersion. *J Appl Physiol* 1968; 25:28-35.
22. Galbo H, Houston ME, Christensen NJ, et al. Hormonal response of swimming man. *Acta Physiol Scand* 1979; 105:326-37.
23. Gollnick PD, Armstrong RB, Sawbert CW, et al. Enzyme activity and fibre composition in skeletal muscle of trained and untrained men. *J Appl Physiol* 1972 3:312-9.
24. GuUstrand L, Holmer I. Physiological responses to swimming with controlled frequency of breathing. *Scandinavian Journal of Sports Science* 1980; 2:1-6.
25. GuUstrand L, Lawrence S. Heart rate and blood lactate response to short intermittent work at race pace in highly trained swimmers. *Aust J Sci Med Sport* 1987; 19:10-4.
26. Hay JG. *The Biomechanics of Sports Techniques*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall; 1985. p. 343-94.
27. Hayward JS, Eckerson JD, Collis ML. Thermoregulatory heat production in man: Prediction equation based on skin and core temperatures. *J Appl Physiol* 1977; 42:377-84.
28. Hollander AP, Troup JP, Bone M, et al. Estimation of the anaerobic contribution to energy consumption in swimming different distances. *Sports Sci* 1991; 9:87-8.
29. Holmer I, Betgh U. Metabolic and thermal responses to swimming in water at varying temperatures. *J Appl Physiol* 1974; 37:702-5.
30. Huijing PA. Mechanical muscle models. In: Komi PV, editor. *Strength and Power in Sports*. London: Blackwell Scientific; 1992. p. 151-68.
31. Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, et al. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 1986; 65:1703-9.
32. Kavouras SA. Growth, Maturation and Performance Evaluation of Elite Age Group Swimmers. 1992 United States Swimming Camp Report. Colorado Springs: U.S. Swimming Press; 1993.
33. Kavouras SA. Developmental Stages of Competitive Swimmers. 1991 United States Swimming Camp Report. Colorado Springs: U.S. Swimming Press; 1992.
34. Khosla SS, Dubois AB. Osmoregulation and interstitial fluid pressure changes in humans during water immersion. *Appl Physiol* 1981; 51:686-92.
35. Lange L, Lange S, Echt M, et al. Heart volume in relation to body posture and immersion in a thermo-neutral bath. *Pfluegers Arch* 1974; 352:219-26.
36. Lavoie JM, Taylor AW, Montpetit RR. Histochemical and biochemical profile of elite swimmers before and after six month training period. In: Poortmans J, Nisert G, editors. *Biochemistry of Exercise*. Baltimore: University Park Press; 1981. p. 259-66.
37. Lemon PWR, Proctor DN. Protein intake and athletic performance. *Sports Med* 1991; 12:313-25.
38. Magel JR. Comparison of the physiologic response to varying intensities of submaximal work in tethered swimming and treadmill running. *J Sports Med Phys Fitness* 1971; 11:203-312.
39. Malina RM, Bouchard C. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL, Human Kinetics; 1988.
40. McArdle WD, Glaser RM, Magel JR. Metabolic and cardio-respiratory response during free swimming and treadmill walking. *J Appl Physiol* 1971; 30:733-8.
41. McArdle WD, Magel JR, Lesmes GR, et al. Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25 and 33 degrees C. *J Appl Physiol* 1976; 40:85-90.
42. McCally M. Body fluid volumes and renal response of human subjects to water immersion. AMRL-TR-65-115, Aerospace Medical Research Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base; 1965.
43. McMurray RG, Horvath SM. Thermoregulation in swimmers and runners. *J Appl Physiol* 1979; 46:1086-92.
44. Medbo JI, Burgers S. Effect of training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22:501-7.
45. Medbo JI, Mohn AC, Tabata I, et al. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O deficit. *J Appl Physiol* 1988; 64:50-60.
46. Montpetit R, Duvallet A, Cazorla G, et al. The relative stability of maximal aerobic power in elite swimmers and its relation to training performance. *Journal of Swimming Research* 1987; 3:15-8.
47. Nadel ER. Thermal and energetic exchanges during swimming. In: Nadel ER, editor. *Problems with Temperature Regulation During Exercise*. New York: Academic Press; 1977. p. 91-119.
48. Nadel ER, Holmer I, Bergh U, et al. Energy exchanges of swimming man. *J Appl Physiol* 1974 36:465-71.
49. Newsholme EA. Basic aspects of metabolic regulation and their application to provision of energy in exercise. In: Hebbelink M, Shephard RJ, editors. *Principles of Exercise Biochemistry*. Basel: Karger; 1988. pp.40-77.
50. Nielsen B. Temperature regulation during exercise in water and air. *Acta Physiol Scand* 1976; 98:500-8.
51. Nygaard E, Nielsen E. Skeletal muscle fibre capillarisation with extreme endurance training in man. In: Eriksson B, Furberg B editors. *Swimming Medicine IV. Proceedings of the Fourth International Congress on Swimming Medicine*. Baltimore: University Park Press; 1978. p. 282-93.
52. Olbrecht J, Mader A, Heck H, et al. Importance of a calculation scheme to support the interpretation of lactate tests. In: Mac Laren D, Reilly T, Lees A, editors. *Swimming Science VI*. London: E & FN SPON; 1992. p. 243-9.
53. Prins J. Muscles and their function. In: Flavell ER, editor. *Biokinetics Strength Training*. Albany CA: Isokinetics; 1981. p. 72-7.
54. Rohrs DM, Mayhew JL, Arabas C, et al. The relationship between seven anaerobic tests and swim performance. *Journal of Swimming Research* 1990; 6:15-9.
55. Saltin B. Metabolic fundamentals in exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1973; 5:137-46.
56. Sharp RL, Armstrong LE, King DS, et al. Buffer capacity of blood in trained and untrained males. In: Knuttgen HG,

- Vogel JA, Poortmans I editors. *Biochemistry of Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1983. p. 595-9.
57. Strass D. Effects of maximal strength training on sprint performance of competitive swimmers. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reischle K editors. *Swimming Science V*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1988. p. 149-56.
 58. Trappe SW, Trappe TA, Troup JP. The relationship between maximal accumulated oxygen deficit and selected skeletal muscle characteristics. *J Appl Physiol*, in review.
 59. Troup JP, Hollander AP, Bone M, et al. Performance-related differences in the anaerobic contribution of competitive freestyle swimmers. *J Sports Sci* 1991; 9:106-7.
 60. Van Handel PJ, Katz A, Troup JP, et al. Aerobic economy and competitive swim performance of U.S. elite swimmers. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reischle K editors. *Swimming Science V*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1988. p. 219-27.
 61. Vogt FB, Johnson PC. Study of the effect of water immersion on healthy adult male subjects: Plasma volume and fluid-electrolyte changes. *Aerospace Med* 1965; 36:447-51.