



ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Τομέας Υγρού Στίβου

**ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ
ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΠΑΙΔΙΑ ΚΑΙ
ΕΝΗΛΙΚΕΣ ΚΟΛΥΜΒΗΤΕΣ**

ΜΠΙΖΑΝΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ

Ειδικότητα Κολύμβησης

Αθήνα, Ιούνιος 2024

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Τουμπέκη Αργύρη για την αδιάκοπη στήριξη του αλλά και τις ώρες που αφιέρωσε για να μου παράσχει οδηγίες και συμβουλές σε κρίσιμα ερωτήματα της έρευνας, αλλά και για την συνολική βοήθειά του.

ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΠΑΙΔΙΑ ΚΑΙ ΕΝΗΛΙΚΕΣ ΚΟΛΥΜΒΗΤΕΣ

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να συγκριθούν διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού της κρίσιμης ταχύτητας. Στη μελέτη συμμετείχαν οκτώ παιδιά (5 κορίτσια και 3 αγόρια, ηλικία: $10,9 \pm 0,3$ ετών) και οκτώ ενήλικες (4 άνδρες και 4 γυναίκες, ηλικία: $40,3 \pm 6,5$ ετών). Ο υπολογισμός της κρίσιμης ταχύτητας έγινε με βάση τις επιδόσεις τους στις δοκιμασίες μέγιστης προσπάθειας (200μ, 400μ.). Η ταχύτητα σε δοκιμασία 12x25 μ. με μέγιστη ένταση χρησιμοποιήθηκε για να συγκριθεί και να εξεταστεί η σχέση της με την κρίσιμη ταχύτητα. Η κρίσιμη ταχύτητα που προκύπτει από τα 200 και 400 μέτρα (παιδιά: $1,08 \pm 0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ενήλικες: $1,10 \pm 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) ήταν χαμηλότερη από τη μέση ταχύτητα των 12x25 μ. (παιδιά: $1,26 \pm 0,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ενήλικες: $1,46 \pm 0,13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $p < 0,05$) και τη μέση ταχύτητα των τελευταίων 4x25 μέτρων της δοκιμασίας 12x25 μ. (παιδιά: $1,21 \pm 0,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ενήλικες: $1,44 \pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $p < 0,05$). Η δοκιμασία 12x25 μ. σχετίζεται σημαντικά με την κρίσιμη ταχύτητα στα παιδιά ($r=0,91$, $p < 0,01$) και στους ενήλικες ($r=0,62$, $p < 0,05$) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της κρίσιμης ταχύτητας.

Λέξεις κλειδιά: κρίσιμη ταχύτητα, 6 χεριές, δοκιμασίες, παιδιά, ενήλικες

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	ii
Περίληψη	iii
Λέξεις κλειδιά:	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	v
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Προσδιορισμός του προβλήματος.....	1
1.2 Σκοπός της μελέτης	1
1.3 Σημασία της μελέτης	2
1.4 Οριοθετήσεις και περιορισμοί.....	2
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	3
2.1 Κρίσιμη ταχύτητα.....	3
2.2 Υπολογισμός της Κρίσιμης Ταχύτητας - Μέθοδοι και Περιορισμοί	4
2.3 Εγκυρότητα και σύγκριση της κρίσιμης ταχύτητας με άλλους αερόβιους δείκτες αντοχής.....	7
2.4 Άλλοι τρόποι υπολογισμού της κρίσιμης ταχύτητας.....	8
III. ΜΕΘΟΔΟΣ	9
3.1 Συμμετέχοντες	9
3.2 Μέσα συλλογής δεδομένων.....	9
3.3 Διαδικασία συλλογής δεδομένων	10
3.4 Στατιστική επεξεργασία	10
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	11
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	13
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	15

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Μέσοι όροι ταχύτητας των συμμετεχόντων	11
---	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της ομάδας των ενηλίκων	9
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά της ομάδας παιδιών	9
Πίνακας 3. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των τριών δοκιμασιών στις δύο ομάδες (m/s).....	11
Πίνακας 4 Οι συντελεστες συσχέτισης μεταξύ των τριών δοκιμασιών σε παιδιά και ενήλικές.....	12

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι σημαντικό για τους προπονητές όλων των αθλημάτων να υπάρχουν «προπονητικά εργαλεία» που θα χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της απόδοσης των αθλητών. Τα «προπονητικά εργαλεία» μπορεί να είναι διάφορες δοκιμασίες που έχουν προκύψει μετά από έρευνες, που στόχο έχουν να καθορίσουν την κρίσιμη ταχύτητα, την αερόβια ικανότητα, το κατώφλι γαλακτικού και την αναερόβια ικανότητα των αθλητών. Πιο συγκεκριμένα ένας προπονητής κολύμβησης για να διαμορφώσει την προπόνηση των αθλητών του (π.χ τα σετ, τα μέτρα της προπόνησης, τα διαλείμματα κτλ.) θα πρέπει να γνωρίζει την ικανότητα των αθλητών του στη διατήρηση της κρίσιμης ταχύτητας που παίζει σημαντικό ρόλο στην αερόβια αντοχή. Ο υπολογισμός της κρίσιμης ταχύτητας από αποστάσεις 200μ.-400μ., 50μ.-100μ.-200μ.-400μ. ή 100μ.-800μ. είναι μία εύκολη πρακτική μέθοδος για την αξιολόγηση της αερόβιας αντοχής (Toubekis & Tokmakidis, 2013). Πρόσφατα, δοκιμασίες με διάρκεια 3 λεπτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της κρίσιμης ταχύτητας. Επιπλέον, στην κολύμβηση μία δοκιμασία 12x25 μ. χρησιμοποιήθηκε για να συγκριθεί με την κρίσιμη ταχύτητα.

1.1 Προσδιορισμός του προβλήματος

Μέχρι στιγμής υπολογίζεται με διάφορες μετρήσεις μεταξύ των αποστάσεων 50 έως 400 μέτρα. Ο κύριος προβληματισμός της παρούσας έρευνας είναι αν μπορεί να προσδιοριστεί η κρίσιμη ταχύτητα με δοκιμασίες μικρότερων αποστάσεων, ώστε να είναι πιο εύκολη η όλη διαδικασία για τους αθλητές.

1.2 Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της έρευνας είναι να εξετάσει κατά πόσο μπορεί να προσδιοριστεί η κρίσιμη ταχύτητα απο μια δοκιμασία 12x25 μέτρα.

1.3 Σημασία της μελέτης

Η σημαντικότητα της έρευνας έγκειται στο να βρεθεί ένας νέος αξιόπιστος και έγκυρος τρόπος μέτρησης και αξιολόγησης της κρίσιμης ταχύτητας, ο οποίος θα είναι λειτουργικός για αθλητές και προπονητές.

1.4 Οριοθετήσεις και περιορισμοί.

Στην έρευνα συμμετείχαν 16 αθλητές, 8 ενήλικες και 8 παιδιά. Κάθε ομάδα χωρίστηκε σε δύο γκρουπ των τεσσάρων αθλητών και εκτέλεσαν 3 δοκιμασίες μέτρησης της κρίσιμης ταχύτητας σε διάστημα τριών εβδομάδων. Οι συμμετέχοντες ήταν αθλητές και των δύο φύλων. Τα αποτελέσματα δεν θα μπορούν να γενικευτούν στον γενικό πληθυσμό, καθώς χρειάζεται ένα καλό επίπεδο φυσικής κατάστασης και τεχνικής κατάρτισης, για να πραγματοποιηθούν οι εν λόγω δοκιμασίες.

II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Κρίσιμη ταχύτητα

Προκειμένου να βελτιωθεί η αερόβια αντοχή των κολυμβητών και να διατηρηθεί ένας σταθερός ρυθμός στην προπόνηση τους, χρησιμοποιούνται ειδικές δοκιμασίες (ειδικοί δείκτες) όπως ο προσδιορισμός της ταχύτητας που αντιστοιχεί στο κατώφλι του γαλακτικού (LT), της ταχύτητας στο σημείο όπου έχουμε την μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα (MLSS) ή της ταχύτητας στην οποία η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα ξεπερνά κάποια συγκεκριμένη τιμή, συνήθως τα 4mmol/l. Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται τόσο σε παιδιά και σε νέους όσο και σε πρωταθλητές της κολύμβησης (Toubekis, Tsami & Tokmakidis, 2006; Turner, Smith & Coleman, 2008). Κάθε ένας από τους παραπάνω δείκτες προσφέρει ακρίβεια στον προσδιορισμό της αερόβιας αντοχής, όμως για τον υπολογισμό του κάθε ενός απαιτούνται επαναλαμβανόμενες αιμοληψίες καθώς και συλλογή δεδομένων με εξειδικευμένες γνώσεις. Επιπλέον, ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της κάθε δοκιμασίας είναι μεγάλος ενώ η εφαρμογή της είναι δύσκολη και σε περιπτώσεις όπου έχουμε μια μεγάλο αριθμό κολυμβητών στο προπονητικό περιβάλλον, επομένως ο χώρος είναι επίσης ένα θέμα. Κατά συνέπεια οι ερευνητές ανέπτυξαν ευκολότερες και πιο πρακτικές δοκιμασίες για την αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας των κολυμβητών.

Μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες δοκιμασίες είναι η κρίσιμη ταχύτητα κολύμβησης (Critical Velocity - CV) η οποία έχει μελετηθεί εκτενώς τα τελευταία είκοσι χρόνια και βασίζεται στην έννοια της κρίσιμης ισχύος. Αυτή η δοκιμασία φαίνεται να είναι πιο πρακτική, γιατί δεν απαιτεί αιμοληψία και μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα για την αξιολόγηση της κολυμβητικής αερόβιας αντοχής (Toubekis, Tsami, Smilios, Douda & Tokmakidis, 2011; Marinho, Silva, Reis, Costa, Brito, Ferraz & Marques, 2009). Συγκεκριμένα η κρίσιμη ταχύτητα (CV) κολύμβησης υπολογίζεται βάση της απόστασης που διανύθηκε από τον κολυμβητή καθώς και από το χρόνο που χρειάζεται ο κολυμβητής προκρινόμενου να καταβάλει μέγιστη προσπάθεια. Η αρχή της κρίσιμης ταχύτητας στηρίζεται στην υψηλή συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής δύναμης και χρόνου μέχρι την εξάντληση. Η

ευρεία απήχηση της μεθόδου υπολογισμού της κρίσιμης ταχύτητας οφείλεται τόσο στο χαμηλό της κόστος όσο και στο ότι αποτελεί ένα σημαντικό, εύκολα υπολογίσιμο δείκτη της αερόβιας ικανότητας ενός αθλητή. (Dekerle, Pelayo, Flespel, Ringard & Sindney, 1999).

2.2 Υπολογισμός της Κρίσιμης Ταχύτητας - Μέθοδοι και Περιορισμοί

Κατά τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα ζητήματα, όπως:

- ο αριθμός των δοκιμασιών μέγιστης προσπάθειας που θα πραγματοποιηθούν,
- η διάρκεια της κάθε δοκιμασίας (η απόσταση) καθώς και
- το μαθηματικό μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της κρίσιμης ταχύτητας.

Στην κολύμβηση, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι συνδυασμοί δοκιμασιών (από 2 έως και 6) για τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας. Μικρότερος αριθμός δοκιμασιών να μεν καθιστά ευκολότερο και πιο πρακτικό τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας αλλά μπορεί να αυξήσει τις πιθανότητες παρουσίασης σφάλματος κατά τον υπολογισμό της. Οι αποστάσεις που χρησιμοποιούνται για τις δοκιμασίες των κολυμβητών κυμαίνονται από 50 έως και 1.500 μέτρα και διαρκούν από 25 δευτερόλεπτα έως και 20 λεπτά. Η διάρκεια των επιλεγμένων αποστάσεων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το επίπεδο των αθλητών, η ηλικία και το φύλο τους (Toubekis & Tokmakidis, 2013).

Το φύλο των αθλητών και η ηλικία τους συνήθως επηρεάζει τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας. Συγκεκριμένα οι γυναίκες κολυμβήτριες καθώς και οι νεότεροι σε ηλικία κολυμβητές συνήθως χρειάζονται περισσότερο χρόνο για διανύσουν κάθε απόσταση. Επομένως η επιλογή των αποστάσεων είναι κρίσιμης σημασίας. Για την καλύτερη αντιμετώπιση του συγκεκριμένου ζητήματος οι ερευνητές πρότειναν οι κολυμβητές να ολοκληρώνουν τις δοκιμασίες στις αποστάσεις των 50, 100, 200 και 400 μέτρων με την μέγιστη ένταση (Wakayoshi, Ikuta, Yoshida, Udo, Moritani, Mutoh & Miyashita, 1992). Ωστόσο, έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλοι συνδυασμοί διαφορετικών αποστάσεων για τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας (200 και 400 μέτρα, 100 και 800 μέτρα, 300

και 2.000 μέτρα, 50 και 1.500 μέτρα) (Dekerle, Brickley, Alberty & Pelayo, 2010; Zacca, Wenzel, Piccin, Marcilio, Lopes & de Souza Castro, 2010) ενώ κάθε απόσταση μπορεί να δοκιμαστεί σε διαφορετική ημέρα μετά από μια κατάλληλη προθέρμανση.

Οι προπονητές βέβαια προκειμένου να «εξετάσουν» την ίδια μέρα μεγαλύτερο αριθμό κολυμβητών, μπορούν να χρησιμοποιήσουν και δύο αποστάσεις στην ίδια προπόνηση, δεδομένου βέβαια ότι έχει επέλθει πλήρης αποκατάσταση μεταξύ των δύο προσπαθειών (παραδείγματος χάριν, 50 και 400 μέτρα σε 1 προπόνηση και 100 με 200 μέτρα την επόμενη μέρα με 30-40 λεπτά ενεργητικής ή παθητικής αποκατάστασης). Η πραγματοποίηση δύο διαφορετικών αποστάσεων την ίδια ημέρα δεν επηρεάζει την εγκυρότητα του υπολογισμού της κρίσιμης ταχύτητας (Wright & Smith, 1994). Ωστόσο, δεν είναι γνωστό εάν η σειρά με την οποία θα γίνουν οι δοκιμασίες σε κάθε προπόνηση επηρεάζει τα αποτελέσματα (δηλαδή, αν θα γίνουν πρώτα οι δοκιμές μεγαλύτερων αποστάσεων κτλ.). Όταν υπάρχει διαθέσιμος χώρος, είναι δυνατόν μια δοκιμασία να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα από ένα μεγάλο αριθμό κολυμβητών. Όταν ο χώρος δεν είναι διαθέσιμος και πολλοί κολυμβητές εκτελούν τη δοκιμασία στον ίδιο διάδρομο, πρέπει να τηρείται απόσταση τουλάχιστον 15 με 20 μέτρα μεταξύ τους για να αποφευχθεί το φαινόμενο του drafting (Chatard & Wilson, 2003). Επιπλέον, ο χρόνος εξάντλησης σε μια δεδομένη ένταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας. Ωστόσο, η χρήση του χρόνου εξάντλησης είναι λιγότερο έγκυρη κατά τη δοκιμή στους κολυμβητές. Για έναν ακριβή υπολογισμό του χρόνου εξάντλησης σε προκαθορισμένη ταχύτητα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια σειρά από φώτα ρυθμού στο κάτω μέρος της πισίνας ή άλλες μέθοδοι διατήρησης του ρυθμού.

Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμασιών χρησιμοποιείται ένα (από τα πολλά) μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν γραμμικά μοντέλα με δύο παραμέτρους, όπως παραδείγματος χάριν το μοντέλο της ταχύτητας έναντι του αντιστρόφου του χρόνου ή το μοντέλο της απόστασης έναντι του χρόνου καθώς και το μη γραμμικό μοντέλο για τον υπολογισμό της ασύμπτωτης της παραβολικής σχέσης ταχύτητας

κολύμβησης με το χρόνο εξάντλησης. Η επιλογή του μαθηματικού μοντέλου για τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας είναι ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα ανεξάρτητα από τη διάρκεια των δοκιμασιών ή από τη διαδικασία που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό της (δοκιμασίες σταθερής απόστασης ή δοκιμασίες χρόνου εξάντλησης). Στην κολύμβηση, το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο είναι το γραμμικό μοντέλο δύο παραμέτρων της απόστασης έναντι του χρόνου. Τα μη γραμμικά μοντέλα δύο παραμέτρων και τα μοντέλα τριών παραμέτρων έχουν αποδειχθεί εξίσου πρακτικά για τους κολυμβητές (Zacca, Wenzel, Piccin, Marcilio, Lopes & de Souza Castro, 2010).

Για να αποφευχθεί ο λάθος υπολογισμός της κρίσιμης ταχύτητας, είναι σημαντικό να ακολουθηθούν ορισμένες προϋποθέσεις (di Prampero, 1999). Κατά τη διάρκεια της προσπάθειας που πραγματοποιείται για τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας, ο κολυμβητής θα πρέπει να μπορεί να φτάσει στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\text{VO}_2 \text{ max}$) και να εξαντλήσει τα αναερόβια αποθέματα ενέργειας του. Επιπλέον, το ενεργειακό κόστος της άσκησης θα πρέπει να είναι σταθερό μέχρι τη μέγιστη ένταση (Di Prampero, Dekerle, Capelli & Zamparo, 2008). Αυτό δεν μπορεί να συμβεί στην κολύμβηση, επειδή το ενεργειακό κόστος αυξάνεται εκθετικά με ταχύτητες που οδηγούν σε επίτευξη της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Έχει προταθεί μια σειρά επιπρόσθετων δοκιμών με μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου για μια προσαρμογή στον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας έτσι ώστε να ξεπεραστεί το πρόβλημα με την εκθετική αύξηση του ενεργειακού κόστους (Di Prampero, Dekerle, Capelli & Zamparo, 2008), αλλά κάτι τέτοιο θα μείωνε το πρακτικό ενδιαφέρον της μέτρησης της κρίσιμης ταχύτητας. Προκειμένου να ικανοποιηθούν ορισμένες από αυτές τις προϋποθέσεις για ένα σωστό υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας, σε πολλές έρευνες έχουν χρησιμοποιηθεί δοκιμασίες σε αποστάσεις 200 και 400 μέτρων, 100 και 800 μέτρων ή 300 και 2.000 μέτρων (Dekerle, Brickley, Alberty & Pelayo, 2010). Η χρήση της κατάλληλης απόστασης σε συνδυασμό με το κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο οδηγεί στον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας που είναι σύμφωνη με τον ορισμό της. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αρκετές μελέτες έχουν υπολογίσει την κλίση της σχέσης απόσταση-χρόνος χρησιμοποιώντας δοκιμασίες

σε πολύ μικρές αποστάσεις 10, 15, 20, 25 μέτρων ή 75, 100, 150 μέτρων (Marinho, Barbosa, Silva & Neiva, 2012).

2.3 Εγκυρότητα και σύγκριση της κρίσιμης ταχύτητας με άλλους αερόβιους δείκτες αντοχής

Προκρινόμενου να ελεγχθεί η εγκυρότητα της κρίσιμης ταχύτητας ως δείκτης αξιολόγησης της αερόβιας αντοχής, η κρίσιμη ταχύτητα συγκρίθηκε με την ταχύτητα που αντιστοιχεί στο κατώφλι του γαλακτικού (LT), την ταχύτητα στο σημείο όπου έχουμε την μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα (MLSS) και με την ταχύτητα κατά την συνεχόμενη κολύμβηση μέγιστης προσπάθειας διάρκειας 30 λεπτών (T30). Όλοι οι παραπάνω δείκτες έχουν ισχυρή θετική συσχέτιση με την κρίσιμη ταχύτητα (LT: $r = 0,9$) (Toubekis, Tsami & Tokmakidis, 2006) (MLSS: $r = 0,87$) (Chatard & Wilson, 2003) (T30: $r = 0,89$) (Fernandes, 1999). Ωστόσο, η κρίσιμη ταχύτητα δεν εμφανίζει σημαντική συσχέτιση με τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($VO_2 \max$) σε καλά προπονημένους κολυμβητές ($r = -0,25$) (Wakayoshi, Yoshida, Udo, Harada, Moritani, Mutoh & Miyashita, 1993). Η υψηλή συσχέτιση μεταξύ της κρίσιμης ταχύτητας και ενός δείκτη αερόβιας αντοχής (LT, MLSS, T30) δεν σημαίνει απαραίτητα ότι αυτοί οι δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά (Toubekis & Tokmakidis, 2013).

Συμπερασματικά η κρίσιμη ταχύτητα αποτελώντας έναν αξιόπιστο τρόπο για τον προσδιορισμό της αερόβιας ικανότητας των κολυμβητών χρησιμοποιείται από τους προπονητές κολύμβησης προκειμένου να ελέγξουν την πρόοδο των αθλητών τους αλλά και να σχεδιάσουν κατάλληλα την προπόνηση τους. Στην κολύμβηση, το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο για τον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας είναι το γραμμικό μοντέλο δύο παραμέτρων της απόστασης έναντι του χρόνου, ενώ προκειμένου να ικανοποιηθούν οι προϋποθέσεις για ένα σωστό υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας, έχουν χρησιμοποιηθεί δοκιμασίες σε αποστάσεις 100, 200 και 400 μέτρων (Dekerle, Brickley, Alberty & Pelayo, 2010, Wakayoshi, Ikuta, Yoshida, Udo, Moritani, Mutoh & Miyashita, 1992). Η χρήση της κατάλληλης απόστασης σε συνδυασμό με το κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο οδηγεί στον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας που είναι σύμφωνη με τον ορισμό της.

2.4 Άλλοι τρόποι υπολογισμού της κρίσιμης ταχύτητας

Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της κρίσιμης ταχύτητας δοκιμασίες με διάρκεια 3 λεπτά. Σύμφωνα με την έρευνα των Mitchell, Pyne, Saunders και Rattray (2018) μια τροποποιημένη δοκιμασία 3 λεπτών (12x25 μέτρα) παρέχει μια αξιόπιστη εκτίμηση της κρίσιμης ταχύτητας. Σε αυτή την έρευνα οι τιμές της κρίσιμης ταχύτητας που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τη δοκιμασία αυτή ήταν σημαντικά μεγαλύτερες ($p < 0,002$) από τις τιμές της κρίσιμης ταχύτητας που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις δοκιμασίες σε αποστάσεις 100 και 200 μέτρων. Η κρίσιμη ταχύτητα που προέρχεται από δοκιμασίες χρόνου είχε μέση τιμή $1,43 \pm 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ενώ από την δοκιμασία των 12x25 μέτρων προέκυψε κρίσιμη ταχύτητα $1,49 \pm 0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που προτείνεται στη συγκεκριμένη έρευνα, οι τιμές της κρίσιμης ταχύτητας συσχετίστηκαν σε μεγάλο βαθμό με αυτές που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την προσέγγιση των δοκιμασιών χρόνου. Επιπλέον, στην κολύμβηση μία δοκιμασία 12x25 μέτρων χρησιμοποιήθηκε για να συγκριθεί με την κρίσιμη ταχύτητα (Mitchell, Rattray, Wu, Saunders & Pyne, 2019). Η δοκιμασία αυτή φαίνεται να ανταποκρίνεται επαρκώς για χρήση από προπονητές που θέλουν να εκτιμήσουν τις αλλαγές και τις διαφορές στην κρίσιμη ταχύτητα μεταξύ κολυμβητών υψηλού επιπέδου και αθλητών της κολύμβησης. Το τεστ των 12x25 μέτρων δείχνει επίσης ικανό να διακρίνει εάν ένας αθλητής μπορεί να είναι καταλληλότερος ως κολυμβητής των 100 ή των 200 μέτρων. Οι παραπάνω δοκιμασίες κολύμβησης παρέχουν γρήγορες απλές και αξιόπιστες μεθόδους εκτίμησης της κρίσιμης ταχύτητας.

III. ΜΕΘΟΔΟΣ

3.1 Συμμετέχοντες

Στην έρευνα συμμετείχαν 16 αθλητές, δύο διαφορετικών ηλικιακών ομάδων. Η ομάδα των ενηλίκων (ηλικία 40.30 ± 6.50 έτη) αποτελούνταν από 4 γυναίκες και 4 άντρες, ενώ η ομάδα των παιδιών (ηλικία 10.90 ± 0.30 έτη), από 5 κορίτσια και 3 αγόρια. Τα παιδιά ανήκαν σε κολυμβητική ομάδα στο προαγωνιστικό επίπεδο. Οι ενήλικες ήταν έμπειροι κολυμβητές υψηλού προπονητικού επιπέδου. Τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων εμφανίζονται στον Πίνακα 1 και Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της ομάδας των ενηλίκων

	Ηλικία (έτη)	Ύψος (cm)	Σωματική μάζα (kg)
Γυναίκες (N=4)	38,8	165,25	59,25
Άντρες (N=4)	40,6	182	80,5
Σύνολο ενηλίκων (N=8)	40.3	173,625	69,88

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά της ομάδας παιδιών

	Ηλικία	Ύψος	Σωματική μάζα
Κορίτσια (N=5)	10,6	155,8	41,8
Αγόρια (N=3)	11,2	152	39,67
Σύνολο παιδιών (N=8)	10.9	153,9	40,7

3.2 Μέσα συλλογής δεδομένων

Τα δεδομένα των μετρήσεων στην πισίνα συλλέχθηκαν με χρονόμετρο χειρός. Οι μετρήσεις έγιναν σε κλειστή πισίνα 25 μέτρων. Μετρήθηκαν οι χρόνοι στα 25 μέτρα. Αντίστοιχα, μετρήθηκε η συχνότητα χεριάς σε κάθε 25άρι της πρώτης δοκιμασίας. Για να υπολογιστεί η συχνότητα χεριάς μετρήθηκε ο χρόνος διάρκειας 3 κύκλων χεριάς (6 χεριές). Η προθέρμανση όλων των αθλητών πριν τις δοκιμασίες ήταν η ίδια σε όλες τις μέρες που έγιναν οι μετρήσεις, η θερμοκρασία του νερού ήταν επίσης σταθερή για τον καθορισμό της αξιοπιστίας της διαδικασίας.

3.3 Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Όλοι οι συμμετέχοντες χρονομετρήθηκαν σε διαφορετικές ημέρες με διαφορά μίας εβδομάδας σε αποστάσεις 200 και 400 μέτρα καταβάλλοντας μέγιστη προσπάθεια. Σε μία ακόμα ημέρα εκτέλεσαν δοκιμασία 12x25 μέτρα με αποκατάσταση 5 δευτερολέπτων μετά από κάθε προσπάθεια.

Πριν από κάθε δοκιμασία εκτελέστηκε προθέρμανση η οποία αρχικά περιελάμβανε ασκήσεις εκτός νερού όπως ενεργητικές και στατικές διατάσεις, καθώς και ασκήσεις ενεργοποίησης των αρθρώσεων. Έπειτα εντός νερού πραγματοποιήθηκαν ασκήσεις τεχνικής όπως επίσης και ασκήσεις προοδευτικής αύξησης της ταχύτητας οι οποίες είχαν συνολικό όγκο 800 μέτρα. Οι δοκιμασίες που πραγματοποιήθηκαν ήταν τα 200 και 400 μέτρα προκειμένου να υπολογιστεί η κρίσιμη ταχύτητα με βάση τις δύο αυτές αποστάσεις. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η τρίτη δοκιμασία, αυτή των 12x25 μέτρων. Με βάση αυτή τη δοκιμασία υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα των τελευταίων τεσσάρων προσπαθειών από τη δοκιμασία 12x25 μέτρων καθώς και η χαμηλότερη ταχύτητα σε μία από τις προσπάθειες των τελευταίων 4x25 μέτρων.

3.4 Στατιστική επεξεργασία

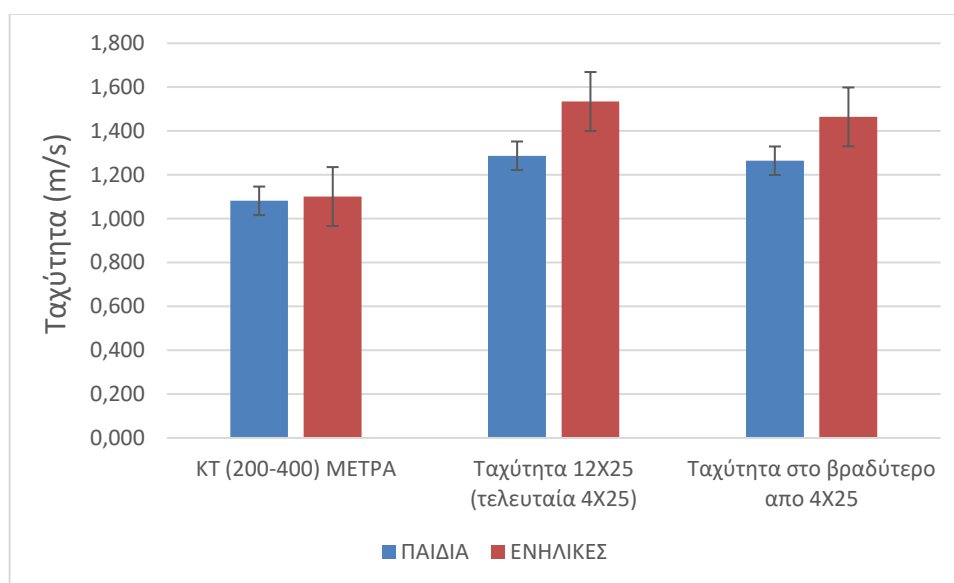
Για την ανάλυση των δεδομένων εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης σε δύο παράγοντες (2 ομάδες X 3 δοκιμασίες). Το Tukey test χρησιμοποιήθηκε για να εντοπιστούν διαφορές μεταξύ μεταβλητών. Τα δεδομένα εμφανίζονται ως μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε με $p < 0.05$.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Υπολογίστηκε η κρίσιμη ταχύτητα που προκύπτει από τα 200 και 400 μέτρα, η μέση ταχύτητα των τελευταίων 4x25 μέτρων από τα 12x25 μέτρα και η ταχύτητα της πιο αργής προσπάθειας 25 μέτρων στα 4 τελευταία 25άρια (Πίνακας 3, Σχήμα1).

Πίνακας 3. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των τριών δοκιμασιών στις δύο ομάδες (m/sec)

Ομάδες συμμετεχόντων	Κρίσιμη Ταχύτητα		Δοκιμασία 12x25 – τελευταία 4x25		Δοκιμασία 12x25 βραδύτερο από τελευταία 4x25	
	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Παιδιά	1,081	0,108	1,264	0,100	1,215	0,104
Ενήλικες	1,101	0,153	1,464	0,126	1,439	0,095



Σχήμα 1. Μέσοι όροι ταχύτητας των συμμετεχόντων.

Η κρίσιμη ταχύτητα ήταν χαμηλότερη από την ταχύτητα στα τελευταία 4x25 και από το πιο αργό από τα τελευταία τέσσερα 25άρια και στις δύο ομάδες. Ωστόσο, εμφανίστηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ της κρίσιμης ταχύτητας με την

ταχύτητα στα 4 τελευταία και το πιο αργό απο τα τέσσερα τελευταία 25άρια στα παιδιά και στους ενήλικες (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των τριών δοκιμασιών σε παιδιά και ενήλικες. CV: κρίσιμη ταχύτητα.

	Μόνο παιδιά			Μόνο ενήλικες		
	CV	12x25 (μέση τιμή των τελευταίων 4X25)	12x25 (βραδύτερο των 4X25)	CV	12x25 (μέση τιμή των τελευταίων 4X25)	12x25 (βραδύτερο των 4X25)
CV		0,91	0,94		0,786	0,794
		p=0,002	p=0,001		p=0,021	p=0,019
12x25 (μέση τιμή των τελευταίων 4X25)	0,91		0,94	0,786		0,995
	p=0,002	p= ---	p=0,001	p=0,02		p=0,000
12x25 (βραδύτερο των 4X25)	0,94	0,94		0,794	0,995	
	p=0,001	p=0,001	p= ---	p=0,02	p=0,000	p= ---

V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δοκιμασίες της κρίσιμης ταχύτητας είναι χρήσιμες για την παρακολούθηση της προπόνησης των κολυμβητών, ωστόσο ο υπολογισμός της απαιτεί την ολοκλήρωση μιας σειράς χρονομετρήσεων γεγονός που τον καθιστά χρονοβόρα διαδικασία. Λύση στον παραπάνω προβληματισμό έγινε προσπάθεια να δοθεί μέσα από την παρούσα έρευνα εξετάζοντας μια δοκιμασία μικρότερης διάρκειας. Η έρευνα μας εξέτασε κατά πόσον μια δοκιμασία 12x25 μέτρων θα μπορούσε να εκτιμήσει την κρίσιμη ταχύτητα των κολυμβητών. Με βάση τα αποτελέσματα προέκυψε μια σημαντική συσχέτιση της δοκιμασίας των 12x25 μέτρων με την κρίσιμη ταχύτητα τόσο στα παιδιά όσο και στους ενήλικες κολυμβητές και επομένως η δοκιμασία αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της κρίσιμης ταχύτητας.

Τα παραπάνω ευρήματα συνάδουν με τα ευρήματα της έρευνας των Mitchell, Rattray, Wu, Saunders και Pyne (2019), καθιστώντας τη δοκιμασία των 12x25 μέτρων έναν γρήγορο (χρειάζονται μόλις 3 με 4 λεπτά για να ολοκληρωθεί) αξιόπιστο και έγκυρο τρόπο μέτρησης και αξιολόγησης της κρίσιμης ταχύτητας, ο οποίος είναι λειτουργικός για αθλητές και προπονητές. Η δοκιμασία των 12x25 μέτρων εκτός από ένα αξιόπιστο τεστ για την εκτίμηση της κρίσιμης ταχύτητας, βρίσκεται και σε συμφωνία με τη μέθοδο εκτίμησης της κρίσιμης ταχύτητας που χρησιμοποιείται στις δοκιμασίες χρόνου. Οι τιμές που προέκυψαν από τη δοκιμασία των 12x25 μέτρων συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με αυτές που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την προσέγγιση των δοκιμασιών χρόνου (Mitchell, Pyne, Saunders & Rattray, 2018).

Τα αποτελέσματα της έρευνας μας είναι σύμφωνα και με προηγούμενες μελέτες οι οποίες αναφέρονται σε μια υπερεκτίμηση της κρίσιμης ταχύτητας στις δοκιμασίες 12x25 μέτρων σε σχέση με τις δοκιμασίες χρόνου (Tsai & Thomas, 2017). Οι διαφορές στον υπολογισμό της ταχύτητας στις δύο δοκιμασίες μπορεί να οφείλονται στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε. Καθώς η μέτρηση του χρόνου στη δοκιμασία 12x25 μέτρων αρχίζει από τη στιγμή που οι κολυμβητές αφήνουν το βατήρα και τελειώνει όταν ακουμπήσουν το χέρι τους στο τέρμα, ο χρόνος που

χρειάζεται ο κολυμβητής για να γυρίσει (χρόνος στροφής - περίπου 1.2 δευτερόλεπτα σύμφωνα με τους Puel, Morlier, Avalos, Mesnard, Cid & Hellard, 2012) δεν ενσωματώνεται στη μέτρηση του συνολικού χρόνου της δοκιμασίας όπως έγινε στον υπολογισμό της κρίσιμης ταχύτητας όταν αυτή υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την προσέγγιση των δοκιμασιών χρόνου. Όταν συγκρίνουμε δοκιμασίες 12x25 μέτρων με δοκιμασίες υπολογισμού της κρίσιμης ταχύτητας, ο χρόνος στροφής για κάθε 25άρι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην περίπτωση που η κρίσιμη ταχύτητα υπολογίζεται σε πισίνα 25 μέτρων, όπως στη δική μας περίπτωση. Ενώ αναγνωρίζεται ότι η μη μέτρηση της στροφής μειώνει την ακρίβεια της δοκιμασίας των 12x25 μέτρων στην πρόβλεψη των χρόνων προπόνησης, αυτή δεν ήταν η αρχική πρόθεση της δοκιμασίας. Η απόφαση να εξαιρεθεί ο χρόνος «στροφής» από τη δοκιμασία έγινε ώστε το τεστ να ήταν όσο το δυνατόν πιο ευαίσθητο σε αλλαγές που προκαλούνται από την προπόνηση (Mitchell et al., 2018).

Συμπέρασμα

Η μέση ταχύτητα σε μία δοκιμασία μέγιστης έντασης 12X25 με χρόνο αποκατάστασης μεταξύ προσπάθειών 5 δευτερόλεπτα είναι υψηλότερη από την κρίσιμη ταχύτητα αλλά σχετίζεται σημαντικά με αυτήν. Η μέση ταχύτητα των τελευταίων τεσσάρων ή και του βραδύτερου από τα τέσσερα τελευταία 25άρια της σειράς 12X25 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της κρίσιμης ταχύτητας σε παιδιά και ενήλικες κολυμβητές.

VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Chatard, J. C., & Wilson, B. (2003). Drafting distance in swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(7), 1176-1181.
- Di Prampero, P. E. (1999). The concept of critical velocity: a brief analysis. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80, 162-164.
- Di Prampero, P. E., Dekerle, J., Capelli, C., & Zamparo, P. (2008). The critical velocity in swimming. *European journal of applied physiology*, 102(2), 165-171.
- Dekerle, J., Pelayo P., Flespel, J.M., Ringard, D. & Sindney, M. (1999). Determination of critical speed and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances, *International Scientific Conference on Kinesiology, Zagreb*, 261-263.
- Dekerle, J., Brickley, G., Alberty, M., & Pelayo, P. (2010). Characterising the slope of the distance–time relationship in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(3), 365-370.
- Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. P. (1999). Critical velocity as a criterion for estimating aerobic training pace in juvenile swimmers. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, pp. 233-238.
- Marinho, D. A., Silva, A. J., Reis, V. M., Costa, A. M., Brito, J. P., Ferraz, R., & Marques, M. C. (2009). Changes in critical velocity and critical stroke rate during a 12 week swimming training period: a case study. *Journal of Human Sport and Exercise*, 4(1), 48-56.
- Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Silva, A. J., & Neiva, H. P. (2012). Applying anaerobic critical velocity in non-elite swimmers. *International Journal of Swimming Kinetics*, 1(1), 33-50.
- Mitchell, L. J., Rattray, B., Wu, P., Saunders, P. U., & Pyne, D. B. (2019). Responsiveness and seasonal variation of a 12×25-m swimming test. *International journal of sports physiology and performance*, 14(7), 966-971.

- Mitchell, L. J., Pyne, D. B., Saunders, P. U., & Rattray, B. (2018). Reliability and validity of a modified 3-minute all-out swimming test in elite swimmers. *European journal of sport science*, *18*(3), 307-314.
- Puel, F., Morlier, J., Avalos, M., Mesnard, M., Cid, M., & Hellard, P. (2012). 3D kinematic and dynamic analysis of the front crawl tumble turn in elite male swimmers. *Journal of biomechanics*, *45*(3), 510-515.
- Toubekis, A. G., Tsami, A. P., & Tokmakidis, S. P. (2006). Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *International journal of sports medicine*, *27*(02), 117-123.
- Toubekis, A. G., Tsami, A. P., Smilios, I. G., Doua, H. T., & Tokmakidis, S. P. (2011). Training-induced changes on blood lactate profile and critical velocity in young swimmers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *25*(6), 1563-1570.
- Toubekis, A. G., & Tokmakidis, S. P. (2013). Metabolic responses at various intensities relative to critical swimming velocity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(6), 1731-1741.
- Tsai, M. C., & Thomas, S. G. (2017). Three-minute all-out test in swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(1), 27-35.
- Turner, A. P., Smith, T., & Coleman, S. G. (2008). Use of an audio-paced incremental swimming test in young national-level swimmers. *International journal of sports physiology and performance*, *3*(1), 68-79.
- Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1992). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *64*(2), 153-157.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Harada, T., Moritani, T., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1993). Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state?. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *66*, 90-95.

- Wright, B., & Smith, D. J. (1994). A protocol for the determination of critical speed as an index of swimming endurance performance. In *Medicine and science in aquatic sports* (Vol. 39, pp. 55-59). Karger Publishers.
- Zacca, R., Wenzel, B. M., Piccin, J. S., Marcilio, N. R., Lopes, A. L., & de Souza Castro, F. A. (2010). Critical velocity, anaerobic distance capacity, maximal instantaneous velocity and aerobic inertia in sprint and endurance young swimmers. *European journal of applied physiology*, *110*, 121-131.