

ΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΜΟΝΟΘΕΣΙΕΣ ΟΛΥΜΠΙΑΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Φυσική Κατάσταση και Αγωνιστική Απόδοση

Τα παρακάτω κεφάλαια πραγματεύονται την σημαντικότητα της φυσικής κατάστασης στην αγωνιστική απόδοση κατά την διάρκεια μιας ιστιοδρομίας ή σειράς ιστιοδρομιών. Σε αντίθεση με το παρελθόν η διάρκεια των ιστιοδρομιών σήμερα είναι συντομότερη. Μια ιστιοδρομία διαρκεί περίπου 45-60 λεπτά, όμως η επιτροπή αγώνων έχει το δικαίωμα να διενεργήσει δύο ή και τρεις ιστιοδρομίες την ημέρα. Μεταξύ των ιστιοδρομιών η διάρκεια ανάπαυσης είναι σύντομη και δεν ξεπερνά τα 20 με 30 λεπτά. Όταν οι καιρικές συνθήκες είναι απαιτητικές η απόδοση στην δεύτερη ή τρίτη ιστιοδρομία θα επηρεαστεί σε σημαντικό βαθμό από τα αποθέματα ενέργειας του ιστιοπλόου. Άρα η φυσική κατάσταση του ιστιοπλόου αποτελεί σε αυτή την περίπτωση σημαντική συνιστώσα της αγωνιστικής του απόδοσης.

Όπως σε όλα τα αθλήματα έτσι και στην ιστιοπλοΐα η προετοιμασία του αθλητή θα πρέπει να αποσκοπεί στην μεγιστοποίηση της σωματικής του απόδοσης. Η προετοιμασία θα πρέπει να είναι εξειδικευμένη στις απαιτήσεις της κλάσης και του ρόλου του ιστιοπλόου στο σκάφος. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη γνώσης των βιολογικών απαιτήσεων έτσι ώστε η προπόνηση φυσικής κατάστασης να βελτιώσει την ικανότητα του αθλητή να αντιστέκεται στους παράγοντες εκείνους που περιορίζουν την αγωνιστική του απόδοση.

Η γνώση των βιολογικών απαιτήσεων που επικρατούν σε ένα άθλημα κατακτιέται με την έρευνα. Η ιστιοπλοΐα όμως είναι ένα άθλημα με ιδιαίτερες δυσκολίες στην διερεύνηση των βιολογικών απαιτήσεων καθότι διεξάγεται στο υγρό στοιχείο κάτω από δυσμενείς πολλές φορές καιρικές συνθήκες. Για αυτό και οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί μέχρι σήμερα κάτω από πραγματικές συνθήκες ιστιοπλοΐας είναι περιορισμένες σε σύγκριση με άλλα αθλήματα. Περισσότερες είναι οι εργαστηριακές μελέτες σε συνθήκες προσποιούμενης ιστιοπλοΐας, αλλά που όμως μειονεκτούν στο ότι δεν ανταποκρίνονται επαρκώς στις πραγματικές συνθήκες. Η διερεύνηση των βιολογικών απαιτήσεων στην ιστιοπλοΐα είναι σημαντική επειδή η γνώση αυτή βοηθά αφενός στην κατανόηση των παραγόντων εκείνων που περιορίζουν την απόδοση και αφετέρου συντελεί στην άρτια εκπόνηση προπονητικών προγραμμάτων για την μεγιστοποίηση της αγωνιστικής απόδοσης.

Στα παρακάτω κεφάλαια γίνεται μια αναφορά των μέχρι τώρα δημοσιευμένων ευρημάτων αναφορικά με τις βιολογικές απαιτήσεις που επικρατούν σε διαφορετικές κατηγορίες σκαφών. Έμφαση θα δοθεί στα μονοθέσια σκάφη και στις ιστιοσανίδες όπου οι βιολογικές απαιτήσεις είναι αυξημένες σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες. Οι περισσότερες από αυτές τις έρευνες (οι οποίες πλέον θεωρούνται κλασικές μελέτες αφού όλοι οι ερευνητές - συγγραφείς αναφέρονται σε αυτές) πραγματεύονται τις καρδιοκυκλοφορικές και αναπνευστικές απαιτήσεις, το ενεργειακό κόστος, και την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα των μυών.

Η ιστιοπλοΐα στα Ολυμπιακά μονοθέσια σκάφη είναι ένα αγώνισμα με βιολογικές απαιτήσεις πολύ διαφορετικές από εκείνες των περισσότερων αγωνισμάτων. Στα μονοθέσια σκάφη ο ιστιοπλόος στην προσπάθειά του να εξισορροπήσει την δύναμη του ανέμου πάνω στο πανί, προεκτείνει το

σώμα του έξω από το σκάφος και κρέμεται με τη χρήση ιμάντα. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας απαιτείται συνεχόμενη ισομετρική συστολή των μυών των κάτω άκρων και της κοιλιακής χώρας. Παράλληλα οι μύες των άνω άκρων συστέλλονται δυναμικά αφού τα χέρια δουλεύουν το τιμόνι και την σκότα του σκάφους.

Οι μελέτες κάτω από πραγματικές συνθήκες είναι λιγοστές και περιορίζονται στην καταγραφή των αναπνευστικών παραμέτρων, της καρδιακής συχνότητας και της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα. Οι εργαστηριακές μελέτες είναι πολύ περισσότερες και περιγράφουν την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα των μυών σε συνάρτηση με τις δυνάμεις που ασκούνται στον ιμάντα του κρεμάσματος. Τα αποτελέσματα των ερευνών συγκλίνουν στην διαπίστωση ότι οι καρδιοκυκλοφορικές απαιτήσεις αντανakλούν κατά κύριο λόγο την δυσχέρεια της κυκλοφορίας στους ισομετρικά συστέλλομενους μύς στους οποίους αναπτύσσονται μεγάλες ενδομυϊκές πιέσεις.

Έτσι είναι σύνηθες οι τιμές της συστολικής και της διαστολικής αρτηριακής πίεσης των 200 mmHg με 120 mmHg αντίστοιχα και της καρδιακής συχνότητας των 150 με 160 παλμών/λεπτό. Η αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου είναι δυσανάλογη με εκείνη της καρδιακής συχνότητας και στις περισσότερες εργαστηριακές μελέτες η κατανάλωση οξυγόνου δεν ξεπερνά τα 25 ml/kg/min. Ένα άλλο πολύ σημαντικό και ίσως παράδοξο εύρημα, είναι ότι η τιμή της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα δεν ξεπερνά τα 3 με 4 mmol/l σε συνθήκες δυνατού ανέμου.

Από μελέτες σε πραγματικές αγωνιστικές συνθήκες έχει βρεθεί ότι τόσο η κατανάλωση οξυγόνου και η καρδιακή συχνότητα όσο και η τιμή της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα συσχετίζονται σημαντικά με την ένταση του ανέμου αφού η αύξηση στην ένταση του ανέμου αυξάνει τον βαθμό της προσπάθειας εξισορρόπησης του σκάφους.

Βιολογικές απαιτήσεις των Ολυμπιακών κλάσεων ιστιοπλοΐας

Στην ιστιοπλοΐα οι αθλητές για να εξισορροπήσουν την δύναμη του ανέμου που επιδρά πάνω στο πανί προεκτείνουν το σώμα τους έξω από το σκάφος και κρέμοντε. Το κρέμασμα είναι μια μορφή άσκησης που απαιτεί την ισομετρική συστολή μεγάλων μυϊκών ομάδων, όπως των τετρακέφαλων και των κοιλιακών μυών (6, 7, 18, 28, 31, 38). Η πίεση που αναπτύσσεται σε αυτές τις μυϊκές ομάδες κατά την ισομετρική συστολή εμποδίζει την ροή του αίματος στα αγγεία των μυών με αποτέλεσμα οι μύες να μην αιματώνονται επαρκώς και να επιταχύνεται η μυϊκή κόπωση (25, 29, 34, 36, 39). Η ανεπάρκεια της ροής του αίματος κατά την ισομετρική συστολή εκδηλώνεται με την μεγάλη αύξηση τόσο της συστολικής όσο και της διαστολικής αρτηριακής πίεσης και της καρδιακής συχνότητας (17, 19). Οι μύες λόγω της ισχαιμίας και της μειωμένης παροχής οξυγόνου επιστρατεύουν σε ένα σημαντικό ποσοστό τον αναερόβιο μεταβολισμό. Η συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή γαλακτικού οξέος του οποίου η παρουσία στο αίμα είναι δηλωτική της ύπαρξης του μεταβολισμού αυτού. Η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος και των άλλων ουσιών του μεταβολισμού στους εργαζόμενους μύς επιταχύνουν την διαδικασία της μυϊκής κόπωσης.

Με την μέθοδο του προσομειωτή σκάφους ο αθλητής βρίσκεται σε στατική θέση κρεμάσματος κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας. Στις πραγματικές συνθήκες όμως η κίνηση του σώματος είναι

περισσότερο δυναμική καθώς ο αθλητής προσπαθεί να αντιρροπήσει την κίνηση του σκάφους που οφείλεται στην αλλαγή της έντασης του ανέμου και της επίδρασης των κυμάτων. Γι' αυτό τα αποτελέσματα των ερευνών του εργαστηρίου θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά, καθώς δεν αντιπροσωπεύουν επαρκώς τις πραγματικές συνθήκες της ιστιοπλοΐας (12).

Υπάρχουν όμως και έρευνες που έγιναν σε πραγματικές συνθήκες ιστιοπλοΐας σε μια προσπάθεια εκτίμησης των απαιτήσεων κατά την αγωνιστική προσπάθεια και που δείχνουν υψηλές τιμές της καρδιακής συχνότητας (4, 11, 22, 33, 35, 40). Οι μετρήσεις αυτές θα μπορούσαν να είναι παραπλανητικές γιατί η καρδιακή συχνότητα επηρεάζεται τόσο από ψυχολογικούς παράγοντες όσο και από βιολογικούς. Επομένως, συμπληρωματικά είδη μετρήσεων πρέπει να γίνουν ταυτόχρονα πριν τα δεδομένα της καρδιακής συχνότητας ερμηνευτούν.

Μια άλλη δυσκολία των μετρήσεων είναι ότι στην δοκιμασία στην θάλασσα οι συνθήκες του περιβάλλοντος δεν είναι σταθερές για όλους τους αθλητές και μπορεί να επηρεάσουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Πρέπει λοιπόν για να προσδιοριστούν πιο αντικειμενικά οι βιολογικές απαιτήσεις να γίνει ένας συνδυασμός των μετρήσεων σε πραγματικές και εργαστηριακές συνθήκες.

Στην παρούσα έρευνα, όπου συνδυάστηκαν πραγματικές και εργαστηριακές μετρήσεις, συμμετείχαν οχτώ άνδρες αθλητές της κατηγορίας των Laser. Οι έξι ήταν μέλη της Εθνικής ομάδας της Σκωτίας και οι δύο άλλοι ήταν από τους καλύτερους αθλητές της ομάδας του Πανεπιστημίου (Πίνακας 1).

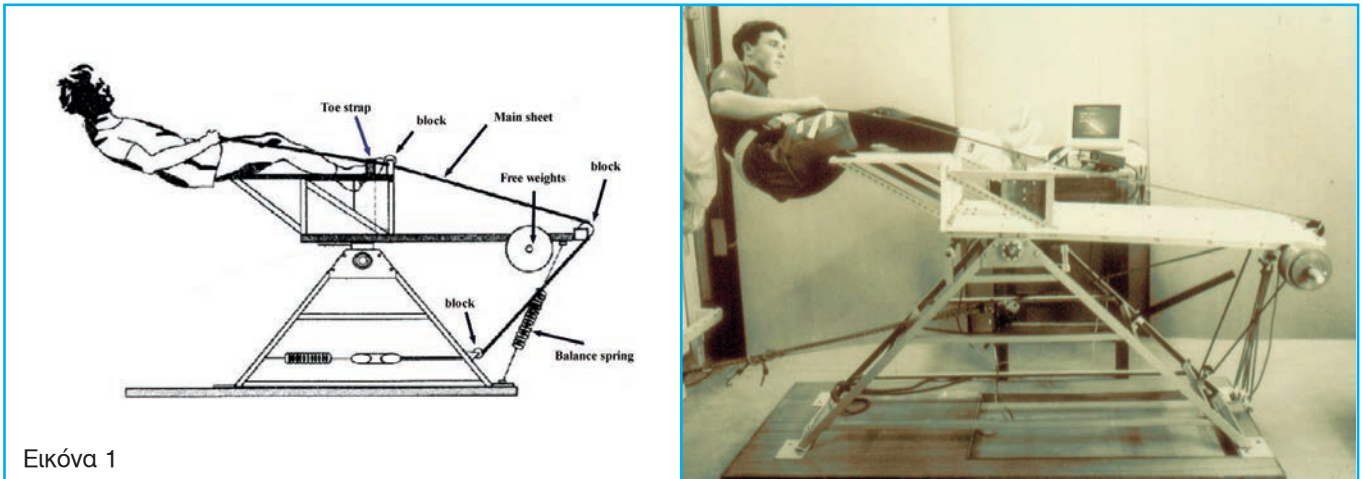
ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : Σωματικά χαρακτηριστικά των αθλητών

	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Ηλικία (έτη)	23	5
Ύψος (cm)	178	8
Σωματική μάζα (kg)	74	14

Κάθε αθλητής συμμετείχε στις ακόλουθες δοκιμασίες:

Δοκιμασία στο εργαστήριο. Εκτιμήθηκε η μέγιστη αερόβια ικανότητα (η μέγιστη ικανότητα μεταφοράς και κατανάλωσης οξυγόνου). Η γνώση αυτής της ικανότητας επιτρέπει την αναγωγή των απόλυτων τιμών της πρόσληψης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας σε πραγματικές συνθήκες ως ποσοστά των μέγιστων ατομικών τιμών, διευκολύνοντας έτσι την σύγκριση ανάμεσα στους αθλητές. Στο εργαστήριο, μετρήθηκε η μέγιστη αερόβια ικανότητα με την βοήθεια ενός κυκλοεργόμετρου. Οι μετρήσεις της πρόσληψης οξυγόνου έγιναν ταυτόχρονα με την μέθοδο του Douglas bag και τον φορητού αναλυτή αερίων COSMED K2 ώστε να ελεγχθεί η αξιοπιστία του δεύτερου.

Δοκιμασία στη θάλασσα. Έγιναν μετρήσεις της πρόσληψης οξυγόνου, της καρδιακής συχνότητας και της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα σε διαφορετικές εντάσεις ανέμου. Οι μέσες



Εικόνα 1

τιμές κάθε αθλητή εκφράστηκαν ως ποσοστά των μέγιστων τιμών που βρέθηκαν στην δοκιμασία του εργαστηρίου. Οι μετρήσεις για την πρόσληψη οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας έγιναν με την βοήθεια της φορητής τηλεμετρικής συσκευής Cosmed K2.

Δοκιμασία στον προσομειωτή. Έγινε προσπάθεια προσομοίωσης της τεχνικής της κίνησης στην ιστιοπλοία στον βαθμό στον οποίο οι βιολογικές μεταβλητές προσέγγισαν τις τιμές στη διάρκεια της δοκιμασίας στη θάλασσα ώστε η δοκιμασία να μιμηθεί τις πραγματικές συνθήκες όσο το δυνατόν καλύτερα. Ένας αριθμός βιολογικών παραμέτρων που δεν ήταν δυνατόν να μελετηθεί στη θάλασσα (όπως η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα και η αρτηριακή πίεση) καταγράφηκαν στην δοκιμασία στον προσομειωτή. Τα επίπεδα του γαλακτικού οξέος στο αίμα καταγράφονταν πιο συχνά απ' ό,τι κατά την διάρκεια της δοκιμασίας στη θάλασσα.

Στον προσομειωτή (βλέπε εικόνα 1) ο αθλητής μπορούσε να συντηρεί τη πλατφόρμα του προσομειωτή σε επίπεδη θέση, να ρυθμίζει τη σκότα και να αντισταθμίζει την κλίση του σκάφους λόγω της υποτιθέμενης επίδρασης των κυμάτων και της έντασης του ανέμου. Ένας υπολογιστής παρείχε ακουστικές και εικονικές πληροφορίες στον αθλητή ώστε να διατηρεί το σκάφος στην σωστή θέση και προσδιόριζε την συχνότητα των πλάγιων κινήσεων και των κινήσεων με κατεύθυνση προς τα εμπρός ή προς τα πίσω ώστε ο αθλητής να μιμείται τις πραγματικές συνθήκες με δυνατό άνεμο σε θάλασσα με κυματισμό.

Μεθοδολογία

Μετρήσεις στην θάλασσα. Οι βιολογικές απαιτήσεις στην θάλασσα είναι πολύ εξειδικευμένες και ποικίλλουν αρκετά καθώς εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:

- τον τύπο του σκάφους
- τις συνθήκες του ανέμου και της θάλασσας
- την διάρκεια της προσπάθειας
- την συχνότητα των κινήσεων που εκτελούνται
- το επίπεδο του ανταγωνισμού
- τη φυσική κατάσταση του ιστιοπλόου



Εικόνα 2: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις στη θάλασσα.

Οι μετρήσεις έγιναν σε αθλητές με τον ίδιο τύπο σκάφους (Laser, βλέπε εικόνα 2) για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια και χωρίς κανέναν ανταγωνισμό. Επίσης, οι μετρήσεις έγιναν μόνο στην όρτσα πλεύση καθώς είναι γνωστό πως οι βιολογικές απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις άλλες πλεύσεις. Κάθε αθλητής ταξίδεψε για 10 λεπτά συνεχόμενα έχοντας τον άνεμο από την ίδια πλευρά (χωρίς αναστροφή). Η πρόσληψη οξυγόνου και η καρδιακή συχνότητα καταγράφονταν κάθε λεπτό. Οποιαδήποτε μη φυσιολογική κίνηση που εκτελούσε ο αθλητής καταγράφηκε από τον παρατηρητή (εικόνα 2). Ο ερευνητής πήρε δείγμα αίματος από τον αθλητή ένα λεπτό πριν και τρία λεπτά μετά από κάθε δοκιμασία.

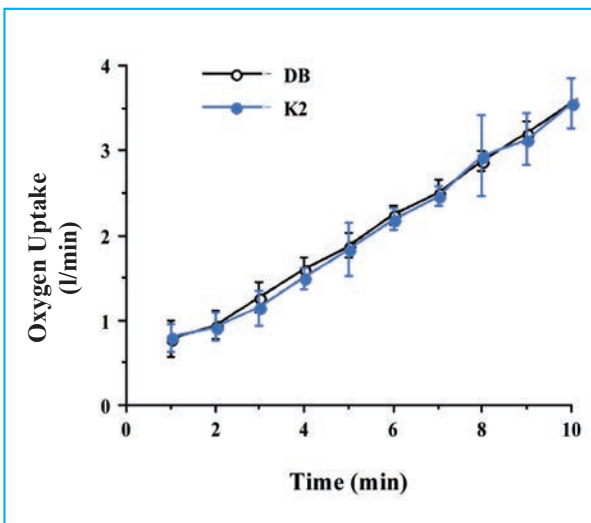
Κατά την διάρκεια όλων των δοκιμασιών στη θάλασσα, η ένταση του ανέμου κυμάνθηκε μεταξύ 4-12 m/s (8 - 24 κόμβους). Η θερμοκρασία του αέρα ήταν μεταξύ 4-12 ° C, η σχετική υγρασία μεταξύ 30-50% και η ατμοσφαιρική πίεση μεταξύ 745-761 mmHg. Με την βοήθεια μιας κάμερας καταγράφονταν οι κινήσεις κάθε αθλητή εξ' αιτίας της επίδρασης των κυμάτων και της αλλαγής της έντασης του ανέμου δίνοντας παράλληλα και πληροφορίες σχετικά με το προσωπικό τρόπο πλοήγησης του σκάφους για κάθε αθλητή.

Δοκιμασία στον προσομοιωτή. Η δοκιμασία του κρεμάσματος στον προσομοιωτή είχε διάρκεια 12.5 λεπτά. Κάθε αθλητής προσπαθούσε να μιμηθεί τις απαιτήσεις της πλεύσης στα όρτσα σε συνθήκες μέτριου προς δυνατού ανέμου. Πριν ξεκινήσει η δοκιμασία ο αθλητής εξοικειώθηκε με τον προσομοιωτή. Η δοκιμασία απαρτιζόταν από τέσσερις σειρές, διάρκειας τριών λεπτών η κάθε μια με 10 δευτερόλεπτα διάλειμμα (προσομοίωση της αναστροφής) ανάμεσα σε κάθε σειρά. Κατά την διάρκεια των τριών λεπτών ο αθλητής έπρεπε να εκτελέσει μια σειρά κινήσεων που έβλεπε στην οθόνη του υπολογιστή. Οι πληροφορίες που είχε καταγράψει η κάμερα μέσα στη θάλασσα χρησιμοποιήθηκαν για να αναπαράγουν αυτές τις κινήσεις. Ο ερευνητής έπαιρνε ένα δείγμα αίματος τρία λεπτά πριν ξεκινήσει η πρώτη προσπάθεια, αμέσως μετά το τέλος κάθε 3-λεπτης σειράς και τρία λεπτά μετά την λήξη της δοκιμασίας.

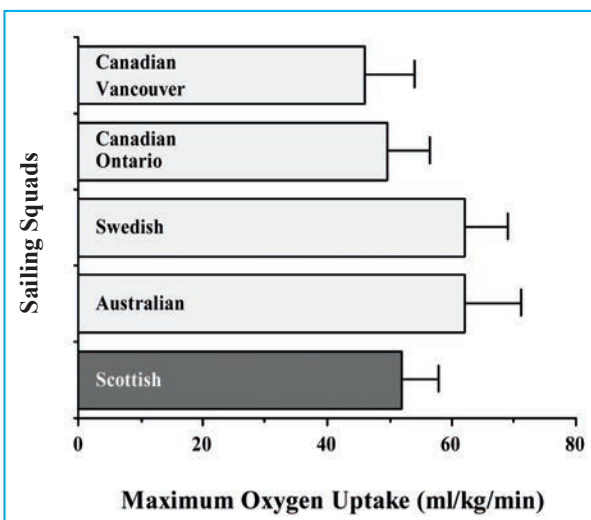
Οι τιμές της ανταλλαγής των αναπνευστικών αερίων και της καρδιακής συχνότητας καταγράφηκαν καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμασίας και για τα πρώτα τρία λεπτά της ανάπαυλας. Η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα από τρεις μυϊκές ομάδες (τετρακέφαλοι, κοιλιακοί και δικέφαλοι βραχιόνιοι) καταγράφηκε συνεχόμενα και εκφράστηκε ως ποσοστό της μέγιστης ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας που μετρήθηκε πριν από την προσομοίωση κατά την διάρκεια μιας μέγιστης ισομετρικής συστολής.

Αποτελέσματα

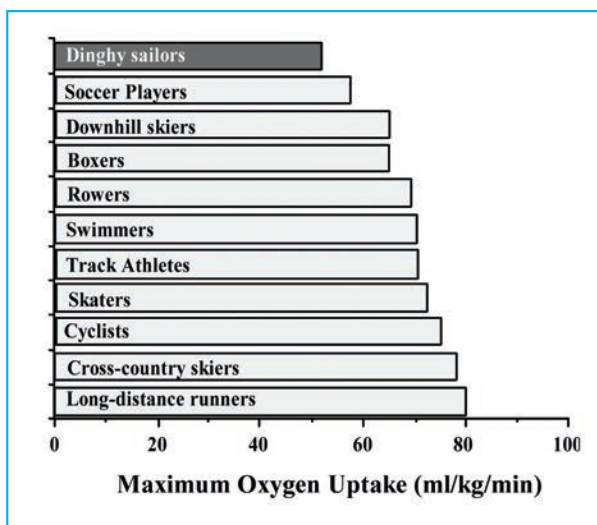
Δοκιμασία στο εργαστήριο. Δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις της πρόσληψης οξυγόνου με την μέθοδο του Douglas Bag και με την συσκευή Cosmed K2 (σχήμα 1). Η μέση τιμή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας ήταν 52 ± 6 ml/kg/min και 196 ± 6 beats/min, αντίστοιχα. Στα σχήματα 2 και 3 φαίνεται η σύγκριση των τιμών της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου σε σχέση με αυτές άλλων διεθνών ιστιοπλόων και με εκείνες αθλητών από άλλα αθλήματα.



Σχήμα 1. Πρόσληψη οξυγόνου κατά την διάρκεια της δοκιμασίας στο κυκλοεργόμετρο με την μέθοδο του Douglas Bag (DB) και του φορητού αναλυτή Cosmed K2.

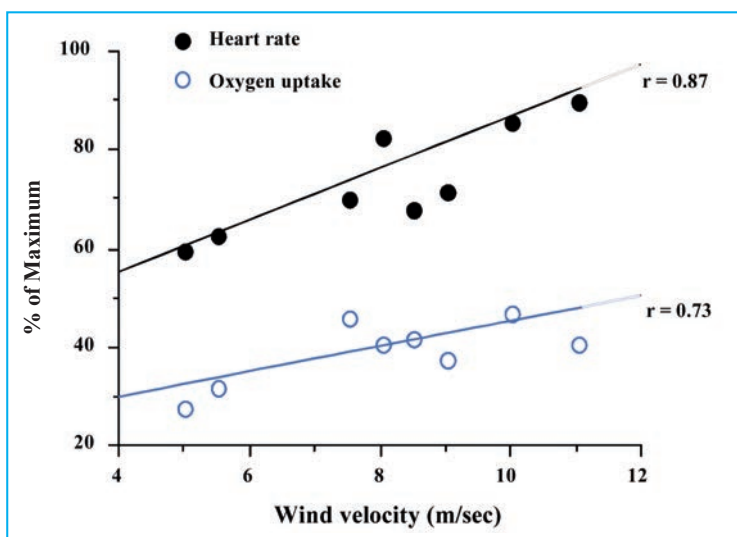


Σχήμα 2. Σύγκριση των μέσων τιμών μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου των ιστιοπλόων της Σκωτίας με εκείνες ιστιοπλόων άλλων χωρών (6, 19, 20).

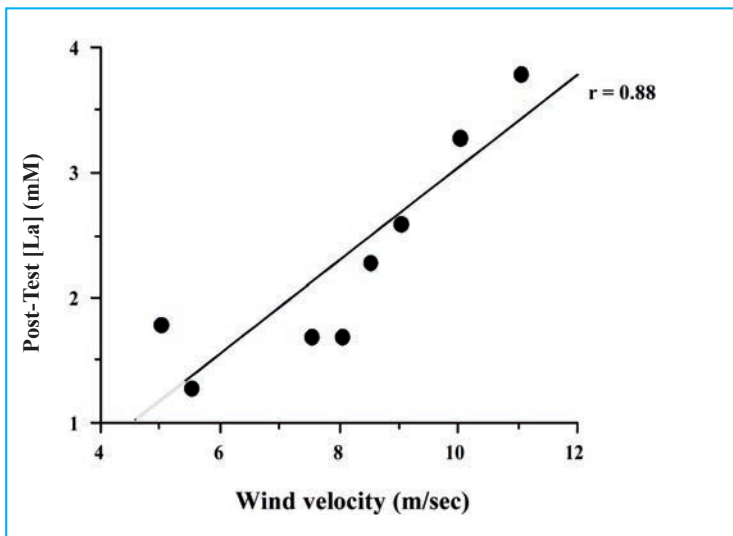


Σχήμα 3. Σύγκριση μέσων τιμών της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου των ιστιοπλόων της Σκωτίας με εκείνες αθλητών από άλλα αθλήματα (23).

Δοκιμασία στη θάλασσα. Στα σχήματα 4 και 5 φαίνεται η συσχέτιση των ποσοστών των μέγιστων τιμών της πρόσληψης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας καθώς και της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα σε σχέση με την ένταση του ανέμου. Οι τρεις μεταβλητές είχαν σημαντικό ($p < 0.05$) συντελεστή συσχέτισης με την ένταση του ανέμου ($r = 0.73, 0.87$ και 0.88 αντίστοιχα). Στην προσπάθεια για συσχέτιση των συνθηκών του προσομοιωτή με τις πραγματικές συνθήκες, οι δοκιμασίες σε διαφορετικές εντάσεις ανέμου χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες (μετρίου και δυνατού ανέμου) και οι βιολογικές τιμές των ιστιοπλόων καταχωρήθηκαν βάση αυτών των κατηγοριών. Στον πίνακα 2 φαίνονται οι μέσες τιμές της πρόσληψης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας, εκφρασμένες και ως ποσοστά των μέγιστων τιμών, καθώς και οι μέσες τιμές συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα. Το σχήμα 6 κάνει σύγκριση της κατανάλωσης οξυγόνου σε συνθήκες πραγματικής ιστιοπλοΐας με εκείνες άλλων αθλημάτων.



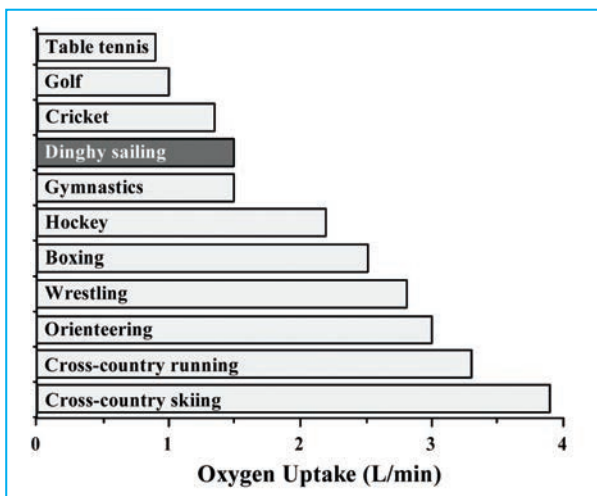
Σχήμα 4. Συσχέτιση των τιμών κατανάλωσης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας (εκφρασμένες ως ποσοστά των μέγιστων τιμών που καταγράφηκαν στο εργαστήριο) και της έντασης του ανέμου που επικράτησε στις συνθήκες πραγματικής ιστιοπλοΐας.



Σχήμα 5. Συσχέτιση των τιμών γαλακτικού οξέος στο αίμα με την ένταση του ανέμου που επικράτησε στις συνθήκες πραγματικής ιστιοπλοΐας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Μέσες τιμές της πρόσληψης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας, εκφρασμένες και ως ποσοστά των μέγιστων τιμών, καθώς και οι τιμές συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα, σε συνθήκες μετρίου ανέμου (4-8 m/s) και δυνατού ανέμου (9-12 m/s).

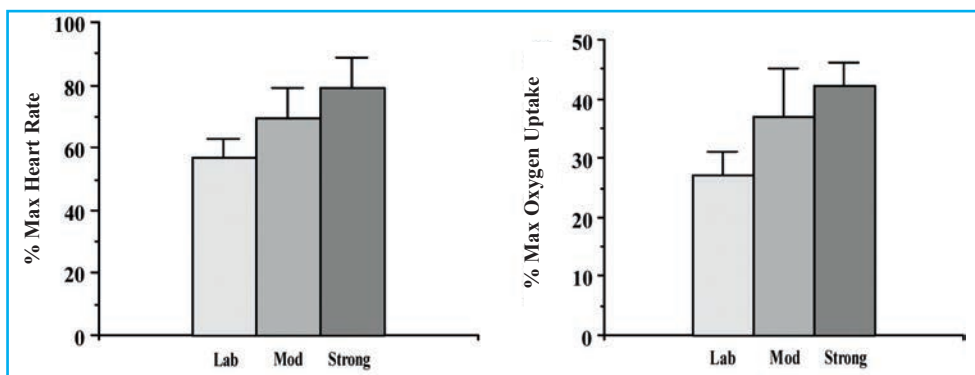
Ένταση ανέμου (m/s)	Κατανάλωση οξυγόνου (ml/kg/min)	Καρδιακή συχνότητα (%max)	Καρδιακή συχνότητα (beats/min)	Γαλακτικό οξύ (mM)
4-8	19±2	37±8	135±11	1.6±0.2
9-12	22 ±3	42 ±4	155±21	3.0±0.6



Σχήμα 6. Σύγκριση της μέσης τιμής κατανάλωσης οξυγόνου των 8 ιστιοπλόων σε συνθήκες πραγματικής ιστιοπλοΐας με εκείνες άλλων αθλημάτων (23).

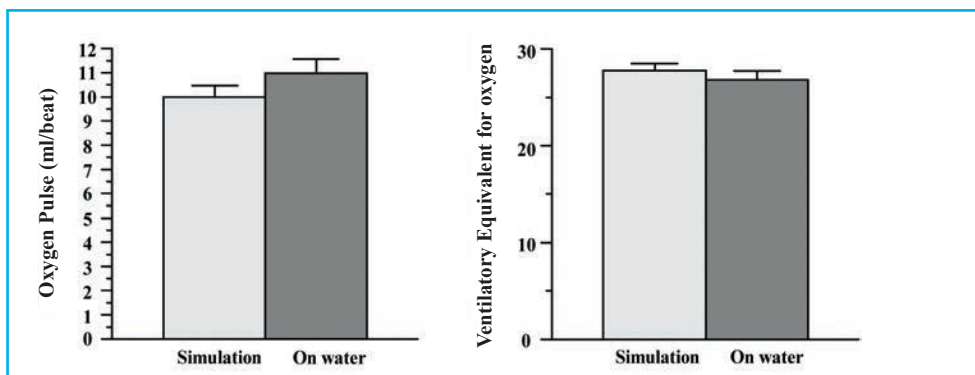
Δοκιμασία στον προσομοιωτή. Στο σχήμα 7 γίνεται σύγκριση ανάμεσα στη καρδιακή συχνότητα και την κατανάλωση οξυγόνου που καταγράφηκε στην δοκιμασία στον προσομοιωτή (Lab) με αυτές που καταγράφηκαν σε πραγματικές συνθήκες στους ίδιους αθλητές σε μέτριο και δυνατό άνεμο. Πιο αναλυτικά συγκρίνεται η μέση τιμή των ποσοστών των μέγιστων τιμών της πρόσληψης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας που βρέθηκαν στον προσομοιωτή (Lab) και στην δοκιμασία στη θάλασσα σε μέτριο (moderate) και δυνατό (strong) άνεμο. Στον προσομοιωτή όπως ήταν αναμενόμενο

προκλήθηκε μικρότερη αύξηση της καρδιακής συχνότητας και της κατανάλωσης οξυγόνου σε σύγκριση με τις πραγματικές συνθήκες ιστιοπλοΐας.



Σχήμα 7. Σύγκριση της καρδιακής συχνότητας και της κατανάλωσης οξυγόνου (εκφρασμένες ως ποσοστά των μέγιστων τιμών) σε συνθήκες μετρίου (moderate) και δυνατού (strong) ανέμου και σε εργαστηριακές (Lab) συνθήκες.

Στο σχήμα 8 φαίνεται ότι η μέση τιμή του οξυγονικού παλμού (το πηλίκο της κατανάλωσης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας), καθώς και το αναπνευστικό ισοδύναμο της κατανάλωσης οξυγόνου (το πηλίκο του πνευμονικού αερισμού και της κατανάλωσης οξυγόνου) που καταγράφηκαν στις δοκιμασίες του εργαστηρίου και της θάλασσας δεν διέφεραν μεταξύ τους. Άρα σε κάποιο βαθμό οι δύο δοκιμασίες ήταν συγκρίσιμες.



Σχήμα 8. Σύγκριση οξυγονικού παλμού και αναπνευστικού ισοδύναμου σε συνθήκες μετρίου και δυνατού ανέμου και σε εργαστηριακές συνθήκες

Δοκιμασία στο εργαστήριο. Η μέση τιμή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου των αθλητών της Σκωτίας κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με εκείνα από προηγούμενες μελέτες (σχήμα 2). Όταν η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου συγκριθεί με αυτή άλλων αθλητών (σχήμα 3) είναι φανερό ότι η μέγιστη αερόβια ικανότητα δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη στους ιστιοπλόους. Η μέση τιμή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου για τους αθλητές της Σκωτίας (52 ± 6 ml/kg/min) είναι μεγαλύτερη από τις τιμές που βρέθηκαν στην βιβλιογραφία για νέους, υγιείς μέτρια γυμνασμένους άνδρες (48 ± 8 ml/kg/min). Στα σχήματα (2 και 3) που αφορούν την πρόσληψη οξυγόνου της παρούσας έρευνας, οι τιμές είναι εκφρασμένες ανά κιλό σωματικού βάρους.

Δοκιμασία στη θάλασσα. Η μέση τιμή της πρόσληψης οξυγόνου στα όρτσα σε μέτριο και δυνατό άνεμο ήταν 19 ± 2 ml/kg/min και 22 ± 3 ml/kg/min, αντίστοιχα. Συγκρίνοντας αυτές τις τιμές με αυτές άλλων αθλημάτων (σχήμα 6) φαίνεται ότι οι αερόβιες απαιτήσεις δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές κατά την διάρκεια πραγματικής ιστιοπλοΐας. Εκφρασμένες αυτές οι τιμές ως ποσοστά της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου αντιστοιχούν στο 37 ± 8 % και 42 ± 4 % σε μέτριο και δυνατό άνεμο,

αντίστοιχα. Επιβεβαιώνεται λοιπόν πως η αερόβια ικανότητα δεν επιστρατεύεται σε σημαντικό βαθμό στην ιστιοπλοΐα (11, 25, 29). Αντίθετα με την πρόσληψη οξυγόνου η καρδιακή συχνότητα ήταν δυσανάλογα αυξημένη σε σχέση με την κατανάλωση οξυγόνου. Οι μέσες τιμές των ποσοστών της μέγιστης καρδιακής συχνότητας ήταν 69 ± 10 και 79 ± 10 % σε μέτριο και δυνατό άνεμο, αντίστοιχα. Αυτό το σχετικά υψηλό ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας σε σχέση με το σημαντικά μικρότερο ποσοστό της πρόσληψης οξυγόνου επιβεβαιώνει τα ευρήματα προηγούμενων μελετών που δείχνουν ότι στον προσομιωτή προκαλείται υψηλή καρδιακή συχνότητα με μικρή αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις αναφορές άλλων τύπων άσκησης που αποτελούν μορφές στατικής (ισομετρικής) συστολής (2, 15, 16).

Στην ιστιοπλοΐα οι μυϊκές ομάδες που συμμετέχουν περισσότερο είναι αυτές των τετρακέφαλων και των κοιλιακών οι οποίες συστέλλονται ανελλιπώς. Η υψηλή καρδιακή συχνότητα και η υψηλή αρτηριακή πίεση λόγω της ισομετρικής προσπάθειας έχουν εξεταστεί από τον Blackburn (1994) (6) ο οποίος βρήκε στον προσομιωτή την μέγιστη καρδιακή συχνότητα να είναι 62 ± 12 % της μέγιστης και την μέση τιμή της μέσης αρτηριακής πίεσης του αίματος 124 ± 14 mmHg. Η τιμή της πρόσληψης οξυγόνου βρέθηκε να είναι 25 ± 5 % της μέγιστης.

Στο μέτριο άνεμο στη δοκιμασία στη θάλασσα η μέση τιμή του γαλακτικού οξέος στο αίμα ήταν 1.6 ± 0.2 mM, λίγο πιο πάνω από τα επίπεδα ηρεμίας, που συνεπάγεται ότι η συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού δεν είναι σημαντική σε αυτές τις καιρικές συνθήκες. Ακόμα και στον δυνατό άνεμο η μέση τιμή του γαλακτικού οξέος που καταγράφηκε ήταν 3.0 ± 0.6 mM. Σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη (36) οι σχετικά χαμηλές τιμές γαλακτικού οξέος στο αίμα μπορεί να οφείλονται στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια των λιγότερο έντονων φάσεων του κρεμάσματος ή των περιόδων χαλάρωσης των μυών κατά τις αναστροφές, η αιμάτωση και η οξυγόνωση των μυών αποκαθίσταται σε σημαντικό βαθμό προάγοντας έτσι τον αερόβιο μεταβολισμό και τον μεταβολισμό του γαλακτικού οξέος από άλλους μυς.

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια γραμμική αύξηση της καρδιοαναπνευστικής απαίτησης (πρόσληψης οξυγόνου και καρδιακής συχνότητας) με την αύξηση της έντασης του ανέμου (σχήμα 4). Η συμβολή του αναερόβιου μεταβολισμού αυξήθηκε επίσης προοδευτικά με την αύξηση της έντασης του ανέμου όπως φαίνεται από την συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα (σχήμα 5). Επειδή στην ιστιοπλοΐα είναι απαραίτητη η διατήρηση της συστολής των μυϊκών ομάδων που συμμετέχουν στο κρέμασμα, η αύξηση της έντασης του ανέμου αυξάνει την προσπάθεια που απαιτείται για την εξισορρόπηση του σκάφους. Όσο αυξάνεται το ποσοστό της μέγιστης ισομετρικής προσπάθειας τόσο αυξάνονται οι καρδιοαναπνευστικές απαιτήσεις και οι απαιτήσεις για αναερόβιο μεταβολισμό (5, 8, 10, 14, 24,).

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμφωνούν με αυτά προηγούμενων ερευνών για την αύξηση των τιμών της καρδιακής συχνότητας σε δυνατό άνεμο (35). Τα αποτελέσματα επίσης συμφωνούν με αυτά των Pudeniz et al (1981) (22) που παρατήρησαν υψηλότερη καρδιακή συχνότητα όσο αυξανόταν η ένταση του ανέμου χωρίς όμως να μπορούν να αναφερθούν ταυτόχρονα στις τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου και του γαλακτικού οξέος στο αίμα. Μετά την πάροδο 12 ετών τα προαναφερόμενα αποτελέσματα των μελετών στη θάλασσα επιβεβαιώθηκαν από μελέτη άλλων ερευνητών σε Γάλλους αθλητές Laser (40).

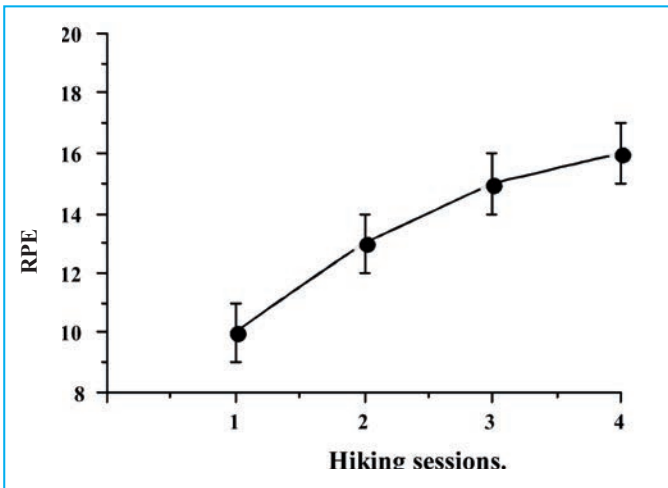
Συμπερασματικά τα αποτελέσματα στη θάλασσα έδειξαν πως η ένταση του ανέμου και της ισομετρικής συστολής των μυών που επιστρατεύονται για την εξισορρόπηση του σκάφους σε διαφορετικές εντάσεις ανέμου καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις μεταβολικές και καρδιοαναπνευστικές απαιτήσεις. Ακόμα και στον δυνατό άνεμο η αερόβια ικανότητα δεν επιστρατεύεται σε υψηλό βαθμό ενώ η συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού είναι μέτρια συγκριτικά με την ένταση της προσπάθειας.

Δοκιμασία στον προσομοιωτή. Ο σκοπός της δοκιμασίας στον προσομοιωτή ήταν να απομονώσει έναν αριθμό βιολογικών μεταβλητών που καταγράφηκαν για όλους τους ιστιοπλόους κάτω από παρόμοιες συνθήκες και να μελετήσει τις αλλαγές σε αυτές τις βιολογικές μεταβλητές. Ήταν αναγκαίο οι συνθήκες στον προσομοιωτή να μιμούνται όσο το δυνατόν περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες. Επειδή είναι δύσκολο να επιτευχθεί απόλυτα η προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών στο εργαστήριο δόθηκε μεγάλη σημασία στην αξιοπιστία της δοκιμασίας στον προσομοιωτή. Έτσι ήταν αναγκαίο όλοι οι δοκιμαζόμενοι να ασκηθούν σε παρόμοιες συνθήκες καθ' όλη την διάρκεια της προσπάθειας ώστε να είναι ικανοποιητική η κατανόηση των βιολογικών μηχανισμών. Έτσι λοιπόν ζητήθηκε από τους αθλητές να ασκήσουν αδιάκοπη προσπάθεια στον ιμάντα των ποδιών και στην σκότα ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση των τιμών μεταξύ των προσπαθειών κάθε αθλητή.

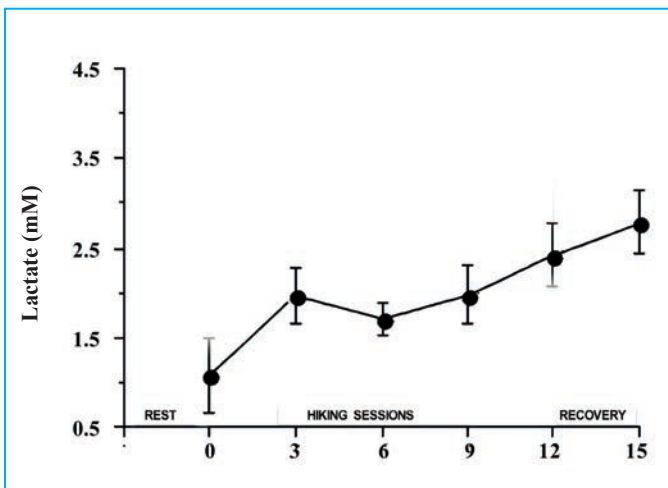
Στο σχήμα 7 φαίνονται οι καρδιοαναπνευστικές απαιτήσεις που καταγράφηκαν στην δοκιμασία του προσομοιωτή που ήταν χαμηλότερες από αυτές που καταγράφηκαν τόσο στον δυνατό όσο και στον μέτριο άνεμο. Αυτές οι τιμές δείχνουν ότι η ιστιοπλοία σε πραγματικές συνθήκες μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες απαιτήσεις στο σώμα των αθλητών συγκριτικά με την προσομοίωση επιδρώντας στην αύξηση της καρδιακής συχνότητας και στην αύξηση της ενεργειακής δαπάνης (3). Αναφορικά με τον οξυγονικό παλμό (η κατανάλωση οξυγόνου ανά καρδιακό παλμό) και το αναπνευστικό ισοδύναμο (πνευμονικός αερισμός προς κατανάλωση οξυγόνου) δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στις δύο αυτές παραμέτρους που βρέθηκαν στην δοκιμασία στο νερό (οξυγονικός παλμός: 11.0 ± 0.7 ml/beat, αναπνευστικό ισοδύναμο: 26.8 ± 1.2) και στην δοκιμασία στον προσομοιωτή (10.0 ± 0.6 ml/beat και 27.8 ± 1.0 , αντίστοιχα) (σχήμα 8).

Η άποψη λοιπόν ότι η δοκιμασία στον προσομοιωτή δεν είναι λιγότερο απαιτητική από την δοκιμασία σε πραγματικές συνθήκες υποστηρίζεται από τα παραπάνω αποτελέσματα. Η μέση τιμή στην εκτίμηση της δυσκολίας της άσκησης στην κλίμακα Borg (σχήμα 9) στο πέρας των δοκιμασιών στον προσομοιωτή (16 ± 2) ήταν ενδεικτική σκληρής προσπάθειας. Επίσης η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα 3 λεπτά μετά την λήξη των δοκιμασιών (2.8 ± 0.9 mM) (σχήμα 10) είναι συγκρίσιμη με εκείνη στην λήξη των δοκιμασιών με δυνατό άνεμο (3.0 ± 0.6 mM), αποδεικνύοντας ότι η προσπάθεια για κρέμασμα προσομοιώθηκε αρκετά καλά.

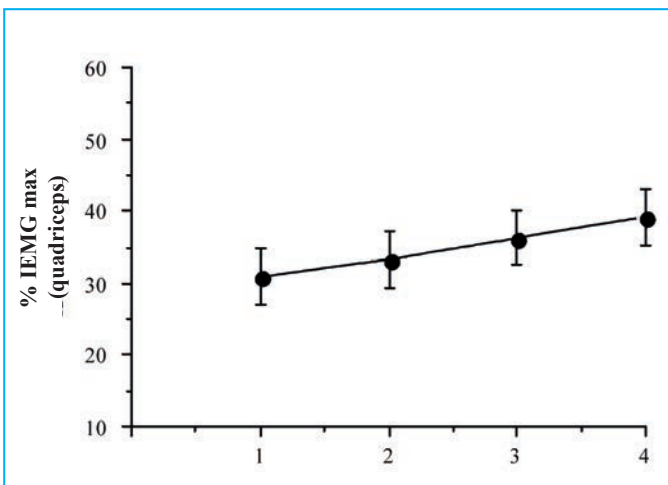
Η μέση τιμή του ποσοστού της μέγιστης δραστηριότητας των τετρακέφαλων αυξήθηκε σημαντικά κατά τις 4 προσπάθειες (σχήμα 11). Η μέση τιμή κατά την πρώτη προσπάθεια ήταν 31 ± 4 % ενώ κατά την τελευταία ήταν 39 ± 4 % της μέγιστης τιμής κατά την διάρκεια μέγιστης εκούσιας συστολής. Αντίθετα οι δικέφαλοι βραχιόνιοι και οι κοιλιακοί μύες επιστρατεύτηκαν σε μικρότερο ποσοστό (περίπου στο 25 και στο 15 % αντίστοιχα) της μέγιστης δύναμης τους σε συνθήκες προσομοίωσης στο εργόμετρο (σχήμα 12).



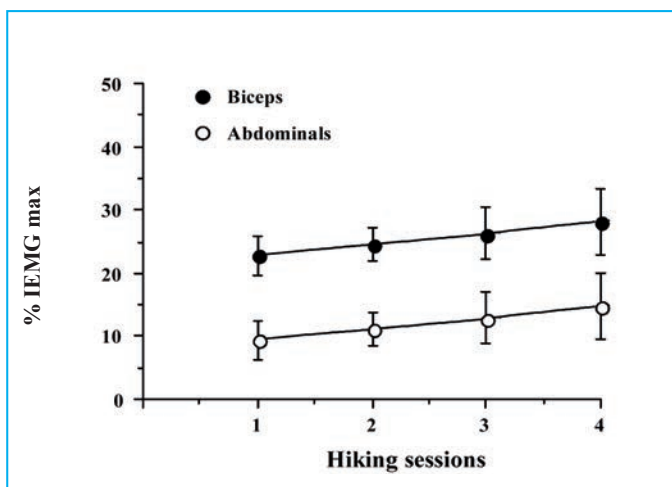
Σχήμα 9. Μέσες τιμές εκτίμησης της δυσκολίας της άσκησης στην κλίμακα Borg (6-20) κατά τις 4 περιόδους του κρεμάσματος στον προσομοιωτή.



Σχήμα 10. Μέσες τιμές συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα κατά τις 4 περιόδους του κρεμάσματος στον προσομοιωτή και στην περίοδο ανάκαμψης.



Σχήμα 11. Μέσες τιμές του ηλεκτρομυογραφήματος από τον τετρακέφαλο μηριαίο (εκφρασμένες ως ποσοστό της μέγιστης τιμής κατά την διάρκεια μέγιστης εκούσιας συστολής) κατά τις 4 περιόδους του κρεμάσματος στον προσομοιωτή.



Σχήμα 12. Μέσες τιμές του ηλεκτρομυογραφήματος από τον δικέφαλο βραχιόνιο και του κοιλιακούς (εκφρασμένες ως ποσοστά της μέγιστης τιμής κατά την διάρκεια μέγιστης εκούσιας συστολής) κατά τις 4 περιόδους του κρεμάσματος στον προσομοιωτή.

Το ηλεκτρομυογράφημα είναι ανάλογο με τον αριθμό των νευρομυϊκών μονάδων που επιστρατεύονται για να παράγουν την απαιτούμενη δύναμη. Όταν ο μυς είναι ξεκούραστος στο ηλεκτρομυογράφημα φαίνεται το αποτέλεσμα που είναι ανάλογο με την παραγόμενη δύναμη. Όσο ο μυς κουράζεται οι ήδη επιστρατευμένες νευρομυϊκές μονάδες γίνονται ανίκανες να παράγουν την ίδια δύναμη. Το νευρικό σύστημα αντισταθμίζει την απώλεια αυτής της δύναμης με επιστράτευση πρόσθετων νευρομυϊκών μονάδων που είναι ικανές να διατηρούν την δύναμη σε αδιάκοπο επίπεδο για κάποιο χρονικό διάστημα.

Κατά την διάρκεια της δοκιμασίας των 12.5 λεπτών δεν παρατηρήθηκε αλλαγή στην δύναμη που εφαρμόστηκε στον ιμάντα. Οι συνθήκες της δοκιμασίας απαιτούσαν να ασκηθεί αδιάκοπη δύναμη στον ιμάντα από τα πόδια. Έτσι το φορτίο στους μυς ήταν σταθερό. Η αύξηση των τιμών του ηλεκτρομυογραφήματος των τετρακέφαλων στον χρόνο δείχνει ότι πρόσθετες νευρομυϊκές μονάδες επιστρατεύτηκαν για να διατηρήσουν την ίδια δύναμη στην αυξανόμενη κόπωση.

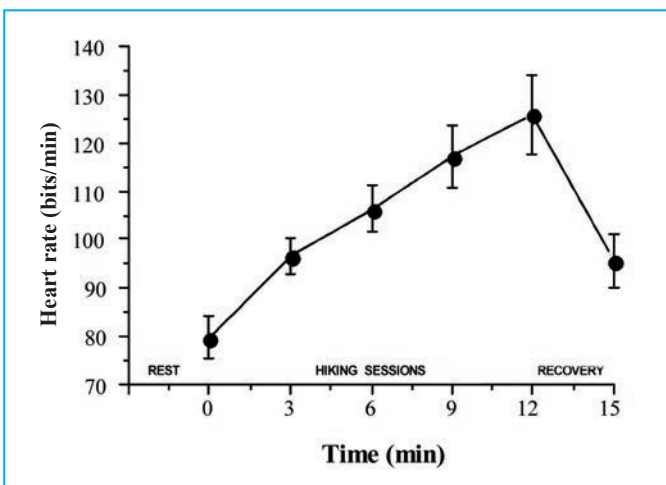
Έρευνες για την ισομετρική συστολή δείχνουν ότι η αιματική ροή των τετρακέφαλων περιορίζεται όταν η συστολή είναι μεγαλύτερη από το 30 % της μέγιστης εκούσιας συστολής αυτών των μυών (9). Η μέση τιμή του ποσοστού της μέγιστης δύναμης στους τετρακέφαλους στην παρούσα μελέτη ήταν 35 ± 4 %, ενώ σε πρόσφατη μελέτη σε Έλληνες αθλητές της κατηγορίας των Laser που έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας του ΤΕΦΑΑ Αθηνών η μέση τιμή ήταν παρόμοια [42 ± 5 % της μέγιστης (37)]. Η αιματική ροή σε τέτοιες εντάσεις ισομετρικής συστολής περιορίζεται [δεν διακόπτεται όμως (36) όπως κάποτε υποστηριζόταν] γιατί η πίεση στο εσωτερικό των μυών αυξάνεται σταδιακά και υπερβαίνει την πίεση ροής του αίματος. Για αυτό το λόγο παρατηρήθηκε σταδιακή και συνεχή αύξηση τόσο της αρτηριακής πίεσης όσο και της καρδιακής συχνότητας κατά την διάρκεια των προσπαθειών στον προσομοιωτή.

Η μέση τιμή της μέσης αρτηριακής πίεσης αμέσως μετά την λήξη της τελευταίας προσπάθειας ήταν υψηλή, 120 ± 4 mmHg, υποδηλώνοντας την προσπάθεια των καρδιαγγειακών μηχανισμών να αυξήσουν την αρτηριακή πίεση πάνω από την πίεση αιματικής ροής στο εσωτερικό των μυών ώστε να υπερνικηθεί ο περιορισμός της ροής του αίματος.

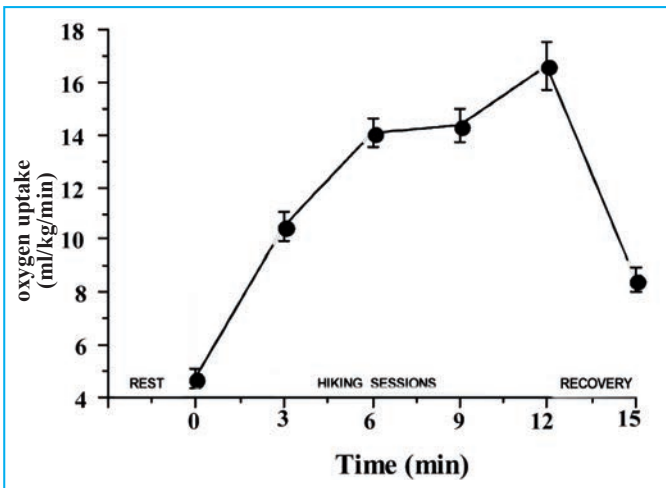
Αυτή η αντίδραση των καρδιαγγειακών μηχανισμών εξηγεί την σταθερή αύξηση στην μέση τιμή της καρδιακής συχνότητας (σχήμα 13) κατά την διάρκεια των τεσσάρων προσπαθειών. Το γεγονός ότι η καρδιακή συχνότητα δεν σταθεροποιείται σε κανένα στάδιο δείχνει την αντίδραση του καρδιαγγειακού συστήματος να διατηρήσει σταθερή την αύξηση στην καρδιακή παροχή σε εκείνους τους μυς που συμμετέχουν στην προσπάθεια για να διατηρήσουν την απαιτούμενη θέση κρεμάσματος (15, 16).

Τα αποτελέσματα που αφορούν την πρόσληψη οξυγόνου (σχήμα 14) δείχνουν ότι αυτή αυξάνεται σταθερά κατά την διάρκεια των 4 προσπαθειών. Η αύξηση είναι μεγαλύτερη στις δύο πρώτες προσπάθειες και είναι μικρότερη κατά την διάρκεια των δύο τελευταίων. Αυτή η συνεχόμενη αύξηση στην πρόσληψη οξυγόνου εξηγείται από την προοδευτική επιστράτευση ολοένα και μεγαλύτερου αριθμού νευρομυϊκών μονάδων που συντηρούν με αυτό τον τρόπο σταθερή την δύναμη στους μύες (21).

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά ευρήματα της δοκιμασίας στον προσομοιωτή είναι η απουσία της μεγάλης αύξησης της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα κατά τις 4 προσπάθειες και κατά την περίοδο της ανάκαμψης (σχήμα 10). Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος τρία λεπτά μετά την λήξη της τελευταίας προσπάθειας ήταν 2.8 ± 0.9 mM, κάτι που δείχνει μικρή συμβολή του αναερόβιου μεταβολισμού κατά το κρέμασμα. Είναι πιθανό, ότι το παραγόμενο γαλακτικό οξύ από τους εργαζόμενους μυς μεταβολίζεται από άλλους μυς ή σε άλλες περιοχές των ίδιων μυών που έχουν πιο επαρκή εφοδιασμό αίματος (27). Μια μελέτη στο Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας του ΤΕΦΑΑ σε Έλληνες αθλητές των Laser έδειξε ότι η αμάτωση και η οξυγόνωση των τετρακέφαλων αποκαθίσταται σε σημαντικό βαθμό με κάθε διάλειμμα προάγοντας πιθανότατα έτσι τον αερόβιο μεταβολισμό και τον μεταβολισμό του γαλακτικού οξέος από άλλους μυς. Πιθανόν για αυτό και οι τιμές του γαλακτικού οξέος στο αίμα διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα (36).



Σχήμα 13. Μέσες τιμές της καρδιακής συχνότητας κατά τις 4 περιόδους του κρεμάσματος στον προσομοιωτή και στην περίοδο της ανάκαμψης.



Σχήμα 14. Μέσες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου κατά τις 4 περιόδους του κρεμάσματος στον προσομοιωτή και στην περίοδο της ανάκαμψης.

Στην δοκιμασία στο νερό και στον προσομοιωτή ενώ η τιμή της κατανάλωσης του οξυγόνου ήταν μέτρια ο πνευμονικός αερισμός ήταν έντονα αυξημένος και δυσανάλογα υψηλός σε σχέση με τις απαιτήσεις της πρόσληψης οξυγόνου. Οι μέσες τιμές του πνευμονικού αερισμού ήταν μεταξύ 27-30 λίτρων/λεπτό. Αυτά τα επίπεδα των τιμών είναι ενδεικτικά έντονης ισομετρικής άσκησης (παρατηρήθηκε υπεραερισμός). Ο υπεραερισμός μπορεί να προκληθεί από την κόπωση της ισομετρικής μυϊκής συστολής και συνήθως αποδίδεται στην υψηλή ενδομυϊκή πίεση στους μυς που συστέλλονται (13). Μπορεί επίσης να σηματοδοτεί αναπνευστική αντιρρόπηση για την αύξηση της οξύτητας του αίματος που οφείλεται στο γαλακτικό οξύ (30). Όμως αφού δεν παρατηρήθηκε υψηλή συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα ο λόγος της ύπαρξης του υπεραερισμού ίσως δεν οφείλεται σε αυτήν την υπόθεση. Είναι πιο πιθανό ότι ο υπεραερισμός που παρατηρήθηκε μπορεί να οφείλεται στα σήματα του πόνου και της πίεσης των υποδοχέων που βρίσκονται στους μυς που συστέλλονται ισομετρικά. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί καθώς ο υπεραερισμός μειώθηκε όταν η μυϊκή συστολή σταμάτησε κατά την διάρκεια των ενδιάμεσων διαλειμμάτων και κατά την περίοδο ξεκούρασης μετά τις προσπάθειες ενώ το γαλακτικό οξύ στο αίμα αυξήθηκε περισσότερο κατά την φάση της αποκατάστασης.

Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας στον προσομοιωτή επιβεβαιώνουν τις βιολογικές απαιτήσεις των ιστιοπλών στις πραγματικές συνθήκες. Οι τιμές του πνευμονικού αερισμού και της καρδιακής συχνότητας στον προσομοιωτή και στη θάλασσα ήταν δυσανάλογα υψηλές σε σχέση με την πρόσληψη οξυγόνου, ενώ η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος έδειξε μια μέτρια συμβολή του αναερόβιου μηχανισμού. Η μειωμένη αιμάτωση σε κάποιες περιοχές των τετρακέφαλων μπορεί να ευθύνεται για την εμφάνιση του μεγαλύτερου ή όλου του γαλακτικού οξέος στο αίμα.

Είναι αβέβαιο αν η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στους μηριαίους μυς μπορεί να περιορίσει σημαντικά την ανοχή στην κόπωση κατά την διάρκεια του κρεμάσματος.