



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ**

**«ΑΣΚΗΣΙΟΓΕΝΗΣ ΑΡΤΗΡΙΑΚΗ ΥΠΟΞΑΙΜΙΑ
ΣΕ ΑΘΛΗΤΡΙΕΣ ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΟΥ»**

Ηρώ Καλτσώνη

**Μεταπτυχιακή Διατριβή
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ»**

ΑΘΗΝΑ 2024

© Copyright

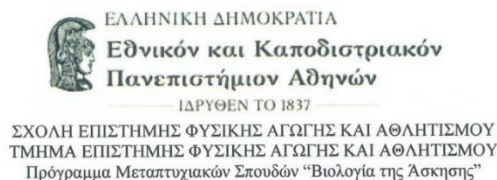
Ηρώ Καλτσώνη

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εθνικής Αντίστασης 41, Δάφνη

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΕΞΕΤΑΣΗΣ



ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Της Ηρούς Καλτσώνη

Η τριμελής εξεταστική επιτροπή, που ορίστηκε από τη Συνέλευση του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών στη συνεδρία της 21/7/2022 για την κρίση και αξιολόγηση της μεταπτυχιακής διατριβής της κας **Ηρούς Καλτσώνη** με τίτλο: «Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία σε αθλήτριες ποδοσφαίρου» αποτελούμενη από τους κ.κ. **Μ. Κοσκολού**, Αναπλ. Καθηγήτρια της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπουσα), **Ν. Γελαδά**, Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, **Α. Τουμπέκη**, Αναπλ. Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, εκλήθησαν σήμερα 26/4/2024 ημέρα Παρασκευή και ώρα 13:30 ύστερα από επίσημη έγγραφη πρόσκληση στο Αμφιθέατρο Ε. Παυλίνης της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, προκειμένου να κρίνουν και αξιολογήσουν την παραπάνω διατριβή.

Μετά από διεξοδική συζήτηση και ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των μελών της εξεταστικής επιτροπής κατέληξαν ότι η κρίνόμενη διατριβή πληροί όλους τους όρους εκπόνησής της, είναι πρωτότυπη και προάγει την επιστημονική γνώση και ως εκ τούτου κρίνεται αποδεκτή και εγκρίνεται.

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Μ. Κοσκολού, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ν. Γελαδά, Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Α. Τουμπέκη, Αναπληρωτής Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΕΚΦΡΑΣΗ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΩΝ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Μαρία Κοσκολού για την εξαιρετική συνεργασία και την καθοδήγηση αλλά και για τις ουσιαστικές συζητήσεις μας για όλο το φάσμα της ερευνητικής δραστηριότητας οι οποίες με βοήθησαν να εξελιχθώ και να ωριμάσω μέσα από την πορεία μου σε αυτό το μεταπτυχιακό. Ευχαριστώ επίσης τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον κο Νίκο Γελαδά και τον κο Ανάργυρο Τουμπέκη, για την ανατροφοδότηση που μου παρείχαν και τη συνεισφορά τους στη διαμόρφωση της παρούσας μελέτης.

Επιπλέον, ευχαριστώ τους συμφοιτητές, συνεργάτες και πλέον φίλους που με στήριξαν και βοήθησαν στις μετρήσεις και τη συλλογή των δεδομένων: Εύα Σουκαρά, Τάσο Μακρή, Λία Λουκά, Αλίκη Μακρή και Κώστα Ματαρέλλη. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Δημήτρη Στεργιόπουλο για τη βοήθειά του σε ορισμένα ζητήματα που αν και δεν αναφέρονται στην παρούσα εργασία συνέβαλαν στη διαμόρφωσή της.

Ευχαριστώ πολύ όλες τις αθλήτριες που έλαβαν μέρος στην έρευνα, αλλά και όσες ενώ δεν μπόρεσαν να συμμετάσχουν προώθησαν την πληροφορία και βρήκαν άλλες που να μπορούν. Η συνεργασία μας ήταν κάτι παραπάνω από πολύτιμη. Ευχαριστώ τη Γαβριέλα Συμεωνίδη (τότε γυμνάστρια του Οδυσσέα Μοσχάτου WFC), τον Μπάμπη Ρέλλα (προπονητή της γυναικείας ομάδας Π.Ο. Αγ. Θωμά Γουδί) και τον Βασίλη Αγγελόπουλο (πρόεδρο της γυναικείας ομάδας Α.Σ. Ποντίων Δραπετσώνας). Τους ευχαριστώ τόσο για τη συνεργασία και την παροχή αθλητριών από τις ομάδες, καθώς και για την εξασφάλιση γηπέδου και προπονητικού υλικού για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για τη διαρκή στήριξη, κατανόηση και βοήθεια που μου προσφέρουν μου ώστε να μπορώ να ασχοληθώ με αυτό που αγαπώ. Ευχαριστώ επίσης τη νονά μου Βάσω και τον νονό μου Βασίλη που επίσης με στήριξαν, ακόμη και όταν βρίσκονταν εκτός Ελλάδας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ και σε όλες τις φίλες και τους φίλους για την υποστήριξη και τη συντροφιά σε αυτή την πορεία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία (EIAH) ονομάζεται η πτώση του κορεσμού του αρτηριακού αίματος με οξυγόνο (SaO_2) $\geq 3\%$ κατά τη μέγιστη ένταση άσκησης και εμφανίζεται συχνότερα σε αερόβια προπονημένους. Το φαινόμενο δεν έχει μελετηθεί εκτενώς στον γυναικείο πληθυσμό και ιδίως σε αθλήτριες ομαδικών αερόβιων αθλημάτων, όπως το ποδόσφαιρο. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του επιπολασμού της EIAH σε αθλήτριες ποδοσφαίρου και της σχέσης του με την απόδοση στο γήπεδο. Τριάντα αθλήτριες ποδοσφαίρου εκτέλεσαν πρωτόκολλο σταδιακά αυξανόμενης έντασης στο δαπεδοεργόμετρο μέχρι εξάντλησης. Κάθε στάδιο διαρκούσε 2.5 min, αυξανόταν η ταχύτητα κατά 3.2 km/h μέχρι η δοκιμαζόμενη να τη χαρακτηρίσει άνετη (9.6 ή 12.8 km/h) και μετά η κλίση κατά 2% ανά στάδιο μέχρι εξάντλησης. Καταγράφονταν συνεχόμενα η καρδιακή συχνότητα (HR), ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο (SpO_2) και αναπνευστικές παράμετροι, στο τέλος κάθε σταδίου ο βαθμός αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE) και 3 min μετά το τέλος της άσκησης η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα ($[\text{La}]$). Με το πρωτόκολλο αυτό προσδιορίζονταν σε κάθε αθλήτρια η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$) και η εμφάνιση ή μη EIAH. Έντεκα από τις αθλήτριες εκτέλεσαν άλλη μέρα στο πεδίο το διαφοροποιημένο Hoff test, δηλ. πρωτόκολλο 10 min με χειρισμό μπάλας και κινήσεις του αθλήματος, όπου καλύπτεται η μεγαλύτερη δυνατή απόσταση. Καταγράφονταν η συνολική απόσταση, η μέγιστη HR, ο SpO_2 και ο RPE κατά τον τερματισμό της άσκησης, καθώς και η $[\text{La}]$ 3 min αργότερα. Έγιναν

παραμετρικές και μη παραμετρικές συγκρίσεις μεταξύ μέσων για εξαρτημένα και ανεξάρτητα δείγματα, καθώς και ανάλυση συσχέτισης (Spearman's rho). Για τη σύγκριση της πορείας του SpO_2 μεταξύ όσων εμφάνισαν και όσων δεν εμφάνισαν EIAH πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (εμφάνιση EIAH x χρόνος). Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε σε $p \leq .05$.

Το 50% των αθλητριών εμφάνισε EIAH με μεταβολή του SpO_2 (ΔSpO_2) $9.45 \pm 4.98\%$ από την τιμή ηρεμίας. Δεν διέφεραν σημαντικά στα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά ή την αναπνευστική απόκριση κατά τη μέγιστη ένταση οι αθλήτριες με EIAH ($n = 15$) από αυτές χωρίς EIAH ($n = 15$). Δεν είχε στατιστικά σημαντική συσχέτιση η $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$ με την απόδοση στο πεδίο. Όσες αθλήτριες είχαν εμφανίσει EIAH στο εργαστήριο είχαν κατά μέσο όρο (1449 ± 50.7 m) καλύτερη απόδοση στο πεδίο ($p = .009$) από όσες δεν είχαν εμφανίσει EIAH (1348 ± 42.8 m), η οποία όμως δεν μπορεί να αποδοθεί στην εμφάνιση του φαινομένου.

Συμπερασματικά, το 50% των αθλητριών εμφάνισε EIAH, ενώ σε προηγούμενες έρευνες ήταν μεγαλύτερα τα ποσοστά σε γυναίκες με υψηλότερη αερόβια ικανότητα. Η μη συσχέτιση της $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$ με την απόδοση στο πεδίο και η διαφορά των δύο ομάδων στο πεδίο ίσως να οφείλονται σε διαφορές στην τεχνική ευχέρεια, η οποία όμως δεν μετρήθηκε στην παρούσα έρευνα. Απαιτούνται περισσότερες μελέτες με μεγαλύτερο εύρος $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$ για να εξακριβωθεί η εμφάνιση της EIAH σε αθλήτριες ποδοσφαίρου, αλλά και εάν το πρωτόκολλο του Hoff test είναι κατάλληλο γι' αυτόν τον πληθυσμό.

ABSTRACT

Exercise-induced arterial hypoxemia in female football athletes

Exercise-induced arterial hypoxemia (EIAH) is defined as a drop of arterial blood oxygen saturation (SaO_2) $\geq 3\%$ during maximal exercise at sea level and is more apparent in highly trained individuals. This phenomenon has not been extensively studied in females, and especially in athletes of team sports. The aim of the present study is to investigate the prevalence of EIAH in female football athletes and its effect on field performance.

Thirty female football athletes performed incremental exercise on a treadmill to volitional exhaustion. Each stage lasted 2.5 min, the speed increased by 3.2 km/h per stage, until reaching a comfortable speed (9.6 or 12.8 km/h), and the gradient was increased by 2% per stage thereafter, until exhaustion. Heart rate (HR), hemoglobin oxygen saturation (SpO_2), and respiratory parameters were recorded continuously, the rate of perceived exertion (RPE) at the end of each stage, and blood lactate concentration ([La]) 3 min after the cessation of the exercise. With this protocol maximal oxygen uptake ($\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$) and the occurrence or absence of EIAH was determined.

On a different day, 11 of the athletes performed, on a football pitch, the modified Hoff test, i.e. a 10-min test with ball dribbling and movement patterns specific to the sport, where the athlete is asked to cover the longest possible distance. Total distance, maximum HR, end-exercise SpO_2 , RPE, and post-exercise [La] were recorded. Statistical analysis included parametric and non-parametric tests for

comparing dependent and independent means, correlation (Spearman's rho), and 2-way analysis of variance (EIAH occurrence x time) for comparing the SpO_2 course between athletes with and without EIAH. The level of statistical significance was set at $p \leq .05$.

Half of the participants developed EIAH with a drop in SpO_2 (ΔSpO_2) of $9.45 \pm 4.98\%$ from the value at rest. The athletes who developed ($n = 15$) and those who did not develop ($n = 15$) EIAH did not differ in the descriptive characteristics or in the respiratory response at maximal intensity. No correlation was found between $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ and field performance. The athletes who had developed EIAH during the incremental protocol performed on the field on average (1449 ± 50.7 m) better ($p = .009$) than those who had not developed EIAH (1348 ± 42.8 m). However, this difference between groups cannot be associated to the EIAH development.

In conclusion, 50% of female athletes developed EIAH, whereas previous studies have reported higher prevalence of EIAH in females with higher aerobic capacity. The lack of correlation between $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ and performance on the field test as well as the difference observed in the field test between the two groups might be a result of technical ability differences, which were not measured in the present study. More research is needed involving a wider range of $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ to ascertain the prevalence of EIAH in female football athletes and to test whether the Hoff test is appropriate for this specific population.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΕΞΕΤΑΣΗΣ	σελ. ii
ΕΚΦΡΑΣΗ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΩΝ	σελ. iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	σελ. iv
ABSTRACT	σελ. v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	σελ. vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	σελ. x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	σελ. xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	σελ. xii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

1.1. Σημασία της έρευνας	σελ. 1
1.2. Ορισμός και διατύπωση ερευνητικού προβλήματος	σελ. 2
1.3. Διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων	σελ. 2
1.3.1. Ερευνητικά ερωτήματα	σελ. 2
1.3.2. Μεταβλητές	σελ. 2
1.3.2.1. Ανεξάρτητες μεταβλητές	σελ. 2
1.3.2.2. Εξαρτημένες μεταβλητές	σελ. 2
1.4. Ερευνητικές και στατιστικές υποθέσεις	σελ. 2
1.5. Οριοθέτηση	σελ. 3
1.6. Περιορισμοί	σελ. 3
1.7. Διευκρίνηση όρων	σελ. 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1. Καρδιοαναπνευστική απόκριση κατά τη μέγιστης έντασης άσκηση	σελ. 5
2.2. Πρόσληψη οξυγόνου και αρτηριακή οξυγόνωση	σελ. 5
2.3. Μεταφορά οξυγόνου	σελ. 6
2.4. Διατήρηση της μεταφοράς οξυγόνου κατά την άσκηση	σελ. 6
2.5. Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία	σελ. 7
2.6. Επιπολασμός	σελ. 8
2.7. Εμφάνιση	σελ. 9
2.7.1 Ένταση άσκησης	σελ. 9
2.7.2. Τύπος άσκησης	σελ. 9
2.8. Μηχανισμοί	σελ. 10
2.8.1. Ελλιπής αναπνευστική αντιστάθμιση	σελ. 10
2.8.2. Ανισοτιμία αερισμού-αιμάτωσης	σελ. 12
2.8.3. Περιορισμός διάχυσης οξυγόνου	σελ. 13
2.8.4. Περιορισμός εκπνευστικής ροής	σελ. 15
2.8.5. Ανατομικές παρακάμψεις	σελ. 19
2.8.6. Απαιτήσεις/Ικανότητα	σελ. 19
2.8.7. Επίδραση στην απόδοση	σελ. 19
2.9. Χαρακτηριστικά και φυσιολογικές αποκρίσεις στο ποδόσφαιρο	σελ. 20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

Μέθοδος

3.1. Συμμετέχουσες	σελ. 23
3.2. Διαδικασία μέτρησης	σελ. 23

3.2.1. Προκαταρκτικές διαδικασίες	σελ. 24
3.2.2. Πειραματικές διαδικασίες	σελ. 24
3.2.2.1. Πειραματική διαδικασία I	σελ. 24
3.2.2.2. Πειραματική διαδικασία II	σελ. 25
3.3. Όργανα μέτρησης – Επεξεργασία δεδομένων	σελ. 26
3.3.1. Ερωτηματολόγια	σελ. 26
3.3.2. Μάζα σώματος, ανάστημα, σύσταση σώματος	σελ. 26
3.3.3. Αναπνευστικές παράμετροι	σελ. 27
3.3.4. Κορεσμός της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο	σελ. 27
3.3.5. Φάση έμμηνου κύκλου	σελ. 28
3.3.6. Μέτρηση αιματοκρίτη	σελ. 28
3.3.7. Δαπεδοεργόμετρο	σελ. 28
3.3.8. Αντιλαμβανόμενη κόπωση	σελ. 28
3.3.9. Καρδιακή συχνότητα	σελ. 28
3.3.10. Συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα	σελ. 28
3.3.11. Δρομική οικονομία	σελ. 28
3.4. Στατιστική ανάλυση	σελ. 29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Αποτελέσματα

4.1. Χαρακτηριστικά συμμετεχουσών	σελ. 31
4.2. Πειραματική διαδικασία I	σελ. 32
4.2.1. Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία	σελ. 32
4.2.2. Αποκρίσεις κατά τη μέγιστη ένταση	σελ. 32
4.2.3. Μεταβολή κορεσμού κατά την πορεία της άσκησης	σελ. 34

4.2.4. Συσχέτιση χρονικών σημείων	σελ. 35
4.3. Πειραματική διαδικασία II	σελ. 37
4.3.1. Χαρακτηριστικά όσων μετρήθηκαν και στο πεδίο	σελ. 37
4.3.2. Σύγκριση δοκιμασιών εργαστηρίου – πεδίου	σελ. 37
4.3.3. Σύγκριση ομάδων στο πεδίο	σελ. 38
4.3.4. Συσχετίσεις	σελ. 38
4.4. Συμφωνία οξυμέτρων	σελ. 38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Συζήτηση

5.1. Επιπολασμός	σελ. 41
5.2. Ορισμός ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας	σελ. 42
5.3. Χαρακτηρισμός ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας	σελ. 42
5.4. Αναπνευστικές αποκρίσεις κατά τη μέγιστη ένταση	σελ. 43
5.5. Σύνδεση αιματοκρίτη, κορεσμού και μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου	σελ. 44
5.6. Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία σε υπομέγιστη άσκηση	σελ. 45
5.7. Απόδοση στο πεδίο	σελ. 46
5.8. Συμπεράσματα	σελ. 48

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ. 49
---------------------	---------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	σελ. 60
Έγκριση επιτροπής ερευνητικής δεοντολογίας-βιοηθικής	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	σελ. 61
Έντυπο δήλωσης συγκατάθεσης δοκιμαζομένων	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	σελ. 64

Ερωτηματολόγιο έμμηνου κύκλου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ σελ. 65

Ερωτηματολόγιο κατάστασης υγείας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε σελ. 67

Ερωτηματολόγιο Fagerström

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ σελ. 68

Νόρμες αξιολόγησης της φυσικής κατάσταση γυναικών με βάση το
Αμερικανικό Κολλέγιο Αθλητιατρικής (ACSM, 2018)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Καμπύλη ροής όγκου σε απροπόνητο (αριστερά) και προπονημένο (δεξιά) άνδρα. Οι θηλιές στο εσωτερικό αντιπροσωπεύουν την εκπνοή στην ηρεμία (η μικρότερη) και οι υπόλοιπες διάφορες εντάσεις άσκησης φτάνοντας ως τη μέγιστη, με την εξωτερική θηλιά να αντιπροσωπεύει τη μέγιστη εθελούσια εκπνοή, η οποία είναι ταυτόσημη και στα δύο άτομα. Στο δεξί σχήμα παρατηρείται το φαινόμενο του περιορισμού εκπνευστικής ροής (EFL) στο σημείο όπου συναντώνται οι δύο εξωτερικές καμπύλες (McKenzie, 2012), σελ. 15

Σχήμα 2.2. Καμπύλη ροής όγκου σε λιγότερο εύρωστες (αριστερά) και περισσότερο εύρωστες (δεξιά) γυναίκες (Hopkins & Harms, 2004), σελ. 17

Σχήμα 3.1. Σχηματική περιγραφή της Πειραματικής διαδικασίας II. Καταγράφονταν συνεχώς αναπνευστικές παράμετροι, ο SpO_2 , η HR και η [La] τρία λεπτά μετά το πέρας της άσκησης, σελ. 24

Σχήμα 3.2. Διαφοροποιημένο Hoff test (Chamari et al. 2005), σελ. 26

Σχήμα 4.1. Διαφορές μεταξύ των ομάδων στον όγκο αναπνοής (αριστερά) και την αναπνευστική συχνότητα (δεξιά), σελ. 34

Σχήμα 4.2. Συσχέτιση μεταξύ α) SpO_2 κατά τη $\dot{V}O_{2max}$ και $\dot{V}O_{2max}$ και β) ΔSpO_2 και $\dot{V}O_{2max}$ για την ΕΙΑΗ ομάδα και τη ΝΕΙΑΗ ομάδα (μαύρα και γκρι σύμβολα, αντίστοιχα), σελ. 34

Σχήμα 4.3. Συσχέτιση μεταξύ α) SpO_2 κατά τη $\dot{V}O_{2max}$ και Hct και β) ΔSpO_2 και Hct για την ΕΙΑΗ ομάδα και τη ΝΕΙΑΗ ομάδα (μαύρα και γκρι σύμβολα, αντίστοιχα), σελ. 35

Σχήμα 4.4. Μεταβολή του SpO_2 κατά την αυξανόμενη ένταση άσκησης, εκφρασμένη ως % της $\dot{V}O_{2max}$, σελ. 35

Σχήμα 4.5. Μεταβολή του SpO_2 κατά την αυξανόμενη ένταση άσκησης, εκφρασμένη ως % της $\dot{V}O_{2max}$, ατομικές τιμές, σελ. 36

Σχήμα 4.6. Η ένταση στην οποία καταγράφηκε η ελάχιστη τιμή SpO_2 για κάθε δοκιμαζόμενη, σελ. 36

Σχήμα 4.7. Διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων στην απόσταση που διανύθηκε κατά το Hoff test και στη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα, τρία λεπτά μετά τον τερματισμό του, σελ. 38

Σχήμα 4.8. Συσχέτιση της διανυθείσας απόστασης στο πεδίο με τη μετρημένη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (αριστερά) και τον χρόνο μέχρι στην εξάντληση στο πρωτόκολλο στο εργαστήριο (δεξιά), σελ. 38

Σχήμα 4.9. Συσχέτιση της διανυθείσας απόστασης στο πεδίο με δύο τρόπους έκφρασης της δρομικής οικονομίας, σελ. 39

Σχήμα 4.10. Συσχέτιση (αριστερά) και συμφωνία (δεξιά) μεταξύ των δύο οξυμέτρων, σελ. 39

Σχήμα 5.1. Ποσοστό εμφάνισης της ΕΙΑΗ σε νεαρές υγιείς γυναίκες, σελ. 41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Χαρακτηρισμός της ΕΙΑΗ σύμφωνα με τις τιμές κορεσμού της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο (SpO_2), για άτομο με SpO_2 ηρεμίας 98%, σελ. 8

Πίνακας 2.2. Χαρακτηρισμός της παρουσίας ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας (ΕΙΑΗ) σύμφωνα με τις τιμές της κυψελιδο-αρτηριακής διαφοράς πίεσης οξυγόνου ($A-aDO_2$), σελ. 9

Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά του συνόλου του δείγματος ($n=30$), σελ. 31

Πίνακας 4.2. Ανθρωπομετρικά και λοιπά χαρακτηριστικά ανά ομάδα, σελ. 32

Πίνακας 4.3. Αναπνευστική απόκριση και λοιπά χαρακτηριστικά κατά την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$, σελ. 33

Πίνακας 4.4. Σύγκριση μετρημένων τιμών στο εργαστήριο μεταξύ των αθλητριών που μετρήθηκαν στο πεδίο, σελ. 37

Πίνακας 4.5. Σύγκριση τιμών μεταξύ εργαστηρίου και πεδίου, σελ. 37

Πίνακας 4.6. Τιμές καρδιακής συχνότητας για τις δύο ομάδες, σελ. 62

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

EFL: Περιορισμός εκπνευστικής ροής

EIAH: Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία

f: αναπνευστική συχνότητα (bpm)

FEV1: Βιαίως εκπνεόμενος όγκος αέρα σε 1 s (L)

FFM: άλιπη σωματική μάζα

Hct: Αιματοκρίτης (%)

Hb: Αιμοσφαιρίνη ($\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$)

HR: Καρδιακή συχνότητα ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$)

LH: Ωχρινοτροπίνη

PAO₂: Μερική πίεση του οξυγόνου στις κυψελίδες (mmHg)

PaO₂: Μερική πίεση του οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα (mmHg)

PETCO₂: Τελοεκπνευστική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα (mmHg)

PETO₂: Τελοεκπνευστική πίεση του οξυγόνου (mmHg)

Q: Καρδιακή παροχή ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)

RER: Αναπνευστικό πηλίκο

SaO₂: Κορεσμός του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο (%)

SpO₂: Κορεσμός του αίματος σε οξυγόνο (%) μετρημένος μέσω παλμικού οξυμέτρου

$\dot{V}\text{CO}_2$: Όγκος εκπνεόμενου διοξειδίου του άνθρακα ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)

$\dot{V}\text{E}$: Πνευμονικός αερισμός ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)

$\dot{V}\text{O}_2$: Πρόσληψη οξυγόνου σε $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$, σε $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ και σε $\text{ml} \cdot \text{FFMkg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σε $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$, σε $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ και σε $\text{ml} \cdot \text{FFMkg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Vt: Αναπνεόμενος όγκος αέρα ($\text{ml} \cdot \text{breath}^{-1}$)

ΔSpO_2 (%): Μεταβολή του κορεσμού του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο σε σχέση με την τιμή ηρεμίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

1.1. Σημασία της έρευνας

Τις τελευταίες δεκαετίες, το ποδόσφαιρο αποκτά όλο και περισσότερη δημοτικότητα στις γυναίκες τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη συμμετοχή στο άθλημα, τις αυξημένες απαιτήσεις για βελτίωση των υποδομών, επαρκή κατάρτιση του επαγγελματικού προσωπικού και φυσικά την ανάπτυξη των ερευνητικών δραστηριοτήτων στον συγκεκριμένο πληθυσμό. Το ποδόσφαιρο είναι ομαδικό αερόβιο άθλημα με συχνές και ακαθόριστες εναλλαγές υψηλής και χαμηλής έντασης καθ' όλη τη διάρκεια του αγώνα (Andersson, Randers, Heiner-Møller, Krstrup & Mohr, 2010; Datson, Hulton, Andersson, Lewis, Weston, Drust & Gregson, 2014; Krstrup, Mohr, Ellingsgaard & Bangsbo, 2005).

Έχει παρατηρηθεί πως όταν ορισμένα άτομα ασκούνται σε υψηλές έως μέγιστες εντάσεις στο επίπεδο της θάλασσας, υφίσταται πτώση της περιεκτικότητας του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο (CaO_2), φαινόμενο το οποίο ονομάζεται ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία (Exercise Induced Arterial Hypoxemia, EIAH) (Dempsey & Wagner, 1999). Οι πιθανοί παράγοντες που οδηγούν στην εμφάνιση του φαινομένου σχετίζονται με μηχανικούς περιορισμούς της αναπνοής, ιδιαιτερότητες κατά την ανταλλαγή των αερίων στα

πνευμονικά τριχοειδή και κατεσταλμένη αναπνευστική απόκριση στην έντονη άσκηση (Dempsey & Wagner, 1999; Dominelli & Sheel, 2019).

Η EIAH εμφανίζεται συχνότερα σε καλά προπονημένα άτομα και φαίνεται να επιδρά σημαντικά στην αερόβια απόδοση καθώς πτώση $\geq 3\%$ του κορεσμού της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο στο αρτηριακό αίμα (SaO_2) οδηγεί σε μείωση της $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$, αύξηση της αντιλαμβανόμενης κόπωσης και εν τέλει μείωση της απόδοσης (Dempsey & Wagner, 1999; Koskolou & McKenzie, 1994; Romer, Haverkamp, Lovering, Pegelow & Dempsey, 2006).

Η EIAH έχει μελετηθεί σε νέες υγιείς γυναίκες διαφορετικών προπονητικών επιπέδων (Dominelli, Foster, Dominelli, Henderson, Koehle, McKenzie & Sheel, 2013; Dominelli, Foster, Dominelli, Querido, Henderson, Koehle & Sheel, 2012; Harms, McClaran, Nিকেle, Pegelow, Nelson & Dempsey, 1998, 2000; Hopkins et al., 2000; Richards, McKenzie, Warburton, Road & Sheel, 2004) και ο επιπολασμός του φαινομένου κυμαίνεται μεταξύ του 59% και 76%.

Στους άντρες, ο επιπολασμός έχει φανεί να είναι 52-84% όσον αφορά τους πολύ καλά προπονημένους αθλητές, καθώς στους μέτρια ή καθόλου προπονημένους δεν εμφανίζεται καθόλου το φαινόμενο (Constantini, Tanner, Gavin, Harms, Stager & Chapman, 2017; Powers, Dodd, Lawler, Landry, Kirtley, McKnight & Grinton, 1988).

Η συνεισφορά της παρούσας έρευνας έγκειται στην περαιτέρω

αξιολόγηση του φαινομένου της ΕΙΑΗ σε γυναίκες και ιδιαίτερα σε αθλήτριες ποδοσφαίρου. Αποτελεί μια απόπειρα να μεταφερθεί η μέτρηση της ΕΙΑΗ στο πεδίο και να γίνει σύνδεση με την επίδραση στην απόδοση σε ρεαλιστικές συνθήκες.

1.2. Ορισμός και διατύπωση του ερευνητικού προβλήματος

Η ΕΙΑΗ έχει μελετηθεί περιορισμένα σε γυναίκες και οι συμμετέχουσες ήταν διαφορετικών προπονητικών επιπέδων και με διαφορετικές αθλητικές ασχολίες (απροπόνητες, δρομείς, ποδηλάτισσες, αθλήτριες ποδοσφαίρου).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι α) η μελέτη του επιπολασμού της ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας σε αθλήτριες ποδοσφαίρου, β) η διερεύνηση διαφορών στις φυσιολογικές αποκρίσεις κατά την άσκηση μεταξύ όσων εμφάνισαν και όσων δεν εμφάνισαν το φαινόμενο και γ) η διερεύνηση της επίδρασής του στην απόδοση σε πρωτόκολλο προσομοίωσης ποδοσφαίρου στο πεδίο.

1.3. Διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων

1.3.1. Ερευνητικά ερωτήματα

Α) Ποιος είναι ο επιπολασμός της ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας στις αθλήτριες ποδοσφαίρου;

Β) Υπάρχει διαφορά στην φυσιολογική απόκριση κατά την άσκηση μεταξύ όσων εμφανίζουν και όσων δεν εμφανίζουν το φαινόμενο;

Γ) Υπάρχει σύνδεση μεταξύ του φαινομένου και της απόδοσης στο πεδίο;

1.3.2. Μεταβλητές

1.3.2.1. Ανεξάρτητες μεταβλητές

Η μορφή άσκησης (δαπεδοεργόμετρο, ποδοσφαιρικό πρωτόκολλο) και ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο (SpO_2) κατά τη φάση που θα διερευνηθεί η σχέση του φαινομένου με την απόδοση των αθλητριών.

1.3.2.2. Εξαρτημένες μεταβλητές

Η διανυθείσα απόσταση στο Hoff test (m), αναπνευστικές παράμετροι (V_t , RR, VE, VO_2 , VCO_2 , RER, $PETCO_2$, $PETO_2$), ο αιματοκρίτης (Hct), παράμετροι σωματικών χαρακτηριστικών (σωματική μάζα, σωματική σύσταση), η καρδιακή συχνότητα (HR) και η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα ([La]). Επίσης, ο SpO_2 κατά τη φάση που θα διερευνηθεί το φαινόμενο της ΕΙΑΗ.

1.4. Ερευνητικές και στατιστικές υποθέσεις

Με βάση το ερευνητικό πρόβλημα, η έρευνα σχεδιάστηκε ώστε να επιβεβαιώσει ή να απορρίψει τις εξής υποθέσεις:

- Ο επιπολασμός της ΕΙΑΗ σε αθλήτριες ποδοσφαίρου μέτριας και καλής φυσικής κατάστασης θα κυμαίνεται μεταξύ 50-70%.

- Οι αθλήτριες που θα εκδηλώσουν ΕΙΑΗ δεν θα διαφέρουν στην φυσιολογική απόκριση κατά την άσκηση.

- Η εμφάνιση ΕΙΑΗ κατά το πρωτόκολλο τρεξίματος στο εργαστήριο, θα σχετίζεται με την απόδοση κατά το ποδοσφαιρικό πρωτόκολλο στο πεδίο (γήπεδο).

1.5. Οριοθέτηση

Καθότι η έρευνα έγινε σε αθλήτριες ποδοσφαίρου ελληνικών ποδοσφαιρικών σωματείων, τα αποτελέσματα αφορούν άτομα με όμοια χαρακτηριστικά (επίπεδο τεχνικής κατάρτισης, επίπεδο φυσικής κατάστασης κ.ά.).

1.6. Περιορισμοί

Βασικός περιορισμός της έρευνας είναι το γεγονός ότι η εμφάνιση της ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας μελετήθηκε με έμμεση μέθοδο, δηλαδή με παλμικό οξύμετρο το οποίο κατέγραφε τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο. Οι περισσότερες έρευνες χρησιμοποιούν αυτή την έμμεση αξιολόγηση της ΕΙΑΗ, όμως συχνά τα αποτελέσματα τέτοιων ερευνών αντιμετωπίζονται με επιφύλαξη (Archiza, Leahy, Kipp & Sheel, 2021). Λόγω της επίδρασης διαφόρων παραγόντων (θερμοκρασία, pH κ.ά.) στη μετατόπιση της καμπύλης κορεσμού της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο, η μέθοδος

αυτή θεωρείται λιγότερο ευαίσθητη από την άμεση μέτρηση είτε του κορεσμού (SaO_2) είτε της μερικής πίεσης του οξυγόνου (PaO_2) στο αρτηριακό αίμα. Παρ' όλα αυτά αναγνωρίζεται ως χρήσιμη για την έρευνα σε αερόβια προπονημένους αθλητές (Prefaut, Durand, Mucci & Caillaud, 2000). Η άμεση μέτρηση της μερικής πίεσης οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα γίνεται με τη χρήση ενδοαρτηριακών καθετήρων, εφαρμόζεται μόνο από εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό σε κλινικό περιβάλλον και αποτελεί παρεμβατική διαδικασία, δυσάρεστη για τις συμμετέχουσες.

1.7. Διευκρίνιση όρων

Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία: η πτώση του κορεσμού του αρτηριακού αίματος με οξυγόνο (SaO_2) $\geq 3\%$ κατά τη μέγιστη ένταση άσκησης στο επίπεδο της θάλασσας.

Έμμηνος κύκλος: περιοδική μεταβολή των ορμονών φύλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1. Καρδιοαναπνευστική απόκριση κατά τη μέγιστης έντασης άσκηση

Κατά τη δυναμική άσκηση στην οποία συμμετέχουν μεγάλες μυϊκές ομάδες (π.χ. τρέξιμο) οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες των εργαζομένων μυών αλλά και οι απαιτήσεις για επαρκή πρόσληψη και μεταφορά του οξυγόνου ικανοποιούνται από την ακριβή απόκριση του αναπνευστικού συστήματος. Πρόκειται για ένα σύστημα με μεγάλες δυνατότητες καθώς στους περισσότερους υγιείς ανθρώπους δεν φτάνει στα όριά του ακόμη και κατά την εξαντλητική άσκηση (Amann, 2012; Dempsey, Gledhill, Reddan, Forster, Hanson & Claremont, 1977; Dominelli & Sheel, 2024).

Η απόκριση υπεραερισμού που σημειώνεται κατά την άσκηση εμφανίζεται γρήγορα και οφείλεται σε πολλαπλούς μηχανισμούς προτροφοδότησης και ανατροφοδότησης ο καθένας εκ των οποίων συμβάλλει με διαφορετικό τρόπο σε κάθε φάση της αναπνευστικής απόκρισης. Ως εκ τούτου, υφίσταται επιτυχής αντιστοίχιση του κυψελιδικού αερισμού (VA) με τις μεταβολικές απαιτήσεις της άσκησης γεγονός που διατηρεί σε μεγάλο βαθμό την ομοιόσταση των αερίων του αίματος (Dominelli & Sheel, 2024).

2.2. Πρόσληψη οξυγόνου και αρτηριακή οξυγόνωση

Το πρηνές της μερικής πίεσης του οξυγόνου αποτελεί και τον κινητήριο μοχλό σε όλη τη διαδρομή του από τον

εισπνεόμενο αέρα στην αναπνευστική οδό, τις κυψελίδες, το αρτηριακό αίμα, τα συστηματικά τριχοειδή, το κύτταρο έως και το σημείο κατανάλωσής του, τα μιτοχόνδρια. Η μερική πίεση του οξυγόνου στον κυψελιδικό αέρα (PAO_2) εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη μερική πίεσή του στον εισπνεόμενο αέρα και τον βαθμό της μερικής πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα ($PACO_2$) στις κυψελίδες που με τη σειρά της εξαρτάται από τον VA. Η διαφορά μεταξύ PAO_2 και της μερικής πίεσης του οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα (PaO_2), η οποία ονομάζεται κυψελιδοαρτηριακή διαφορά οξυγόνου ($A-aDO_2$), προκαλεί τη διάχυση του O_2 από τον κυψελιδικό χώρο στα πνευμονικά τριχοειδή (Habler & Messler, 1997).

Κατά την ηρεμία η PAO_2 είναι ~ 105 mmHg ενώ η PaO_2 είναι ~ 100 mmHg. Η $A-aDO_2$ αποτελεί ένδειξη αποτελεσματικής ανταλλαγής αερίων (Amann, 2012; Dempsey et al., 1977; Romer, Sheel & Harms, 2012) και στην ηρεμία παρουσιάζει τιμές 5 έως 8 mmHg και όχι μηδενικές γεγονός που οφείλεται στην ανισοτιμία αερισμού-αιμάτωσης των πνευμόνων (VA/Q) λόγω της βαρύτητας (Vander, Sherman & Luciano, 2011). Η $A-aDO_2$ εξαρτάται τόσο από τη συνολική αναλογία VA/Q που παρουσιάζει ο πνεύμονας όσο και από την ανά σημείο κατανομή του VA και της Q απ' άκρη σ' άκρη του πνεύμονα (Dempsey et al., 1977). Παρ' όλα αυτά ο ρυθμός διάχυσης των αναπνευστικών αερίων είναι τόσο γρήγορος και η ροή του αίματος στα πνευμονικά τριχοειδή τόσο αργή που ο χρόνος επαρκεί για την επιτυχή εξισορρόπηση των αερίων μεταξύ κυψελίδων και αίματος χωρίς να επηρεαστεί η οξυγόνωση αυτού.

2.3. Μεταφορά οξυγόνου

Από τη στιγμή που διαπερνά την κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη το οξυγόνο μεταφέρεται μέσω του αίματος σε δύο μορφές. Αφενός χημικά δεσμευμένο στην αιμοσφαιρίνη (Hb) που βρίσκεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια και αφετέρου διαλυμένο στο πλάσμα. Ενώ η PaO_2 εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη PAO_2 – λαμβάνοντας υπόψη την ακεραιότητα του κυψελιδοτριχοειδικού φραγμού και της επαρκούς αντιστοίχισης VA και Q – η περιεκτικότητα του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο (CaO_2) καθορίζεται από διάφορες παραμέτρους τις σχέσεις των οποίων αντιπροσωπεύει ο τύπος:

$$CaO_2 = ([Hb] \text{ αίματος} \cdot SaO_2 \cdot O_2 \text{ ικανότητα δέσμευσης από την Hb } \{1.34\} + (PaO_2 \cdot \text{διαλυτότητα του } O_2 \text{ στο πλάσμα } \{0.003\}))$$

Ως επόμενο, η ποσότητα του οξυγόνου που παρέχεται ανά λεπτό σε όλα τα όργανα (oxygen delivery, DO_2) καθορίζεται από το γινόμενο της καρδιακής παροχής (Q) και της CaO_2 :

$$DO_2 = Q \cdot CaO_2$$

(Dominelli & Sheel, 2024; Habler & Messler, 1997).

2.4. Διατήρηση της μεταφοράς οξυγόνου κατά την άσκηση

Κατά την άσκηση οι PaO_2 και PAO_2 παραμένουν σχετικά σταθερές (Vander et al., 2011) και υπό φυσιολογικές συνθήκες η A-a DO_2 παρουσιάζει τιμές <25 mmHg (Dempsey & Wagner, 1999) ή <30 mmHg (Amann, 2012) ακόμη και κατά την επίτευξη της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max}$). Αυτό συμβαίνει στην πλειοψηφία των απροπόνητων αλλά ακόμη και των

πολύ προπονημένων ατόμων (Amann, 2012).

Ενώ πολλά από τα τριχοειδή στην κορυφή κάθε πνεύμονα είναι κλειστά στην ηρεμία, κατά την άσκηση ανοίγουν ενισχύοντας έτσι την ανταλλαγή αερίων (Vander et al., 2011). Η μικρή διαφοροποίηση της A-a DO_2 κατά την άσκηση που αναφέρθηκε προηγουμένως υποδεικνύει επαρκή ρυθμό διάχυσης του οξυγόνου στην κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη. Στους περισσότερους ανθρώπους ο VA αρκεί ώστε να αυξήσει τη PAO_2 σε τέτοιο σημείο που να υπάρξει επιτυχής εξισορρόπηση παρά τη διευρυμένη A-a DO_2 (Amann, 2012). Καθώς αυξάνεται η ένταση της άσκησης και εντείνεται η μεταβολική οξέωση, ο αερισμός αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό με αποτέλεσμα τη μείωση της μερικής πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα στο αρτηριακό αίμα ($PaCO_2$). Αυτή η αναπνευστική απόκριση αποτελεί την αντιστάθμιση της μεταβολικής οξέωσης ενώ παράλληλα προκαλεί την προαναφερθείσα αύξηση της PAO_2 (Wasserman, 1978). Ως αποτέλεσμα, η PaO_2 παραμένει σχεδόν σταθερή από την ηρεμία στη $\dot{V}O_{2max}$ και παρατηρείται μόνο μια μικρή μείωση στον SaO_2 , η οποία αποδίδεται στις μεταβολές της θερμοκρασίας πυρήνα και του pH του αίματος (μεταβολική οξέωση) (Amann, 2012).

Όπως γίνεται κατανοητό, η επιτυχής πρόσληψη και μεταφορά του οξυγόνου στους εργαζόμενους μυς αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της απόδοσης στην άσκηση αντοχής υψηλής έντασης. Πιθανές μεταβολές είτε στην οξυγόνωση του αρτηριακού αίματος (CaO_2) ή τη ροή αίματος στους εργαζόμενους μύες μπορούν με

τη σειρά τους να μειώσουν την αντοχή και συνεπώς της απόδοσης στην άσκηση (Amann, 2012; Amann & Clabet, 2008).

2.5. Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία

Σε ορισμένες περιπτώσεις υγιών και προπονημένων ατόμων έχει παρατηρηθεί πως κατά τη μέγιστης έντασης άσκηση στο επίπεδο της θάλασσας υπάρχει πτώση της PaO_2 με επακόλουθη μείωση του SaO_2 αλλά και της CaO_2 . Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται EIAH (Dempsey & Wagner, 1999).

Οι πρώτες αναφορές για εμφάνιση αποκορεσμού κατά την άσκηση συναντώνται σε μελέτες στις αρχές και τα μέσα του 20ου αιώνα (Bannister & Cunningham, 1954; Harrop, 1919; Holmgren & Linderholm, 1958; Lilienthal & Riley, 1946; Rowell, Taylor, Wang & Carlson, 1964). Οι Dempsey, Hanson και Henderson (1984) παρατήρησαν αρτηριακή υποξαιμία κατά την άσκηση σε αρκετούς από τους αερόβια προπονημένους αθλητές που συμμετείχαν στην έρευνα. Σύμφωνα με τους ίδιους το γεγονός αυτό αποτέλεσε ένδειξη πως στα πολύ προπονημένα άτομα η ικανότητα του αναπνευστικού συστήματος για ανταλλαγή αερίων δεν επαρκεί ώστε να ανταπεξέλθει στις υψηλές μεταβολικές απαιτήσεις που εγείρονται από την άσκηση (Dempsey et al., 1984).

Η μείωση της περιεκτικότητας του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο κατά την άσκηση που παρατηρείται ως EIAH μπορεί να προκύπτει από πτώση της PaO_2 , από δεξιά μετατόπιση της καμπύλης SaO_2 χωρίς ταυτόχρονη πτώση της PaO_2 ή από συνδυασμό των

δύο (Dempsey & Wagner, 1999). Λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή μετατόπιση της καμπύλης του SaO_2 είτε προς τα δεξιά είτε προς τα αριστερά λόγω μεταβολών στο pH ή/και τη θερμοκρασία του αίματος η πτώση της PaO_2 έχει ως άμεση συνέπεια μείωση του SaO_2 (Dempsey & Wagner, 1999) καθώς αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα καθορισμού του ποσοστού αυτού (Vander et al., 2011). Αυτό έχει ως φυσικό επακόλουθο τη μείωση της CaO_2 (Dempsey & Wagner, 1999).

Οι επιπτώσεις της EIAH στη συστηματική μεταφορά του οξυγόνου και τη $\dot{V}O_{2max}$ γίνονται καλύτερα κατανοητές παρατηρώντας τη μείωση του SaO_2 παρά τη μείωση της PaO_2 . Για τον λόγο αυτό το μετρούμενο κατώφλι του φαινομένου είναι η 3% μείωση του SpO_2 από τη τιμή ηρεμίας. Η πτώση από 3% και πάνω φαίνεται να έχει άμεση επίδραση στη $\dot{V}O_{2max}$ με παρουσία γραμμικής σχέσης μεταξύ μεταβολής SaO_2 (ΔSaO_2) και $\dot{V}O_{2max}$. Συγκεκριμένα για κάθε 1% περαιτέρω μείωση στον SpO_2 παρατηρείται 1-2% μείωση στη $\dot{V}O_{2max}$ (Dempsey & Wagner, 1999).

Οι Dempsey και Wagner (1999) χαρακτήρισαν την εμφάνιση της EIAH με δύο τρόπους: (α) σύμφωνα με την τιμή του SaO_2 ή (β) σύμφωνα με την τιμή της $A-aDO_2$, χαρακτηρίζοντας αντίστοιχα την EIAH και την ανταλλαγή αερίων (Πίνακας 2.1 και Πίνακας 2.2). Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως υπάρχει το ενδεχόμενο μία από τις παραπάνω τιμές (SaO_2 ή $A-aDO_2$) να παρουσιάζει διαφοροποιημένη τιμή από την αναμενόμενη χωρίς αυτό να σημαίνει και επακόλουθη μείωση της PaO_2 . Αυτό εγείρει την ανάγκη να γίνει διαχωρισμός της επίδρασης της

Πίνακας 2.1. Χαρακτηρισμός της EIAH σύμφωνα με τις τιμές κορεσμού της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο (SpO₂), για άτομο με SpO₂ ηρεμίας 98%.

Χαρακτηρισμός	SpO ₂
Ήπια	93-95%
Μέτρια	88-93%
Σοβαρή	<88%

EIAH στη μεταφορά του οξυγόνου απ' ότι στον πνευμονικό αερισμό (VE) και την ανταλλαγή αερίων (Dempsey & Wagner, 1999).

2.6. Επιπολασμός

Ο επιπολασμός της EIAH στις γυναίκες έχει καταγραφεί από 59 έως 76% με τις έρευνες να παρουσιάζουν διαφορές στα εργόμετρα ή πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν, τις μεταβλητές που λήφθηκαν υπόψη (PaO₂, SaO₂, SpO₂), τον τρόπο με τον οποίο μετρήθηκαν (άμεσα ή έμμεσα) αλλά και εάν ελήφθη υπόψη η φάση του έμμηνου κύκλου στην οποία βρίσκονταν οι συμμετέχουσες.

Οι Harms και συνεργάτες (1998) μελέτησαν την εμφάνιση του φαινομένου σε νέες και υγιείς γυναίκες. Από τις 29 συμμετέχουσες, οι 22 (67%) εμφάνισαν EIAH κατά τη μέγιστη άσκηση, με την πραγματοποίηση πρωτοκόλλου σταδιακά αυξανόμενης έντασης μέχρι την εξάντληση σε δαπεδοεργόμετρο. Οι συμμετέχουσες βρίσκονταν στη θυλακική φάση του έμμηνου κύκλου και παρουσίασαν μεγάλο εύρος φυσικής κατάστασης (VO₂max: 35-70 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Η μέτρηση έγινε απευθείας στο αρτηριακό αίμα (PaO₂) και η εμφάνιση EIAH είχε αντίστροφη συσχέτιση με την τιμή της VO₂max, αν και το φαινόμενο εμφάνισαν και λιγότερο προπονημένες γυναίκες.

Οι Hopkins και συνεργάτες (2000) διερεύνησαν την επίδραση διαφορετικών πρωτοκόλλων και εργομέτρων στην πνευμονική απόκριση. Στο πλαίσιο αυτό εξέτασαν την εμφάνιση της EIAH κατά τη διάρκεια άσκησης σταδιακά αυξανόμενης έντασης στο δαπεδοεργόμετρο. Δέκα εκ των 17 συμμετεχουσών (59%) εμφάνισαν EIAH έχοντας VO₂max 51 ± 2 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Οι αθλήτριες βρίσκονταν σε τυχαία φάση του έμμηνου κύκλου τους και η μέτρηση έγινε άμεσα από το αρτηριακό αίμα (PaO₂). Οι τιμή ηρεμίας ορίστηκε αυθαίρετα ως ~100 mmHg για όλες καθώς οι ερευνητές δεν είχαν αντιπροσωπευτικές τιμές λόγω παρουσίας υπεραερισμού πριν την έναρξη του πρωτοκόλλου.

Οι Richards και συνεργάτες (2004) θέλησαν με τη σειρά τους να διερευνήσουν τον επιπολασμό της EIAH σε γυναίκες διαφορετικών προπονητικών επιπέδων. Συμμετείχαν 52 γυναίκες οι οποίες βρίσκονταν στη θυλακική φάση του έμμηνου κύκλου και πραγματοποίησαν πρωτόκολλο σταδιακά αυξανόμενης έντασης στο κυκλοεργόμετρο μέχρι την εξάντληση. Τριάνταπεντε εξ αυτών (67%) εμφάνισαν EIAH η οποία ανιχνεύτηκε με τη χρήση παλμικού οξύμετρου και πιο αυστηρό κριτήριο (πτώση ≥ 4% SpO₂) λόγω αυτού.

Αντίστοιχα, οι Dominelli και συνεργάτες (2013) μελέτησαν την εμφάνιση του φαινομένου σε 30 νεαρές υγιείς γυναίκες διαφορετικών επιπέδων, σε τυχαία σημεία του έμμηνου κύκλου τους. Χρησιμοποίησαν πρωτόκολλο σταδιακά αυξανόμενης έντασης στο δαπεδοεργόμετρο με άμεση μέτρηση των αερίων στο αρτηριακό αίμα. Είκοσι από τις 30 (66%) συμμετέχουσες εμφάνισαν EIAH. Όπως και στη μελέτη των Harms και συνεργατών, η εμφάνιση EIAH είχε αντίστροφη συσχέτιση με την τιμή της $\dot{V}O_{2max}$, αλλά το φαινόμενο εμφάνισαν και γυναίκες χαμηλότερου προπονητικού επιπέδου.

2.7. Εμφάνιση

2.7.1. Ένταση άσκησης

Η EIAH εμφανίζεται συνήθως κοντά στη μέγιστη ή κατά τη μέγιστη ένταση άσκησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις η πτώση της PaO_2 ή του SpO_2 δεν είναι εμφανής μέχρι τη μέγιστη ένταση. Παρ' όλα αυτά σε ορισμένα άτομα η μείωση των τιμών εμφανίζεται από τα πρώτα στάδια άσκησης, τόσο σε γυναίκες όσο και σε άντρες (Dempsey et al., 1984; Dominelli et al., 2013; Harms et al.,

1998; Rice, Scroop, Gore, Thornton, Chapman, Greville, Holmes & Scicchitano, 1999; Richards et al., 2004;). Η πτώση αυτή κατά τις υπομέγιστες εντάσεις πιθανότατα οφείλεται σε ελλιπή αναπνευστική απόκριση (βλ. 2.9. Μηχανισμοί) (Dempsey & Wagner, 1999).

2.7.2. Τύπος άσκησης

Το τρέξιμο σε δαπεδοεργόμετρο θεωρείται πως προκαλεί πιο έντονη EIAH σε σχέση με την ποδηλάτιση λόγω της μεγαλύτερης αναπνευστικής απόκρισης (Dempsey & Wagner, 1999). Οι Hopkins και συνεργάτες (2000) μελέτησαν τη διαφορετική επίδραση πρωτοκόλλων 1 λεπτού/στάδιο στο δαπεδοεργόμετρο και στο κυκλοεργόμετρο έναντι πρωτοκόλλων 5 λεπτών/στάδιο στα ίδια εργόμετρα, στην τιμή της PaO_2 σε γυναίκες. Κατά τη μέγιστη άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο, παρατηρήθηκε χαμηλότερη PaO_2 , και μεγαλύτερη $A-aDO_2$ σε σχέση με το κυκλοεργόμετρο, χωρίς διαφορά ανάμεσα στα δύο πρωτόκολλα (στάδιο 1 λεπτού ή 5 λεπτών).

Αντιστοίχως, οι Gavin και Stager (1999) μελέτησαν τη διαφορετική επίδραση ενός πρωτοκόλλου στο

Πίνακας 2.2. Χαρακτηρισμός της παρουσίας ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας (EIAH) σύμφωνα με τις τιμές της κυψελιδο-αρτηριακής διαφοράς πίεσης οξυγόνου ($A-aDO_2$).

Χαρακτηρισμός	$A-aDO_2$
Μεγάλη διαφορά	25-30 Torr
Σοβαρή ανεπάρκεια ανταλλαγής αερίων	>35-40 Torr
Οριακά αποτελεσματικός κυψελιδικός αερισμός	35-38 Torr
Απώλεια απόκρισης αντισταθμιστικού υπεραερισμού (αναπνευστικής αντιστάθμισης)	>38 Torr

Σημείωση. 1 Torr = 1 mmHg

δαπεδοεργόμετρο με χρήση κλίσης και στο κυκλοεργόμετρο σε άντρες. Φάνηκε πως στο δαπεδοεργόμετρο παρουσιάστηκε χαμηλότερη τιμή του SaO_2 κατά τη μέγιστη άσκηση. Οι Rasmussen, Hanel, Diamant και Secher (1991) επίσης παρατήρησαν πως όσο μεγαλύτερη μυϊκή μάζα συμμετέχει στη μέγιστη άσκηση, τόσο μεγαλύτερη είναι η πτώση του SaO_2 . Συγκρίθηκαν η χειριλάτηση, η κωπηλάτηση και το τρέξιμο σε άντρες δοκιμαζόμενους.

Οι Lama, Wolski, Coutts και McKenzie (1996) εξέτασαν πως η αύξηση της της αντίστασης στο κυκλοεργόμετρο μπορεί να επηρεάσει την εμφάνιση της EIAH σε προπονημένους άντρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το φαινόμενο δεν διέφερε στην έκφρασή του με όποιον τρόπο κι αν αυξανόταν η ένταση της άσκησης (20, 30 ή 40 W ανά λεπτό).

Ακόμη, η εμφάνιση της EIAH φαίνεται να παρουσιάζει επαναληψιμότητα τουλάχιστον σε βάθος 6 μηνών όπως έδειξε μελέτη περίπτωσης που πραγματοποιήθηκε σε υγιή απροπόνητη γυναίκα ηλικίας 36 ετών ($\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ $39 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Dominelli et al., 2012).

2.8. Μηχανισμοί

Η εμφάνιση της EIAH έγκειται σε πολλαπλούς συνεργούς μηχανισμούς οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της A-aDO₂.

2.8.1. Ελλιπής αναπνευστική αντιστάθμιση

Κατά τη σταδιακά αυξανόμενης έντασης άσκηση παρατηρείται γραμμική αύξηση του $\dot{V}\text{E}$. Όταν η ένταση της άσκησης φτάσει σε σημείο όπου προκαλεί μεταβολική οξέωση ως αποτέλεσμα των μηχανισμών που

επιστρατεύονται περισσότερο για την παραγωγή έργου (ιόντα υδρογόνου κλπ), ο $\dot{V}\text{E}$ μαζί με τον εκπνεόμενο όγκο διοξειδίου του άνθρακα ($\dot{V}\text{CO}_2$) αυξάνονται με ταχύτερο ρυθμό ενώ η πρόσληψη οξυγόνου συνεχίζει να αυξάνεται γραμμικά ($\dot{V}\text{O}_2$). Η διαφορετική αυτή μεταβολή των παραμέτρων αντιπροσωπεύει την αναπνευστική αντιστάθμιση που επιστρατεύεται για την εξουδετέρωση των μεταβολικών προϊόντων, την αποβολή του σχηματιζόμενου CO_2 και ουσιαστικά τη διατήρηση της ομοιόστασης του αίματος (Wasserman, 1978, Wasserman, Whipp & Casaburi, 1986).

Η ένταση του αναπνευστικού ερεθίσματος εξαρτάται από τα μεταβολικά προϊόντα της άσκησης και άλλους παράγοντες, όπως είναι η νευρική προτροφοδότηση και ανατροφοδότηση. Συγκεκριμένα, τα σημαντικότερα ερεθίσματα για τη ρύθμιση της αναπνοής εντοπίζονται από τους περιφερικούς και κεντρικούς χημειοαισθητήρες. Περιφερικοί αισθητήρες είναι τα καρωτιδικά σωματίδια που βρίσκονται στον διχασμό των κοινών καρωτιδικών αρτηριών και τα αορτικά σωματίδια που βρίσκονται στο αορτικό τόξο. Αποτελούνται από εξειδικευμένα κύτταρα-υποδοχείς που διεγείρονται κατά κύριο λόγο από τη μείωση της PaO_2 και την αύξηση της $[\text{H}^+]$ του αρτηριακού αίματος (Vander et al., 2011) ενώ στο αναπνευστικό ερέθισμα συμβάλλουν και η $[\text{K}^+]$ και η συγκέντρωση κατεχολαμινών στο αίμα (Dempsey & Wagner, 1999).

Ο κυψελιδικός υποαερισμός (ή η ανεπαρκής αναπνευστική αντιστάθμιση) ορίζεται ως ο VA που δεν επαρκεί για τον μεταβολικό ρυθμό που απαιτείται για να διατηρηθεί η

ομοιόσταση των αερίων του αίματος. Κατά την έντονη άσκηση η μεταβολική οξέωση που προκύπτει και η πιθανότητα αρτηριακής υποξαιμίας αποτρέπονται γενικά με την απόκριση υπεραερισμού. Τα άτομα όμως που εμφανίζουν ΕΙΑΗ μπορεί να έχουν μη επαρκή απόκριση υπεραερισμού, η οποία οδηγεί σε αυξημένη A-aDO₂, που με τη σειρά της μπορεί να επηρεάσει τη PaO₂ και τον SaO₂ και εν τέλει την CaO₂ (Guenette & Sheel, 2007).

Τα ερεθίσματα βέβαια αυτά φαίνεται να είναι ήδη έντονα σε άτομα που εμφανίζουν ΕΙΑΗ, οπότε δεν θα μπορούσαν να την προκαλέσουν σε μέγιστες εντάσεις. Απεναντίας, θα μπορούσαν να σχετίζονται με την εμφάνισή της σε υπομέγιστες εντάσεις όπου και το αναπνευστικό ερέθισμα μπορεί να είναι ηπιότερο (Dempsey & Wagner, 1999). Υπάρχουν αναφορές για σύνδεση μεταξύ μειωμένης ευαισθησίας των περιφερικών υποδοχέων κατά την ηρεμία και το μειωμένο ερέθισμα για αναπνοή κατά την άσκηση, αλλά παραμένει αμφιλεγόμενο θέμα (Guenette & Sheel, 2007).

Οι Harms και Stager (1995) διερεύνησαν τη μειωμένη αναπνευστική απόκριση και την εμφάνιση ΕΙΑΗ σε άντρες σε σχέση με την αναπνευστική τους απόκριση σε συνθήκες υποξίας και συνθήκες υπερκαπνίας. Φάνηκε η αναπνευστική απόκριση σε αυτές τις δύο συνθήκες να είναι σημαντικά χαμηλότερη σε όσους εμφάνιζαν ΕΙΑΗ κατά τη μέγιστη άσκηση, γεγονός που μπορεί να συνδέει την αναπνευστική τους απόκριση με τους μηχανισμούς εμφάνισης του φαινομένου στους συγκεκριμένους αθλητές.

Ορμονικές επιδράσεις. Υπάρχουν στοιχεία που καταδεικνύουν πως πέρα των μηχανικών περιορισμών, η εμφάνιση της ΕΙΑΗ μπορεί να οφείλεται και σε ορμονικούς παράγοντες (Hopkins & Harms, 2004). Συγκεκριμένα, η προγεστερόνη δρα υπέρ του υπεραερισμού, σχετίζεται με μερικώς αντισταθμισμένη αναπνευστική αλκάλωση και αύξηση της απόκρισης στην υποξία αλλά και την υπερκαπνία, στην ηρεμία. Αυξάνει επίσης την κεντρική αναπνευστική εντολή, γεγονός που υποθετικά θα μπορούσε να επηρεάσει την αναπνευστική απόκριση στην άσκηση. Τόσο η προγεστερόνη όσο και τα οιστρογόνα αυξάνουν V_A και την αναπνευστική απόκριση στην υποξία μέσω μηχανισμών που επιδρούν στους κεντρικούς και περιφερικούς υποδοχείς (Harms, 2006).

Είναι πιθανό λοιπόν οι ορμονικές μεταβολές κατά τον έμμηνο κύκλο των γυναικών να επηρεάσουν την αναπνευστική ρύθμιση στην ηρεμία (Harms & Rosenkranz, 2008). Παρ' όλα αυτά οι αποκρίσεις του αναπνευστικού συστήματος στις ενδογενείς διακυμάνσεις αυτών των ορμονών είναι περίπλοκες και ακόμη μη πλήρως κατανοητές πόσο μάλλον όταν εμπεριέχεται ο παράγοντας άσκηση (Harms, 2006).

Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές οι μεταβολές των ορμονών κατά τον έμμηνο κύκλο επηρεάζουν την απόδοση στην άσκηση (Bassett, Ahlmen, Rosendorf, Romeo, Erickson & Bishop, 2020). Υπάρχει όμως δυσκολία στην ερμηνεία της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και στην εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων για την ύπαρξη σχέσης αιτίας-αποτελέσματος, η οποία οφείλεται

στις μεθοδολογικές διαφορές των ερευνών, τα μικρά δείγματα και την έμφυτη μεταβλητότητα των ορμονών (Archiza et al., 2021). Υπάρχουν πράγματι διαφορές στον αερισμό ηρεμίας κατά τις φάσεις του έμμηνου κύκλου, οι οποίες αποδίδονται στο ερέθισμα που προσφέρουν τα οιστρογόνα και η προγεστερόνη. Η λειτουργική σημαντικότητα όμως αυτής της αλλαγής παραμένει άγνωστη (Sheel, Richards, Foster & Guenette, 2004).

Φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη αντοχή στην άσκηση κατά την ωχρινική φάση σε σχέση με τη θυλακική, η οποία αποδίδεται στη βελτιωμένη χρήση των υποστρωμάτων ενέργειας και της μειωμένης συσσώρευσης γαλακτικού στο αίμα (Jurkowski, Jones, Toews & Sutton, 1981). Στην ίδια έρευνα όπως και σε άλλες, φάνηκε να υπάρχει μεγαλύτερος $\dot{V}E$ κατά την άσκηση στην ωχρινική φάση (Jurkowski et al. 1981; Schoene, Robertson, Pierson & Peterson, 1981; Williams & Krahenbuhl, 1997). Οι Beidleman, Rock, Muza, Fulco, Forte και Cymerman (1999) βρήκαν διαφορετικό μέγιστο $\dot{V}E$, αλλά χωρίς επίδραση στη $\dot{V}O_{2max}$.

Αντιθέτως οι Casazza, Suh, Miller, Navazio και Brooks (2002), οι Bembe, Salm P., και Salm A. (1995) και οι Dombovy, Bonekat, Williams και Staats (1987) δεν βρήκαν καμία διαφορά μεταξύ των φάσεων του κύκλου. Ακόμη, οι De Souza, Maguire, Rubin και Maresh (1990) με πολύ καλό ερευνητικό σχεδιασμό συμπέραναν πως ούτε η φάση του κύκλου ούτε η κατάσταση (ευμενόρροια ή αμηνόρροια) επηρεάζουν ή περιορίζουν την απόδοση (De Souza et al. 1990). Σε

πιο πρόσφατη έρευνα, οι MacNutt De Souza, Tomczak, Homer και Sheel (2012) δεν παρατήρησαν επίδραση της φάσης του κύκλου στην αναπνευστική απόκριση σε υπομέγιστη άσκηση σε συνθήκες νορμοξίας ή υποξίας. Οι ερευνητές θεώρησαν πως τα ερεθίσματα προτροφοδότησης και ανατροφοδότησης επικαλύπτουν τις τυχόν φυσιολογικές επιδράσεις των ορμονών φύλου κατά την άσκηση. Ακόμη οι Taipale-Mikkonen και συνεργάτες (2021) έδειξαν πως οι ορμονικές διακυμάνσεις του κύκλου δεν επηρεάζουν συστηματικά φυσιολογικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας και ότι δεν επηρεάζουν σημαντικά την ερμηνεία πρωτοκόλλων σταδιακά αυξανόμενης έντασης στο δαπεδοεργόμετρο σε νέες υγιείς και φυσικά δραστήριες γυναίκες.

2.8.2. Ανισοτιμία αερισμού-αιμάτωσης

Στα περισσότερα υγιή άτομα κατά την ηρεμία, παρατηρείται μια διαφορά μεταξύ PAO_2 και PaO_2 της τάξεως των 5 mmHg. Αυτή η διαφορά οφείλεται στην ανισοτιμία αερισμού/αιμάτωσης. Η ανισοτιμία αυτή έγκειται στην αναντιστοιχία παροχής αίματος και αέρα σε μεμονωμένες κυψελίδες στην οποία συμβάλλει σημαντικά η βαρύτητα (Vander et al., 2011). Το μέγεθος της $A-aDO_2$ καθορίζεται από την ανομοιομορφία με την οποία κατανέμεται η Q σε σχέση με τον VA σε όλο το δίκτυο των εκατομμυρίων τριχοειδών διαθέσιμων για ανταλλαγή αερίων στους πνεύμονες (Romer et al., 2012).

Στην ηρεμία ολόκληρη η $A-aDO_2$ οφείλεται στην ανισοτιμία VA/Q (Dempsey & Wagner, 1999) αν και κατά άλλους σε αυτή συμβάλλει και η

ύπαρξη φλεβο-αρτηριακών παρακάμψεων (Prefaut et al., 2000). Με παρόμοιο τρόπο με την ηρεμία, κατά την έντονη άσκηση στο επίπεδο της θάλασσας μεγάλο μέρος της A-aDO₂ (αν όχι ολόκληρη) οφείλεται σε αυτή την ανισοτιμία (Dempsey & Wagner, 1999). Η ανισοτιμία αυτή είναι πολύ πιο έντονη στην άσκηση σε σχέση με την ηρεμία, αμβλύνεται όμως από τη γενικότερη αύξηση και των δύο μερών του λόγου VA/Q. Επειδή δηλαδή ο VA αυξάνεται σχετικά περισσότερο απ' την Q, ο λόγος αυτός αφορά πλέον μεγαλύτερες αναλογίες έχοντας ως αποτέλεσμα η A-aDO₂ να παραμένει εντός φυσιολογικών ορίων. Εάν όμως παρουσιαστεί μη αναλογική αύξηση στις δύο αυτές τιμές – δηλαδή εάν ο VA δεν αυξηθεί στον ίδιο βαθμό με την Q – παρουσιάζεται σημαντική ανισοτιμία η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ικανότητα ανταλλαγής αερίων.

2.8.3. Περιορισμός διάχυσης οξυγόνου

Όπως η ανισοτιμία αερισμού/αιμάτωσης έτσι και ο περιορισμός της διάχυσης οξυγόνου είναι σημαντικός παράγοντας που μπορεί να συμβάλλει στη δυσχέρεια ανταλλαγής αερίων κατά την άσκηση (Guenette & Sheel, 2007). Κατά την έντονη άσκηση η μεγάλη αύξηση στην Q οδηγεί σε μείωση του χρόνου κατά τον οποίο περνούν τα ερυθροκύτταρα από τα πνευμονικά τριχοειδή (transit time). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρουν οι Romer και συνεργάτες (2012), χρησιμοποιώντας τον τύπο για τον υπολογισμό του χρόνου διέλευσης των ερυθροκυττάρων από τα πνευμονικά τριχοειδή:

Μέσος χρόνος διέλευσης από τα πνευμονικά τριχοειδή (s) = όγκος αίματος στα πνευμονικά τριχοειδή

(mL) / πνευμονική αιματική ροή (mL·s⁻¹)

Στην ηρεμία, εάν έχουμε 70 mL όγκο αίματος στα πνευμονικά τριχοειδή και 5000 mL·s⁻¹ αιματική ροή, ο χρόνος διέλευσης των ερυθροκυττάρων από τα πνευμονικά τριχοειδή είναι

Χρόνος διέλευσης από τα πνευμονικά τριχοειδή = 70 mL / 5000 mL·s⁻¹ = 70 mL / 83 mL·s⁻¹ = 0.8 δευτερόλεπτα

Σε περίπτωση άσκησης όμως, ενώ ο όγκος αίματος παραμένει σταθερός, η ροή του στα πνευμονικά τριχοειδή αυξάνεται κατά πολύ. Έτσι, έχουμε

Χρόνος διέλευσης από τα πνευμονικά τριχοειδή = 70 mL / 20000 mL·s⁻¹ = 70 mL / 333 mL·s⁻¹ = 0.2 δευτερόλεπτα

Είναι εμφανές πως εάν ο VA και η διέλευση του αίματος δεν αυξηθούν σε ικανοποιητικά παρόμοιο βαθμό διακινδυνεύεται η πλήρης οξυγόνωση του αρτηριακού αίματος. Υπάρχουν τέσσερις βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τη διάχυση του οξυγόνου στα τριχοειδή (Guenette & Sheel, 2007, Romer et al., 2012):

- A) η διαθέσιμη επιφάνεια για διάχυση
- B) η απαιτούμενη για διάχυση απόσταση από τη μεμβράνη του τριχοειδούς έως το ερυθρό κύτταρο
- Γ) ο χρόνος διέλευσης των ερυθρών κυττάρων
- Δ) ο βαθμός εξισορρόπησης του φλεβικού αίματος με τα κυψελιδικά αέρια

Κατανοώντας τον μηχανισμό εμφάνισης του περιορισμού διάχυσης, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι παρατηρείται να αναπτύσσεται σε τιμές κοντά στην ή κατά την επίτευξη

της $\dot{V}O_2\max$ (Dempsey & Wagner, 1999).

Η κατακράτηση υγρών και η αύξηση του όγκου αίματος που σχετίζονται με τα υψηλά επίπεδα οιστρογόνων ίσως επηρεάζουν την ανταλλαγή αερίων στους πνεύμονες. Ο αυξημένος αιματικός όγκος θα μπορούσε να αυξήσει την αρτηριακή πίεση των πνευμόνων, η οποία με τη σειρά της θα αύξανε την επιφάνεια διάχυσης μέσω της διάνοιξης περισσότερων τριχοειδών τα οποία είναι κλειστά στην ηρεμία, με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της διάχυσης. Η συγκεκριμένη θεώρηση αποτελεί απλώς υπόθεση και απαιτούνται έρευνες που θα εξετάσουν το συγκεκριμένο ζήτημα (Harms & Rosenkranz, 2008).

Όσον αφορά τα στοιχεία που συνθέτουν την $A-aDO_2$ στις γυναίκες δεν έχουν ερευνηθεί επαρκώς (Hopkins & Harms, 2004). Υπάρχουν ενδείξεις για την ύπαρξη διαφορών μεταξύ ανδρών και γυναικών σχετικά με τη διάχυση των αναπνευστικών αερίων στα πνευμονικά τριχοειδή κατά την άσκηση, οι οποίες θα μπορούσαν να συνδέονται με την EIAH (Archiza et al., 2021).

Οι Olfert, Balouch, Kleinsasser, Knapp, Wagner, Wagner και Hopkins (2004) μελέτησαν την αναπνευστική απόκριση κατά την άσκηση σε άνδρες και γυναίκες υπό συνθήκες νορμοξίας και υποξίας. Η πνευμονική λειτουργία ήταν όμοια κατά την ηρεμία και στα δύο φύλα με εξαίρεση τη χαμηλότερη D_{LCO} που σημειώθηκε στις γυναίκες. Οι γυναίκες εμφάνισαν χαμηλότερη ικανότητα διάχυσης οξυγόνου D_{LO_2} , αλλά ο λόγος D_{LO_2}/Q , ο οποίος εκτιμά την εξισορρόπηση στο τέλος των τριχοειδών δεν είχε διαφορά μεταξύ των φύλων. Η ανισότητα αερισμού-

αιμάτωσης αυξήθηκε και στις δύο συνθήκες και για τα δύο φύλα με τις γυναίκες να την εμφανίζουν σε χαμηλότερο βαθμό. Τα δεδομένα της παρούσας έρευνας έδειξαν πως παρά τις διαφορές στην ικανότητα διάχυσης οι γυναίκες δεν εμφάνισαν μεγαλύτερη διαταραχή της ανταλλαγής αερίων στους πνεύμονες σε σχέση με άνδρες ίδιας ηλικίας, ύψους, μεγέθους πνευμόνων και αερόβιας ικανότητας (Olfert et al., 2004).

Οι Bouwsema, Tedjasaputra και Stickland (2017) συνέκριναν την ικανότητα διάχυσης ανάμεσα σε γυναίκες και άνδρες αντιστοιχισμένους ως προς ηλικία και μάζα. Η μείωση στον λόγο ικανότητα διάχυσης μονοξειδίου του άνθρακα προς καρδιακή παροχή (D_{LCO}/Q) ήταν αναλογικά μικρότερη στις γυναίκες. Επίσης, είχαν 20% χαμηλότερη ικανότητα διάχυσης (διορθωμένη ως προς την αιμοσφαιρίνη), 18% χαμηλότερο όγκο αίματος στα τριχοειδή και 22% χαμηλότερη ικανότητα της μεμβράνης για διάχυση σε σχέση με τους άνδρες, σε όλες τις εντάσεις άσκησης. Όταν οι τιμές αυτές εκφράζονταν ως προς τον VA οι διαφορές μεταξύ των φύλων δεν υφίσταντο. Σύμφωνα με τους ερευνητές, τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν πως εφόσον υπάρξουν διορθώσεις ως προς τα δομικά χαρακτηριστικά των πνευμόνων οι διαφορές αμβλύνονται.

Οι πιθανές διαφορές φύλου στην ικανότητα διάχυσης (ακόμη και με διόρθωση ως προς την [Hb]), θα μπορούσαν να εξηγηθούν από τον μικρότερο αριθμό κυψελίδων (μικρότερη επιφάνεια διάχυσης) και τις μικρότερες διαμέτρους αεραγωγών (χαμηλότερες μέγιστες τιμές ροής)

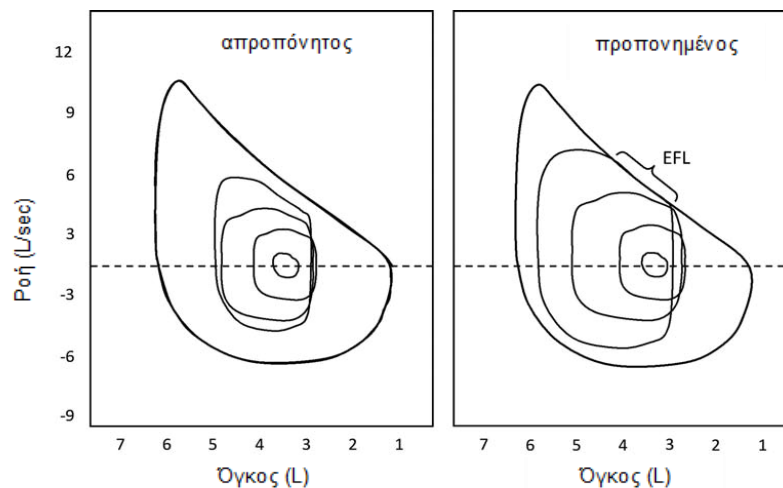
που εμφανίζουν οι γυναίκες (Guenette & Sheel, 2007; Hopkins & Harms, 2004).

Επιπλέον, η αύξηση του ιξώδους του αίματος κατά την άσκηση θα μπορούσε να επιδρά στην αντίσταση των πνευμονικών τριχοειδών και ακολούθως να συμβάλει στη μεταβολή της ανταλλαγής αερίων. Μια αυξημένη αιμοδυναμική αντίσταση στα τριχοειδή μπορεί να υπάρξει ανεξαρτήτως της παρατηρούμενης αγγειοδιαστολής. Παραμένει άγνωστο το κατά πόσο και το αν συμβαίνει κάτι τέτοιο στα άτομα που εμφανίζουν ΕΙΑΗ (Prefaut et al., 2000). Σε έρευνα των Raberin et al. (2021), δεν βρέθηκαν διαφορές στο ιξώδες του αίματος και την αιμοδυναμική των πνευμόνων μεταξύ αερόβια προπονημένων αθλητών με ή χωρίς ΕΙΑΗ, στο επίπεδο της θάλασσας αλλά και σε υψόμετρο (2,400 m).

2.8.4. Περιορισμός εκπνευστικής ροής

Υπάρχουν ορισμένα λειτουργικά και δομικά χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται με την εμφάνιση της ΕΙΑΗ. Πιο συγκεκριμένα, η μηχανική επίδραση της διαμέτρου των αεραγωγών και η ικανότητα παραγωγής δύναμης από τους αναπνευστικούς μύες που μπορούν να οδηγήσουν στην εμφάνιση περιορισμού εκπνευστικής ροής (Expiratory Flow Limitation, EFL), φαινόμενο το οποίο εμφανίζεται συχνά (αλλά όχι πάντα) παράλληλα με την ΕΙΑΗ.

Η παρουσία του EFL είναι ενδεικτική για το εάν ένα άτομο έχει φτάσει στα αναπνευστικά του όρια (Sheel, Dominelli & Molgat-Seon, 2016). Υπό φυσιολογικές συνθήκες κατά την άσκηση η αντίσταση των αεραγωγών και η ενδοτικότητα των πνευμόνων παραμένουν σε επίπεδα κοντά σε αυτά της ηρεμίας, με αποτέλεσμα σε αγύμναστα άτομα η αναπνοή να απαιτεί <10% της Q και της $\dot{V}O_2\max$. Ενδεικτικό επίσης είναι



Σχήμα 2.1. Καμπύλη ροής όγκου σε απροπόνητο (αριστερά) και προπονημένο (δεξιά) άνδρα. Οι θηλιές στο εσωτερικό αντιπροσωπεύουν την εκπνοή στην ηρεμία (η μικρότερη) και οι υπόλοιπες διάφορες εντάσεις άσκησης φτάνοντας ως τη μέγιστη, με την εξωτερική θηλιά να αντιπροσωπεύει τη μέγιστη εθελούσια εκπνοή, η οποία είναι ταυτόσημη και στα δύο άτομα. Στο δεξί σχήμα παρατηρείται το φαινόμενο του περιορισμού εκπνευστικής ροής (EFL) στο σημείο όπου συναντώνται οι δύο εξωτερικές καμπύλες (McKenzie, 2012).

το γεγονός πως οι ενδοθωρακικές πιέσεις που αναπτύσσονται από τους αναπνευστικούς μύες φτάνουν στο 40-50% των μέγιστων τιμών (Amann, 2012).

Ο EFL συμβαίνει όταν κατά την άσκηση επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εκπνευστική ροή στην αναπνοή. Μπορεί να προκαλέσει αντανακλαστική αναχαίτιση του υπεραερισμού (και άρα της αναπνευστικής αντιστάθμισης) ή/και σημαντική αλλαγή στον ρυθμό της αναπνοής, με αποτέλεσμα αυξημένο αναπνευστικό έργο και κόστος αναπνοής (Guenette & Sheel, 2007). Το φαινόμενο απεικονίζεται χαρακτηριστικά στο [Σχήμα 2.1](#) (McKenzie, 2012). Ενώ ένας απροπόνητος κι ένας αερόβια προπονημένος μπορεί να έχουν όμοια μέγιστη εθελούσια εκπνοή, λόγω των προσαρμογών στις μεγαλύτερες μεταβολικές απαιτήσεις ο προπονημένος παρουσιάζει υψηλότερη αναπνευστική απόκριση κατά τις μέγιστες εντάσεις. Έτσι στις εντάσεις αυτές που συνεπάγονται υψηλές τιμές $\dot{V}E$ η καμπύλη της ροής-όγκου διασταυρώνεται με εκείνη της μέγιστης εθελούσιας εκπνοής. Αυτή ακριβώς είναι η εμφάνιση του EFL (Whipp, 1997; Harms, 2006; McKenzie, 2012).

Σε μελέτη τους οι Johnson, Saupe και Dempsey (1992) θέλησαν να προσδιορίσουν τα μηχανικά όρια στην εκπνευστική ροή σε υψηλά αερόβια προπονημένους αθλητές ($\dot{V}O_2\text{max}$: $73 \pm 1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) κατά τη μέγιστη άσκηση. Αυτό έγινε με τη μέτρηση των πνευμονικών όγκων και συμπληρωματικά των πλευρικών πιέσεων πέρα από τις οποίες δεν παρατηρείται αύξηση της ροής. Χρησιμοποιήθηκε πρωτόκολλο με

άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης έντασης έως την εξάντληση. Κατά τη μέγιστη ένταση ο EFL παρατηρήθηκε σε μεγάλο εύρος (27-76%) του αναπνεόμενου όγκου (tidal volume) ενώ ο μηχανικός περιορισμός του $\dot{V}E$ παρατηρήθηκε πως συνέπιπτε κυρίως με την επίτευξη της $\dot{V}O_2\text{max}$. Ακόμη, παρατηρήθηκε πως όσο πιο έντονη ήταν η αναπνευστική απόκριση τόσο μεγαλύτερος και ο βαθμός του μηχανικού περιορισμού. Οι ερευνητές συμπέραναν πως οι υψηλά προπονημένοι αθλητές φτάνουν τα μηχανικά όρια της αναπνοής τους κατά τη μέγιστης έντασης άσκηση. Εκτίμησαν πως ο αερισμός επιτυγχάνεται με σημαντικό μεταβολικό κόστος, το οποίο αντισταθμίζεται αλλαγή του προτύπου αναπνοής και την κατάλληλη επιστράτευση των αναπνευστικών μυών ώστε να μη λειτουργεί σημαντικά εις βάρος του κυψελδικού υπεραερισμού (Johnson et al., 1992).

Το μέγεθος του πνεύμονα σχετίζεται με το ύψος στην όρθια θέση, το ύψος στην καθιστή θέση, το μήκος του κορμού και τη στάση του σώματος. Οι γυναίκες έχουν κατά μέσο όρο μικρότερους πνεύμονες σε σχέση με τους άνδρες (Archiza et al., 2021), με αποτέλεσμα οι γυναίκες να έχουν μικρότερους πνευμονικούς όγκους και χαμηλότερες τιμές μέγιστης εκπνευστικής ροής (διορθωμένες ως προς την ηλικία και το ύψος) (Hopkins & Harms, 2004).

Παράλληλα, τα άτομα με μεγάλους πνεύμονες δεν έχουν απαραίτητα και αεραγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου σε σχέση με τα άτομα με μικρότερους πνεύμονες. Σε αυτό αναφέρεται ο όρος «dysanapsis», ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για να αντικατοπτρίσει τη φυσιολογική

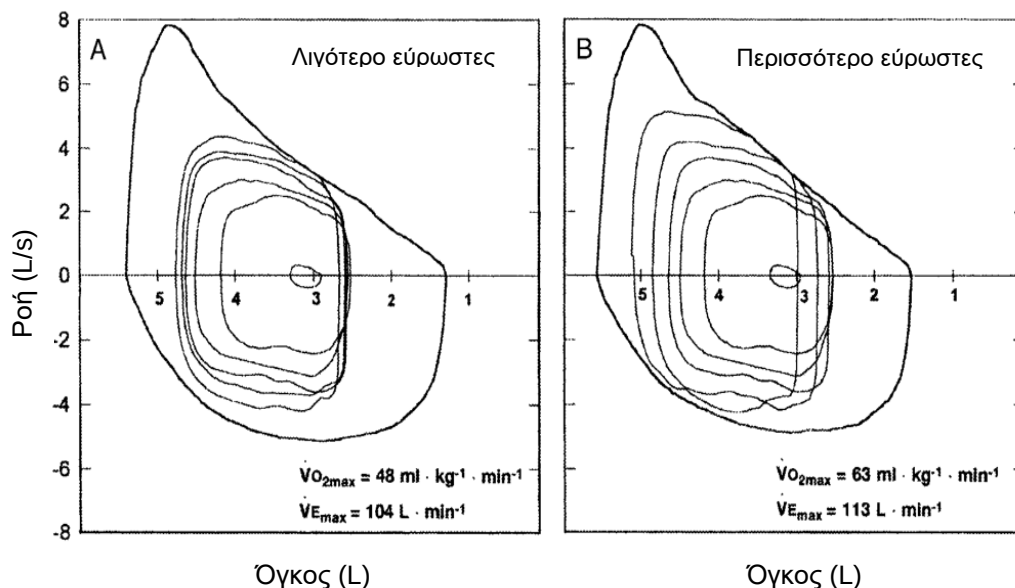
διαφοροποίηση στη γεωμετρία του βρογχικού δέντρου και του πνευμονικού παρεγχύματος λόγω διαφορετικών μοτίβων ανάπτυξης (Sheel et al., 2016).

Η σχέση μεταξύ του μεγέθους των αεραγωγών και των πνευμόνων στους ενήλικες καθορίζεται από την ποσοτικοποίηση της αναλογίας ανάμεσα στο μέγεθος των πνευμόνων και στη διάμετρο των αεραγωγών. Όσον αφορά τις διαφορές φύλου, οι υγιείς ενήλικες άνδρες φαίνεται να έχουν ~17% μεγαλύτερους σε διάμετρο αεραγωγούς από τις αντίστοιχες γυναίκες ακόμη και όταν υπάρχει διόρθωση ως προς το μέγεθος των πνευμόνων (Sheel et al., 2016).

Τέτοιες διαφορές μπορεί να επηρεάζουν τη ροή του αέρα, με αποτέλεσμα να αναμένεται κατά τη δυναμική άσκηση (όπου ο αερισμός και η ροή αέρα είναι σε υψηλά

επίπεδα) μια γυναίκα με αντίστοιχο μέγεθος πνεύμονα με έναν άντρα να εμφανίσει μεγαλύτερη αντίσταση στους αεραγωγούς από εκείνον, επηρεάζοντας τη ροή αέρα. Υψηλή αντίσταση στους αεραγωγούς αυξάνει τις πιθανότητες για μηχανικούς περιορισμούς της αναπνοής και το μεταβολικό κόστος της (Sheel et al., 2016). Αν και αυτές οι διαφορές οδηγούν σε μικρότερη μέγιστη εκπνευστική ροή στις γυναίκες, παρατηρείται μεγάλο εύρος τιμών σε αυτόν τον πληθυσμό καθώς το μέγεθος του πνεύμονα και των αεραγωγών δεν είναι απαραίτητα αναλογικά (Archiza et al., 2021).

Ακριβώς λόγω αυτών των μηχανικών περιορισμών οι γυναίκες καταγράφουν μικρότερες καμπύλες ροής-όγκου σε σχέση με τους άνδρες (Harms & Rosenkranz, 2008). Όπως γίνεται κατανοητό, το μικρότερο



Σχήμα 2.2. Καμπύλη ροής όγκου σε λιγότερο εύρωστες (αριστερά) και περισσότερο εύρωστες (δεξιά) γυναίκες (από Hopkins & Harms, 2004).

μέγεθος διαμέτρου αεραγωγών και πνευμόνων σε συνδυασμό με χαμηλότερες τιμές μέγιστης εκπνευστικής ροής αυξάνουν τις πιθανότητες οι γυναίκες να εμφανίσουν EFL (Guenette & Sheel, 2007). Παράλληλα, θα ήταν αναμενόμενο ο EFL να εμφανιστεί σε χαμηλότερα επίπεδα $\dot{V}E$ και χαμηλότερες τιμές $\dot{V}O_2$ σε σχέση με τους άνδρες (Guenette & Sheel, 2007, Harms & Rosenkranz, 2008).

Ως αποτέλεσμα του συχνότερου EFL, οι υγιείς δραστήριες γυναίκες μπορεί να είναι ειδικά ευάλωτες στο αυξημένο αναπνευστικό έργο, με αποτέλεσμα υψηλότερα επίπεδα κόπωσης (Harms & Rosenkranz, 2008). Είναι πιθανό κατά την έντονη άσκηση να εμφανίσουν κόπωση των αναπνευστικών μυών νωρίτερα από τους άνδρες καθώς και διαφοροποίηση της αιματικής κατανομής μεταξύ των αναπνευστικών και των μυών υπό άσκηση (Harms, 2006).

Βάσει όλων των ανωτέρω, ο μεγαλύτερος και συντομότερος EFL στις προπονημένες γυναίκες, οδηγεί στο συμπέρασμα πως κατά πάσα πιθανότητα εκείνες θα έχουν ελλιπή υπεραερισμό σε τιμές $\dot{V}O_2$ που σε έναν άνδρα δεν θα παρουσιαζόταν αυτός ο περιορισμός. Αν και οι γυναίκες εμφανίζουν τέτοιο μηχανικό περιορισμό, λόγω διαφοροποιήσεων στην αναπνευστική ρύθμιση η σημαντικότητα της διαφοράς με το άλλο φύλο μπορεί να είναι και ελάχιστη (Hopkins & Harms, 2004).

Στο Σχήμα 2.2 απεικονίζονται οι καμπύλες ροής-όγκου για απροπόνητες (αριστερά) και προπονημένες (δεξιά) γυναίκες στην ηρεμία και σε διάφορες εντάσεις άσκησης μέχρι τη μέγιστη. Φαίνεται

πως στις απροπόνητες παρατηρείται EFL στη μέγιστη ένταση άσκησης ενώ στις προπονημένες το φαινόμενο παρουσιάζεται ακόμη και σε υπομέγιστες εντάσεις. Η διαφορά μεταξύ των φύλων φαίνεται χαρακτηριστικά εάν συγκριθούν αυτές οι καμπύλες με τις αντίστοιχες του Σχήματος 2.1, που αφορούν άνδρες δοκιμαζόμενους (Hopkins & Harms, 2004). Ορισμένοι ερευνητές όμως έχουν δείξει πως αν και οι γυναίκες έχουν αναλογικά μικρότερους αεραγωγούς και πνεύμονες από τους άντρες, δεν έχουν μεγαλύτερη προδιάθεση για την εμφάνιση EFL. Η συχνότητα EFL δεν διέφερε με βάση το φύλο ενώ οι προβλεπτές της ήταν σε μεγάλο βαθμό κοινοί και για τα δύο φύλα. Απεναντίας, η πιθανότητα εμφάνισης EFL κατά την άσκηση σχετίστηκε κυρίως με χαμηλή μέγιστη εκπνευστική ροή, με χαμηλό εκπνευστικό όγκο εφεδρείας και υψηλή αναπνευστική συχνότητα κατά τη μέγιστη άσκηση (Molgat-Seon et al., 2022).

Η ευαισθησία στο αναπνευστικό ερέθισμα αλλά και οι μηχανικές επιδράσεις των πνευμόνων εμφανίζουν διατομικές διαφορές (Dempsey & Wagner, 1999) και γι' αυτόν τον λόγο συμβάλλουν από κοινού στην εμφάνιση EIAH. Παρ' όλα αυτά, οι επιδράσεις του EFL και της περιφερικής χημειοευαισθησίας στην EIAH έχουν ως επί το πλείστον μελετηθεί ξεχωριστά (Guenette & Sheel, 2007). Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ένα άτομο που παρουσιάζει περιορισμό εκπνευστικής ροής κατά την (έντονη) άσκηση δεν είναι απαραίτητο πως θα εμφανίσει και ασκησιογενή υποξαιμία, αλλά και το αντίστροφο (Dominelli & Sheel, 2019).

2.8.5. Ανατομικές παρακάμψεις

Ένα άλλο φαινόμενο το οποίο έχει αναφερθεί πως θα μπορούσε να συμβάλει στην εμφάνιση της ΕΙΑΗ είναι η ύπαρξη παρακάμψεων. Ο όρος αυτός μπορεί να αναφέρεται σε παρακάμψεις αγγείων εντός των πνευμόνων, μεταξύ των κόλπων ή των κοιλιών της καρδιάς (Dempsey & Wagner, 1999). Υπάρχουν ερευνητικά στοιχεία που δείχνουν πως η ύπαρξη ενδοπνευμονικών παρακάμψεων μπορεί να ευθύνεται για την ανάπτυξη αυξημένης A-aDO₂ κατά την άσκηση σε άνδρες (Stickland et al., 2004) χωρίς αυτό να έχει εξεταστεί εάν μπορεί να ισχύει και για τις γυναίκες (Guenette & Sheel, 2007).

Οι φλεβο-αρτηριακές παρακάμψεις έχουν ως αποτέλεσμα την είσοδο φλεβικού αίματος χαμηλού σε οξυγόνο στην αρτηριακή κυκλοφορία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια ελαφρά μείωση της μερικής PaO₂. Συνολικά κατά την ηρεμία και σε υγιή άτομα οι φλεβο-αρτηριακές παρακάμψεις αντιπροσωπεύουν το 1-3% της Q (Romer et al., 2012). Κατά την πολύ έντονη άσκηση η συμβολή τους στην Q δεν ξεπερνά το 0,6% με αποτέλεσμα να ευθύνονται για 0,5% της πτώσης της SpO₂ (Prefaut et al., 2000). Είναι σαφές πως ακόμη και η ύπαρξη τέτοιων παρακάμψεων συμβάλλει σε πολύ μικρό βαθμό στην πτώση της PaO₂ με αποτέλεσμα η συμβολή τους στην εμφάνιση της ΕΙΑΗ να θεωρείται αμελητέα.

2.8.6. Απαιτήσεις/Ικανότητα

Ένα ερώτημα που προκύπτει από τα ανωτέρω και τέθηκε από τους Dempsey και Wagner (1999) είναι το εάν η εμφάνιση της ΕΙΑΗ οφείλεται στην αδυναμία του αναπνευστικού συστήματος να ανταπεξέλθει στις

υψηλές προσαρμογές και καρδιαγγειακές και μεταβολικές απαιτήσεις της μέγιστης πρόσληψης και μεταφοράς του οξυγόνου στους ιστούς. Είναι γεγονός πως οι πνεύμονες των πολύ προπονημένων ατόμων δεν διαφέρουν κατά πολύ από εκείνους των απροπόνητων καθώς η προπόνηση που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της $\dot{V}O_{2max}$ δεν επιδρά στη δομή ή τη λειτουργία τους.

Όμως, η αυξημένη A-aDO₂ (και συνεπώς η ΕΙΑΗ) εμφανίζεται σε ορισμένες περιπτώσεις σε υπομέγιστες εντάσεις, με ορισμένες περιπτώσεις να εμφανίζουν τον ίδιο βαθμό σοβαρότητας με τη μέγιστη ένταση. Έτσι, η θεωρία Demand vs Capacity δεν μπορεί να εξηγήσει τον λόγο για τον οποία κάποια άτομα που αναπτύσσουν ΕΙΑΗ κατά την έντονη ή μέγιστη άσκηση την εμφανίζουν επίσης και σε υπομέγιστες εντάσεις (Dominelli & Sheel, 2019). Με όλα τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως η ΕΙΑΗ δεν οφείλεται σε έναν και μόνο μηχανισμό.

Στην έρευνα των Rice και συνεργατών (1999) μελετήθηκαν οι μηχανισμοί πρόκλησης της ΕΙΑΗ σε υψηλά προπονημένα άτομα, τόσο σε συνθήκες νορμοξίας αλλά και υποξίας. Οι ερευνητές συμπέραναν πως η εμφάνιση της ΕΙΑΗ συνδέεται με τον περιορισμό διάχυσης, την ανισοτιμία VA/Q και τον $\dot{V}E$, ενισχύοντας την πολυπαραγοντική αιτιολογία του φαινομένου. Αν και αλληλεπιδρούν και συνεισφέρουν από κοινού στην ΕΙΑΗ, στη συνέχεια αναφέρονται ως ξεχωριστοί μηχανισμοί για λόγους ευκολίας.

2.8.7. Επίδραση στην απόδοση

Όπως προαναφέρθηκε, η παρουσία ΕΙΑΗ οδηγεί σε μείωση της απόδοσης

καθώς όταν μεταβάλλεται η τιμή του SpO_2 με παρεμβάσεις είτε υποξίας είτε υπεροξίας η $\dot{V}O_{2max}$ και η απόδοση ακολουθούν παρόμοια πορεία (Amann et al., 2006; Harms et al., 2000; Koskolu & McKenzie, 1994).

Οι Harms και συνεργάτες (2000) δημοσίευσαν άλλη μια μελέτη με τις 25 από τις 29 συμμετέχουσες που είχαν συμμετάσχει σε προηγούμενη (Harms et al., 1998) όπου μελετήθηκε η εμφάνιση της ΕΙΑΗ και σε συνθήκη υπεροξίας. Όταν ο αποκορεσμός προλαμβανόταν λόγω της υπεροξίας 22 εκ των 25 εμφάνισαν αυξημένη τιμή $\dot{V}O_{2max}$ ανάλογα με τον βαθμό αποκορεσμού που είχαν εμφανίσει στη νορμοξία.

Οι Koskolu και McKenzie (1994) εξέτασαν την επίδραση της εμφάνισης ΕΙΑΗ στην απόδοση υψηλά προπονημένων ανδρών ποδηλατών. Με αυτόν τον σκοπό τους επέβαλαν σε δοκιμασία 5λεπτης ποδηλάτησης μέχρι την εξάντληση σε συνθήκες νορμοξαιμίας (SpO_2) > 94%0, τεχνητής ήπιας ($SpO_2 = 90 \pm 1\%$) και μέτριας ($SpO_2 = 87 \pm 1\%$) υποξαιμίας. Η απόδοση αξιολογημένη ως το παραχθέν έργο διέφερε σημαντικά μόνο στη μέτρια υποξαιμία σε σύγκριση με τη νορμοξαιμία. Έτσι, οι ερευνητές κατέληξαν πως η μέγιστη ικανότητα άσκησης μειώνεται όταν τα επίπεδα SpO_2 βρίσκονται στο 87% αλλά όχι στο 90%.

Στην έρευνα των Amann και συνεργατών (2006) μελετήθηκε η επίδραση του περιεχομένου του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο (CaO_2) στην κόπωση στον τετρακέφαλο μηριαίο ανδρών αθλητών. Οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν άσκηση σε συνθήκες υποξίας, νορμοξίας και υπεροξίας μέχρι την εξάντληση. Η

παραγωγή δύναμης διέφερε μεταξύ και των τριών συνθηκών, με τη μικρότερη να καταγράφεται στην υποξία. Έτσι, φαίνεται πως η χαμηλή CaO_2 επηρεάζει αρνητικά την ανοχή στην κόπωση και τη μετέπειτα παραγωγή δύναμης.

Η εμφάνιση ΕΙΑΗ συμβάλλει στην κόπωση των εργαζομένων μυών κατά την εξάντληση (Romer et al., 2006). Η μείωση απόδοσης λόγω κόπωσης οφείλεται σε συνδυασμό παραγόντων ανάμεσα στους οποίους βρίσκεται η μη επαρκής μεταφορά οξυγόνου, συμβάλλοντας στην κόπωση μέσω περιφερικών αλλά και κεντρικών μηχανισμών (Amann & Calbet, 2008).

Σύμφωνα με την αναφερόμενη βιβλιογραφία και λόγω των μηχανισμών που οδηγούν στην εμφάνισή της η ΕΙΑΗ επιδρά στην απόδοση σε αερόβια άσκηση, άρα και επηρεάζει αθλητές αερόβιων αθλημάτων, όπως είναι το τρέξιμο, η ποδηλασία και πιθανά το ποδόσφαιρο.

2.9. Χαρακτηριστικά και φυσιολογικές αποκρίσεις στο ποδόσφαιρο

Τα περισσότερα στοιχεία που αφορούν τις αποστάσεις που διανύονται στο ποδόσφαιρο γυναικών και τις εντάσεις στις οποίες αθλούνται οι ποδοσφαιρίστριες, προέρχονται από τις αναφορές της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Ποδοσφαίρου (FIFA) σχετικά με μεγάλες διοργανώσεις. Αναφέρεται πως στο πιο πρόσφατο Παγκόσμιο Κύπελλο (FIFA Women's World Cup Australia & New Zealand 2023™) οι ομάδες διένυσαν κατά μέσο όρο 103.3 χιλιόμετρα ανά αγώνα με τα 8.6 από αυτά να διανύονται σε ταχύτητες >19.0 km/h (FIFA Report). Οι αντίστοιχες αποστάσεις για τα

προηγούμενα Παγκόσμια Κύπελλα στον Καναδά το 2015 και τη Γαλλία το 2019 ήταν 105 και 104 km αντίστοιχα. Όσον αφορά ατομικά, υπολογίζεται πως κάθε αθλήτρια διανύει 9-11 χιλιόμετρα ανά αγώνα ανεξαρτήτως αν είναι διεθνούς επιπέδου ή εγχώριου (Andersson et al., 2010; Krstrup et al., 2005; Mohr et al., 2008).

Αν και η συνολική διανυθείσα απόσταση μπορεί να αποδώσει μια εκτίμηση για τις σωματικές απαιτήσεις ενός αγώνα, θεωρείται πως η απόσταση που διανύθηκε με υψηλής έντασης τρέξιμο μπορεί να προσφέρει περισσότερη πληροφόρηση. Η απόσταση αυτής της κατηγορίας αυξάνεται όσο αυξάνεται και το αγωνιστικό επίπεδο (Datson et al., 2014).

Αν και υπάρχουν πολλές διακυμάνσεις στις εντάσεις και στις διαφορετικές δεξιότητες κατά τη διάρκεια του αγώνα, το τρέξιμο υψηλής έντασης και τα σπριντ αποτελούν 22–28% της συνολικής απόστασης που καλύπτεται σε έναν αγώνα σύμφωνα με τους Randell και συνεργάτες (2021). Όσον αφορά πιο συγκεκριμένα αγώνες κολλεγιακού επιπέδου στις ΗΠΑ οι εντάσεις αυτές αντιπροσωπεύουν το 26-28% της συνολικής απόστασης (Vescovi & Favero, 2014). Φαίνεται πως οι αθλήτριες ποδοσφαίρου διανύουν περισσότερη απόσταση σε υψηλές εντάσεις όταν παίζουν έναν διεθνή αγώνα παρά έναν εγχώριο (Andersson et al., 2010).

Οι αριθμοί αυτοί αν και ποσοτικοποιούν κατά κάποιον τρόπο τις απαιτήσεις μιας τόσο μεγάλης διοργάνωσης δεν μπορούν να είναι αντιπροσωπευτικοί, τόσο γιατί οι ομάδες παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους λόγω διαφορετικού βαθμού ανάπτυξης του αθλήματος όσο και γιατί δεν δίνουν εικόνα για τη φυσιολογική ένταση στην οποία διεξάγεται ο κάθε αγώνας. Αντιθέτως, ως «υψηλή ένταση» ορίζεται η υψηλή ταχύτητα η οποία μπορεί να αντιστοιχεί σε διαφορετική σχετική ένταση για την κάθε αθλήτρια.

Από έρευνες που έλαβαν υπόψη την καρδιακή συχνότητα (HR) φαίνεται πως κατά τη διάρκεια του αγώνα η ένταση μπορεί να κυμανθεί κατά μέσο όρο στο 86-87% της HRmax και με μέγιστη καταγραφόμενη HR στο 97-98% HRmax (Datson, Hulton, Andersson, Lewis, Weston, Drust & Gregson, 2014; Krstrup et al., 2005).

Στην πλειοψηφία τους οι έρευνες που αφορούν αθλήτριες ποδοσφαίρου εξετάζουν ζητήματα πρόληψης και καταγραφής τραυματισμών (Crossley, Patterson, Culvenor, Bruder, Mosler & Mentiplay, 2020) ή προπονητικών προγραμμάτων για τη βελτίωση παραμέτρων της φυσικής κατάστασης (Pardos-Mainer, Lozano, Torrontegui-Duarte, Cartón-Llorente & Roso-Moliner, 2021). Πολύ πιο σπάνια ερευνώνται φυσιολογικές παράμετροι στον συγκεκριμένο πληθυσμό (Datson et al., 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

Μέθοδος

Η παρούσα έρευνα μελέτησε τον επιπολασμό της ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας (ΕΙΑΗ) σε αθλήτριες ποδοσφαίρου. Επιπλέον, διερεύνησε τη σχέση μεταξύ της εμφάνισης ΕΙΑΗ στο εργαστήριο και της απόδοσης στο αθλητικό πεδίο. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμασίες, (α) μία μέτρηση της $\dot{V}O_{2max}$ και παράλληλα εξέτασης της εμφάνισης ΕΙΑΗ στο εργαστήριο και (β) μία αξιολόγηση της απόδοσης σε πρωτόκολλο με ποδοσφαιρικά χαρακτηριστικά στο γήπεδο.

Η μελέτη έχει εγκριθεί από την Επιτροπή Ερευνητικής Δεοντολογίας-Βιοηθικής της Σ.Ε.Φ.Α.Α. του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (αριθμός πρωτοκόλλου έγκρισης: 11/15/2022 1429/21-11-2022).

3.1. Συμμετέχουσες

Αξιολογήθηκαν συνολικά σαράντα (40) αθλήτριες ποδοσφαίρου διαφορετικών αγωνιστικών επιπέδων (Α' έως Γ' Εθνική Κατηγορία Ελλάδας). Για τη χρήση των αντλούμενων δεδομένων στις αναλύσεις τέθηκαν τα εξής κριτήρια συμπερίληψης: ηλικία 18-35 ετών, μη εγκυμονούσες (συμπεριλαμβανομένων των έξι προηγούμενων μηνών), χωρίς καρδιοαναπνευστική πάθηση, να μην είναι τακτικές καπνίστριες και με πάνω από έναν χρόνο εμπειρίας στο άθλημα του ποδοσφαίρου.

Από τις σαράντα αθλήτριες αποκλείστηκαν τέσσερις (4) που δεν πληρούσαν τα προαναφερθέντα κριτήρια και μία (1) λόγω αδυναμίας ολοκλήρωσης της δοκιμασίας. Τέλος,

κριτήριο αποτέλεσε το να βρίσκονται στη θυλακική φάση του έμμηνου κύκλου την ημέρα της μέτρησης. Από τις εναπομείνουσες τριάντα πέντε (35) αθλήτριες, τριάντα (30) εξ αυτών βρίσκονταν στη θυλακική φάση του έμμηνου κύκλου, ενώ οι υπόλοιπες πέντε (5) στην ωχρινική.

Τα δεδομένα των τριάντα (30) χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις ενώ συμπεριλήφθηκαν και των υπολοίπων πέντε για περαιτέρω αναλύσεις και σύγκριση με τα αποτελέσματα αντίστοιχων ερευνών στις οποίες δεν είχε ληφθεί υπόψη ο έμμηνος κύκλος. Ο αριθμός των δοκιμαζόμενων ήταν αρκετός για να διερευνηθούν οι ερευνητικές υποθέσεις, σύμφωνα με την ανάλυση ισχύος και λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενες έρευνες για την εμφάνιση της ΕΙΑΗ σε γυναίκες δοκιμαζόμενες (G*Power 3.1.9.7.).

3.2. Διαδικασία μέτρησης

Οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν διαχωρίζονται σε (α) προκαταρκτικές, που αφορούν την ενημέρωση, την εξοικείωση με τις διαδικασίες, τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων και τις μετρήσεις σωματομετρικών χαρακτηριστικών, (β) την κυρίως μέτρηση, που αφορά την πραγματοποίηση πρωτοκόλλου αξιολόγησης της $\dot{V}O_{2max}$ και εμφάνισης ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας και (γ) τη συμπληρωματική μέτρηση στο πεδίο για αξιολόγηση της απόδοσης σε τεστ του συγκεκριμένου αθλήματος.

Οι δύο πρώτες διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας-Εργομετρίας, της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου

Αθηνών. Η τελευταία έλαβε χώρα σε τρία γήπεδα ποδοσφαίρου με συνθετικό χλοοτάπητα: Γήπεδο Ποδοσφαίρου Αθλητικού Συγκροτήματος Γουδή, Δημοτικό Γήπεδο Δραπετσώνας «Γιάννης Βάζος», Δημοτικό Γήπεδο Μοσχάτου.

3.2.1. Προκαταρκτικές διαδικασίες

Κατά την επίσκεψή στο Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας πραγματοποιήθηκαν οι προκαταρκτικές διαδικασίες και αμέσως μετά ακολούθησε και η πρώτη πειραματική διαδικασία.

Οι συμμετέχουσες ενημερώθηκαν προφορικά και γραπτώς πριν τη συμμετοχή τους με λεπτομέρειες ως προς τις διαδικασίες και συμμετείχαν ύστερα από ενυπόγραφη συναίνεση (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ). Συμπλήρωσαν ερωτηματολόγια σχετικά με την κατάσταση υγείας τους, τον έμμηνο κύκλο και τη χρήση καπνού.

Ο προσδιορισμός της φάσης έγινε με βάση τα προσωπικά χαρακτηριστικά του έμμηνου κύκλου μέσω της ημερολογιακής καταγραφής της διάρκειας των τριών προηγούμενων κύκλων καθώς και μέσω της χρήσης τεστ ωορρηξίας. Οι πειραματικές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν στη θυλακική φάση του έμμηνου κύκλου.

Μετρήθηκαν η μάζα και το ύψος των δοκιμαζομένων, υπολογίστηκε η σωματική σύσταση και μετρήθηκαν ο αιματοκρίτης (Hct) η καρδιακή συχνότητα κατά την ηρεμία (HR_{rest}) και ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο κατά την ηρεμία (SpO_{2rest}).

3.2.2. Πειραματικές διαδικασίες

Στις συμμετέχουσες δόθηκαν οδηγίες για επαρκή ενυδάτωση καθώς και για ισορροπημένη σύσταση του προαγωνιστικού γεύματος σε υδατάνθρακες, λίπη και πρωτεΐνες. Τους ζητήθηκε να καταγράψουν το περιεχόμενό του πριν την πρώτη μέτρηση και να καταναλώσουν το ίδιο και πριν τη δεύτερη. Ακόμη, ζητήθηκε αποχή από καφεΐνη, αλκοόλ, κάπνισμα και εξαντλητική άσκηση για 24 ώρες.

3.2.2.1. Πειραματική διαδικασία I

Η μέτρηση αξιολόγησης της $\dot{V}O_{2max}$ και της εμφάνισης ΕΙΑΗ έγινε με χρήση πρωτοκόλλου στο δαπεδοεργόμετρο το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί προηγουμένως για τη διερεύνηση της ΕΙΑΗ από τους Harms και συνεργάτες (1998), St. Croix, Harms, McClaran, Nickle, Pegelow, Nelson και Dempsey (1998) και Harms και συνεργάτες (2000).

Οι δοκιμαζόμενες πραγματοποίησαν προθέρμανση διάρκειας 5 λεπτών με ταχύτητα 6,4 km/h και



Σχήμα 3.1. Σχηματική περιγραφή της Πειραματικής διαδικασίας I. Καταγράφονταν συνεχώς αναπνευστικές παράμετροι, ο SpO₂, η HR και η [La] τρία λεπτά μετά το πέρας της άσκησης.

κλίση 0%. Χωρίς να υπάρξει παύση, γινόταν έναρξη του πρωτοκόλλου σταδιακά αυξανόμενης έντασης μέχρι την εξάντληση. Η ταχύτητα αυξανόταν κατά 3.2 km/h ανά 2.5 λεπτά μέχρι να φτάσουν οι δοκιμαζόμενες σε μια ταχύτητα που χαρακτηρίζουν ως άνετη (9.6, 12.8 ή 16.1 km/h). Από εκείνο το σημείο και έπειτα, αυξανόταν η κλίση κατά 2% ανά 2,5 λεπτά μέχρι την εξάντληση.

Καθ' όλη τη διάρκεια γινόταν καταγραφή της καρδιακής συχνότητας (HR), αναπνευστικών παραμέτρων, του κορεσμού της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο (SpO_2) και ανά στάδιο καταγραφή της αντιλαμβανόμενης κόπωσης, τόσο για τα κάτω άκρα όσο και για την αναπνοή. Τέλος, στο 3ο λεπτό μετά το πέρας της άσκησης έγινε λήψη δείγματος αίματος για μέτρηση της συγκέντρωσης γαλακτικού ([La]).

Για τη θεώρηση πως επιτεύχθηκε η $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ η διάρκεια της μέτρησης έπρεπε να μην είναι μικρότερη των 7 λεπτών (McConnell, 1988), και να εκπληρώνονται τρία από τα εξής κριτήρια: η μέγιστη καρδιακή συχνότητα που επετεύχθη να είναι στο 95% από την προβλεπόμενη με βάση την ηλικία ($220 - \text{ηλικία σε έτη}$) συγκέντρωση γαλακτικού $\geq 8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, αναπνευστικό πηλίκο (RER) >1.10 , αντιλαμβανόμενη κόπωση >17 στην κλίμακα Borg «6-20».

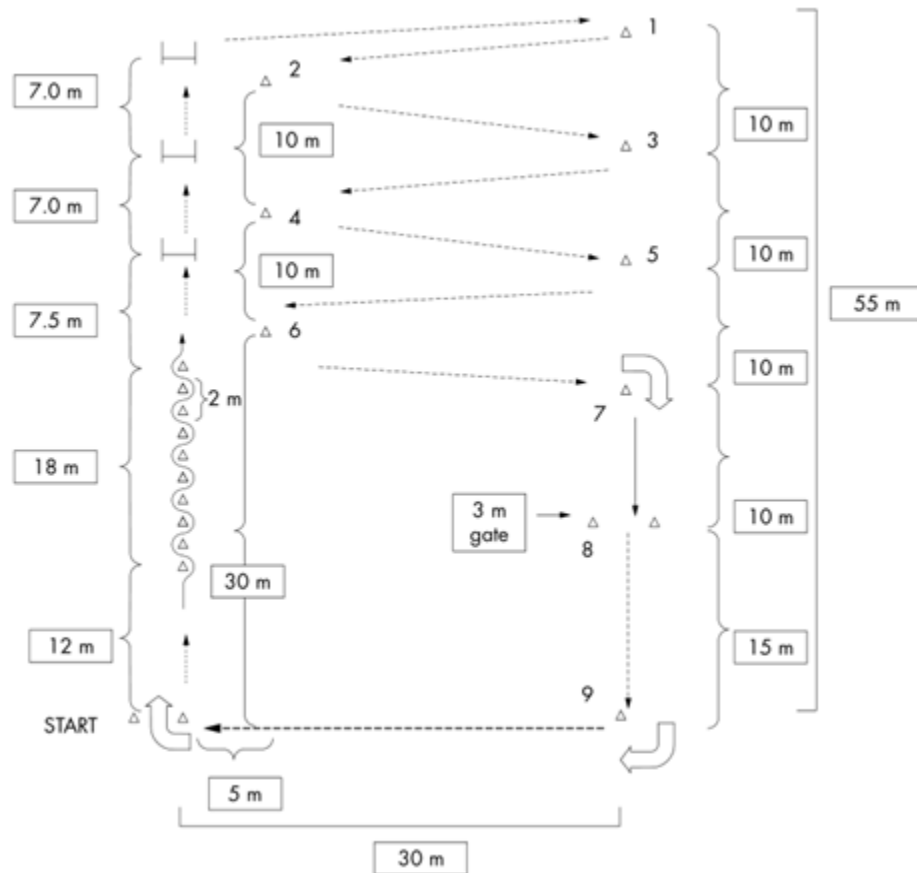
3.3.2.2. Πειραματική διαδικασία II

Η συμπληρωματική μέτρηση στο πεδίο πραγματοποιήθηκε σε έντεκα (11) συμμετέχουσες. Έγινε χρήση του διαφοροποιημένου Hoff test (Chamari, Hachana, Kaouech, Jeddi, Moussa-Chamari & Wisløff, 2005; Hoff, Wisløff, Engen, Kemi & Helgerud, 2002; Nassis, Geladas,

Soldatos, Sotiropoulos, Bekris & Souglis, 2010). Πρόκειται για ένα τεστ πεδίου για το ποδόσφαιρο (Σχήμα 3.2) όπου επιτυγχάνονται μέγιστες εντάσεις και περιέχει βασικά συστατικά του αθλήματος όπως τρέξιμο, ντρίπλες με μπάλα, άλματα, αλλαγές κατεύθυνσης και τρέξιμο προς τα πίσω. Η απόσταση είναι 290 μέτρα ανά γύρο και η διάρκεια 10 λεπτά χωρίς διάλειμμα.

Η μπάλα ντριμπλάρεται προς την κατεύθυνση των βελών, με τρέξιμο προς τα πίσω μεταξύ των σημείων Α και Β. Οι συμμετέχουσες ενθαρρύνονταν να αυξήσουν σταδιακά την ένταση σε επίπεδο που θα φτάσει τη μέγιστη ένταση, με κύρια οδηγία να διανύσουν όση περισσότερη απόσταση μπορούν μέσα στα 10 λεπτά. Ενημερώνονταν για τον εναπομείναντα χρόνο μετά το πέρας του 5^{ου} και του 9^{ου} λεπτού. Τα εμπόδια είχαν ύψος 30 εκατοστά ενώ κατά τη διάρκεια, ένα άτομο επανατοποθετούσε όσους κώνους και εμπόδια μετακινήθηκαν. Κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας καταγράφονταν η καρδιακή συχνότητα (HR) και ο SpO_2 ενώ σε κάθε γύρο καταγραφόταν ο χρόνος πραγματοποίησής του. Στο τέλος της δοκιμασίας υποδεικνυόταν από την κάθε δοκιμαζόμενη ο βαθμός αντιλαμβανόμενης κόπωσης. Στο 3ο λεπτό μετά το πέρας της άσκησης, έγινε λήψη δείγματος αίματος για μέτρηση της [La].

Η απόδοση στο διαφοροποιημένο Hoff test έχει σημαντική συσχέτιση με τη μετρημένη τιμή $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ στο εργαστήριο (Chamari et al., 2005) αλλά και με την προβλεπόμενη τιμή της $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ (Nassis et al., 2007). Το Hoff test αφενός αποτελεί μια επιτυχή προσομοίωση ποδοσφαιρικών



Σχήμα 3.2. Διαφοροποιημένο Hoff test (Chamari et al. 2005).

δραστηριοτήτων και αφετέρου συμπίπτει με την απαραίτητη ένταση και διάρκεια άσκησης προκειμένου να εμφανιστεί το φαινόμενο της ΕΙΑΗ στην περίπτωση που εμφανίζεται.

3.3. Όργανα μέτρησης – Επεξεργασία δεδομένων

3.3.1. Ερωτηματολόγια

Οι συμμετέχουσες συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με τον έμμηνο κύκλο τους κι ένα δεύτερο σχετικά με την κατάσταση της υγείας τους. Τέλος, συμπλήρωσαν την ελληνική εκδοχή του Fagerstrom Test, εργαλείου που «μετρά» τον βαθμό

εξάρτησης ενός ατόμου από τη νικοτίνη (Κουράκος, Καυκιά & Φραδέλος, 2016). Όσες συμπλήρωσαν βαθμολογία < 4 βαθμούς, συμμετείχαν στη μελέτη ως μη καπνίστριες.

3.3.2. Μάζα σώματος, ανάστημα, σύσταση σώματος

Η σωματική μάζα μετρήθηκε με ζυγαριά ακριβείας 50 και το σωματικό ύψος με ενσωματωμένο αναστημόμετρο ακριβείας 1 mm g (Bilance SALUS, Italy). Για τον υπολογισμό της σωματικής σύστασης χρησιμοποιήθηκε δερματοπυχόμετρο (Harpender, Baty International, UK). Έγινε μέτρηση τριών δερματοπυχών

σε mm (τρικεφαλική, υπερλαγόνια, μηρού) και υπολογίστηκε η πυκνότητα σώματος με την εξίσωση:

$$d = 1,0994921 - 0,0009929 * \text{άθροισμα } 3 \text{ δερματοπτυχών} + 0,0000023 * \text{άθροισμα } 3 \text{ δερματοπτυχών}^2 - 0,0001392 * \text{ηλικία}$$

(Jackson, Pollock & Ward, 1980)

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση για τον υπολογισμό του ποσοστού σωματικού λίπους:

$$\% \text{ σωματικού λίπους} = [(5,01 / d) - 4,57] * 100$$

(Siri, 1961)

3.3.3. Αναπνευστικές παράμετροι

Για τη μέτρηση των αναπνευστικών παραμέτρων και συγκεκριμένα της πρόσληψης οξυγόνου ($\dot{V}O_2$), του αποβαλλόμενου όγκου διοξειδίου του άνθρακα ($\dot{V}CO_2$), του πνευμονικού αερισμού ($\dot{V}E$), του αναπνεόμενου όγκου (V_t), της αναπνευστικής συχνότητας (f), της τελοεκπνευστικής πίεσης διοξειδίου του άνθρακα ($PETCO_2$) και οξυγόνου ($PETCO_2$) καθώς και του αναπνευστικού πηλίκου (RER) χρησιμοποιήθηκε ανοιχτό κύκλωμα εργοσπιρομέτρησης (Med Graphics CPX-D, USA) με αμφίδρομη βαλβίδα (2 way valve-Hans Rudolph 2700, USA). Έγινε συλλογή δεδομένων σε κάθε αναπνοή και ανάλυση με σχετικό λογισμικό πρόγραμμα (BreezeSuite, Medgraphics, USA).

Πριν από κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του πνευμοταχογράφου και των αναλυτών αερίων (O_2 και CO_2). Η βαθμονόμηση του πνευμοταχογράφου γινόταν με ειδική αντλία χωρητικότητας αέρα τριών λίτρων (Calibration Syringe, Medgraphics, USA). Η βαθμονόμηση

των αναλυτών αερίων γινόταν με τη χρήση δύο διαφορετικών μειγμάτων αέρα αέρα ($21\% O_2$, $0\% CO_2$, $79\% N_2$ και $12\% O_2$, $5\% CO_2$, $83\% N_2$).

Για την εύρεση των αναπνευστικών τιμών χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τιμών σε διάστημα των 30 δευτερολέπτων στα οποία έγινε επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$. Η αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας των αθλητριών έγινε με βάση τις νόρμες του Αμερικανικού Κολλεγίου Αθλητιατρικής (American College of Sports Medicine, 2018, βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ).

3.3.4. Κορεσμός της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο

Για τη συνεχή καταγραφή του κορεσμού της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο χρησιμοποιήθηκαν δύο παλμικά οξύμετρα για χρήση κατά την κίνηση (RAD-5, Masimo, USA, Nellcore Symphone, N-3000, USA). Στην πειραματική διαδικασία η χρησιμοποιήθηκε μόνο το RAD-5, Masimo διότι είναι φορητό και μπορεί να εφαρμοστεί στο σώμα της δοκιμαζόμενης. Στη μέτρηση στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές από το οξύμετρο το οποίο έδειχνε τις υψηλότερες τιμές, όπως έχει συμβεί και σε προηγούμενες έρευνες (Richards et al., 2004). Στη συγκεκριμένη περίπτωση το οξύμετρο με τις υψηλότερες τιμές ήταν το Nellcore Symphone.

Οι Dempsey και Wagner (1999) όρισαν την EIAH ως πτώση του $SpO_2 \geq 3\%$ κάτω από την τιμή ηρεμίας. Σύμφωνα με τη Richards και συνεργάτες (2004) επειδή η παλμική οξύμετρία συνήθως αποκλίνει κατά 1% από την πραγματική τιμή, πιο ορθή προσέγγιση σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ο ορισμός της EIAH ως πτώση

SpO₂ >4%. Η συγκεκριμένη προσέγγιση επιλέχθηκε και στην παρούσα μελέτη, λόγω χρήσης παλμικού οξυμέτρου.

Επιπλέον, οι Dempsey και Wagner (1999) χαρακτήρισαν την EIAH ως ήπια για τιμές SpO₂ = 93–95%, μέτρια για τιμές 88–93% ή σοβαρή για τιμές <88%, για άτομο με SpO₂ στην ηρεμία 98% (Dempsey & Wagner, 1999). Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, οι Richards και συνεργάτες (2004) όρισαν τις κατηγοριοποιήσεις αυτές ως 92–94%, 87–91% και <87%. Για τον χαρακτηρισμό του φαινομένου στην παρούσα έρευνα, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής εύρη για τη μεταβολή του SpO₂ από την ηρεμία ως την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$: ήπια ΔSpO_2 4–6%, μέτρια 7–11%, και σοβαρή >11%.

Για την εύρεση της ελάχιστης τιμής του κορεσμού κατά την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$ έγινε εύρεση των χαμηλότερων τιμών που καταγράφονταν συνεχόμενα για διάστημα 10 δευτερολέπτων. Για την τιμή του κορεσμού που αντιστοιχούσε σε κάθε ένταση/στάδιο της προσπάθειας χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τιμών που συλλέχθηκαν για 30 δευτερόλεπτα.

3.3.5. Φάση έμμηνου κύκλου

Η φάση του έμμηνου κύκλου προσδιορίστηκε με τη χρήση δύο μεθόδων, της ημερολογιακής καταγραφής και της χρήσης τεστ ωορρηξίας. Αρχικά, ζητήθηκε από τις δοκιμαζόμενες να σημειώσουν τις ημερομηνίες έναρξης του κύκλου για τρεις μήνες πριν την πραγματοποίηση της μέτρησης. Για επιβεβαίωση του ότι οι μετρήσεις γίνονταν μέσα στη θυλακική φάση χρησιμοποιήθηκε τεστ ωορρηξίας μέσω προσδιορισμού

υψηλών επιπέδων της ορμόνης ωχρινोटροπίνης (LH) στα ούρα τις ημέρες των μετρήσεων (One Step Ovulation Test, Hangzhou AllTest Biotech).

3.3.6. Μέτρηση αιματοκρίτη

Για τη μέτρηση του αιματοκρίτη έγινε λήψη δείγματος τριχοειδικού αίματος από το δάκτυλο (περίπου 75μl). Το δείγμα υποβλήθηκε σε φυγοκέντρωση στις 11800 στροφές·min⁻¹ για 4 min (Micro Haematocrit Mk5 Centrifuge, Hawksley, UK). Στη συνέχεια, ο Hct προσδιορίστηκε με τη χρήση ειδικής συσκευής ανάγνωσης Hct (Haematocrit reader, Hawksley Inc., UK).

3.3.7. Δαπεδοεργόμετρο

Η πειραματική διαδικασία I πραγματοποιήθηκε σε δαπεδοεργόμετρο (Technogym, Italy).

3.3.8 Αντιλαμβανόμενη κόπωση

Η αντιλαμβανόμενη κόπωση (RPE) καταγράφηκε με χρήση της 20βάθμιας κλίμακας Borg στα ελληνικά.

3.3.9. Καρδιακή συχνότητα

Για τη συνεχή καταγραφή της καρδιακής συχνότητας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τηλεμετρίας (H10, M430, v800, Polar Finland).

3.3.10. Συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα

Για τη μέτρηση της [La] ελήφθη ρανίδα τριχοειδικού αίματος από το δάκτυλο και χρησιμοποιήθηκε η συσκευή ανάγνωσης Lactate Scout+ (EKF Diagnostics).

3.3.11. Δρομική οικονομία

Η δρομική οικονομία κατά τη μέγιστη προσπάθεια ορίστηκε είτε ως

η $\dot{V}O_{2\max}$ εκφρασμένη σε ml ανά κιλό του 75% της σωματικής μάζας ανά λεπτό (Chamari et al., 2005) είτε ως το έργο σε Joules που πραγματοποιήθηκε τα τελευταία 30 δευτερόλεπτα της προσπάθειας στο δαπεδοεργόμετρο προς την πρόσληψη οξυγόνου που αναλογούσε σε αυτή τη διάρκεια. Το έργο υπολογίστηκε με τον τύπο:

$$W = (((\text{ταχύτητα (km/h)} \times 0.00833333) \times (\text{κλίση δαπεδοεργόμετρου (\%)} / 100)) / 1000) * 700$$

3.4. Στατιστική ανάλυση

Πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική, δημιουργήθηκαν γραφήματα για τον έλεγχο της κατανομής και ελέγχθηκαν η λοξότητα και η κύρτωση για κάθε μεταβλητή. Ακόμη, χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος Shapiro–Wilk για τον έλεγχο της κανονικότητας της κατανομής, καθώς θεωρείται πιο κατάλληλος για μικρά δείγματα ($n < 50$) (Mishra, Pandey, Singh, Gupta, Sahu & Keshri, 2019).

Για τις μεταβλητές με κανονική κατανομή χρησιμοποιήθηκε έλεγχος t ανεξαρτήτων δειγμάτων για τη σύγκριση μεταξύ των ομάδων και ο έλεγχος t εξαρτημένων δειγμάτων για τη σύγκριση των μετρήσεων στο εργαστήριο και το πεδίο. Για όσες μεταβλητές δεν παρουσίαζαν κανονική κατανομή χρησιμοποιήθηκε το μη παραμετρικό Mann-Whitney U Test για σύγκριση μεταξύ των ομάδων και το Wilcoxon signed-rank test για τη σύγκριση των μετρήσεων στο εργαστήριο και το πεδίο (Field, 2018). Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις το μέγεθος επίδρασης υπολογίστηκε

σύμφωνα με τον τύπο $r = \frac{z}{\sqrt{N}}$ (Rosenthal, 1991). Για τη διερεύνηση των συσχετίσεων χρησιμοποιήθηκε το Spearman's rho, λόγω μικρού μεγέθους του δείγματος (Field, 2018). Σε όλες τις αναλύσεις τέθηκε επίπεδο στατιστική σημαντικότητας $\alpha = .05$.

Για τη διερεύνηση των διαφορών μεταξύ όσων εμφάνισαν και όσων δεν εμφάνισαν ΕΙΑΗ στην πορεία του SpO_2 κατά τη διάρκεια της άσκησης χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων κατά δύο παράγοντες (ομάδα x χρόνος). Λόγω των πολλαπλών ελέγχων, το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας επαναπροσδιορίστηκε με διόρθωση Bonferroni.

Για τη διερεύνηση ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των χρονικών σημείων απότομης μεταβολής της αναπνευστικής συχνότητας (f), της τελοεκπνευστικής πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα ($PECO_2$) και του σημείου εμφάνισης ΕΙΑΗ, χρησιμοποιήθηκε Spearman's rho.

Για τη σύγκριση των δύο οξυμέτρων χρησιμοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης (Pearson's r) σε τιμές που λαμβάνοντας κατά τη μέγιστη άσκηση στο εργαστήριο. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 244 τιμές, από 4 αθλήτριες. Δύο όργανα που μετρούν την ίδια παράμετρο αναμένεται να έχουν καλή συσχέτιση μεταξύ τους, αλλά αυτό δεν σημαίνει πως υπάρχει και καλή συμφωνία. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Bland-Altman η χρήση του οποίου είναι διαδεδομένη για τον έλεγχο της συμφωνίας μεταξύ ιατρικών οργάνων (Zaki, Bulgiba, Ismail R. & Ismail N. A., 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Αποτελέσματα

4.1. Χαρακτηριστικά συμμετεχουσών

Στο σύνολο των συμμετεχουσών και ανεξαρτήτως φάσης του έμμηνου κύκλου ($n = 35$), κατά μέσο όρο η $\dot{V}O_{2max}$ ήταν $39.9 \pm 5.22 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($28.4 - 51.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Δεκαοκτώ εκ των τριανταπέντε (51.4%) εμφάνισαν ασκησιογενή αρτηριακή υποξαιμία (ΕΙΑΗ). Στο κεφάλαιο που έπεται, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα αναλύσεων όπου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των τριάντα (30) αθλητριών που βρίσκονταν στη θυλακική φάση.

Οι συμμετέχουσες είχαν ηλικία 18 έως 32 ετών (Μ.Ο.: 23.1 ± 3.92). Η μέση διάρκεια του έμμηνου κύκλου ήταν 28.6 ± 3.03 ημέρες ($22 - 39$, $n = 29$) και η $\dot{V}O_{2max}$ $40.4 \pm 4.86 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($31.8-51.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Εννέα αθλήτριες είχαν χαμηλή αερόβια ικανότητα, πέντε μέτρια, εννέα καλή και επτά πολύ καλή.

Ολοκλήρωσαν τη δοκιμασία στο δαπεδοεργόμετρο κατά μέσο όρο σε $11\text{min}16\text{s} (\pm 2\text{min}13\text{s}, 7\text{min}30\text{s}-15\text{min}0\text{s})$. Τα περιγραφικά στατιστικά των σωματικών, λειτουργικών και λοιπών χαρακτηριστικών των συμμετεχουσών αναγράφονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά του συνόλου του δείγματος ($n = 30$).

Μεταβλητή	M.O.	T.A.	Εύρος
Ηλικία (έτη)	23.1	3.92	18-32
Μάζα (kg)	61.2	7.71	44-83
Ύψος (cm)	162	5.86	151-178
ΔΜΣ (kg/cm^2)	23.1	2.15	19.1-27.3
BSA (m^2)	1.66	.13	1.37-2.02
Λιπώδης μάζα (%)	17.6	3.43	12.2-25.9
Hct (%) ^a	40.0	2.67	35-45
$\dot{V}O_{2max}$ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	2.46	.329	1.78-2.99
$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	40.4	4.86	31.8-51.7
$\text{ml} \cdot \text{FFMkg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	49.1	5.41	37.1-59.2

Σημείωση. Μ.Ο.: Μέσος όρος, T.A.: Τυπική απόκλιση, ΔΜΣ: Δείκτης Μάζας Σώματος, BSA: Body Surface Area – Επιφάνεια σώματος, υπολογισμένη με τον τύπου του Mosteller: $BSA (\text{m}^2) = (\text{ύψος (cm)} * \text{μάζα (kg)})^{1/2}$, Hct: Αιματοκρίτης, $\dot{V}O_{2max}$: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. ^a $n=29$

4.2. Πειραματική διαδικασία I

4.2.1. Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία

Δεκαπέντε από τις τριάντα συμμετέχουσες εμφάνισαν ΕΙΑΗ (50%), έξι εκ των οποίων ήπια ($\Delta = 4-6\%$), έξι μέτρια ($\Delta = 7-11\%$), και τρεις σοβαρή ($\Delta > 11\%$).

4.2.2. Αποκρίσεις κατά τη μέγιστη ένταση

Τα δεδομένα των αθλητριών χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, ανάλογα με το εάν εμφάνισαν ή όχι ΕΙΑΗ. Στους [πίνακες 4.2 και 4.3](#) φαίνονται τα χαρακτηριστικά και οι αναπνευστικές αποκρίσεις κατά την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$ για τις δύο ομάδες, καθώς και οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν για τη σύγκρισή τους.

Όπως είναι αναμενόμενο, ο SpO_2 κατά την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$ διέφερε ανάμεσα σε όσες εμφάνισαν ΕΙΑΗ (M.O. = 90.1) και όσες δεν εμφάνισαν (M.O. = 97.4), $z = 4.68$, $p = .000$, $r = .855$. Αντίστοιχα, διέφερε και η ΔSpO_2 ανάμεσα στην ομάδα ΕΙΑΗ (M.O. = 9.45) και στις ΝΕΙΑΗ

(M.O. = 2.01), $z = -4.68$, $p = .000$, $r = -.854$.

Οι συμμετέχουσες οι οποίες ανέπτυξαν ΕΙΑΗ είχαν κατά μέσο όρο υψηλότερη αναπνευστική συχνότητα (f, bpm) κατά την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$ (M.O. = 56.3 ± 6.22) από εκείνες που δεν ανέπτυξαν ΕΙΑΗ (M.O. = 51.8 ± 8.34). Αυτή η διαφορά, 4.52, BCa 95% CI [-0.978, 10.026], δεν ήταν σημαντική $t(28) = 1.684$, $p = .103$. Ωστόσο, αντιπροσώπευσε μια επίδραση μετρίου μεγέθους, $d = .615$ ([Σχήμα 4.1B](#)). Δεν βρέθηκε συσχέτιση της μεταβολής του SpO_2 με την τιμή της $\dot{V}O_{2max}$, είτε επί του συνόλου του δείγματος, είτε για κάθε ομάδα ξεχωριστά ([Σχήμα 4.2](#)).

Παρατηρήθηκε μετρίου μεγέθους θετική συσχέτιση ($r = .512$) της τιμής του SpO_2 κατά τη $\dot{V}O_{2max}$ με την τιμή του αιματοκρίτη, η οποία όμως ήταν μη στατιστικά σημαντική ($p = .051$) ([Σχήμα 4.3A](#)). Επιπλέον, υπήρξε επίσης μετρίου μεγέθους αρνητική συσχέτιση ($r = -.441$) της μεταβολής του SpO_2 με την τιμή του αιματοκρίτη, η οποία επίσης δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p = .100$) ([Σχήμα 4.3B](#)).

Πίνακας 4.2. Ανθρωπομετρικά και λοιπά χαρακτηριστικά ανά ομάδα.

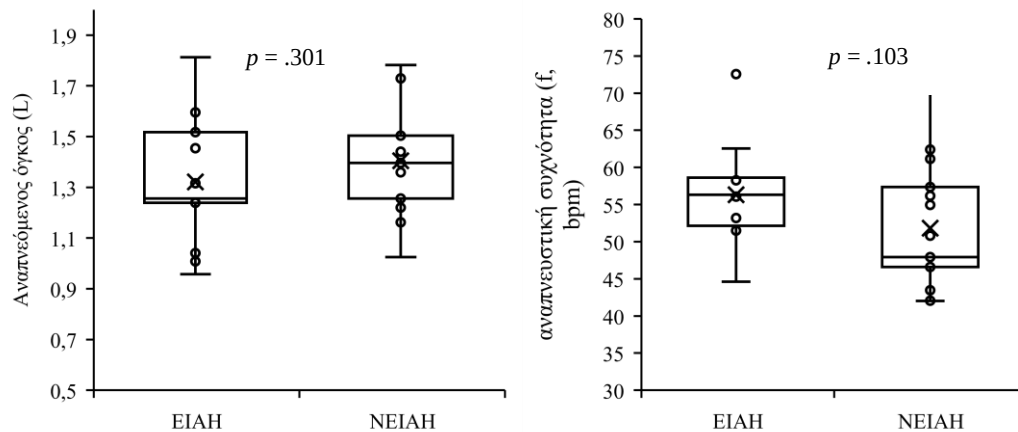
Μεταβλητή	ΕΙΑΗ (n = 15)			ΝΕΙΑΗ (n = 15)			t(28)	p	Μέγεθος επίδρασης
	M.O.	T.A.	Εύρος	M.O.	T.A.	Εύρος			
Ηλικία (έτη) *	22.9	4.39	20-31	23.3	3.53	19-32	.774	.461	.141
Μάζα (kg)	61.6	8.89	48-83	60.8	6.61	44-70	.303	.764	-.111
Ύψος (cm)	163	6.77	151-178	162	5.02	152-171	.077	.940	.028
$\Delta M\Sigma$ (kg/cm ²)	23.3	2.29	19.1-26.4	23.0	2.06	19.2-27.2	.318	.753	.116
BSA (m ²)	1.67	.147	1.45-2.02	1.65	.110	1.37-1.80	.249	.805	.091
Λιπώδης μάζα (%)	17.2	2.89	12.2-22.6	17.9	3.97	12.2-25.9	-.543	.591	-.198
Hct (%) ^a	39.6	2.81	35-43	40.4	2.55	37-45	-.775	.445	-.288

Σημείωση. Συντμήσεις όπως στον πίνακα 4.1. *πραγματοποιήθηκε μη παραμετρική ανάλυση, αντί της τιμής t αναγράφεται η τιμή z και το μέγεθος επίδρασης υπολογίστηκε με το r του Rosenthal. ^a n = 29, df = 27

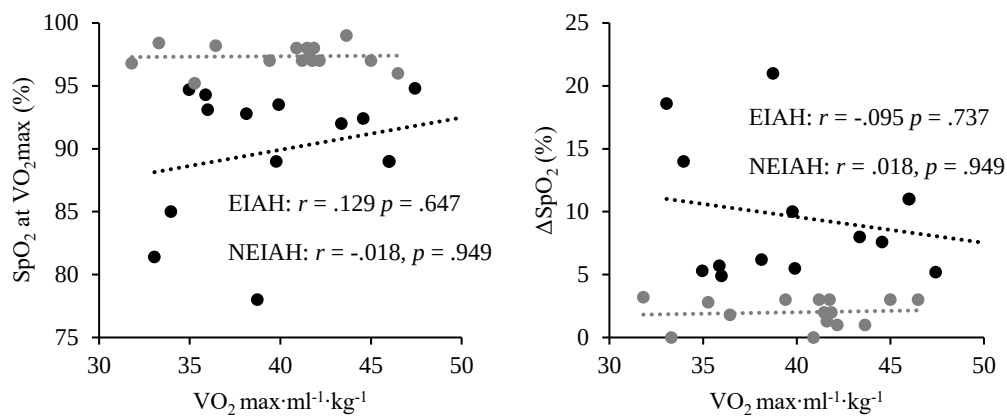
Πίνακας 4.3. Αναπνευστική απόκριση και λοιπά χαρακτηριστικά κατά την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$.

Μεταβλητή	ΕΙΑΗ (n = 15)		ΝΕΙΑΗ (n = 15)			t(28)	p	Μέγεθος επίδρασης*
	M.O.	T.A.	Εύρος	M.O.	T.A.	Εύρος		
$\dot{V}O_2$ L·min ⁻¹	2.48	.331	1.80-2.99	2.44	.337	1.78-2.88	.295	.770
ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	40.6	5.56	33.05-51.68	40.2	4.19	31.81-46.49	.261	.796
ml·FFMkg ⁻¹ ·min ⁻¹ *	49.0	5.96	38.56-59.21	49.2	5.00	37.04-54.63	.104	.935
$\dot{V}CO_2$ L·min ⁻¹	2.85	.384	2.24-3.56	2.85	.393	1.98-3.39	.023	.981
$\dot{V}E$ L·min ⁻¹	73.9	13.0	56.53-102.07	72.6	14.6	47.8-100.03	.262	.795
V_t (L)	1.32	.232	0.96-1.81	1.40	.197	1.02-1.78	-1.053	.301
f (bpm)	56.3	6.22	44.6-72.53	51.8	8.34	42.01-70.43	1.684	.103
$\dot{V}E/\dot{V}O_2$	29.8	3.11	26.1-35.4	29.6	2.90	25.0-33.1	.245	.808
$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ *	27.0	4.43	19.4-33.3	26.80	3.17	18.3-30.0	-.021	1.00
PET O_2 (mmHg)	117	3.62	111-122	116	3.36	112-124	.541	.593
PET CO_2 mmHg*	37.0	4.20	29.0-40.7	38.7	6.38	31.8-60.0	.145	.902
Sp O_2 (%)*	90.1	5.03	78-94.8	97.4	0.97	95.2-99	4.68	.000
Δ Sp O_2 (%)*	9.45	4.98	4.9-21	2.01	1.12	0-3.2	-4.68	.000
La (mmol·L ⁻¹)	12.9	1.88	9.10-16.2	11.3	2.78	5.10-15.7	1.979	.071
Time (s)	672	115	470-900	682	154	450-900	-.204	.840
Μέγιστη ισχύς (Watts)	487	155	154-713	490	115	287-682	-.053	.958

Σημείωση. Όπως στους πίνακες 4.1. και 4.2. $\dot{V}CO_2$: όγκος εκπνεόμενου διοξειδίου του άνθρακα, $\dot{V}E$: πνευμονικός αερισμός, V_t : αναπνεόμενος όγκος αέρα, f: αναπνευστική συχνότητα, $\dot{V}E/\dot{V}O_2$: αναπνευστικό ισοδύναμο οξυγόνου, $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$: αναπνευστικό ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα, PET O_2 : τελοεκπνευστική πίεση του οξυγόνου, PET CO_2 : τελοεκπνευστική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα, Sp O_2 : κορεσμός της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο Δ Sp O_2 : μεταβολή της τιμής του κορεσμού σε σχέση με την τιμή ηρεμίας La: συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα, 3 λεπτά μετά το πέρας της άσκησης. *πραγματοποιήθηκε μη παραμετρική ανάλυση, αντί της τιμής t αναγράφεται η τιμή z και το μέγεθος επίδρασης υπολογίστηκε με το r του Rosenthal



Σχήμα 4.1. Διαφορές μεταξύ των ομάδων στον όγκο αναπνοής (αριστερά) και την αναπνευστική συχνότητα (δεξιά). EIAH: αθλήτριες που εμφάνισαν ασκησιογενή αρτηριακή υποξαιμία. NEIAH: αθλήτριες που δεν εμφάνισαν ασκησιογενή αρτηριακή υποξαιμία.



Σχήμα 4.2. Συσχέτιση μεταξύ α) SpO_2 κατά τη $\dot{V}O_{2max}$ και $\dot{V}O_{2max}$ και β) ΔSpO_2 και $\dot{V}O_{2max}$ για την EIAH ομάδα και τη NEIAH ομάδα (μαύρα και γκρι σύμβολα, αντίστοιχα).

4.2.3. Μεταβολή κορεσμού κατά την πορεία της άσκησης

Στο [Σχήμα 4.4](#) παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής του SpO_2 κατά την αύξηση της σχετικής έντασης της άσκησης, εκφρασμένη ως ποσοστό % της $\dot{V}O_{2max}$, καθώς και οι διαφορές ανάμεσα στα χρονικά σημεία αλλά και τις δύο ομάδες.

Με την παρατήρηση όμως της μεταβολής του SpO_2 για κάθε αθλήτρια ατομικά, εξάγεται το συμπέρασμα πως σχηματική εμφάνιση των M.O. ανά ομάδα αποκρύπτει

μεγάλο μέρος πληροφοριών. Γι' αυτόν τον λόγο, στα [Σχήματα 4.5 A, B, Γ και Δ](#) παρουσιάζονται οι ατομικές μεταβολές των τιμών, έχοντας κατατάξει τις αθλήτριες σε μία από τα τέσσερα διαφορετικά μοτίβα πορείας του SpO_2 .

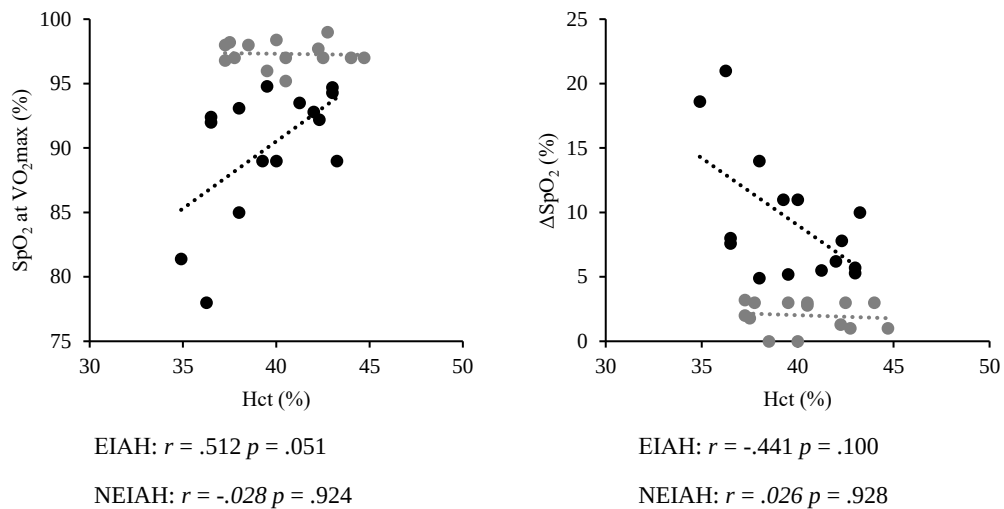
Επιπλέον, ενώ στον [Πίνακα 4.2](#) αναγράφεται η τιμή του SpO_2 που καταγράφηκε κατά την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$ και χρησιμοποιήθηκε για την ένταση της κάθε αθλήτριας στην ομάδα EIAH ή NEIAH, ορισμένες αθλήτριες εμφάνισαν την ελάχιστη τιμή SpO_2 σε ένταση χαμηλότερη του

100% της $\dot{V}O_{2max}$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6.

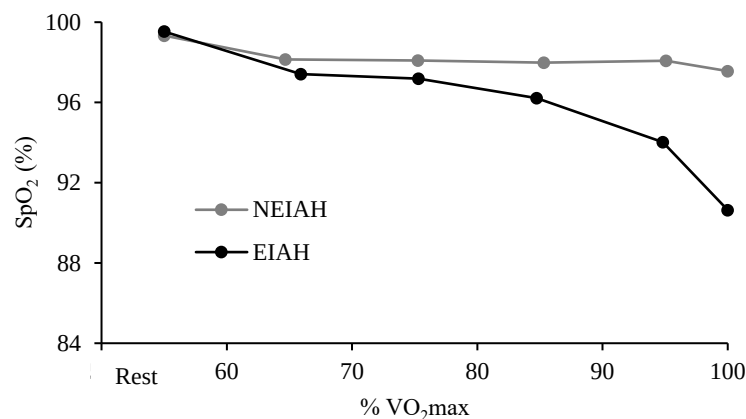
4.2.4. Συσχέτιση χρονικών σημείων

Η συσχέτιση μεταξύ των χρονικών σημείων απότομης μεταβολής της f , της $PETCO_2$ και του

σημείου εμφάνισης ΕΙΑΗ διερευνήθηκε για τις δέκα αθλήτριες που εμφάνισαν το φαινόμενο σε μέγιστη άσκηση. Δεν υπήρξε συσχέτιση μεταξύ f και εμφάνισης ΕΙΑΗ ($r = .267$, $p = .457$), μήτε μεταξύ $PETCO_2$ και εμφάνισης ΕΙΑΗ ($r = .274$, $p = .476$, $n = 9$).



Σχήμα 4.3. Συσχέτιση μεταξύ α) SpO_2 κατά τη $\dot{V}O_{2max}$ και Hct και β) ΔSpO_2 και Hct για την ΕΙΑΗ ομάδα και τη ΝΕΙΑΗ ομάδα (μαύρα και γκρι σύμβολα, αντίστοιχα).

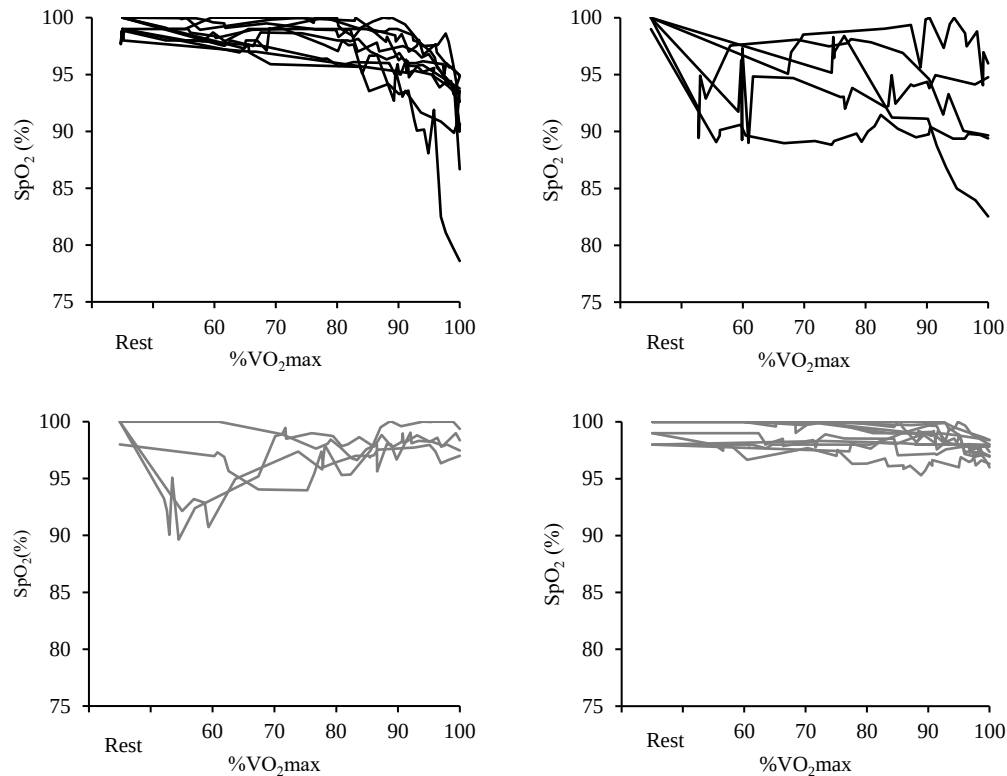


Σχήμα 4.4. Η μεταβολή της τιμής του SpO_2 κατά την αυξανόμενη ένταση άσκησης, εκφρασμένη ως % της $\dot{V}O_{2max}$.

Διαφορές μεταξύ των ομάδων, στο 90-100% και 100%, $p < .001$

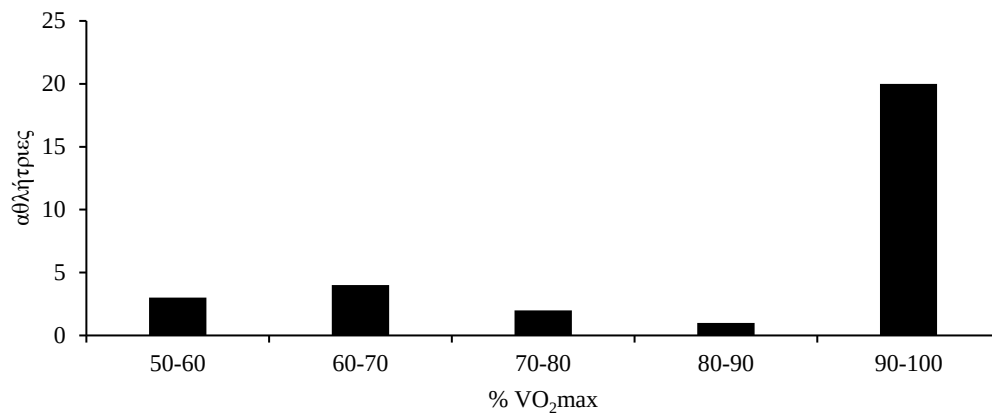
EIAH: διαφορά rest από τις υπόλοιπες εντάσεις, 60-70% από 90-100% και 100%, 70-80% από 90-100% και 100%, το 80-90% από το 90-100% και το 100%, το 90-100% από το 100%, $p < .001$

NEIAH: διαφέρει το rest από το 100%, $p < .001$



Σχήμα 4.5. Μεταβολή του SpO₂ ως προς την αύξηση της έντασης, ατομικές τιμές .

Πάνω αριστερά: όσες εμφάνισαν EIAH προς το τέλος ($\geq 85\%$, $n = 10$). Πάνω δεξιά: όσες εμφάνισαν EIAH σε χαμηλότερες εντάσεις ($n = 5$). Κάτω αριστερά: όσες δεν εμφάνισαν EIAH αλλά παρατηρήθηκε αποκορεσμός σε χαμηλότερες εντάσεις ($n = 4$). Κάτω δεξιά: όσες δεν εμφάνισαν EIAH καθ' όλη τη διάρκεια ($n = 11$)



Σχήμα 4.6. Η ένταση στην οποία καταγράφηκε η ελάχιστη τιμή SpO₂ για κάθε δοκιμαζόμενη.

4.3. Πειραματική διαδικασία II

4.3.1. Χαρακτηριστικά όσων μετρήθηκαν και στο πεδίο

Στον Πίνακα 4.4. αναγράφονται οι τιμές που μετρήθηκαν στο εργαστήριο για τις έντεκα αθλήτριες που μετρήθηκαν αργότερα στο πεδίο. Πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις μεταξύ των μέσων για να ελεγχθεί εάν υπήρχαν προγενέστερες διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων.

Οι συμμετέχουσες οι οποίες ανέπτυξαν ΕΙΑΗ στο εργαστήριο και συμμετείχαν στη μέτρηση στο πεδίο είχαν κατά μέσο όρο υψηλότερη συγκέντρωση La μετά τη μέτρηση στο

εργαστήριο (M.O. = $12.7 \pm .668$ mmol/L) από εκείνες που δεν είχαν αναπτύξει ΕΙΑΗ (M.O. = 9.30 ± 3.17 mmol/L). Αυτή η διαφορά, 3.383, 95% CI [-1.569, 8.335], δεν ήταν σημαντική $t(8) = 2.107$, $p = .121$ και αντιπροσώπευσε επίδραση πολύ μεγάλου μεγέθους, $d = 1.684$.

4.3.2. Σύγκριση δοκιμασιών εργαστηρίου – πεδίου

Πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις μεταξύ ορισμένων παραμέτρων που μετρήθηκαν και στο εργαστήριο και στο πεδίο, ως δείκτες της σχετικής έντασης της κάθε δοκιμασίας (Πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.4. Σύγκριση μετρημένων τιμών στο εργαστήριο μεταξύ των αθλητριών που μετρήθηκαν στο πεδίο.

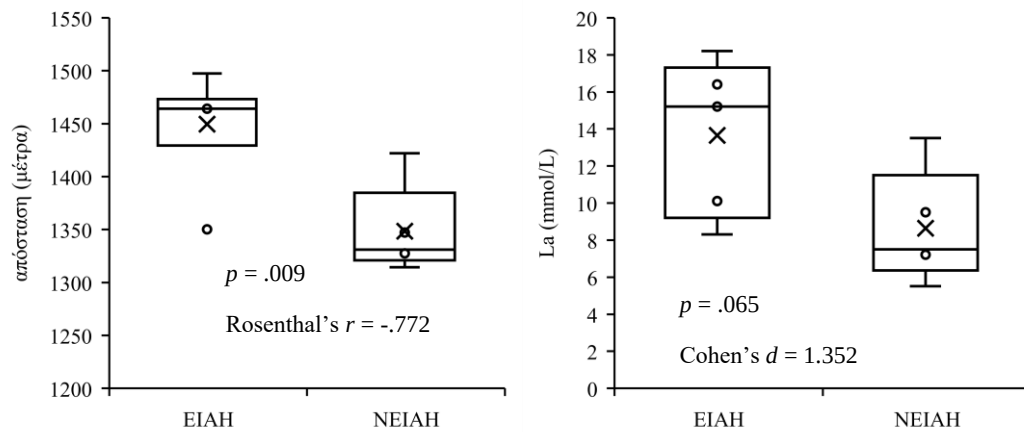
Μεταβλητή	ΕΙΑΗ (n = 6)			ΝΕΙΑΗ (n = 5)			t(9)	p	Μέγεθος επίδρασης ^a
	M.O.	T.A	Εύρος	M.O.	T.A	Εύρος			
VO ₂ max ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	40.5	4.75	34.96-45.99	39	4.79	31.81-43.65	.533	.607	.323
L·min ⁻¹	2.60	.346	2.99-2.08	2.35	.250	2-2.58	1.318	.220	.798
ml·FFMkg ⁻¹ ·min ⁻¹	50.4	6.05	47.7-59.3	48.61	6.85	37.0-53.2	.462	.655	.280
La (mmol·L ⁻¹) ^β	12.7	.668	11.8-13.4	9.30	3.17	5.10-12.4	2.107	.121	1.684
Time (s)*	720	62.9	600-780	621	135	450-755	-1.100	.329	-.348

Σημείωση. . Όπως στους πίνακες 4.1., 4.2. και 4.3. ^a Cohen's d ^β $n = 10$, $df = 8$ *πραγματοποιήθηκε μη παραμετρική ανάλυση, αντί της τιμής t αναγράφεται η τιμή z και το μέγεθος επίδρασης υπολογίστηκε με το r του Rosenthal

Πίνακας 4.5. Σύγκριση τιμών μεταξύ εργαστηρίου και πεδίου.

Μεταβλητή	Εργαστήριο			Πεδίο			t(9)	p	Μέγεθος επίδρασης ^a
	M.O.	T.A.	Εύρος	M.O.	T.A.	Εύρος			
HRpeak (bpm) ^α	193	7.45	176-205	191	6.37	180-202	1.874	.098	.625
SpO ₂ (%) ^β	94.7	3.09	89-99	95.3	2.69	90-99	-.694	.507	-.231
La (mmol·L ⁻¹) *	11.16	2.51	5.10-13.4	11.14	4.37	5.50-18.2	-.153	.878	.048
RPE*	16.1	2.39	12-20	15.3	1.68	13-19	-1.166	.244	.352

Σημείωση. Όπως στους πίνακες 4.1., 4.2. και 4.3. ^α Cohen's d . ^β $n = 10$, $df = 8$. ^γ $n = 9$, $df = 7$. *πραγματοποιήθηκε μη παραμετρική ανάλυση, αντί της τιμής t αναγράφεται η τιμή z και το μέγεθος επίδρασης υπολογίστηκε με το r του Rosenthal



Σχήμα 4.7. Διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων στην απόσταση που διανύθηκε κατά το Hoff test και στη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα, τρία λεπτά μετά τον τερματισμό του.

4.3.3. Σύγκριση ομάδων στο πεδίο

Οι συμμετέχουσες που είχαν αναπτύξει ΕΙΑΗ στο εργαστήριο, διένυσαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη απόσταση στο Hoff test ($p = .009$) και παρουσίασαν υψηλότερη συγκέντρωση γαλακτικού, χωρίς όμως η διαφορά αυτή να είναι στατιστικά σημαντική ($p = .065$) (Σχήμα 4.7).

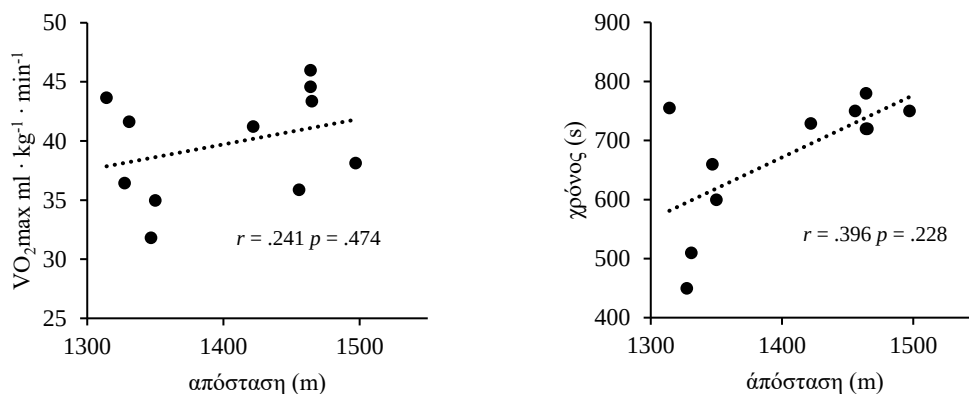
4.3.4. Συσχετίσεις

Δεν υπήρξε συσχέτιση της διανυθείσας απόστασης είτε με τη μετρημένη $\dot{V}O_{2max}$, είτε με τον χρόνο μέχρι την εξάντληση στο πρωτόκολλο

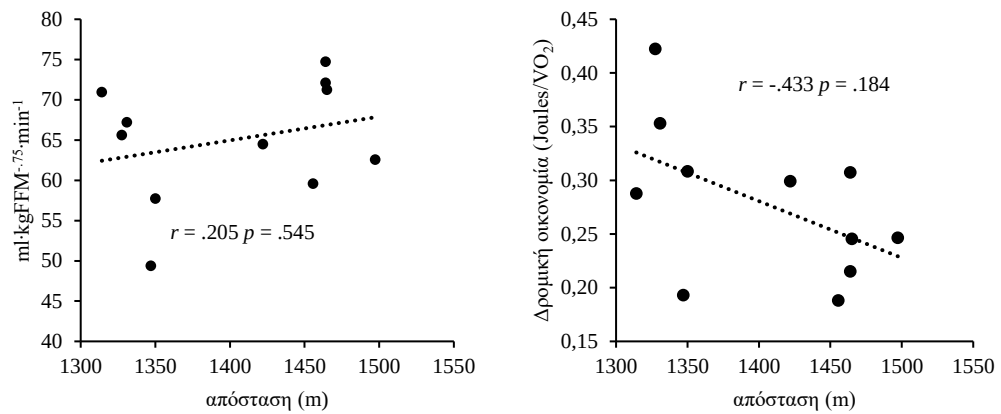
του εργαστηρίου (Σχήμα 4.8), είτε με τη δρομική οικονομία εκφρασμένη με δύο διαφορετικούς τρόπους (Σχήμα 4.9).

4.4. Συμφωνία οξυμέτρων

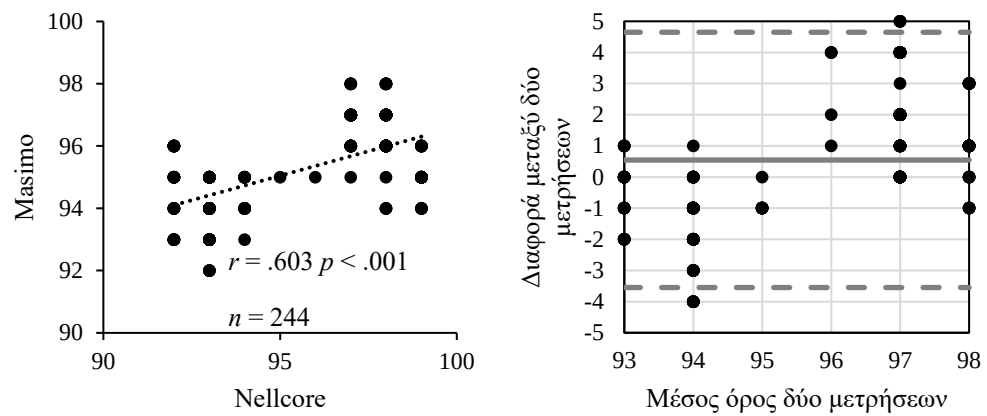
Οι τιμές του κορεσμού που λήφθηκαν από τα δύο διαφορετικά οξυμέτρα παρουσίασαν θετική συσχέτιση ($r = .603$) η οποία ήταν στατιστικά σημαντική ($p < .001$) (Σχήμα 4.10). Επιπλέον, παρουσίασαν συμφωνία στο μεγαλύτερο μέρος των τιμών τους όπως φαίνεται από το διάγραμμα Bland-Altman (Σχήμα 4.11)



Σχήμα 4.8. Συσχέτιση της διανυθείσας απόστασης στο πεδίο με τη μετρημένη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (αριστερά) και τον χρόνο μέχρι στην εξάντληση στο πρωτόκολλο στο εργαστήριο (δεξιά).



Σχήμα 4.9. Συσχέτιση της διανυθείσας απόστασης στο πεδίο με δύο τρόπους έκφρασης της δρομικής οικονομίας.



Σχήμα 4.10. Συσχέτιση (αριστερά) και συμφωνία (δεξιά) μεταξύ των δύο οζυμέτρων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Συζήτηση

5.1. Επιπολασμός

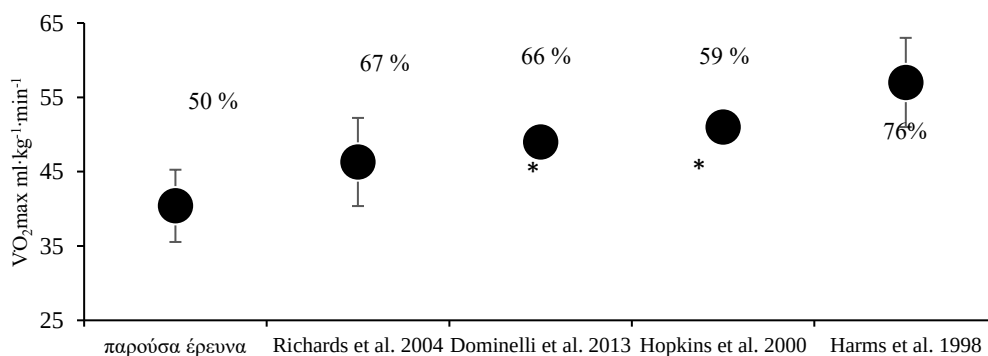
Στην παρούσα έρευνα παρουσίασε EIAH το 51.4% ($\dot{V}O_2\max$ 39.9 ± 5.22 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $28.4 - 51.7$ $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $n = 35$) ή 50.0% των αθλητριών που βρίσκονταν στην θυλακική φάση ($\dot{V}O_2\max$ 40.4 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} \pm 4.86$, $31.8-51.7$ $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $n = 30$). Η τιμή αυτή είναι χαμηλότερη από αντίστοιχες έρευνες σε υγιείς γυναίκες ίδιου εύρους ηλικίας και διαφόρων προπονητικών επιπέδων αλλά με κατά μέσο όρο υψηλότερη $\dot{V}O_2\max$ (Σχήμα 5.1).

Η διαφορά με την υπόλοιπη βιβλιογραφία ίσως οφείλεται στην υψηλότερη $\dot{V}O_2\max$ (άρα και αερόβια ικανότητα) που εμφάνισαν οι συμμετέχουσες στις προαναφερθείσες έρευνες. Στην παρούσα έρευνα δεν υπήρξε συσχέτιση του ΔSpO_2 ή του SpO_2 με την τιμή της $\dot{V}O_2\max$ σε απόλυτες ή σχετικές τιμές το οποίο συμβαδίζει με τα ευρήματα των Richards και συνεργατών (2004).

Αντιθέτως, οι Harms και συνεργάτες (1998) αλλά και οι

Dominelli και συνεργάτες (2013) βρήκαν αρνητική συσχέτιση της $\dot{V}O_2\max$ με την τιμή της PaO_2 κατά τη μέγιστη άσκηση. Και στις δύο έρευνες οι συγγραφείς ανέφεραν πως παρά τη συσχέτιση αυτή υπήρξαν περιπτώσεις συμμετεχουσών που παρουσίασαν EIAH παρά τη σχετικά χαμηλή τιμή της $\dot{V}O_2\max$. Τα στοιχεία αυτά συγκεντρωτικά καταδεικνύουν την περίπτωση η EIAH στις γυναίκες να εμφανίζεται ανεξαρτήτως φυσικής κατάστασης, αλλά να σχετίζεται με πολύ υψηλές τιμές $\dot{V}O_2\max$ όταν συμμετέχουν άτομα τέτοιου επιπέδου.

Στις καλά προπονημένες γυναίκες παρουσιάζονται οι αερόβιες καρδιαγγειακές προσαρμογές (μεγαλύτερη Q) με τις οποίες δεν συμβαδίζει το αναπνευστικό σύστημα το οποίο εμφανίζει από λίγες μέχρι καθόλου προσαρμογές. Έτσι δημιουργείται το κατάλληλο περιβάλλον για ανισοτιμία VA/Q και μείωση του χρόνου διέλευσης του αίματος από τα πνευμονικά τριχοειδή, όπου κατά πάσα πιθανότητα αποτελούν τους βασικούς μηχανισμούς εμφάνισης του φαινομένου στα συγκεκριμένα άτομα. Πρόκειται για τη χαρακτηριστική αδυναμία του αναπνευστικού συστήματος να ανταπεξέλθει στις



Σχήμα 5.1. Ποσοστό εμφάνισης της EIAH σε νεαρές υγιείς γυναίκες. Με * οι έρευνες που δεν έλαβαν υπόψη τον έμμηνο κύκλο.

απαιτήσεις που έχουν εγερθεί από τις χρόνιες προσαρμογές του οργανισμού στην αερόβια άσκηση (Dempsey & Wagner, 1999). Ο μηχανισμός αυτός όμως δεν μπορεί να εξηγήσει εξ ολοκλήρου την εμφάνιση του φαινομένου σε γυναίκες με χαμηλότερη αερόβια ικανότητα, όπως καταγράφηκε στην παρούσα μελέτη.

5.2.Ορισμός ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας

Οι Dempsey και Wagner (1999) όρισαν την EIAH ως πτώση του $\text{SpO}_2 \geq 3\%$ κάτω από την τιμή ηρεμίας κατά τη μέγιστη άσκηση. Καθώς η παλμική οξυμετρία συνήθως οδηγεί σε απόκλιση κατά 1% από την πραγματική τιμή διότι δεν λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή της θερμοκρασίας και του pH του αίματος, στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε ο πιο συντηρητικός ορισμός της EIAH ως πτώση $\text{SpO}_2 > 4\%$, ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί και από άλλες ερευνητικές ομάδες τόσο σε άντρες όσο και σε γυναίκες (Mucci, Prioux, Hayot, Ramonatxo & Préfaut, 1998; Richards et al., 2004) αν και γενικά αποδεκτή είναι και η χρήση του 3% (Walls et al. 2002).

Οι Harms και συνεργάτες (1998) και οι Dominellikαι συνεργάτες (2013), οι οποίοι είχαν άμεση μέτρηση των αερίων του αρτηριακού αίματος χρησιμοποίησαν ως κατώφλι ένδειξης της εμφάνισης EIAH την πτώση της $\text{PaO}_2 \geq 10 \text{ mmHg}$ σε σχέση με την ηρεμία (Dempsey & Wagner, 1999). Οι Dominelli και συνεργάτες (2013) ανέφεραν πως αυτό εν τέλει συνέπιπτε σε όλες τις περιπτώσεις με πτώση $\geq 3\%$ του SaO_2 .

Οι Hopkins και συνεργάτες (2000) ανέφεραν πως δεν μπόρεσαν να έχουν αντιπροσωπευτικές τιμές ηρεμίας καθώς οι συμμετέχουσες παρουσίαζαν

υπεραερισμό πιθανότατα λόγω των διαδικασιών που προηγήθηκαν της μέτρησης. Έτσι, οι συγγραφείς αναφέρουν πως θεώρησαν ως τιμή ηρεμίας περίπου τα 100 mmHg και προχώρησαν σε ορισμό της υποξαιμίας ως $\text{PaO}_2 \leq 89 \text{ mmHg}$.

Οι διαφοροποιήσεις αυτές στον τρόπο μέτρησης αλλά και ορισμού της EIAH δυσχεραίνουν τη σύγκριση των δεδομένων μεταξύ των ερευνών.

5.3. Χαρακτηρισμός ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας

Στην παρούσα μελέτη, ο χαρακτηρισμός του βαθμού της υποξαιμίας έγινε λαμβάνοντας υπόψη Α) την κλασική κατηγοριοποίηση των Dempsey & Wagner (1999) για τον βαθμό της EIAH με βάση την τιμή του SpO_2 για άτομο με τιμή ηρεμίας 98% (Πίνακας 2.1) Β) την ατομική τιμή ηρεμίας SpO_2 της κάθε αθλήτριας, και Γ) τη διόρθωση κατά 1% που προτάθηκε λόγω χρήσης παλμικού οξυμέτρου. Έτσι προέκυψαν οι κατηγορίες σύμφωνα με τις οποίες έξι αθλήτριες (20%) εμφάνισαν ήπια υποξαιμία ($\Delta \text{SpO}_2 = 4-6\%$), έξι (20%) μέτρια ($\Delta \text{SpO}_2 = 7-11\%$), και τρεις (10%) έντονη ($\Delta \text{SpO}_2 > 11\%$).

Στην έρευνα των Richards et al (2004) χρησιμοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση των Dempsey και Wagner (1999) με μεταβολή των τιμών 1% προς τα κάτω, δηλαδή οι απόλυτες τιμές 92–94% για την ήπια EIAH, 87–91% για τη μέτρια EIAH και $< 87\%$ για την έντονη EIAH. Σύμφωνα με αυτές τις κατηγορίες, 19 αθλήτριες (~37%) εμφάνισαν ήπια και 16 (~31%) μέτρια EIAH ενώ καμία δεν εμφάνισε έντονη.

Στο άρθρο τους οι Dempsey και Wagner (1999) είχαν προτείνει έναν επιπλέον τρόπο χαρακτηρισμού της

«ανεπαρκούς» αναπνευστικής απόκρισης που συνδέεται με την εμφάνιση της ΕΙΑΗ και αφορούσε τις τιμές της κυψελιδοαρτηριακής διαφοράς οξυγόνου ($A-aDO_2$).

Οι Dominelli et al (2013) δεν ανέφεραν κατηγοριοποίηση των συμμετεχουσών με βάση τον βαθμό εμφάνισης ΕΙΑΗ. Από την άλλη, οι Harms και συνεργάτες (1998) τις διαχώρισαν σε όσες εμφάνισαν ήπια ΕΙΑΗ την οποία όρισαν ως πτώση 10-20 mmHg στη PaO_2 και σε όσες εμφάνισαν σοβαρή ΕΙΑΗ, την οποία όρισαν ως πτώση > 20 mmHg, τρόπος χαρακτηρισμού που έχει χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες έρευνες σε άντρες (Dempsey et al., 1984). Επιπλέον, οι Hopkins et al (2000) όρισαν τον βαθμό ΕΙΑΗ ως απόλυτες τιμές της PaO_2 , δηλαδή την ήπια $PaO_2 = 81-89$ mmHg και την έντονη ΕΙΑΗ ως $PaO_2 \leq 80$ mmHg. Λαμβάνοντας υπόψη πως θεώρησαν τιμή ηρεμίας τα 100 mmHg για όλες τις συμμετέχουσες το Δ που προκύπτει σε κάθε κατηγορία είναι ίδιο με αυτό στις προαναφερθείσες έρευνες.

5.4. Αναπνευστικές αποκρίσεις κατά τη μέγιστη ένταση

Τα δεδομένα των συμμετεχουσών διαχωρίστηκαν σε δύο ομάδες ανάλογα με το αν εμφάνισαν ή όχι ΕΙΑΗ, ώστε να γίνει η ανάλυση των αποτελεσμάτων και συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων. Δεν βρέθηκε διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες στην τιμή της $\dot{V}O_{2max}$ όταν εκφραζόταν σε απόλυτες ($L \cdot min^{-1}$) ή και σχετικές τιμές ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, $ml \cdot kgFFM^{-1} \cdot min^{-1}$). Αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Richards και συνεργατών (2004) και σε αντίθεση με εκείνα των Harms και συνεργατών (1998) και Dominelli και συνεργατών (2013) όπου οι αθλήτριες

που εμφάνισαν ΕΙΑΗ είχαν υψηλότερη $\dot{V}O_{2max}$.

Ακόμη, η απουσία διαφοράς στη $[La]$ ($p = .071$) συμπίπτει με τα αποτελέσματα των Harms και συνεργατών (1998), αν και παρατηρήθηκε μεγάλο μέγεθος επίδρασης ($d = .686$).

Στην παρούσα εργασία δεν βρέθηκε διαφορά τόσο στον $\dot{V}CO_2$ όσο και στον $\dot{V}E$. Για τον V_t και την f αν και δεν σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p = .301$ και $p = .103$ αντίστοιχα), υπήρξε μέτριο και μεγάλο μέγεθος επίδρασης ($d = -.385$ και $d = .615$ αντίστοιχα). Αυτό καταδεικνύει πως ενώ ο $\dot{V}E$ δεν είχε διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες, διέφερε ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχανόταν, δηλαδή το μοτίβο της αναπνοής.

Οι Harms και συνεργάτες (1998) και Richards και συνεργάτες (2004) επίσης δεν βρήκαν διαφορές στα $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, V_t , f . Απεναντίας, οι Dominelli και συνεργάτες (2013) βρήκαν διαφορά στην τιμή του $\dot{V}CO_2$ μεταξύ των ομάδων, με όσες εμφάνισαν ΕΙΑΗ να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικά υψηλότερη τιμή. Παράλληλα, βρήκαν διαφορά μεταξύ των ομάδων στον $\dot{V}E$ αλλά όχι στον V_t και την f . Δυστυχώς, καμία από τις παραπάνω έρευνες δεν ανέφερε τα μεγέθη επίδρασης για του ελέγχους σύγκρισης μεταξύ των ομάδων. Έτσι παραλείπονται σημαντικές πληροφορίες καθώς ενώ η τιμή p μπορεί να καταδείξει εάν μια διαφορά ή επίδραση υπάρχει πραγματικά (δεδομένου του επαρκούς μεγέθους του δείγματος), δεν μπορεί να καταδείξει το μέγεθος της αυτής της επίδρασης ή της διαφοράς (Sullivan & Feinn, 2012).

Οι αθλήτριες που εμφάνισαν ΕΙΑΗ είχαν αυξημένη αναπνευστική συχνότητα και παράλληλα μικρότερος όγκος αναπνεόμενου αέρα. Το εύρημα αυτό μπορεί να αποδοθεί σε πιθανή εμφάνιση EFL, ο οποίος ορισμένες φορές εμφανίζεται παράλληλα με την ΕΙΑΗ και αποτελεί έναν από τους πιθανούς μηχανισμούς για την εμφάνισή της. Κάτι τέτοιο όμως αποτελεί παρά μόνο μια υπόθεση, καθώς δεν πραγματοποιήθηκε μέτρηση για την εύρεση του EFL.

Συνήθως ο Vt αυξάνεται μέχρι το 40-60% της μέγιστης προσπάθειας και ύστερα σταθεροποιείται, αποτελώντας περίπου το 50% της ζωτικής χωρητικότητας του ατόμου. Όταν ένα άτομο παρουσιάζει EFL κατά την άσκηση, ο αερισμός που απαιτείται για να ανταπεξέλθει στις μεταβολικές απαιτήσεις μπορεί να αυξηθεί αλλάζοντας το αναπνευστικό πρότυπο, γεγονός που πιθανά να αυξήσει το ενεργειακό κόστος της αναπνοής και την αίσθηση δύσπνοιας (Dominelli & Sheel, 2024). Οι Molgat-Seon και συνεργάτες (2022) έδειξαν πως γυναίκες που εμφάνισαν EFL κατά τη μέγιστη άσκηση, είχαν υψηλότερη αναπνευστική συχνότητα, χρησιμοποιούσαν μεγαλύτερο ποσοστό της βίαια εκπνεόμενης χωρητικότητας, είχαν χαμηλή μέγιστη εκπνευστική ροή (FEV-1) και χαμηλότερο εφεδρικό εκπνεόμενο όγκο κατά τη μέγιστη άσκηση.

Αρκετές έρευνες δίνουν έμφαση στις δομικές διαφορές μεταξύ φύλων, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε μηχανικούς περιορισμούς και διαφορετική επίδραση στην ανάπτυξη ΕΙΑΗ. Φαίνεται πως οι αερόβια προπονημένες γυναίκες λόγω των διαφορών αυτών, εμφανίζουν πιο συχνά EFL από τους αντίστοιχα

αερόβια προπονημένους άντρες (Guenette et al., 2007).

Οι διαφορές αυτές μεταξύ ανδρών και γυναικών έγκειται στο μέγεθος των αεραγωγών, όπου οι γυναίκες έχουν περίπου 30% μικρότερους αεραγωγούς από τους άνδρες. Ακόμη και αν υπάρχει αντιστοίχιση ως προς το ύψος και την ηλικία, η διαφορά παραμένει περίπου στο 20%. Το μέγεθος των αεραγωγών καθορίζει και την αντίσταση της ροής αέρα (Dominelli, Ripoll, Cross, Baker, Wiggins, Welch & Joyner, 2018). Ακόμη, οι άνδρες φαίνεται να εμφανίζουν μεγαλύτερες αλλαγές στο σχήμα και το μέγεθος των πνευμόνων κατά την αναπνοή, γεγονός που επίσης μπορεί να συνδέεται με τα διαφορετικά αναπνευστικά πρότυπα (Torres-Tamayo et al., 2018).

Οι διαφορές αυτές μπορούν να εξηγήσουν τη διαφορετική έκφραση του EFL και της ΕΙΑΗ μεταξύ των φύλων, μπορούν όμως να δώσουν και το έναυσμα για τη μελέτη δομικών και άρα λειτουργικών διαφορών μεταξύ των γυναικών που εμφανίζουν και δεν εμφανίζουν αυτά τα φαινόμενα.

5.5. Σύνδεση Hct, SpO₂ και V̇O₂max

Στην παρούσα έρευνα, ενδιαφέρον παρουσιάζει η μετρίου μεγέθους συσχέτιση της τιμής του SpO₂ κατά τη V̇O₂max και της ΔSpO₂ με την τιμή του αιματοκρίτη, η οποία όμως ήταν μη στατιστικά σημαντική. Όπως γνωρίζουμε, ο αιματοκρίτης έχει άμεση σχέση με την Hb, η οποία παίζει ουσιαστικό ρόλο στην CaO₂ σύμφωνα με την εξίσωση:

$$CaO_2 = ([Hb] * 1.34 * SaO_2) + PaO_2 * 0.003$$

(Dominelli & Sheel, 2024)

Παρά αυτή τη σχέση, σε εφαρμοσμένο επίπεδο η συνολική μάζα αιμοσφαιρίνης (tHb mass) που έχει κάποιος εμφανίζει καλύτερη συσχέτιση με τη $\dot{V}O_{2max}$ απ' ό,τι η τιμή της [Hb] (Otto, Montgomery & Richards, 2013), συσχέτιση που έχει βρεθεί και στα δύο φύλα (Goodrich, Ryan & Byrnes, 2018), σε βαθμό που θεωρείται πως σε αθλητές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας (Gore, Hahn, Burge & Telford, 1997). Μια σημαντική παρατήρηση για τη σχέση μεταξύ αυτών των παραμέτρων είναι πως η επίδραση της μετατόπιση της καμπύλης του SpO_2 δεν εξαρτάται από τη [Hb] ή την tHb mass (Mairbäurl, 2013).

Οι Goodrich, Ryan και Byrnes (2018) έδειξαν πως σε αερόβια προπονημένες γυναίκες η τιμή της SaO_2 κατά τη $\dot{V}O_{2max}$ είχε αρνητική συσχέτιση με την τιμή της $\dot{V}O_{2max}$. Δεδομένης και της συσχέτισης μεταξύ $\dot{V}O_{2max}$ και tHb mass, υπήρχε τάση για αρνητική συσχέτιση μεταξύ της τελευταίας και του SaO_2 κατά τη $\dot{V}O_{2max}$. Αν και είναι ένα εύρημα που γεννά ερωτήματα, είναι σημαντικό να θυμάται κανείς πως η συσχέτιση δεν μπορεί να μεταφραστεί ως μια σχέση αιτίου-αιτιατού και τανάπαλιν.

Θα παρουσίαζε μεγάλο ενδιαφέρον η μελέτη της σχέσης μεταξύ Hct, [Hb], tHb mass και SpO_2 κατά την άσκηση, κυρίως σε γυναίκες αθλήτριες, οι οποίες αφενός έχουν τις αερόβιες προσαρμογές και αφετέρου ως πληθυσμός συχνά εμφανίζουν κάποια μορφή αναιμίας.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αλλά και σύμφωνα με την υπόλοιπη σχετική βιβλιογραφία, δεν φαίνεται να υπάρχουν ξεκάθαρες διαφορές

ανάμεσα σε όσες νέες υγιείς γυναίκες εμφανίζουν ΕΙΑΗ και σε όσες δεν εμφανίζουν. Αυτό ισχύει τουλάχιστον για τη μετρούμενη αναπνευστική απόκριση κατά την άσκηση και είναι αναμενόμενο λαμβάνοντας υπόψη πως η ρύθμιση της αναπνευστικής απόκρισης τόσο στην ηρεμία όσο και στην άσκηση έγκειται στο συνδυασμό πολλαπλών και επικαλυπτόμενων μηχανισμών.

5.6. Ασκησιογενής αρτηριακή υποξαιμία σε υπομέγιστη άσκηση

Από τις αθλήτριες που εμφάνισαν ΕΙΑΗ, στις πέντε άρχισε να εμφανίζεται από υπομέγιστες εντάσεις ($< 80\% \dot{V}O_{2max}$) και διατηρήθηκε μέχρι και τη μέγιστη ένταση. Αυτό έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες έρευνες, όπου ο αποκορεσμός σε ορισμένες συμμετέχουσες παρατηρούνταν από τα πρώτα κι όλα λεπτά της άσκησης (Dominelli et al., 2013; Harms et al., 1998; Richards et al., 2004). Είναι μια παρατήρηση που έχει γίνει και σε άντρες (Dempsey et al., 1984) και αποτελεί την ένδειξη πως για την εμφάνιση της ΕΙΑΗ συμβάλλουν περισσότεροι μηχανισμοί, καθώς στις εντάσεις αυτές δεν έχει αυξηθεί τόσο ο χρόνος διέλευσης των ερυθροκυττάρων από τα πνευμονικά τριχοειδή ώστε να μην επιτρέπει την επιτυχή ανταλλαγή αερίων (Dempsey & Wagner, 1999).

Η επισήμανση αυτή διαφαίνεται και στο γεγονός πως αποκορεσμός παρατηρήθηκε σε υπομέγιστες εντάσεις σε ορισμένες από τις αθλήτριες οι οποίες στη μέγιστη άσκηση δεν εμφάνισαν ΕΙΑΗ. Επίσης αυτό έχει παρατηρηθεί προηγουμένως, τόσο σε γυναίκες (Dominelli et al., 2013; Richards et al., 2004) όσο και σε άνδρες (Dempsey et

al., 1984). Η μεταβολή του SpO_2 σε υπομέγιστες εντάσεις μπορεί να συνδέεται με μειωμένη αναπνευστική απόκριση και μερική αποτυχία αντιστάθμισης της μεταβολικής οξέωσης που επέρχεται. Άλλωστε, έχει φανεί συσχέτιση του δεύτερου αναπνευστικού κατωφλίου με μείωση του SpO_2 την ίδια χρονική στιγμή σε γυναίκες (Martín-Escudero, Cabanas, Fuentes-Ferrer & Galindo-Canales, 2021).

Πιθανότατα στις αθλήτριες που σε μέγιστες εντάσεις δεν εμφανίστηκε EIAH, η αναπνευστική απόκριση επιστρατεύτηκε εν τέλει ρυθμίζοντας και την οξυγόνωση του αίματος. Παρ' όλα αυτά, όπως σημειώνει ο Dempsey, παραμένει άγνωστο γιατί ορισμένα άτομα παρουσιάζουν EIAH ήδη από υπομέγιστες εντάσεις και πού οφείλονται οι διαφορές αυτές στην ανάπτυξη του φαινομένου (Amann, 2012). Η επίδραση των πιθανών μηχανισμών σε διαφορετικό βαθμό ανάλογα την ένταση της άσκησης, μπορεί να αντικατοπτρίζεται σε αυτές τις παρατηρούμενες μεταβολές του κορεσμού.

5.7. Απόδοση στο πεδίο

Το γεγονός πως δεν βρέθηκαν διαφορές σε δείκτες της σχετικής έντασης των δύο πρωτοκόλλων (HR_{max} , $[La]$, RPE) αποτελεί ένδειξη πως πράγματι το τεστ στο πεδίο ανταποκρινόταν στην ένταση της μέτρησης στο εργαστήριο, λαμβάνοντας πάντα υπόψη την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Αν και δεν υπήρξε συσχέτιση της απόστασης που διανύθηκε στο Hoff test με την τιμή της $\dot{V}O_{2max}$ που μετρήθηκε στο εργαστήριο, το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε αντίθεση με την έρευνα που πραγματοποίησαν οι Chamari και

συνεργάτες (2005), σε εφηβικής ηλικίας (14 ± 0.4 ετών) αγόρια ($r = .68$, $p < .01$). Ακόμη, άλλη μια έρευνα βρήκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση της διανυθείσας απόστασης με την τιμή της προβλεπόμενης $\dot{V}O_{2max}$ με δύο διαφορετικές εξισώσεις ($r = .48$ και $r = .43$, $p < 0.05$) σε άνδρες ποδοσφαιριστές ηλικίας 22.8 ± 2.5 ετών (Nassis et al., 2010). Τέλος, μία έρευνα ανέφερε τη σύγκριση της μετρούμενης $\dot{V}O_{2max}$ στο εργαστήριο με την απόδοση σε οκτάλεπτη εκδοχή του Hoff test, βρίσκοντας σημαντική σχέση, παρουσιάζοντας όμως σημαντικές μεθοδολογικές παραλείψεις (Nazarali, Rajabi & Aliabadi, 2013).

Ακόμη, στην παρούσα μελέτη δεν υπήρξε συσχέτιση της απόστασης που διανύθηκε στο Hoff test με τον χρόνο που χρειάστηκαν οι αθλήτριες για να φτάσουν στην εξάντληση κατά τη δοκιμασία στο εργαστήριο, σε αντίθεση επίσης με τους Chamari και συνεργάτες (2005) ($r = .71$, $p < .01$). Εκτός της διαφοράς μεταξύ των συμμετεχόντων, σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό πρωτόκολλο αξιολόγησης της $\dot{V}O_{2max}$ στο δαπεδοεργόμετρο, με τη χρήση μεγάλης κλίσης (5.5%) από την αρχή και σταδιακή αύξηση της ταχύτητας ανά στάδιο.

Επιπλέον, δεν υπήρξε συσχέτιση της απόστασης που διανύθηκε στο Hoff test με τη δρομική οικονομία εκφρασμένη ως $ml \cdot kgFFM^{-.75} \cdot min^{-1}$, σε αντίθεση με τους Chamari και συνεργάτες (2005, $r = .62$, $p < .02$). Ο τρόπος αυτός έκφρασης της δρομικής οικονομίας είναι ένας από τους πιο χρησιμοποιημένους (Barnes & Kilding, 2015), αλλά δεν λαμβάνει υπόψη τις διαφορές στην παραγωγή έργου, οπότε στην παρούσα μελέτη

χρησιμοποιήθηκε και δείκτης δρομικής οικονομίας το έργο/την πρόσληψη οξυγόνου για τα τελευταία 30 δευτερόλεπτα, όπου και πάλι δεν εμφάνισε κάποια συσχέτιση με την απόδοση στο Hoff test.

Όλες αυτές οι διαφορές των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας σχετικά με το Hoff test σε σχέση με την υπάρχουσα βιβλιογραφία είναι πιθανό να εδράζονται στη διαφορά του δείγματος. Η χρησιμοποίηση του Hoff test για την αξιολόγηση και σύγκριση ποδοσφαιριστών ίσως να μην είναι το ίδιο κατάλληλη, επειδή το συγκεκριμένο τεστ απαιτεί ένα σχετικό επίπεδο τεχνικού χειρισμού της μπάλας. Σημαντικές διαφορές στο επίπεδο της τεχνικής εκτέλεσης των κινήσεων θα μπορούσαν να συμβάλουν σε αυτά τα αποτελέσματα. Δυστυχώς, το τεχνικό επίπεδο και η προπονητική εμπειρία των αθλητριών δεν μετρήθηκαν στην παρούσα έρευνα. Στο γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί και η διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων (ΕΙΑΗ και ΝΕΙΑΗ) στην απόδοση στο τεστ πεδίου. Ακόμη, θα μπορούσε να είχε συμβάλει η διαφορετική διαχείριση του ρυθμού εκτέλεσης του τεστ, η οποία πιθανά να συνδεόταν με την προπονητική εμπειρία και την εξοικείωση με αντίστοιχες δοκιμασίες. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες δεν φαίνεται να εξηγείται από την τιμή της $\dot{V}O_{2max}$ των αθλητριών, ούτε φαίνεται να συνδέεται με την παρουσία και τους μηχανισμούς πρόκλησης της ΕΙΑΗ.

Στη χώρα μας, το ποδόσφαιρο γυναικών βρίσκεται ακόμη σε άγουρη κατάσταση και η πλειοψηφία των αθλητριών δεν έχουν περάσει από ακαδημίες σε μικρή ηλικία ώστε να τελειοποιήσουν την τεχνική τους. Από

έρευνα στην οποία συμμετείχαν 114 εν ενεργεία Ελληνίδες ποδοσφαιρίστριες και προπονήτριες ποδοσφαίρου, εξάχθηκαν τα συμπεράσματα πως η περιορισμένη παρουσία των γυναικών στον χώρο του ποδοσφαίρου οφείλεται εν μέρει στην έλλειψη χρηματοδότησης, στις πλημμελείς υποδομές αλλά και στη σεξιστική στάση της κοινωνίας έναντι των γυναικών που ασχολούνται με το ποδόσφαιρο, καθώς «οι ίδιοι οι γονείς αποτρέπουν τα κορίτσια να ασχοληθούν με το ποδόσφαιρο θεωρώντας το πως συνιστά κατ'εξοχήν ανδρικό άθλημα» που έχουν ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν Ακαδημίες ποδοσφαίρου για κορίτσια (Φαλίδα, 2016).

Η απόδοση στο τεστ θα μπορούσε βέβαια να σχετίζεται με το επίπεδο των συγκεκριμένων συμμετεχουσών στην παρούσα μελέτη, καθώς εάν συμμετείχαν για παράδειγμα αθλήτριες της Εθνικής Ομάδας, ίσως τα αποτελέσματα να ήταν διαφορετικά. Στην προαναφερθείσα έρευνα βέβαια, μόνο το 13% όσων ερωτήθηκαν, θεώρησε πως «οι Ελληνίδες ποδοσφαιρίστριες δεν υστερούν καθόλου συγκριτικά με τις γυναίκες που ασχολούνται με το χώρο του ποδοσφαίρου εκτός Ελλάδος» (Φαλίδα, 2016).

Βάσει των ανωτέρω, υπάρχει ανάγκη για περισσότερες έρευνες που θα μελετήσουν εάν τα τεστ πεδίου όπως είναι το Hoff test είναι κατάλληλα διαμορφωμένα για τον συγκεκριμένο πληθυσμό και εάν η απόδοση σε αυτά σχετίζεται με την τεχνική κατάρτιση ή/και τα χρόνια εμπειρίας στο άθλημα.

5.8. Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα έδειξε πως σε αθλήτριες ποδοσφαίρου ο επιπολασμός της ΕΙΑΗ ήταν 50%, ποσοστό μικρότερο συγκριτικά με άλλες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε γυναικείο πληθυσμό. Η διαφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στη χαμηλότερη αερόβια ικανότητα των συμμετεχουσών.

Η μόνη παρατηρήσιμη διαφορά μεταξύ όσων εμφάνισαν και όσων δεν εμφάνισαν ΕΙΑΗ ήταν πως στη μέγιστη ένταση, ο $\dot{V}E$ αν και ίσος, επιτυγχανόταν με διαφορετικό αναπνευστικό πρότυπο. Αυτό θα μπορούσε να αποτελεί ένδειξη EFL σε ορισμένες από τις συμμετέχουσες που ανέπτυξαν ΕΙΑΗ.

Επιπλέον, η εμφάνιση της ΕΙΑΗ στο εργαστήριο δεν εμφάνισε κάποια σχέση με την απόδοση σε ποδοσφαιρικό πρωτόκολλο. Απεναντίας, φάνηκε πως το πρωτόκολλο αυτό ίσως δεν αντιπροσωπεύει ένα εργαλείο αξιολόγησης για το συγκεκριμένο δείγμα, πιθανότατα λόγω έλλειψης τεχνικής κατάρτισης του αθλήματος.

Τέλος, απαιτούνται περισσότερες έρευνες για την εμφάνιση της ΕΙΑΗ σε γυναίκες μεγαλύτερου εύρους φυσικής κατάστασης αλλά και περισσότερες έρευνες για την θέσπιση κατάλληλων ποδοσφαιρικών πρωτοκόλλων στον συγκεκριμένο πληθυσμό, ανάλογα με το προπονητικό επίπεδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amann M. (2012). Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans. *Experimental Physiology*, 97(3), 311–318. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058800>
- Amann, M., & Calbet, J. A. (2008). Convective oxygen transport and fatigue. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 104(3), 861–870. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.010008.2007>
- Amann, M., Romer, L. M., Pegelow, D. F., Jacques, A. J., Hess, C. J., & Dempsey, J. A. (2006). Effects of arterial oxygen content on peripheral locomotor muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 101(1), 119–127. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01596.2005>
- American College of Sports Medicine. (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (10th edition). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Andersson, H. Å., Randers, M. B., Heiner-Møller, A., Krstrup, P., & Mohr, M. (2010). Elite female soccer players perform more high-intensity running when playing in international games compared with domestic league games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 912–919. <https://doi:10.1519/jsc.0b013e3181d09f21>
- Archiza, B., Leahy, M. G., Kipp, S., & Sheel, A. W. (2021). An integrative approach to the pulmonary physiology of exercise: when does biological sex matter?. *European Journal of Applied Physiology*, 121(9), 2377–2391. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04690-9>
- Bannister, R. G., & Cunningham, D. J. (1954). The effects on the respiration and performance during exercise of adding oxygen to the inspired air. *The Journal of Physiology*, 125(1), 118–137. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1954.sp005145>
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y>
- Bassett, A. J., Ahlmen, A., Rosendorf, J. M., Romeo, A. A., Erickson, B. J., & Bishop, M. E. (2020). The biology of sex and sport. *JBJS reviews*, 8(3), e0140. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.19.00140>
- Beidleman, B. A., Rock, P. B., Muza, S. R., Fulco, C. S., Forte, V. A., Jr, & Cymerman, A. (1999). Exercise VE and physical performance at altitude are not affected by menstrual cycle phase. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 86(5), 1519–1526. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1519>
- Bouwsema, M. M., Tedjasaputra, V., & Stickland, M. K. (2017). Are there sex differences in the capillary blood volume and diffusing capacity response to exercise?. *Journal of Applied*

- Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 122(3), 460–469.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.1.00389.2016>
- Casazza, G. A., Suh, S. H., Miller, B. F., Navazio, F. M., & Brooks, G. A. (2002). Effects of oral contraceptives on peak exercise capacity. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 93(5), 1698–1702.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.1.00622.2002>
- Chamari, K., Hachana, Y., Kaouech, F., Jeddi, R., Moussa-Chamari, I., & Wisløff, U. (2005). Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 39(1), 24–28.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2003.009985>
- Constantini, K., Tanner, D. A., Gavin, T. P., Harms, C. A., Stager, J. M., & Chapman, R. F. (2017). Prevalence of exercise-induced arterial hypoxemia in distance runners at sea level. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(5), 948–954.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001193>
- Crossley, K. M., Patterson, B. E., Culvenor, A. G., Bruder, A. M., Mosler, A. B., & Mentiplay, B. F. (2020). Making football safer for women: a systematic review and meta-analysis of injury prevention programmes in 11 773 female football (soccer) players. *British Journal of Sports Medicine*, 54(18), 1089–1098.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101587>
- Datson, N., Hulton, A., Andersson, H., Lewis, T., Weston, M., Drust, B., & Gregson, W. (2014). Applied physiology of female soccer: an update. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 44(9), 1225–1240.
<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0199-1>
- De Souza, M. J., Maguire, M. S., Rubin, K. R., & Maresh, C. M. (1990). Effects of menstrual phase and amenorrhea on exercise performance in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(5), 575–580.
<https://doi.org/10.1249/00005768-199010000-00006>
- Dempsey, J. A., Gledhill, N., Reddan, W. G., Forster, H. V., Hanson, P. G., & Claremont, A. D. (1977). Pulmonary adaptation to exercise: effects of exercise type and duration, chronic hypoxia and physical training. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301, 243–261.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1977.tb38203.x>
- Dempsey, J. A., Hanson, P. G., & Henderson, K. S. (1984). Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *The Journal of Physiology*, 355, 161–175.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1984.sp015412>
- Dempsey, J. A., & Wagner, P. D. (1999). Exercise-induced arterial hypoxemia. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 87(6), 1997–2006.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.6.1997>

- Dombovy, M. L., Bonekat, H. W., Williams, T. J., & Staats, B. A. (1987). Exercise performance and ventilatory response in the menstrual cycle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(2), 111–117. PMID: 3574043
- Dominelli, P. B., Foster, G. E., Dominelli, G. S., Querido, J. S., Henderson, W. R., Koehle, M. S., & Sheel, A. W. (2012). Repeated exercise-induced arterial hypoxemia in a healthy untrained woman. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 183(3), 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2012.06.021>
- Dominelli, P. B., Foster, G. E., Dominelli, G. S., Henderson, W. R., Koehle, M. S., McKenzie, D. C., & Sheel, A. W. (2013). Exercise-induced arterial hypoxaemia and the mechanics of breathing in healthy young women. *The Journal of Physiology*, 591(12), 3017–3034. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.252767>
- Dominelli, P. B., Molgat-Seon, Y., & Sheel, A. W. (2019). Sex differences in the pulmonary system influence the integrative response to exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 47(3), 142–150. <https://doi.org/10.1249/JES.000000000000188>
- Dominelli, P. B., Ripoll, J. G., Cross, T. J., Baker, S. E., Wiggins, C. C., Welch, B. T., & Joyner, M. J. (2018). Sex differences in large conducting airway anatomy. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 125(3), 960–965. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00440.2018>
- Dominelli, P. B., & Sheel, A. W. (2019). Exercise-induced arterial hypoxemia; some answers, more questions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(6), 571–579. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0468>
- Dominelli, P. B., & Sheel, A. W. (2024). The pulmonary physiology of exercise. *Advances in Physiology Education*, 10.1152/advan.00067.2023. Advance online publication. <https://doi.org/10.1152/advan.00067.2023>
- Field, Andy. 2018. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. 5th ed. London, England: SAGE Publications.
- Gavin, T. P., & Stager, J. M. (1999). The effect of exercise modality on exercise-induced hypoxemia. *Respiration Physiology*, 115(3), 317–323. [https://doi.org/10.1016/s0034-5687\(99\)00012-2](https://doi.org/10.1016/s0034-5687(99)00012-2)
- Goodrich, J. A., Ryan, B. J., & Byrnes, W. C. (2018). The influence of oxygen saturation on the relationship between hemoglobin mass and $\dot{V}O_2\text{max}$. *Sports Medicine International Open*, 2(4), E98–E104. <https://doi.org/10.1055/a-0655-7207>
- Gore, C. J., Hahn, A. G., Burge, C. M., & Telford, R. D. (1997). $\dot{V}O_2\text{max}$ and haemoglobin mass of trained athletes during high intensity training. *International Journal of Sports Medicine*, 18(6), 477–482.

- <https://doi.org/10.1055/s-2007-972667>
- Guenette, J. A., & Sheel, A. W. (2007). Exercise-induced arterial hypoxaemia in active young women. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(6), 1263–1273.
<https://doi.org/10.1139/H07-122>
- Guenette, J. A., Witt, J. D., McKenzie, D. C., Road, J. D., & Sheel, A. W. (2007). Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women. *The Journal of Physiology*, 581(Pt 3), 1309–1322.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.126466>
- Habler, O. P., & Messmer, K. F. (1997). The physiology of oxygen transport. *Transfusion Science*, 18(3), 425–435.
[https://doi.org/10.1016/S0955-3886\(97\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0955-3886(97)00041-6)
- Harms C. A. (2006). Does gender affect pulmonary function and exercise capacity?. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 151(2-3), 124–131.
<https://doi.org/10.1016/j.resp.2005.10.010>
- Harms, C. A., McClaran, S. R., Nickele, G. A., Pegelow, D. F., Nelson, W. B., & Dempsey, J. A. (1998). Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy young women. *The Journal of Physiology*, 507 (Pt 2), 619–628.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.619bt.x>
- Harms, C. A., McClaran, S. R., Nickele, G. A., Pegelow, D. F., Nelson, W. B., & Dempsey, J. A. (2000). Effect of exercise-induced arterial O₂ desaturation on $\dot{V}O_{2\max}$ in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6), 1101–1108.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200006000-00010>
- Harms, C. A., & Rosenkranz, S. (2008). Sex differences in pulmonary function during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(4), 664–668.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181621325>
- Harms, C. A., & Stager, J. M. (1995). Low chemoresponsiveness and inadequate hyperventilation contribute to exercise-induced hypoxemia. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 79(2), 575–580.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1995.79.2.575>
- Harrop G. A. (1919). The oxygen and carbon dioxide content of arterial and of venous blood in normal individuals and in patients with anemia and heart disease. *The Journal of Experimental Medicine*, 30(3), 241–257.
<https://doi.org/10.1084/jem.30.3.241>
- Hoff, J., Wisløff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J., & Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal of Sports Medicine*, 36(3), 218–221.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.36.3.218>
- Holmgren, A., & Linderholm, H. (1958). Oxygen and carbon dioxide tensions of arterial blood during heavy and exhaustive exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 44(3-4), 203–215.

- <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1958.tb01622.x>
- Hopkins, S. R., Barker, R. C., Brutsaert, T. D., Gavin, T. P., Entin, P., Olfert, I. M., Veisel, S., & Wagner, P. D. (2000). Pulmonary gas exchange during exercise in women: effects of exercise type and work increment. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 89(2), 721–730. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.2.721>
- Hopkins, S. R., & Harms, C. A. (2004). Gender and pulmonary gas exchange during exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 32(2), 50–56. <https://doi.org/10.1097/00003677-200404000-00003>
- Hopkins, S. R., & McKenzie, D. C. (1989). Hypoxic ventilatory response and arterial desaturation during heavy work. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 67(3), 1119–1124. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.67.3.1119>
- Jackson, A. S., Pollock, M. L., & Ward, A. (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(3), 175–181. PMID: 7402053
- Johnson, B. D., Saupe, K. W., & Dempsey, J. A. (1992). Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 73(3), 874–886. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.73.3.874>
- Jurkowski, J. E., Jones, N. L., Toews, C. J., & Sutton, J. R. (1981). Effects of menstrual cycle on blood lactate, O₂ delivery, and performance during exercise. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 51(6), 1493–1499. <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.6.1493>
- Koskolou, M. D., & McKenzie, D. C. (1994). Arterial hypoxemia and performance during intense exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(1), 80–86. <https://doi.org/10.1007/BF00599246>
- Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H., & Bangsbo, J. (2005). Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(7), 1242–1248. <https://doi.org/10.1249/01.mss.000.0170062.73981.94>
- Lama, I. L., Wolski, L. A., Coutts, K. D., & McKenzie, D. C. (1996). The relationship between test protocol and the development of exercise-induced hypoxemia (EIH) in highly trained athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(4), 330–335. <https://doi.org/10.1007/BF02226929>
- Lilienthal, J. L., Jr, & Riley, R. L. (1946). An experimental analysis in man of the oxygen pressure gradient from alveolar air to arterial blood during rest and exercise at sea level and at altitude. *The American Journal of Physiology*, 147, 199–216.

- <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1946.147.1.199>
- Macnutt, M. J., De Souza, M. J., Tomczak, S. E., Homer, J. L., & Sheel, A. W. (2012). Resting and exercise ventilatory chemosensitivity across the menstrual cycle. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 112(5), 737–747. <https://doi.org/10.1152/japplsphysio.1.00727.2011>
- Mairbäurl H. (2013). Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Frontiers in Physiology*, 4, 332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>
- Martín-Escudero, P., Cabanas, A. M., Fuentes-Ferrer, M., & Galindo-Canales, M. (2021). Oxygen saturation behavior by pulse oximetry in female athletes: breaking myths. *Biosensors*, 11(10), 391. <https://doi.org/10.3390/bios11100391>
- McConnell T. R. (1988). Practical considerations in the testing of $\dot{V}O_2\text{max}$ in runners. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 5(1), 57–68. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805010-00005>
- McKenzie D. C. (2012). Respiratory physiology: adaptations to high-level exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 46(6), 381–384. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090824>
- Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(1), 67–72. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18
- Mohr, M., Krstrup, P., Andersson, H., Kirkendal, D., & Bangsbo, J. (2008). Match activities of elite women soccer players at different performance levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 341–349. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318165fef6>
- Molgaat-Seon, Y., Dominelli, P. B., Peters, C. M., Kipp, S., Welch, J. F., Parmar, H. R., Rabbani, T., Mann, L. M., Grift, G. O., Guenette, J. A., & Sheel, A. W. (2022). Predictors of expiratory flow limitation during exercise in healthy males and females. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 54(9), 1428–1436. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002938>
- Molgaat-Seon, Y., Dominelli, P. B., Ramsook, A. H., Schaeffer, M. R., Molgaat Sereacki, S., Foster, G. E., Romer, L. M., Road, J. D., Guenette, J. A., & Sheel, A. W. (2018). The effects of age and sex on mechanical ventilatory constraint and dyspnea during exercise in healthy humans. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 124(4), 1092–1106. <https://doi.org/10.1152/japplsphysio.1.00608.2017>
- Mucci, P., Prioux, J., Hayot, M., Ramonatxo, M., & Préfaut, C. (1998). Ventilation response to CO_2 and exercise-induced hypoxaemia in master athletes. *European*

- Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(4), 343–351.
<https://doi.org/10.1007/s004210050343>
- Nassis, G. P., Geladas, N. D., Soldatos, Y., Sotiropoulos, A., Bekris, V., & Souglis, A. (2010). Relationship between the 20-m multistage shuttle run test and 2 soccer-specific field tests for the assessment of aerobic fitness in adult semi-professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2693–2697.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf0471>
- Nazarali P, Rajabi H, Aliabadi F. (2013). The relationship between laboratory, yoyo, and hoff tests in determining aerobic capacity of players of the national women's soccer team. *Annals of Applied Sport Science*, 1(3), 57-66. URL: <http://aassjournal.com/article-1-68-en.html>
- Olfert, I. M., Balouch, J., Kleinsasser, A., Knapp, A., Wagner, H., Wagner, P. D., & Hopkins, S. R. (2004). Does gender affect human pulmonary gas exchange during exercise?. *The Journal of Physiology*, 557(Pt 2), 529–541.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.056887>
- Otto, J. M., Montgomery, H. E., & Richards, T. (2013). Haemoglobin concentration and mass as determinants of exercise performance and of surgical outcome. *Extreme Physiology & Medicine*, 2(1), 33.
<https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-33>
- Pardos-Mainer, E., Lozano, D., Torrontegui-Duarte, M., Cartón-Llorente, A., & Roso-Moliner, A. (2021). Effects of strength vs. plyometric training programs on vertical jumping, linear sprint and change of direction speed performance in female soccer players: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 401.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18020401>
- Powers, S. K., Dodd, S., Lawler, J., Landry, G., Kirtley, M., McKnight, T., & Grinton, S. (1988). Incidence of exercise induced hypoxemia in elite endurance athletes at sea level. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 58(3), 298–302.
<https://doi.org/10.1007/BF00417266>
- Prefaut, C., Durand, F., Mucci, P., & Caillaud, C. (2000). Exercise-induced arterial hypoxaemia in athletes: a review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 30(1), 47–61.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00005>
- Raberin, A., Nader, E., Lopez Ayerbe, J., Mucci, P., Pialoux, V., Meric, H., Connes, P., & Durand, F. (2021). Implication of blood rheology and pulmonary hemodynamics on exercise-induced hypoxemia at sea level and altitude in athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 31(5), 397–405.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2021-0013>

- Randell, R. K., Clifford, T., Drust, B., Moss, S. L., Unnithan, V. B., De Ste Croix, M., Datson, N., Martin, D., Mayho, H., Carter, J. M., & Rollo, I. (2021). Physiological characteristics of female soccer players and health and performance considerations: a narrative review. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 51(7), 1377–1399.
<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01458-1>
- Rasmussen, J., Hanel, B., Diamant, B., & Secher, N. H. (1991). Muscle mass effect on arterial desaturation after maximal exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(12), 1349–1352. PMID: 1798376
- Rice, A. J., Scroop, G. C., Gore, C. J., Thornton, A. T., Chapman, M. A., Greville, H. W., Holmes, M. D., & Scicchitano, R. (1999). Exercise-induced hypoxaemia in highly trained cyclists at 40% peak oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(4), 353–359.
<https://doi.org/10.1007/s004210050520>
- Rice, A. J., Thornton, A. T., Gore, C. J., Scroop, G. C., Greville, H. W., Wagner, H., Wagner, P. D., & Hopkins, S. R. (1999). Pulmonary gas exchange during exercise in highly trained cyclists with arterial hypoxemia. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 87(5), 1802–1812.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.5.1802>
- Richards, J. C., McKenzie, D. C., Warburton, D. E., Road, J. D., & Sheel, A. W. (2004). Prevalence of exercise-induced arterial hypoxemia in healthy women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(9), 1514–1521.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000139898.30804.60>
- Romer, L. M., Haverkamp, H. C., Lovering, A. T., Pegelow, D. F., & Dempsey, J. A. (2006). Effect of exercise-induced arterial hypoxemia on quadriceps muscle fatigue in healthy humans. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 290(2), R365–R375.
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00332.2005>
- Romer, L. M., Sheel, A. W. & Harms, C.A. (2012). *The Respiratory System. Στο American College of Sports Medicine, Advanced Exercise Physiology* (σσ. 242-296). Baltimore, MD & Philadelphia, PA
- Rosenthal, R. (1991). Meta-analytic procedures for social research. SAGE Publications, Inc.,
<https://doi.org/10.4135/9781412984997>
- Rowell, L. B., Taylor, H. L., Wang, Y., & Carlson, W. S. (1964). Saturation of arterial blood with oxygen during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 19, 284–286.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1964.19.2.284>
- Schoene, R. B., Robertson, H. T., Pierson, D. J., & Peterson, A. P. (1981). Respiratory drives and exercise in menstrual cycles of athletic and nonathletic women. *Journal of Applied Physiology: Respiratory*,

- Environmental and Exercise Physiology*, 50(6), 1300–1305.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1981.50.6.1300>
- Sheel, A. W., Dominelli, P. B., & Molgat-Seon, Y. (2016). Revisiting dysanapsis: sex-based differences in airways and the mechanics of breathing during exercise. *Experimental Physiology*, 101(2), 213–218.
<https://doi.org/10.1113/EP085366>
- Sheel, A. W., Richards, J. C., Foster, G. E., & Guenette, J. A. (2004). Sex differences in respiratory exercise physiology. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(9), 567–579.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200434090-00002>
- Siri W. E. (1961). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Στο Techniques for Measuring Body Compositions (Brozek J. & Henschel A., Επιμ.)*, National Academy of Sciences, Washington DC.
- St Croix, C. M., Harms, C. A., McClaran, S. R., Nিকে, G. A., Pegelow, D. F., Nelson, W. B., & Dempsey, J. A. (1998). Effects of prior exercise on exercise-induced arterial hypoxemia in young women. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 85(4), 1556–1563.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.4.1556>
- Stickland, M. K., Welsh, R. C., Haykowsky, M. J., Petersen, S. R., Anderson, W. D., Taylor, D. A., Bouffard, M., & Jones, R. L. (2004). Intra-pulmonary shunt and pulmonary gas exchange during exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 561(Pt 1), 321–329.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.069302>
- Sullivan, G. M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size-or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(3), 279–282.
<https://doi.org/10.4300/JGME-D-12-00156.1>
- Taipale-Mikkonen, R. S., Raitanen, A., Hackney, A. C., Solli, G. S., Valtonen, M., Peltonen, H., McGawley, K., Kyröläinen, H., & Ihalainen, J. K. (2021). Influence of menstrual cycle or hormonal contraceptive phase on physiological variables monitored during treadmill testing. *Frontiers in Physiology*, 12, 761760.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.761760>
- Torres-Tamayo, N., García-Martínez, D., Lois Zolniski, S., Torres-Sánchez, I., García-Río, F., & Bastir, M. (2018). 3D analysis of sexual dimorphism in size, shape and breathing kinematics of human lungs. *Journal of Anatomy*, 232(2), 227–237.
<https://doi.org/10.1111/joa.12743>
- Vander, A., Sherman, J. & Luciano, D. (2011). *Φυσιολογία του ανθρώπου: Μηχανισμοί της λειτουργίας του οργανισμού (Γελαδάς Ν. & Τσακόπουλος Μ., Μετ./Επιμ.)*. Λευκωσία: Broken Hill Publishers Ltd.
- Vescovi, J. D., & Favero, T. G. (2014). Motion characteristics of women's college soccer matches: Female Athletes in Motion (FAiM) study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 405–414.

- <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2013-0526>
- Walls, J., Maskrey, M., Wood-Baker, R., & Stedman, W. (2002). Exercise-induced oxyhaemoglobin desaturation, ventilatory limitation and lung diffusing capacity in women during and after exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 87(2), 145–152.
<https://doi.org/10.1007/s00421-002-0600-x>
- Wasserman K. (1978). Breathing during exercise. *The New England Journal of Medicine*, 298(14), 780–785.
<https://doi.org/10.1056/NEJM197804062981408>
- Wasserman, K., Whipp, B.J., & Casaburi R. (1986). Respiratory control during exercise, Handbook of Physiology, Sect. 3: The Respiratory System, Vol II Control of Breathing, Part 2 American Physiological Society, Chapter 17
- Whipp B.J. (1997). Αναπνευστικά όρια της ανθρώπινης απόδοσης. *Κινησιολογία. Τομ. 2*. No 2, σελ. 72-78.
- Williams, J. H., Powers, S. K., & Stuart, M. K. (1986). Hemoglobin desaturation in highly trained athletes during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(2), 168–173. PMID: 3702644
- Williams, T. J., & Krahenbuhl, G. S. (1997). Menstrual cycle phase and running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(12), 1609–1618.
<https://doi.org/10.1097/00005768-199712000-00010>
- Zaki, R., Bulgiba, A., Ismail, R., & Ismail, N. A. (2012). Statistical methods used to test for agreement of medical instruments measuring continuous variables in method comparison studies: a systematic review. *PloS one*, 7(5), e37908.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037908>
- Κουράκος, Μ., Καυκιά, Θ., & Φραδέλος, Ε. (2016). Εξάρτηση από τη νικοτίνη και στρατηγικές διακοπής καπνίσματος. *Ελληνικό Περιοδικό της Νοσηλευτικής Επιστήμης*, 9(1), 8–16.
- Φαλίδα, Αικ. (2016). Η σκιαγράφιση του προφίλ της γυναίκας ποδοσφαιρίστριας και ζητήματα που άπτονται του επαγγελματικού της προσανατολισμού.
<http://amitos.library.uop.gr/xmlui/handle/123456789/2743>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Έγκριση επιτροπής ερευνητικής δεοντολογίας-βιοηθικής, σελ. 60

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Έντυπο δήλωσης συγκατάθεσης δοκιμαζομένων, σελ. 61

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Ερωτηματολόγιο έμμηνου κύκλου, σελ. 64

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Ερωτηματολόγιο κατάστασης υγείας, σελ. 65

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

Ερωτηματολόγιο Fagerström, σελ. 67

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

Νόρμες αξιολόγησης της φυσικής κατάσταση γυναικών με βάση το Αμερικανικό Κολλέγιο Αθλητιατρικής (ACSM, 2018), σελ. 68

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΣΧΟΛΗ
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΒΙΟΗΘΙΚΗΣ

Αριθμός πρωτοκόλλου έγκρισης: 11/15/2022 1429/21-11-2022

Αγαπητή κυρία Καλτσώνη,

Η εσωτερική Επιτροπή Ερευνητικής Δεοντολογίας-Βιοηθικής της Σχολής
Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, στη συνεδρίασή της στις 21-11-
2022 εξέτασε την αίτησή σας από 15-11-2022, με τίτλο “Ασκησιογενής
αρτηριακή υποξαιμία σε αθλήτριες ποδοσφαίρου” και αποφάσισε ότι η μελέτη
εγκρίνεται. Συστήνεται να αφαιρεθεί η πρόταση "Η παρακάτω δήλωση αποτελεί
αναπόσπαστο μέρος. παραπάνω κείμενο" από τη δεύτερη σελίδα του εντύπου
ενημέρωσης.

Ο συντονιστής της Επιτροπής

*

Γρηγόρης Μπογδάνης, Καθηγητής ΣΕΦΑΑ, ΕΚΠΑ

*Η υπογραφή έχει τεθεί επί του πρωτοτύπου που τηρείται στη Γραμματεία της
Επιτροπής

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΒΙΟΗΘΙΚΗΣ

Ενημερωτικό σημείωμα με δήλωση συγκατάθεσης

Προσκαλείστε να συμμετάσχετε σε έρευνα που διεξάγεται στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Βιολογία της Άσκησης του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών με τίτλο «Ασκησιογενής Αρτηριακή Υποξαιμία σε Παίκτριες Ποδοσφαίρου».

Ερευνήτρια: Ηρώ Καλτσώνη, μεταπτυχιακή φοιτήτρια

τηλ. 6971916781, ikaltsoni@phed.uoa.gr

Η έρευνα γίνεται υπό την επίβλεψη της κας Μαρίας Κοσκολού, Αναπληρώτριας Καθηγήτριας τηλ. 6973375655, mkoskolu@phed.uoa.gr

- Η ερευνητική πρόταση έχει εγκριθεί με την υπ' αριθμ. 11/15/2022 1429/21-11-2022 απόφαση της Επιτροπής Ερευνητικής Δεοντολογίας-Βιοηθικής του τμήματος.
- Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να διερευνήσει την εμφάνιση του φαινομένου της ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας (πτώση του κορεσμού του οξυγόνου του αίματος) κατά την άσκηση σε παίκτριες ποδοσφαίρου, τόσο στο εργαστήριο όσο και στο πεδίο (αγωνιστικός χώρος).

Επίσης:

- Έχετε κάθε δικαίωμα να διακόψετε τη συμμετοχή σας όποτε θελήσετε, χωρίς την υποχρέωση να εξηγήσετε τους λόγους.
- Στις μετρήσεις θα είναι παρόντες η κύρια ερευνήτρια και ορισμένοι συνεργάτες (μεταπτυχιακοί/διδακτορικοί φοιτητές, καθηγητές).
- Οι δοκιμαζόμενες θα αξιολογηθούν μία ή δύο φορές (διαφορετικές μέρες).
- Ο χρόνος που θα χρειαστεί να αφιερώσετε, είναι περίπου μία ώρα ανά αξιολόγηση.

- Εφόσον υπάρχει η συναίνεσή σας, μπορεί να γίνει λήψη φωτογραφιών/βίντεο, όπου στην περίπτωση που δημοσιοποιηθούν θα χρησιμοποιηθεί φίλτρο για την αλλοίωση των χαρακτηριστικών.
- Τα δεδομένα που θα προκύψουν από τις μετρήσεις θα καταχωρηθούν με τακτικό αριθμό αντί ονόματος και θα φυλαχθούν σε αρχεία με κωδικούς, προκειμένου να τηρηθεί η ανωνυμία των συμμετεχουσών.
- Τα αποτελέσματα της έρευνας ενδεχομένως να δημοσιευθούν σε επιστημονικά περιοδικά.
- Έχετε τη δυνατότητα ενημέρωσης, είτε για τα ατομικά είτε για τα γενικά αποτελέσματα της έρευνας, αν το επιθυμείτε. Σε αυτή την περίπτωση, τα αποτελέσματα και τα επακόλουθα συμπεράσματα θα σας κοινοποιηθούν πλήρως, με σκοπό να γνωρίζετε την αξιολόγηση της καρδιοαναπνευστικής σας αντοχής (VO_2max), καθώς και την εμφάνιση ή μη του φαινομένου της ασκησιογενούς αρτηριακής υποξαιμίας τόσο στο εργαστήριο όσο και στο πεδίο. Ακόμη, θα σας κοινοποιηθούν τα σωματομετρικά σας χαρακτηριστικά, ο αιματοκρίτης αλλά και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα, μαζί με συμβουλές για εξατομικευμένη προπόνηση.
- Δεν υπάρχει άλλο όφελος για τις συμμετέχουσες πέραν της ικανοποίησης από τη συμμετοχή στο συγκεκριμένο επιστημονικό έργο.
- Η έρευνα γίνεται για καθαρά επιστημονικούς λόγους και δεν υφίσταται οποιαδήποτε μορφή εκμετάλλευσης.

Περιγραφή διαδικασίας:

- Οι συμμετέχουσες θα προσέλθουν στο εργαστήριο Εργοφυσιολογίας του ΤΕΦΑΑ (ΕΚΠΑ). Θα γίνει μέτρηση των σωματομετρικών χαρακτηριστικών (μάζα, ύψος), χρήση τεστ πρόβλεψης ωορρηξίας και με λήψη μικρής ποσότητας αίματος (75 μL) μέσω δακτύλου του χεριού θα μετρηθεί ο αιματοκρίτης. Ακόμη, θα γίνει μέτρηση τριών δερματοπτυχών για τον υπολογισμό του ποσοστού σωματικού λίπους. Θα ακολουθήσει μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου στο δαπεδοεργόμετρο (διάδρομος γυμναστικής) με τη χρήση ανοιχτού κυκλώματος σπироμέτρησης. Παράλληλα, θα γίνεται καταγραφή της καρδιακής συχνότητας με τη χρήση ειδικής ζώνης και του κορεσμού οξυγόνου του αίματος με τη χρήση φορητού παλμικού οξύμετρου. Η άσκηση θα πραγματοποιηθεί μέχρι εξάντλησης. Λόγω αυτού, στα τελευταία λεπτά ίσως υπάρξει δυσφορία. Η παρουσία τουλάχιστον δύο ερευνητών καθιστά δυνατή την παροχή οποιασδήποτε βοήθειας χρειαστεί. Μετά το τέλος της άσκησης, θα γίνει λήψη μίας σταγόνας αίματος από το δάκτυλο για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα.
- Σε περίπτωση που χρειαστεί, θα πραγματοποιηθεί δεύτερη αξιολόγηση σε γήπεδο ποδοσφαίρου, σε διαφορετική ημέρα. Συγκεκριμένα, θα εκτελεστεί το πρωτόκολλο ποδοσφαιρικής προσομοίωσης Hoff Test, το οποίο αποτελείται από τρέξιμο, χειρισμό μπάλας, άλματα και αλλαγές κατευθύνσεων. Κατά τη διάρκειά του θα γίνεται καταγραφή της καρδιακής συχνότητας με τη χρήση ειδικής ζώνης και του κορεσμού οξυγόνου του

αίματος με τη χρήση φορητού παλμικού οξύμετρου. Μετά το τέλος της άσκησης, θα γίνει λήψη μίας σταγόνας αίματος από το δάκτυλο για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα.

Δηλώνω ότι: α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο έρευνας με τίτλο «Ασκησιογενής Αρτηριακή Υποξαιμία σε Παίκτριες Ποδοσφαίρου» που διεξάγεται από επιστημονικό προσωπικό του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, β) μου δόθηκε το δικαίωμα να κάνω διευκρινιστικές ερωτήσεις, γ) μου δόθηκε το δικαίωμα να αποφασίσω αν θα συμμετάσχω ή όχι, δ) η συμμετοχή μου είναι εντελώς εθελοντική, ε) έχω δικαίωμα να διατηρήσω την ανωνυμία μου και στ) έχω δικαίωμα να διακόψω όποτε θελήσω, χωρίς να έχω την υποχρέωση να εξηγήσω τους λόγους για τους οποίους θα το κάνω.

Σας ευχαριστώ θερμά για την πιθανή συμμετοχή σας στην έρευνα!

Ονοματεπώνυμο δηλούσας

Υπογραφή

ή χρήση κωδικού ή αρχικών

.....

.....

Υπογραφή ατόμου που πήρε τη συγκατάθεση

Ημερομηνία

.....

.....

Υπογραφή ερευνήτριας

Ημερομηνία

(εάν δεν είναι το άτομο που πήρε τη συγκατάθεση):

.....

.....

«Ασκησιογενής Αρτηριακή Υποξαιμία σε Παίκτριες Ποδοσφαίρου»

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΕΜΜΗΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Κυκλώστε την απάντηση που σας αντιστοιχεί και/ή συμπληρώστε την απάντηση

1. Έχετε οποιαδήποτε διαταραχή στον έμμηνο κύκλο σας;

ΝΑΙ ΟΧΙ

Εάν ναι ποια;.....

2. Ποια είναι η συχνότητα επανεμφάνισης της εμμηνορυσίας σας;

..... (ημέρες διάρκειας κύκλου)

3. Η συχνότητα αυτή είναι:

A) Απολύτως σταθερή B) Συνήθως σταθερή Γ) Σποραδικά σταθερή

4. Έχετε το Σύνδρομο Πολυκυστικών Ωοθηκών;

ΝΑΙ ΟΧΙ

5. Κάνετε ή έχετε κάνει χρήση αντισυλληπτικών χαπιών τους τελευταίους έξι μήνες;

ΝΑΙ ΟΧΙ

Κάρτα καταγραφής του καταμήνιου κύκλου της δοκιμαζόμενης πριν τη συμμετοχή της στη μελέτη.

Παρακαλούμε καταγράψτε σε κάθε μήνα την ημερομηνία έναρξης της εμμήνου ρύσεως από τη στιγμή που θα παραλάβετε την κάρτα στα χέρια σας και για τους τρεις προηγούμενους μήνες.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΝΑΡΞΗΣ

1 ^{ΟΣ} ΜΗΝΑΣ	/	/
2 ^{ΟΣ} ΜΗΝΑΣ	/	/
3 ^{ΟΣ} ΜΗΝΑΣ	/	/

Στοιχεία δοκιμαζόμενης:

Όνομ/νυμο

Υπογραφή

Στοιχεία

Υπευθύνου:

Όνομ/νυμο

Υπογραφή

Ημερομηνία://

«Ασκησιογενής Αρτηριακή Υποξαιμία σε Παίκτριες Ποδοσφαίρου»

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

Πριν την συμμετοχή σας σε οποιαδήποτε ερευνητική δραστηριότητα πρέπει να γνωρίζουμε την κατάσταση της υγείας σας. Για το λόγο αυτό καλείστε να απαντήσετε στις παρακάτω ερωτήσεις, ώστε η συμμετοχή σας στην έρευνα να γίνει με την μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια. Παρακαλώ να διαβάσετε τις ερωτήσεις προσεκτικά και να απαντήσετε με ειλικρίνεια κυκλώνοντας το **ΝΑΙ** ή το **ΟΧΙ** ή/και συμπληρώνοντας την απάντηση.

1. Πότε ήταν η τελευταία φορά που υποβλήθήκατε σε πλήρη ιατρικό έλεγχο;	
2. Έχετε εξεταστεί στο παρελθόν σε εργομετρικό εργαστήριο; Αν ναι, πότε;	NAI OXI
3. Σας έχουν αναφέρει ότι πάσχετε από κάποια χρόνια ή σοβαρή ασθένεια; Αν ναι, ποια ή ποιες;	NAI OXI
4. Έχετε οικογενειακό ιστορικό καρδιαγγειακού νοσήματος (π.χ. έμφραγμα, υπέρταση); Αν ναι, ποιου;	NAI OXI
5. Σας έχει πει ποτέ ο γιατρός ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την καρδιά σας και ότι πρέπει να εκτελείτε φυσική δραστηριότητα που προτείνεται από κάποιο γιατρό;	NAI OXI
6. Αισθάνεστε πόνο στο στήθος όταν εκτελείτε οποιαδήποτε δραστηριότητα;	NAI OXI
7. Έχετε αισθανθεί την καρδιά σας να χτυπά ασυνήθιστα (σαν φτερουγίσματα);	NAI OXI
8. Υπάρχουν φορές που η καρδιά σας χτυπά πολύ γρήγορα χωρίς ιδιαίτερο λόγο (ταχυκαρδίες);	NAI OXI
9. Σας έχουν αναφερθεί ποτέ ότι η αρτηριακή σας πίεση δεν είναι φυσιολογική;	NAI OXI
10. Χάνετε την ισορροπία σας λόγω ζαλάδας ή έχετε χάσει ποτέ τις αισθήσεις σας;	NAI OXI
11. Έχετε κάποιο πρόβλημα με τα οστά σας ή τις αρθρώσεις σας που χειροτερεύει όταν εκτελείτε φυσική δραστηριότητα;	NAI OXI

12. Είστε αναιμική;	NAI OXI
13. Έχετε πρόβλημα με τη λήψη αίματος;	NAI OXI
14. Κάνετε χρήση φαρμάκων ή διατροφικών συμπληρωμάτων; Αν ναι, ποια;	NAI OXI
15. Καπνίζετε; Αν ναι, πόσα τσιγάρα την ημέρα;	NAI OXI
16. Πως θα αξιολογούσατε τη γενική σας υγεία;	
Α) Άριστη Β) Πολύ καλή Γ) Καλή Δ) Μέτρια Ε) Κακή	
17. Γυμνάζεστε συστηματικά; Πόσες φορές την εβδομάδα; Για πόσα έτη;	NAI OXI
18. Θεωρείτε ότι η φυσική σας κατάσταση είναι:	
Α) Άριστη Β) Πολύ καλή Γ) Καλή Δ) Μέτρια Ε) Κακή	

Στοιχεία δοκιμαζόμενης:

Όνομ/νυμο

Υπογραφή

Στοιχεία
Υπευθύνου:
Όνομ/νυμο

Υπογραφή

Ημερομηνία://

«Ασκησιογενής Αρτηριακή Υποξαιμία σε Παίκτριες Ποδοσφαίρου»

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ FAGERSTRÖM

1	Πόσο σύντομα μετά το πρωινό ξύπνημα καπνίζετε το πρώτο σας τσιγάρο;	
	Μετά από 60 min	0
	Μετά από 31-60 min	1
	Μετά από 6-30 min	2
	Μετά σε 5 min	3
2	Σας είναι δύσκολο να απέχετε από το κάπνισμα σε χώρους που είναι απαγορευμένο;	
	Όχι	0
	Ναι	1
4	Πόσα τσιγάρα καπνίζετε την ημέρα;	
	10 ή λιγότερα	0
	11-20	1
	21-30	2
	31 ή περισσότερα	3
5	Καπνίζετε συχνότερα τις πρώτες ώρες μετά το πρωινό ξύπνημα παρά στο υπόλοιπο της ημέρας;	
	Όχι	0
	Ναι	1
6	Καπνίζετε όταν είστε τόσο άρρωστος, ώστε να χρειάζεται να μείνετε στο κρεβάτι όλη την ημέρα;	
	Όχι	0
	Ναι	1

Στοιχεία δοκιμαζόμενης:

Όνομ/νυμο

Υπογραφή

Στοιχεία

Υπευθύνου:

Όνομ/νυμο

Υπογραφή

Ημερομηνία://

Νόρμες αξιολόγησης της φυσικής κατάσταση γυναικών με βάση το Αμερικανικό Κολλέγιο Αθλητιατρικής (ACSM, 2018)		
Ηλικιακή ομάδα	Χαρακτηρισμός φυσικής κατάστασης	Εύρος τιμών $\dot{V}O_2\text{max}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)
20-29 ετών	Ανεπαρκής	32,9-36,7
	Μέτρια	37,7-41,0
	Καλή	41,0-43,9
	Εξαιρετική	45,3-49,7
	Άριστη	>54,4
30-39	Ανεπαρκής	32,3-35,2
	Μέτρια	36,7-38,6
	Καλή	39,6-42,4
	Εξαιρετική	43,9-47,4
	Άριστη	>52,5