



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ & ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΠΗΛΙΚΟ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ  
ΥΠΟΜΕΓΙΣΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΗΣ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΤΡΗΣ  
ΙΣΟΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ**

**Σεβαστού Αικατερίνη**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Πασχάλης Βασίλης**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2023**

© Copyright

Σεβαστού Αικατερίνη

Το δοκίμιο αυτό αποτελεί πτυχιακή εργασία που συντάχθηκε για το Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του ΤΕΦΑΑ στη Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του ΕΚΠΑ και υποβλήθηκε τον Ιούνιο του 2023.

Η συγγραφέας βεβαιώνει ότι το περιεχόμενο του παρόντος έργου είναι αποτέλεσμα προσωπικής εργασίας και ότι έχει γίνει η κατάλληλη αναφορά στην εργασία τρίτων -όπου κάτι τέτοιο ήταν απαραίτητο-, σύμφωνα με τους κανόνες της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

## **ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΠΗΛΙΚΟ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΥΠΟΜΕΓΙΣΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΗΣ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΤΡΗΣ ΙΣΟΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ**

### **Περίληψη**

**Σκοπός:** Σκοπός της έρευνας ήταν η μέτρηση και σύγκριση του αναπνευστικού πηλίκου κατά την υπομέγιστη έκκεντρη και σύγκεντρη άσκηση στο ισοκινητικό δυναμόμετρο μέχρι την εξάντληση. **Μέθοδος:** Ως συμμετέχοντες επιλέχθηκαν γυναίκες δοκιμαζόμενες που βρισκόταν στη πρώτη φάση του καταμήνιου κύκλου τους. Συγκεκριμένα, έντεκα γυναίκες εκτέλεσαν με το ένα κάτω άκρο σύγκεντρη και με το άλλο κάτω άκρο έκκεντρη άσκηση, όπου τόσο το άκρο που εκτέλεσε τη κάθε άσκηση όσο και η σειρά εκτέλεσης έγινε τυχαιοποιημένα. Η άσκηση αποτελούνταν από δέκα λεπτά σύσπασης των εκτεινόντων της άρθρωσης του γόνατος στο 40% της μέγιστης ροπής και στη συνέχεια η ένταση αυξήθηκε στο 70% της μέγιστης ροπής μέχρι να επέλθει εξάντληση. Η μέτρηση του αναπνευστικού πηλίκου πραγματοποιήθηκε σε όλη τη διάρκεια της άσκησης με ανοιχτό κύκλωμα σπιρομέτρησης. **Αποτελέσματα:** Η μέγιστη ροπή της έκκεντρης άσκησης ήταν 42% υψηλότερη από την αντίστοιχη της σύγκεντρης, ενώ η παραγωγή έργου ήταν κατά 65% μεγαλύτερη και οι επαναλήψεις 33% περισσότερες στην έκκεντρη άσκηση από ότι στη σύγκεντρη. Η πρόσληψη οξυγόνου ήταν 11% μεγαλύτερη στη σύγκεντρη άσκηση. Το αναπνευστικό πηλίκο ήταν χαμηλότερο στην έκκεντρη άσκηση τόσο στο 40% όσο και στο 70%. **Συμπεράσματα:** Η έκκεντρη άσκηση είναι οικονομικότερη σε σύγκριση με τη σύγκεντρη άσκηση, εξαιτίας της μικρότερης πρόσληψης οξυγόνου και της μεγαλύτερης οξειδωσης λιπών, ενώ παράλληλα είναι αποδοτικότερη με τη πραγματοποίηση μεγαλύτερου έργου και περισσότερων επαναλήψεων σε σύγκριση με τη σύγκεντρη άσκηση.

**Λέξεις κλειδιά:** Αναπνευστικό πηλίκο, Ενεργειακά υποστρώματα, Έκκεντρη άσκηση, Σύγκεντρη άσκηση, Ισοκινητικό δυναμόμετρο

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	σελ. 3
Πίνακας Περιεχομένων.....	σελ.4
Κατάλογος Σχημάτων.....	σελ.5
Κατάλογος Συμβόλων και Συντομογραφιών.....	σελ.5
<b>I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>σελ.7</b>
1.1. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος .....	σελ. 7
1.2. Σημασία της έρευνας .....	σελ.7
1.3. Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις .....	σελ.7
1.4. Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας .....	σελ.8
1.5. Διευκρίνιση όρων .....	σελ.8
<b>II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....</b>	<b>σελ.9</b>
2.1. Ανατομία του σκελετικού μυός .....	σελ.9
2.2. Φυσιολογία του σκελετικού μυός.....	σελ. 10
2.3. Είδη μυϊκής συστολής.....	σελ. 11
2.4. Μυϊκή εξάντληση.....	σελ. 11
2.5. Αναπνευστικό σύστημα.....	σελ. 12
2.6. Ενεργειακά υποστρώματα.....	σελ.13
2.7. Έρευνα και καταμήνιος κύκλος .....	σελ.13
<b>III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>σελ. 14</b>
3.1. Οι δοκιμαζόμενες.....	σελ. 14
3.2. Δοκιμασίες στο ισοκινητικό δυναμόμετρο .....	σελ. 14
3.3. Ανάλυση αναπνευστικών αερίων.....	σελ. 15
3.4. Στατιστική ανάλυση .....	σελ.15
<b>IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>σελ.16</b>
<b>V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>σελ.20</b>
<b>VI. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>σελ.22</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.1. ....σελ.16
Σχήμα 4.2.....σελ.17
Σχήμα 4.3.....σελ.18
Σχήμα 4.4.....σελ.19

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

**CO<sub>2</sub>**: Διοξείδιο του άνθρακα

**O<sub>2</sub>**: Οξυγόνο

**VCO<sub>2</sub>**: Όγκος Διοξειδίου του άνθρακα

**VO<sub>2</sub>**: Όγκος Οξυγόνου

**ATP**: Τριφωσφορική αδενοσίνη

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος**

Κατά την αναπνοή γίνεται διάσπαση των ενεργειακών υποστρωμάτων για την παραγωγή ενέργειας. Τα ενεργειακά υποστρώματα στα οποία εστιάζουμε σε αυτή την έρευνα ήταν οι υδατάνθρακες και τα λιπαρά οξέα. Το αναπνευστικό πηλίκο είναι ο όγκος του εκπνεόμενου διοξειδίου του άνθρακα προς τον όγκο του αναπνεόμενου όγκου οξυγόνου (Patel et al., 2018). Είναι ένας καθαρός αριθμός και χρησιμοποιείται ως μέθοδος έμμεσης θερμιδομετρίας για την εύρεση του βασικού μεταβολικού ρυθμού και μας δείχνει το ποσοστό κατανάλωσης των ενεργειακών υποστρωμάτων.

Η έκκεντρη άσκηση χαρακτηρίζεται ως η αύξηση του μήκους του μυός, όταν η εξωτερική αντίσταση είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη που ασκεί ο μυς (Hody et al., 2019, Lee et al., 2020). Κατά τη σύγκεντρη άσκηση ο μυς βραχύνεται και υπερνικά την εξωτερική επιβάρυνση. Η έκκεντρη άσκηση είναι οικονομικότερη από τη σύγκεντρη άσκηση και προκαλεί υψηλό μηχανικό στρες με χαμηλό μεταβολικό κόστος (Piitulainen et al., 2011, Quinian et al., 2021). Κατά την ισοκινητική άσκηση το μέλος του σώματος κινείται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα σε όλο το εύρος της κίνησης και επιτυγχάνεται με τη χρήση ισοκινητικού δυναμόμετρου. Το ισοκινητικό δυναμόμετρο δύναται να απομονώσει το είδος της μυϊκής σύσπασης ανάλογα με το στόχο του ασκούμενου και έτσι μπορούμε να εκτελέσουμε αμιγώς σύγκεντρη ή αμιγώς έκκεντρη άσκηση για απομονωμένες μυϊκές ομάδες.

### **1.2. Σημασία της έρευνας**

Γνωρίζοντας ότι η έκκεντρη άσκηση είναι οικονομικότερη από τη σύγκεντρη άσκηση, μας ενδιαφέρει να ερευνήσουμε το τι γίνεται σε επίπεδο ενεργειακών υποστρωμάτων όταν εφαρμόζεται ένα ερέθισμα χαμηλής έντασης αλλά μεγάλης διάρκειας, μέχρι τη πλήρη κόπωση. Λόγω της έλλειψης ερευνών σε αυτό το θέμα, θεωρήσαμε σημαντικό να μελετήσουμε το αναπνευστικό πηλίκο κατά τη σύγκεντρη και έκκεντρη υπομέγιστη άσκηση.

### **1.3. Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις**

Εφόσον η έκκεντρη άσκηση είναι οικονομικότερη από τη σύγκεντρη (Cherouneim et al., 2022), δηλαδή χρειάζεται λιγότερη κατανάλωση ενέργειας για τη παραγωγή ίδιου έργου, υποθέτουμε ότι: Κατά την έκκεντρη άσκηση ο μεταβολισμός των λιπιδίων θα είναι υψηλότερος σε σχέση με τη σύγκεντρη άσκηση.

### **1.4. Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας**

Ένας περιορισμός της έρευνας ήταν ότι όλες οι μετρήσεις έγιναν στη πρώτη φάση του καταμήνιου κύκλου των δοκιμαζόμενων. Επίσης, οι συνθήκες διεξαγωγής της έρευνας είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε ένα συνηθισμένο πρόγραμμα προπόνησης και οι δοκιμαζόμενες δεν ήταν εξοικειωμένες με τον εξοπλισμό, επομένως δεν γνωρίζουμε τα μακροχρόνια αποτελέσματα της δοκιμασίας.

### **1.5. Διευκρίνιση όρων**

*Αναπνευστικό πηλίκο.* Ο λόγος του όγκου του εκπνεόμενου διοξειδίου του άνθρακα προς τον όγκο του αναπνεόμενου όγκου οξυγόνου (Patel et al., 2018).

*Έκκεντρη άσκηση.* Η αύξηση του μήκους του μυός όταν η εξωτερική επιβάρυνση υπερνικά την αντίσταση του μυός (Lee et al., 2020).

*Σύγκεντρη άσκηση.* Η μείωση του μήκους του μυός όταν η δύναμη του μυός υπερνικά την εξωτερική αντίσταση (Gilroy, 2019).

*Έργο.* Το γινόμενο της δύναμης επί την μετατόπιση του σημείου εφαρμογής

*Πρόσληψη οξυγόνου.* Ο όγκος οξυγόνου που χρησιμοποιεί το σώμα κατά την αναπνοή.

## 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1. Ανατομία του σκελετικού μυός

#### *Αρχιτεκτονική και λειτουργίες του σκελετικού μυός*

Στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν πάνω από 660 σκελετικοί μύες, οι οποίοι αποτελούν περίπου το 40% συνολικής σωματικής μάζας, ανάλογα με το φύλο, την ηλικία και τη φυσική κατάσταση του ατόμου (Brooks, 2003; Frontera et Ochala, 2015; Grilroy, 2019; Mukund et Subramaniam, 2020). Αποτελούνται από νερό, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα, λίπη και γλυκογόνο (Κλεισούρας, 2011). Μερικές από τις λειτουργίες των μυών είναι η αποθήκευση ενέργειας σε μορφή υδατανθράκων και αμινοξέων, η εξισορρόπηση των ορμονών, η δημιουργία κίνησης και η παραγωγή θερμότητας (Frontera et Ochala, 2015; Mukund et Subramaniam, 2020). Επίσης είναι υπεύθυνοι τη κατανάλωση οξυγόνου κατά τη φυσική δραστηριότητα και τη διατήρηση της γλυκόζης του αίματος σε περιόδους αστίας. Η κύρια λειτουργία του μυός είναι η μετατροπή χημικής ενέργειας σε μηχανική για τη δημιουργία κίνησης.

Οι σκελετικοί μύες είναι πολυπύρηντοι, γραμμωτοί και εκούσιοι και αποτελούνται από ένα σύνολο μυϊκών ινών, οι οποίες είναι τα κύτταρα του μυός. Το μέγεθος του μυ καθορίζεται από τον αριθμό και το μέγεθος των μυϊκών ινών. Η κάθε μια έχει περίπου 100mm διάμετρο και 1 cm μήκος (Frontera et Ochala, 2015). Η μυϊκή ίνα περιβάλλεται από το ενδομύιο, ενώ το σύνολο των μυϊκών ινών περιβάλλονται από το περιμύιο. Εξωτερικά κάθε μυς περιβάλλεται από το επιμύιο. Το εξωτερικό περίβλημα της μυϊκής ίνας αποτελείται από το σαρκείλημα, το οποίο περιέχει όλα τα συστατικά του μυϊκού κυττάρου. Το σαρκομέριο είναι η λειτουργική μονάδα του συσταλτικού συστήματος του μυός (Κλεισούρας, 2011; Frontera et Ochala, 2015; Mukund et Subramaniam, 2020). Οι μύες συνδέονται με τους τένοντες και δημιουργούν συστήματα μοχλών. Οι τένοντες είναι πυκνές ινώδεις ταινίες οι οποίες συνδέουν τους μύες με τα οστά και μεταφέρουν δυνάμεις από τους μύες σε αυτά προκαλώντας κίνηση στις αρθρώσεις.



### *Είδη μυϊκών ινών*

Ο σκελετικός μυς πρέπει να ανταποκρίνεται σε πολλά διαφορετικά ερεθίσματα της καθημερινότητας. Αυτά τα ερεθίσματα ποικίλουν από κινήσεις χαμηλής έντασης και μεγάλης διάρκειας μέχρι εκρηκτικές γρήγορες κινήσεις μικρής διάρκειας. Για να μπορεί να ανταποκριθεί επαρκώς σε αυτά τα ερεθίσματα, συντίθεται από μυϊκά κύτταρα με διαφορές στο μεταβολικό προφίλ, τη ταχύτητα σύσπασης και τη διαχείριση του ασβεστίου (Westerblad et al., 2010; Mukund et Subramaniam, 2020). Επομένως υπάρχουν 3 είδη μυϊκών ινών με διαφορετικές ιδιότητες: 1) Βραδείες οξειδωτικές ίνες ή αλλιώς τύπου I 2) Ταχείες οξειδωτικο-γλυκολυτικές ίνες ή αλλιώς τύπου Ια και 3) Ταχείες γλυκολυτικές ίνες ή τύπου Ιβ. Σε μια προοδευτική αύξηση της έντασης πρώτα επιστρατεύονται οι μυϊκές ίνες τύπου I, έπειτα οι τύπου Ια και στο τέλος οι τύπου Ιβ (Κλεισούρας, 2011; Mukund et Subramaniam, 2020). Σε εντάσεις μέγιστης προσπάθειας επιστρατεύονται όλες οι μυϊκές ίνες.

## **2.2. Φυσιολογία του σκελετικού μυός**

### *Μηχανισμός διολίσθησης των νηματίων*

Στις μυϊκές ίνες παρουσιάζονται δύο είδη νηματίων, τα παχιά νημάτια μυοσίνης και τα λεπτά νημάτια ακτίνης, τα οποία είναι οργανωμένα σε κυλινδρικές δέσμες (Faulkner, 2003; Brooks, 2003; Mukund & Subramaniam, 2020). Οι έξι σφαιρικές κεφαλές της μυοσίνης προεξέχουν πλευρικά και ονομάζονται εγκάρσιες γέφυρες. Οι εγκάρσιες γέφυρες συνδέονται με τη τριφωσφορική αδενοσίνη και με τα λεπτά νημάτια παράγοντας δύναμη κατά τη μυϊκή συστολή (Brooks, 2003; Wilmore & Costill, 2011; Sweeney & Hammers, 2018; Mukund & Subramaniam, 2020). Το σύνολο των παχιών και λεπτών νηματίων σχηματίζουν το σαρκομέριο. Για τη παραγωγή δύναμης τα παχιά και τα λεπτά νημάτια ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο, προωθούμενα από τη κίνηση των εγκάρσιων γεφυρών ή όπως είναι γνωστό ως ο μηχανισμός διολίσθησης νηματίων (Wilmore & Costill, 2011; Mukund & Subramaniam, 2020).

### **2.3. Είδη μυϊκής συστολής.**

Υπάρχουν 3 είδη μυϊκής συστολής: η σύγκεντρη συστολή, η έκκεντρη συστολή και ισομετρική συστολή (Nosaka & Newton, 2002 ; Gilroy, 2019). Κατά τη σύγκεντρη συστολή βραχύνονται τα συστατικά και ελαστικά στοιχεία του μυός, δηλαδή ο μυς υπερνικά την εξωτερική αντίσταση. Κατά την έκκεντρη συστολή ο μυς επιμηκύνεται και η εξωτερική αντίσταση υπερνικά τη μυϊκή δύναμη (Lee et al., 2020). Επιπλέον η έκκεντρη άσκηση συμβάλει στη βελτίωση του λιπιδαιμικού προφίλ, διότι τα ελεύθερα λιπαρά οξέα και η χοληστερίνη χρησιμοποιούνται για την επιδιόρθωση των κυτταρικών μεμβρανών των τραυματισμένων μυϊκών ινών (Paschalis et al., 2013). Η έκκεντρη άσκηση χαρακτηρίζεται από μικρότερη πρόσληψη O<sub>2</sub>, καρδιακή παροχή ενώ ταυτόχρονα είναι πιο αποδοτική και παράγει μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με το ίδιο απόλυτο έργο σύγκεντρης άσκησης (Abbott et al., 1952; Perentis et al., 2021; Cherouveim et al., 2022). Κατά την ισομετρική συστολή το μήκος του μυός παραμένει αμετάβλητο (Κλεισούρας, 2011).

### **2.4. Μυϊκή κόπωση**

Η έντονη και παρατεταμένη ενεργοποίηση των μυϊκών ινών οδηγεί το σκελετικό μυ στη κόπωση, μειώνοντας την ικανότητα παραγωγής δύναμης (Rampichini et al., 2020) . Αυτή η εξάντληση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το επίπεδο προπόνησης, το είδος της άσκησης, την εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων, τη κόπωση του κεντρικού ή περιφερειακού νευρικού συστήματος κ.α (Cherouveim et al., 2022). Οι μυϊκές ίνες τύπου Ι είναι πιο ανθεκτικές στη κόπωση από ότι οι μυϊκές ίνες τύπου ΙΙα, ενώ οι μυϊκές ίνες τύπου ΙΙχ έχουν τη μικρότερη αντοχή (Westerblad et al., 2010). Η κόπωση που προέρχεται από το ΚΝΣ αφορά την αδυναμία πυροδότησης των κινητικών μονάδων από το κινητικό φλοιό, Από την άλλη, κόπωση από το περιφερικό νευρικό σύστημα προκαλείται από την αύξηση του ενδοκυτταρικού pH και τη διαταραχή ηλεκτρολυτών (Binder et Snyder, 1993; Rampichini et al., 2020). Ως μυϊκή κόπωση μπορούμε να ορίσουμε την αδυναμία του μυός να παράγει μέγιστο έργο μετά από παρατεταμένη άσκηση (Vøllestad, 1997).

## **2.5. Αναπνευστικό σύστημα**

### **2.5.1 Πνευμονικός αερισμός, πρόσληψη οξυγόνου και αναπνευστικό πηλίκιο**

Με τη φυσική δραστηριότητα αυξάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του οργανισμού και άρα η ανάγκη του οργανισμού για οξυγόνο. Γι' αυτό υπάρχουν μεταβολές στην ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων, δηλαδή του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα. Η διεργασία διάχυσης του  $O_2$  γίνεται από τις κυψελίδες στο αίμα και του  $CO_2$  από το αίμα στις κυψελίδες. Ο πνευμονικός αερισμός αναφέρεται στον όγκο του αναπνεόμενου αέρα (σε L) πολλαπλασιαζόμενος με την αναπνευστική συχνότητα (αναπνοές / λεπτό) και είναι περίπου 6 ml το λεπτό για ένα μέσο ενήλικα στην ηρεμία (Κλεισούρας, 2011; Patel, 2018). Η αύξηση του πνευμονικού αερισμού κατά την άσκηση εξαρτάται από τη φυσική κατάσταση του ατόμου. Ως πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_2$ ) ορίζεται ο όγκος του  $O_2$  που καταναλώνουν τα κύτταρα σε μια μέγιστη προσπάθεια, στη μονάδα του χρόνου ή αλλιώς το γινόμενο της καρδιακής παροχής και της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου (Κλεισούρας, 2011).

### **2.5.2 Το αναπνευστικό πηλίκιο**

Ως αναπνευστικό πηλίκιο ορίζεται ο όγκος του εκπνεόμενου  $CO_2$  προς τον όγκο του εισπνεόμενου  $O_2$  και μας δείχνει την αναλογία υδατανθράκων και λίπους που χρησιμοποιούνται κατά την άσκηση και την ηρεμία. Μέσω του αναπνευστικού πηλίκου μπορούμε να διακρίνουμε το μεταβολισμό των ενεργειακών υποστρωμάτων. Ο μεταβολισμός των ενεργειακών υποστρωμάτων επηρεάζεται από πολλούς ατομικούς παράγοντες όπως το επίπεδο της φυσικής κατάστασης, το φύλο, τη διατροφή ακόμα και τη ψυχολογική κατάσταση. Όταν το λίπος οξειδώνεται στα κύτταρα, σχηματίζονται 70 μόρια διοξειδίου του άνθρακα για κάθε 100 μόρια οξυγόνου που καταναλώνονται, επομένως το αναπνευστικό πηλίκιο είναι 0,70. Όταν οι πρωτεΐνες οξειδώνονται στα κύτταρα, σχηματίζονται 80 μόρια διοξειδίου του άνθρακα για κάθε 100 μόρια οξυγόνου που καταναλώνονται, επομένως το αναπνευστικό πηλίκιο είναι κοντά στο 0,80. Όταν οι υδατάνθρακες μεταβολίζονται, κάθε μόριο παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα παράγεται από ένα μόριο καταναλισκόμενου οξυγόνου, επομένως το αναπνευστικό

πηλίκο θα είναι κοντά στη μονάδα (1,00) (Guyton et Hall, 2006; Shook et al., 2016). Μετά από νηστεία 8-10 ωρών, ο οργανισμός θα έχει χρησιμοποιήσει τους περισσότερους υδατάνθρακες και η παραγωγή ενέργειας θα στηρίζεται στο μεταβολισμό των λιπιδίων, επομένως το αναπνευστικό πηλίκο θα πλησιάζει το 0,70 (Guyton et Hall, 2006; Ellis et al, 2010).

## **2.6 Ενεργειακά υποστρώματα**

### *Βασικοί ορισμοί*

Τα ενεργειακά υποστρώματα είναι μόρια που αποτελούν πρώτη ύλη για βιολογικές αντιδράσεις. Παραδείγματα ενεργειακών υποστρωμάτων είναι το ATP, η φωσφοκρεατίνη, η γλυκόζη, το γλυκογόνο, το γαλακτικό οξύ, τα ελεύθερα λιπαρά οξέα και τα αμινοξέα. Οι υδατάνθρακες και τα λίπη είναι τα ενεργειακά υποστρώματα με τα οποία θα ασχοληθούμε στη παρούσα εργασία.

### *Ενεργειακά υποστρώματα και άσκηση*

Ο ανθρώπινος οργανισμός στηρίζεται στην οξείδωση υδατανθράκων και λίπους για τη παραγωγή ενέργειας κατά την άσκηση. Με άσκηση μεγάλης διάρκειας υπάρχει μεγαλύτερη οξείδωση λιπιδίων, έως και 80 % της θερμιδικής δαπάνης (Gollnick, 1985). Όταν η ένταση της άσκησης ξεπερνά το 65% της  $\dot{V}O_{2max}$  αυξάνεται η κατανάλωση υδατανθράκων περισσότερο από την οξείδωση λίπους (Brooks, 2020). Η χρήση των ενεργειακών υποστρωμάτων στην άσκηση εξαρτάται από την ένταση της άσκησης, τη διάρκεια, τη σωματική σύσταση, τη διατροφή, το επίπεδο φυσικής κατάστασης και το φύλο (Isacco et al., 2012; Cano et al., 2021; Boisseau et Isacco, L, 2022).

## **2.7 Έρευνα και καταμήνιος κύκλος**

Οι γυναικείες ορμόνες μεταβάλλονται ανάλογα με τη φάση του καταμήνιου κύκλου και προκαλούν αλλαγές στην αθλητική απόδοση και το μεταβολισμό των ενεργειακών υποστρωμάτων. Κατά την έρευνα είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται ότι όλοι οι δοκιμαζόμενοι εξετάζονται υπό τις ίδιες συνθήκες και γι' αυτό πρέπει να παίρνουμε υπόψιν τη φάση του καταμήνιου κύκλου στις γυναίκες. Ο καταμήνιος κύκλος της

γυναίκας χωρίζεται σε 2 φάσεις, την ωοθυλακική και την ωχρινική φάση. Εμείς επιλέξαμε να ασχοληθούμε με τη 1<sup>η</sup> φάση του καταμήνιου κύκλου, η οποία διαρκεί από τη 1<sup>η</sup> ημέρα της εμμηνου ρύσεως και διαρκεί περίπου 9 ημέρες (Constantini et al., 2005). Κατά τη 1<sup>η</sup> φάση του κύκλου, υπάρχουν χαμηλά επίπεδα οιστρογόνων και προγεστερόνης (McNulty et al., 2020; Itriyeva, 2022). Τα οιστρογόνα φαίνονται να έχουν αναβολικές ιδιότητες στο σκελετικό μυ και έχει βρεθεί ότι αυξάνει τις αποθήκες γλυκογόνου καθώς και την οξειδωση των λιπαρών οξέων, το οποίο βελτιώνει την αερόβια ικανότητα και τη δύναμη (Constantini et al., 2005, McNulty et al., 2020). Παράλληλα η προγεστερόνη λειτουργεί ως «ορμονικός εξισορροπιστής», διότι ρυθμίζει τα γυναικεία οιστρογόνα. Η διακυμάνσεις στο ορμονικό προφίλ κατά τη διάρκεια του καταμήνιου κύκλου προκαλεί και αλλαγές στην αθλητική απόδοση, η οποία είναι διαφορετική σε κάθε γυναίκα (McNulty et al., 2020). Κατά κύριο λόγο, η αθλητική απόδοση στη 1<sup>η</sup> φάση είναι μειωμένη λόγω ορμονικών και ψυχολογικών παραγόντων (Constantini et al., 2005).

### **3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

#### **3.1. Δοκιμαζόμενοι**

Το δείγμα της έρευνας αποτελούνταν από 11 μέτρια δραστήριες γυναίκες ηλικίας  $23 \pm 3$  ετών, ύψους  $166 \pm 9$  εκατοστά και μάζας  $61 \pm 9$  κιλά. Δεν επιλέχθηκαν εθελόντριες που χρησιμοποιούσαν ορμονική αντισύλληψη, και όσες είχαν ασταθή έμμηνο κύκλο ( $> 35$  ημερών ή πάνω από 5 ημέρες διαφορά μεταξύ των τελευταίων τεσσάρων κύκλων). Επιπλέον προϋποθέσεις για τη συμμετοχή τους ήταν η απουσία μυοσκελετικών τραυματισμών και η απουσία προβλημάτων υγείας που απαγόρευαν τη συμμετοχή στη δοκιμασία.

Πριν την συμμετοχή τους οι εθελόντριες ενημερώθηκαν πλήρως για τη διαδικασία της έρευνας, τους πιθανούς κινδύνους, τη χρήση των δεδομένων και των ευρημάτων, τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα (π.χ. καθυστερημένος μυϊκός πόνος) και τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιούσαν. Όλες συγκατάθεσαν γραπτώς ότι συμφωνούν να συμμετάσχουν στην έρευνα και ότι δεν πάσχουν από προβλήματα υγείας. Η έρευνα εγκρίθηκε από την επιτροπή βιοηθικής της Σ.Ε.Φ.Α.Α. Ε.Κ.Π.Α. με αριθμό 1424/21-11-2022.

### **3.2. Δοκιμασίες στο ισοκινητικό δυναμόμετρο**

Οι ασκούμενες εκτέλεσαν μια συνεδρία στο ισοκινητικό δυναμόμετρο (Biodex, System 4 Pro, Shirley, NY), από τη 1<sup>η</sup> έως την 7<sup>η</sup> ημέρα του καταμήνιου κύκλου. Στο ένα πόδι εκτέλεσαν έκκεντρη άσκηση στο τετρακέφαλο μηριαίο μυ ενώ στο αντίθετο πόδι σύγκεντρη άσκηση. Η επιλογή τόσο του ποδιού όσο και της σειράς πραγματοποίησης της άσκησης έγινε τυχαιοποιημένα. Αρχικά πραγματοποιήθηκε προθέρμανση 5-8 λεπτών στο κυκλοεργόμετρο (Monark 827E, Vansbro, Sweden), ακολουθούμενο από τις απαραίτητες διατάξεις. Μετά από 1 σετ προθέρμανσης των 8 επαναλήψεων ακολούθησε 1 σετ 5 μέγιστων επαναλήψεων για την αξιολόγηση της μέγιστης ροπής. Ως μέγιστη ροπή θεωρήσαμε τη μέγιστη ροπή που άσκησαν οι δοκιμαζόμενες στο σετ των 5 επαναλήψεων. Για το κύριο μέρος της δοκιμασίας, οι ασκούμενες εκτέλεσαν σύγκεντρες και έκκεντρες επαναλήψεις των εκτεινόντων του γόνατος για 10 λεπτά στο 40% της μέγιστης ροπής, ακολουθούμενο από επαναλήψεις στο 70% της μέγιστης ροπής μέχρι τη πλήρη εξάντληση. Ως εξάντληση θεωρήσαμε την αδυναμία των δοκιμαζόμενων να εκτελέσουν 3 συνεχόμενες επαναλήψεις στη ζητούμενη ροπή. Η κίνηση εκτελούνταν με σταθερή γωνιακή ταχύτητα 60°/sec.

### **3.3. Ανάλυση αναπνευστικών αερίων**

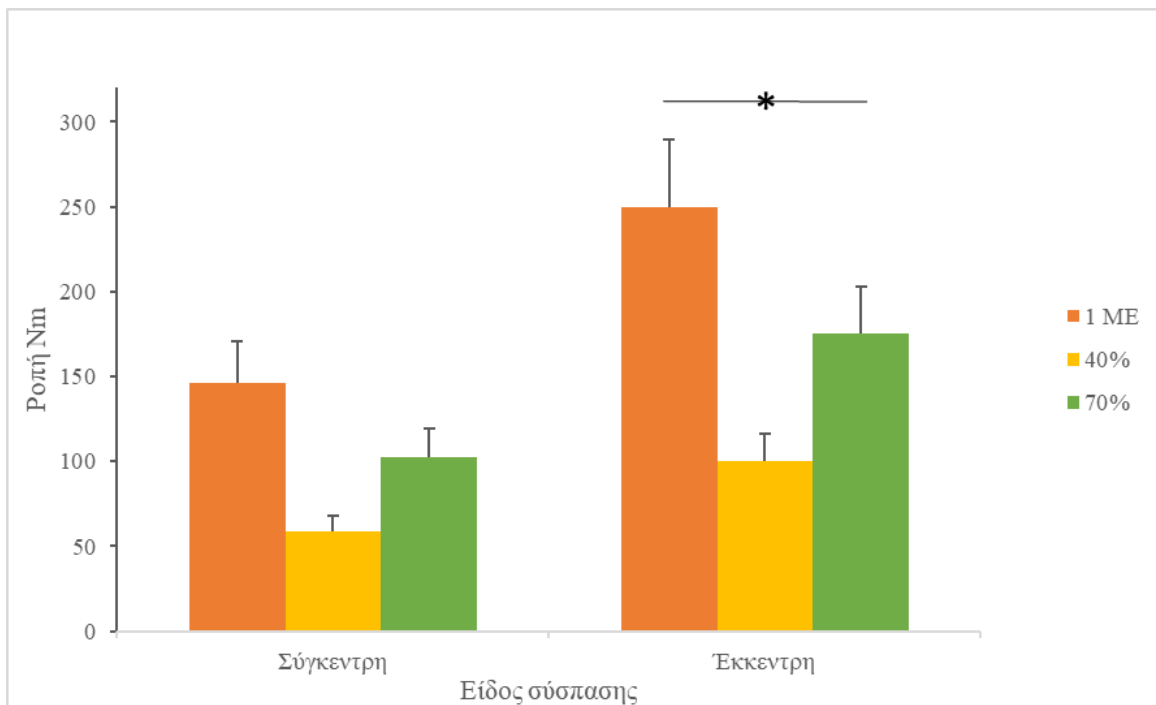
Αρχικά έγινε η βαθμονόμηση του αναλυτή αναπνευστικών αερίων (MedGraphics, CPX-D, Minnesota, USA). Μετρήθηκαν οι τιμές των αναπνευστικών αερίων O<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> για 2-3 λεπτά ηρεμίας πριν από την έκκεντρη και πριν από τη σύγκεντρη άσκηση. Κατά τη διάρκεια του κύριου μέρους της δοκιμασίας έγινε καταγραφή του αναπνευστικού πηλίκου και της πρόσληψης οξυγόνου για κάθε αναπνοή.

### 3.4. Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (2-way ANOVA) με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στο χρόνο [2 συνθήκες (σύγκεντρη και έκκεντρη άσκηση) x 11 χρονικές στιγμές (πριν και κάθε 1 λεπτό μέχρι το 10<sup>ο</sup> λεπτό της άσκησης)]. Όταν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά πραγματοποιούνταν Bonferroni post-hoc ανάλυση. Για την στατιστική ανάλυση μετά τα 10 λεπτά επειδή δεν υπήρχαν τιμές για όλες τις δοκιμαζόμενες (γιατί εξαρτώνταν από το χρόνο μέχρι την εξάντληση) χρησιμοποιήθηκε t-test για κάθε χρονική στιγμή, όπου υπήρχαν τιμές και για τις δύο παραμέτρους. Για τη σύγκριση της ροπής (μέγιστης και υπομέγιστης), αριθμού επαναλήψεων και παραγωγής έργου μεταξύ της σύγκεντρης και της έκκεντρης μυϊκής σύσπασης χρησιμοποιήθηκε ανάλυση t-test. Όλα τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS (IBM, spss statistics, 28).

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

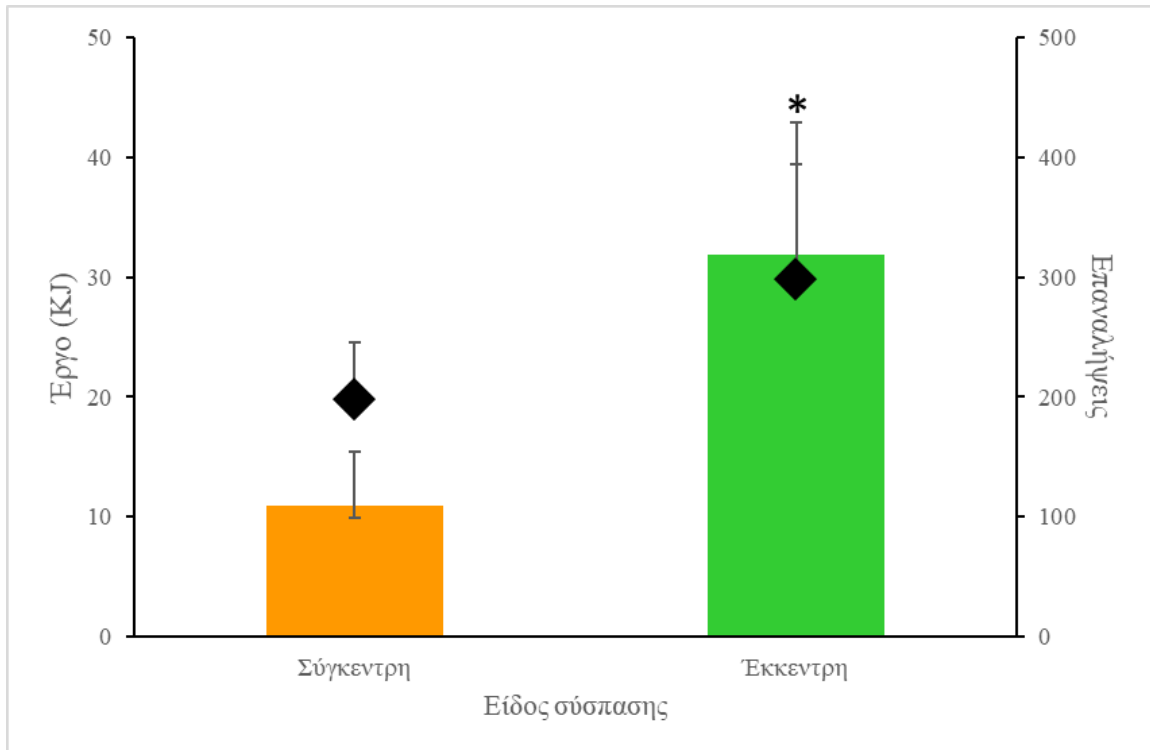
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι η μέγιστη ροπή της έκκεντρης άσκησης ήταν περίπου 42% μεγαλύτερη από τη μέγιστη ροπή της σύγκεντρης ( $p < 0.05$ ). Ποιο συγκεκριμένα, ο μέσος όρος της μέγιστης ροπής της έκκεντρης άσκησης ήταν  $250 \pm 40$  Nm, ενώ της σύγκεντρης ήταν  $147 \pm 24$  Nm. Σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε και στο 40% της έκκεντρης άσκησης ( $100 \pm 16$  Nm), σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό της σύγκεντρης ( $59 \pm 10$  Nm) ( $p < 0.05$ ). Παρόμοια σημαντική ήταν η διαφορά στο 70% της έντασης μεταξύ της έκκεντρης ( $175 \pm 28$  Nm) και της σύγκεντρης ( $103 \pm 17$  Nm) ( $p < 0.05$ ) (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Ροπή των εκτεινότων της άρθρωσης του γόνατος κατά τη μια μέγιστη επανάληψη καθώς και στο 40% και στο 70% της μέγιστης ροπής για τη σύγκεντρη και την έκκεντρη άσκηση. \* Σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ειδών μυϊκής σύσπασης και για τις 3 καταστάσεις ( $p < 0,05$ ).



Βρέθηκε ότι η παραγωγή έργου ήταν 65% μεγαλύτερη στην έκκεντρη άσκηση από ότι στη σύγκεντρη, ενώ ταυτόχρονα οι επαναλήψεις στην έκκεντρη ήταν 33% περισσότερες. Και στις δύο περιπτώσεις η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική ( $p < 0.05$ ). Ποιο συγκεκριμένα, στη σύγκεντρη άσκηση το συνολικό παραγόμενο έργο ήταν  $11 \pm 5$  kJ, ενώ στην έκκεντρη άσκηση ήταν  $32 \pm 11$  kJ. Οι συνολικές επαναλήψεις ήταν  $198 \pm 48$  και  $297 \pm 97$  αντίστοιχα. (Σχήμα 2).

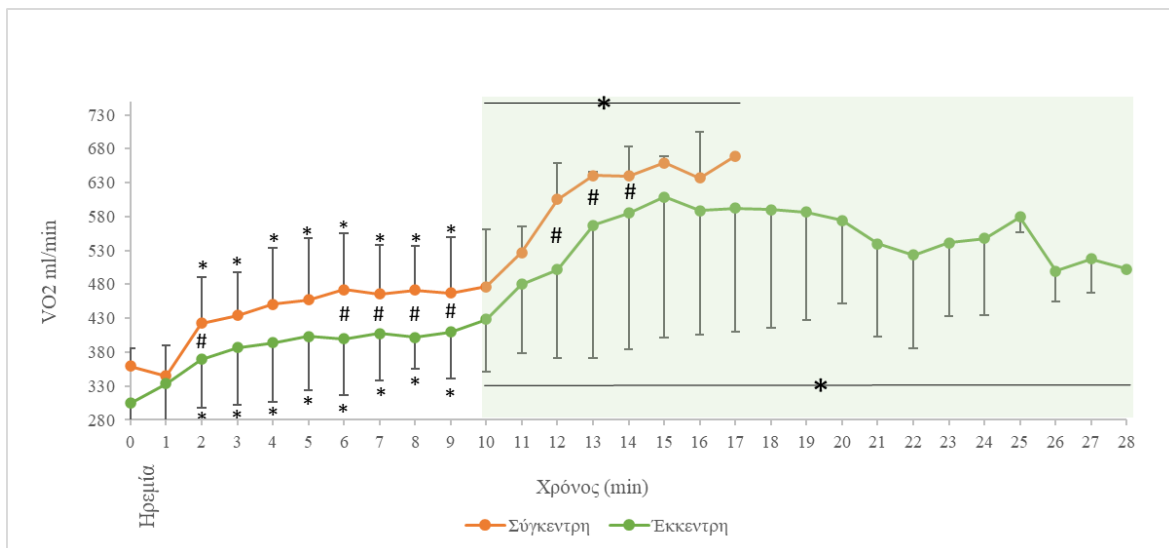


Σχήμα 2. Το έργο που παρήχθηκε (στήλες) κατά τη σύγκεντρη και την έκκεντρη άσκηση και οι αντίστοιχες επαναλήψεις (ρόμβοι). \* Σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ειδών μυϊκής σύσπασης για την συνολική παραγωγή έργου και για τον αριθμό των επαναλήψεων ( $p < 0,05$ ).

Η μέση διάρκεια άσκησης που χρειάστηκε για να επέλθει εξάντληση στη σύγκεντρη άσκηση ήταν 12:50 λεπτά, ενώ στην έκκεντρη 20:28 λεπτά. Δηλαδή η έκκεντρη άσκηση διήρκησε 37% περισσότερο χρόνο από τη σύγκεντρη άσκηση.

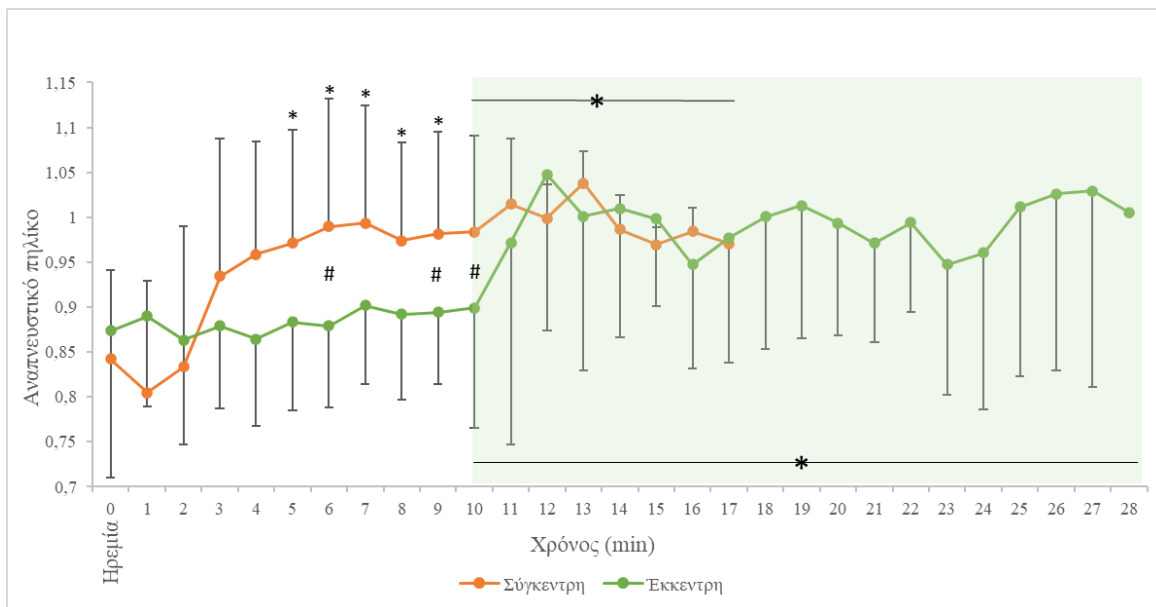
Η επίδραση του χρόνου στη πρόσληψη οξυγόνου ήταν σημαντική ( $p < 0.001$ ) όπως και η αλληλεπίδραση χρόνου και συνθήκης ( $p = 0.035$ ), ενώ η επίδραση της συνθήκης είχε τάση για στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p = 0.079$ ). Και οι δύο τύποι άσκησης αύξησαν την πρόσληψη οξυγόνου στα 10 λεπτά με ένταση 40% της μέγιστης ( $p < 0.05$ ). Στη σύγκεντρη άσκηση βλέπουμε ότι στο 40 % της μέγιστης ροπής η πρόσληψη οξυγόνου είναι μεγαλύτερη από ότι στην έκκεντρη άσκηση από το δεύτερο λεπτό μέχρι το δέκατο λεπτό ( $p < 0.05$ ). Στο τελευταίο λεπτό της σύγκεντρης άσκησης η πρόσληψη οξυγόνου αυξήθηκε δίνοντας μια τάση για στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την έκκεντρη άσκηση ( $p = 0,069$ ).

Όσον αφορά την άσκηση στο 70% της μέγιστης ροπής και στις δύο περιπτώσεις οι τιμές ήταν στατιστικά σημαντικές μέχρι το τέλος της άσκησης ( $p < 0.05$ ). Μεταξύ των δύο τύπων άσκησης παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά από το 12<sup>ο</sup> μέχρι το 14<sup>ο</sup> λεπτό με τη σύγκεντρη άσκηση να δίνει μεγαλύτερες τιμές ( $p < 0.05$ ) (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Η πρόσληψη οξυγόνου ανά 1 λεπτό στη σύγκεντρη και την έκκεντρη άσκηση. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών της άσκησης και της ηρεμίας στις χρονικές στιγμές επισημασμένες με αστερίσκο (\*), και στατιστικά σημαντικές διαφορές στις χρονικές στιγμές επισημασμένες με δίσωση (#).

Η επίδραση του χρόνου στο αναπνευστικό πηλίκο ήταν σημαντική ( $p=0.003$ ) όπως και η αλληλεπίδραση χρόνου και συνθήκης ( $p= 0.040$ ), ενώ η επίδραση της συνθήκης δεν έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p= 0.378$ ). Η σύγκεντρη άσκηση είχε σημαντικά αυξημένο το αναπνευστικό πηλίκο από το 5<sup>ο</sup> ως το 10<sup>ο</sup> λεπτό κατά τη διάρκεια της άσκησης στο 40% της μέγιστης ( $p<0.05$ ). Στην έκκεντρη άσκηση δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στο αναπνευστικό πηλίκο. Μεταξύ των δύο τύπων άσκησης παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στο 6<sup>ο</sup> καθώς και στο 9<sup>ο</sup> και 10<sup>ο</sup> λεπτό ( $p<0.05$ ). Όσον αφορά την άσκηση το 70% της μέγιστης ροπής και στις δύο περιπτώσεις οι τιμές ήταν στατιστικά σημαντικές μέχρι το τέλος της άσκησης ( $p<0.05$ ). Μεταξύ των δύο τύπων άσκησης δεν παρουσιάστηκε καμία σημαντική διαφορά (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Το αναπνευστικό πηλίκο ανά 1 λεπτό κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη άσκηση. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών της άσκησης και της ηρεμίας στις χρονικές στιγμές επισημασμένες με αστερίσκο ( \* ), και στατιστικά σημαντικές διαφορές στις χρονικές στιγμές επισημασμένες με δίσηση ( #).

## 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της έρευνάς μας ήταν η μελέτη των διαφορών του αναπνευστικού πηλίκου μεταξύ υπομέγιστης έκκεντρης και σύγκεντρης άσκησης μέχρι την εξάντληση. Η δοκιμασία αποτελούνταν από μια συνεδρία άσκησης στο ισοκινητικό δυναμόμετρο, όπου εκτελούνταν έκκεντρη άσκηση στους πρόσθιους μηριαίους του ενός σκέλους και σύγκεντρη άσκηση στο ετερόπλευρο σκέλος. Ταυτόχρονα οι δοκιμαζόμενοι ήταν συνδεδεμένοι με τον αναλυτή αναπνευστικών αερίων. Από τη δοκιμασία συλλέξαμε δεδομένα για το αναπνευστικό πηλίκο, τη πρόσληψη οξυγόνου, τις συνολικές επαναλήψεις, το συνολικό έργο και τη μέγιστη ροπή, τόσο στην έκκεντρη όσο και στη σύγκεντρη άσκηση. Με βάση τα αποτελέσματα βρήκαμε ότι η μέγιστη ροπή της έκκεντρης άσκησης είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη ροπή της σύγκεντρης άσκησης.

Η αρχική μας υπόθεση, όσον αφορά το μεγαλύτερο μεταβολισμό λιπιδίων κατά την έκκεντρη άσκηση σε σχέση με τη σύγκεντρη, επιβεβαιώθηκε. Το αναπνευστικό πηλίκο καθ' όλη τη διάρκεια της έκκεντρης άσκησης ήταν πιο κοντά στο 0,70 από ότι στη σύγκεντρη άσκηση, γεγονός που υποδηλώνει ότι στην έκκεντρη άσκηση χρησιμοποιούνται περισσότερα λιπίδια ως ενεργειακό υπόστρωμα. Παράλληλα το γεγονός ότι η συνολική διάρκεια της έκκεντρης άσκησης, στην ίδια ποσοστιαία ένταση, ήταν μεγαλύτερη στην έκκεντρη άσκηση, το ότι το έργο και οι επαναλήψεις ήταν υψηλότερες και το ότι η πρόσληψη οξυγόνου ήταν μικρότερη, αποδεικνύει περαιτέρω το ότι η έκκεντρη άσκηση είναι οικονομικότερη από ότι η σύγκεντρη άσκηση.

Με τα αποτελέσματά μας επιβεβαιώσαμε το ότι η έκκεντρη άσκηση είναι αποδοτικότερη και υπάρχει μεγαλύτερη αντίσταση στη κόπωση, όπως βλέπουμε και από τη βιβλιογραφία (Abbott et al., 1952; Cherouveim et al., 2022). Στο άρθρο του Abbot και των συνεργατών του, συγκρίθηκε η σύγκεντρη και η έκκεντρη άσκηση σε ένα κυκλοεργόμετρο το οποίο αποτελούνταν από 2 στατικά ποδήλατα, συνδεδεμένα μεταξύ τους, ώστε ο ένας ασκούμενος να ποδηλατεί προς τα μπροστά και ο άλλος αντίστροφα. Βρέθηκε ότι η έκκεντρη άσκηση (αντίστροφη ποδηλάτηση) ήταν σημαντικά οικονομικότερη από ότι η σύγκεντρη άσκηση (πρόσθια ποδηλάτηση), στην ίδια απόλυτη τιμή ροπής. Ακόμα, βρέθηκε ότι λόγω της αυξημένης επιστράτευσης μυϊκών ινών στη σύγκεντρη άσκηση, οι απαιτήσεις του οργανισμού για οξυγόνο είναι αυξημένες. Στο

άρθρο της Cherouveim και των συνεργατών της (Cherouveim et al.,2022), εκτελέστηκε έκκεντρη και σύγκεντρη άσκηση στους πρόσθιους μηριαίους, στο 60% της μέγιστης ροπής, στο ισοκινητικό δυναμόμετρο μέχρι την εξάντληση. Η σύγκεντρη άσκηση παρήγαγε μικρότερη μέγιστη μικρότερη ροπή από ότι η έκκεντρη και κατά την έκκεντρη άσκηση εκτελέστηκαν 40% περισσότερες επαναλήψεις. Παρόλο που η έκκεντρη άσκηση διήρκησε περισσότερο και εκτελέστηκε σε μεγαλύτερη απόλυτη τιμή, αλλά ίδια σχετική ένταση, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στις τιμές εγκεφαλικής οξυγόνωσης, επομένως η έκκεντρη άσκηση είναι οικονομικότερη.

Όσον αφορά τη παρούσα έρευνα, περιμέναμε μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των δύο ειδών άσκησης, ιδιαίτερα στο αναπνευστικό πηλίκιο και τη πρόσληψη οξυγόνου. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η έρευνα μας αφορούσε σύγκριση των αποτελεσμάτων σε σχετικές τιμές, το οποίο θέτει το ερώτημα για το τι ισχύει όταν η άσκηση εκτελείται σε ίδιες απόλυτες τιμές όπως στην έρευνα του Abbot και των συνεργατών του. Ως πρόταση για μελλοντική έρευνα θέτουμε το θέμα της μελέτης του αναπνευστικού πηλίκου κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη άσκηση στο ισοκινητικό δυναμόμετρο, στην ίδια απόλυτη ένταση, μέχρι την εξάντληση.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbott, B. C., Bigland, B., & Ritchie, J. M. (1952). The physiological cost of negative work. *The Journal of physiology*, 117(3), 380.
- Binder-Macleod, S. A., & Snyder-Mackler, L. (1993). Muscle fatigue: clinical implications for fatigue assessment and neuromuscular electrical stimulation. *Physical therapy*, 73(12), 902-910.
- Brooks, G. A. (2020). The precious few grams of glucose during exercise. *International journal of molecular sciences*, 21(16), 5733.
- Brooks, S. V.(2003). Current topics for teaching skeletal muscle physiology. *Department of Molecular and Integrative Physiology and Institute of Gerontology*, 27: 171–182
- Boisseau, N., & Isacco, L. (2022). Substrate metabolism during exercise: Sexual dimorphism and women’s specificities. *European Journal of Sport Science*, 22(5), 672-683.
- Cano, A., Ventura, L., Martinez, G., Cugusi, L., Caria, M., Deriu, F., & Manca, A. (2021). Analysis of sex-based differences in energy substrate utilization during moderate-intensity aerobic exercise. *European journal of applied physiology*, 1-42.
- Constantini, N. W., Dubnov, G., & Lebrun, C. M. (2005). The menstrual cycle and sport performance. *Clinics in sports medicine*, 24(2), e51-e82.
- Cherouveim, E. D., Margaritelis, N. V., Koulouvaris, P., Tsolakis, C., Malliou, V. J., Chatzinikolaou, P. N., ... & Paschalis, V. (2022). Skeletal muscle and cerebral oxygenation levels during and after submaximal concentric and eccentric isokinetic exercise. *Journal of Sports Sciences*, 40(2), 195-202.
- Ellis, A. C., Hyatt, T. C., Hunter, G. R., & Gower, B. A. (2010). Respiratory quotient predicts fat mass gain in premenopausal women. *Obesity*, 18(12), 2255-2259.
- Faulkner, J. A. (2003). Terminology for contractions of muscles during shortening, while isometric, and during lengthening. *Journal of Applied Physiology*, 95(2), 455-459.
- Frontera, W. R., & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified tissue international*, 96(3), 183-195.

- Grilroy, A. (2019). *Ανατομία του Ανθρώπου*. Κωνσταντάρας, 7,13
- Gollnick, P. D. (1985). Metabolism of substrates: energy substrate metabolism during exercise and as modified by training. In Federation proceedings (Vol. 44, No. 2, pp. 353-357).
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). Dietary balances; regulation of feeding; obesity and starvation; vitamins and minerals. Textbook of medical physiology, 11, 872-73.
- Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Frontiers in physiology*, 536.
- Isacco, L., Duché, P., & Boisseau, N. (2012). Influence of hormonal status on substrate utilization at rest and during exercise in the female population. *Sports Medicine*, 42(4), 327-342.
- Itriyeva, K. (2022). The normal menstrual cycle. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, 101183.
- Lee, H. S., Akimoto, T., & Kim, A. R. (2020). Effects of trunk extensor eccentric exercise on lipid profile and glycaemic response. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000861
- McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., ... & Hicks, K. M. (2020). The effects of menstrual cycle phase on exercise performance in eumenorrhic women: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50, 1813-1827.
- Mukund, K., & Subramaniam, S. (2020). Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine*, 12(1), e1462.
- Nosaka, K., & Newton, M. (2002). Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(1), 63-69.
- Patel, H., Kerndt, C. C., & Bhardwaj, A. (2018). Physiology, respiratory quotient.

- Paschalis, V., Theodorou, A. A., Panayiotou, G., Kyparos, A., Patikas, D., Grivas, G. V., ... & Vrabas, I. S. (2013). Stair descending exercise using a novel automatic escalator: effects on muscle performance and health-related parameters. *PloS one*, 8(2), e56218.
- Perentis, P. A., Cherouveim, E. D., Malliou, V. J., Margaritelis, N. V., Chatzinikolaou, P. N., Koulouvaris, P., ... & Paschalis, V. (2021). The effects of high-intensity interval exercise on skeletal muscle and cerebral oxygenation during cycling and isokinetic concentric and eccentric exercise. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 6(3), 62.
- Piitulainen, H., Botter, A., Merletti, R., & Avela, J. (2011). Muscle fiber conduction velocity is more affected after eccentric than concentric exercise. *European journal of applied physiology*, 111, 261-273.
- Quinlan, J. I., Franchi, M. V., Gharahdaghi, N., Badiali, F., Francis, S., Hale, A., ... & Narici, M. V. (2021). Muscle and tendon adaptations to moderate load eccentric vs. concentric resistance exercise in young and older males. *Geroscience*, 43(4), 1567-1584.
- Rampichini, S., Vieira, T. M., Castiglioni, P., & Merati, G. (2020). Complexity analysis of surface electromyography for assessing the myoelectric manifestation of muscle fatigue: A review. *Entropy*, 22(5), 529.
- Shook, R. P., Hand, G. A., Paluch, A. E., Wang, X., Moran, R., Hebert, J. R., ... & Blair, S. N. (2016). High respiratory quotient is associated with increases in body weight and fat mass in young adults. *European journal of clinical nutrition*, 70(10), 1197-1202
- Sweeney, H. L., & Hammers, D. W. (2018). Muscle contraction. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 10(2), a023200.
- Vøllestad, N. K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of neuroscience methods*, 74(2), 219-227.
- Westerblad, H., Bruton, J. D., & Katz, A. (2010). Skeletal muscle: energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. *Experimental cell research*, 316(18), 3093-3099.
- Wilmore, J. H. and Costill, D. L. (2011). ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ (3η έκδοση). Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ BROKEN HILL, 321-361.
- Κλεισούρας, Β. (2011). *Εργοφυσιολογία*. Π.Χ. Πασχαλίδης, 411-420, 783