

**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Φυσιολογία της Άσκησης & Προπονητική**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική
Εργασία με τίτλο:

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΩΝ
ΣΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΤΩΝ ΛΙΠΙΔΙΩΝ, ΣΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ
ΤΟΥ ΚΑΙ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΕΡΟΒΙΑ ΑΣΚΗΣΗ**

ΤΟΥ
Σαμαρά Κωνσταντίνου (ΑΕΜ:13024)

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Επιβλέπων Καθηγητής:	Σμήλιος Ηλίας, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τ.Ε.Φ.Α.Α.-Σ.Ε.Φ.Α.Α.-Δ.Π.Θ.
2 ^ο Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:	Δούδα Ελένη, Καθηγήτρια Τ.Ε.Φ.Α.Α.-Σ.Ε.Φ.Α.Α.-Δ.Π.Θ.
3 ^ο Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:	Λαπαρίδης Κωνσταντίνος, Καθηγητής, Τ.Ε.Φ.Α.Α.- Σ.Ε.Φ.Α.Α.-Δ.Π.Θ.

Κομοτηνή, 2022

Στην οικογένεια μου...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ηλία Σμήλιο, Αναπληρωτή Καθηγητή ΤΕΦΑΑ ΔΠΘ, που με ανέλαβε για δεύτερη φορά μετά την προπτυχιακή μου διπλωματική εργασία και με την πλήρη βοήθεια και καθοδήγηση του ολοκλήρωσα τη μεταπτυχιακή μου διατριβή. Εκφράζω ακόμα τις ευχαριστίες μου στα άλλα δύο μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Λαπαρίδη και την Καθηγήτρια κ. Ελένη Δούδα για τις υποδείξεις τους και την προθυμία τους να απαντήσουν σε κάθε μου ερώτηση.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Κλινικής Εργοφυσιολογίας και Φυσιολογίας της Άσκησης για τη βοήθεια κατά τη διεκπεραίωση της μελέτης καθώς και τους ανθρώπους που αποτέλεσαν το δείγμα της μελέτης και βοήθησαν στην υλοποίηση αυτής.

Τέλος, οφείλω στην κοπέλα μου Ανδρονίκη και στην οικογένεια μου ένα μεγάλο ευχαριστώ για την ψυχολογική στήριξη που μου παρείχαν σε αυτό το διάστημα υλοποίησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής και τη σιγουριά ότι είναι πάντα δίπλα μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κωνσταντίνος Σαμαράς: Επίδραση της ποσότητας των προσλαμβανόμενων υδατανθράκων στο μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων, στην ένταση επίτευξής του και στη μεταβολική λειτουργία κατά την αερόβια άσκηση.

(Με την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Ηλία Σμήλιου)

Σκοπός της έρευνας ήταν να εξεταστεί η επίδραση της ποσότητας των προσλαμβανόμενων υδατανθράκων στο μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων (ΜΡΟΛ), στην ένταση επίτευξής του (ΕΜΡΟΛ) και στη μεταβολική λειτουργία κατά την αερόβια άσκηση. Δώδεκα ασκούμενοι (10 άντρες και 2 γυναίκες ηλικίας $24,58 \pm 4,5$ ετών) εκτέλεσαν στον εργοδιάδρομο δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης για τον προσδιορισμό του ΜΡΟΛ και της ΕΜΡΟΛ και 20 λεπτά μετά, συνεχόμενη αερόβια άσκηση διάρκειας τριάντα λεπτών με ένταση στο 60% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας (ΜΑΤ) όπου υπολογίστηκαν η συνολική κατανάλωση λιπιδίων και υδατανθράκων. Οι δοκιμασίες εκτελέστηκαν τρεις φορές, σε διαφορετικές ημέρες, και οι ασκούμενοι έλαβαν τριάντα λεπτά πριν την έναρξή τους, 0, 25 ή 50 gr σύνθετου υδατάνθρακα (υδρογέλη). Ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων μειώνονταν όσο αυξάνονταν η ποσότητα του χορηγούμενου υδατάνθρακα ($p < 0,05$, 0 gr: $0,52 \pm 0,2$ gr/min, 25 gr: $0,41 \pm 0,16$ gr/min, 50 gr: $0,32 \pm 0,15$ gr/min) ενώ δεν διέφερε σημαντικά η δρομική ταχύτητα ($p = 0,16$) και η καρδιακή συχνότητα ($p = 0,16$) επίτευξής του. Στη συνολική διάρκεια της συνεχόμενης άσκησης, ο ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων ήταν χαμηλότερος ($p < 0,05$, 0 gr: $0,71 \pm 0,22$ gr/min, 25 gr: $0,66 \pm 0,21$ gr/min, 50 gr: $0,58 \pm 0,18$ gr/min) ενώ ο ρυθμός οξείδωσης των υδατανθράκων ήταν υψηλότερος ($p < 0,05$, 0 gr: $1,71 \pm 0,55$ gr/min, 25 gr: $1,89 \pm 0,66$ gr/min, 50 gr: $2 \pm 0,49$ gr/min) με την αύξηση της χορηγούμενης ποσότητας υδατάνθρακα. Συμπεραίνεται πως ενώ ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων μειώνεται όταν αυξάνεται η προσλαμβανόμενη ποσότητα υδατάνθρακα αυτό δεν επηρεάζει την ένταση επίτευξής του. Οι ασκούμενοι μπορούν να εκτελούν άσκηση με αυτή την ταχύτητα κίνησης πετυχαίνοντας πάντοτε τον μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων ανεξάρτητα από την ποσότητα υδατάνθρακα που θα έχουν καταναλώσει.

Λέξεις κλειδιά: Υδατάνθρακες, ρυθμός οξείδωσης λιπιδίων, αερόβια άσκηση

ABSTRACT

Konstantinos Samaras: Effect of the amount of carbohydrate ingestion on the maximum rate of fat oxidation, the intensity of its achievement and the metabolic function during aerobic exercise

(Under the supervision of Associate Professor Ilias Smilios)

The aim of the study was to investigate the effect of the amount of carbohydrate intake on the maximal rate of fat oxidation, the intensity of its achievement and on metabolic function during aerobic exercise. Twelve participants (10 men and 2 women aged 24.58 ± 4.5 years) performed a progressively increasing load test on the treadmill to determine the maximal fat oxidation rate (MFO) and the intensity of its achievement (FATmax) and 20 minutes after, continuous aerobic exercise lasting thirty minutes with intensity at 60% of the maximum aerobic speed (MAS) where the total consumption of fat and carbohydrates was calculated. The tests were performed three times, on different days, and the participants received, thirty minutes before the start, 0, 25 or 50 g of complex carbohydrate (hydrogel). MFO decreased as the amount of carbohydrate administered increased ($p < 0.05$, 0 gr: 0.52 ± 0.2 gr/min, 25 gr: 0.41 ± 0.16 gr/min, 50 gr: 0.32 ± 0.15 gr/min) while running speed ($p = 0.16$) and heart rate ($p = 0.16$) at the intensity of its achievement did not differ significantly. During the total duration of continuous exercise, the rate of fat oxidation was lower ($p < 0.05$, 0 gr: 0.71 ± 0.22 gr/min, 25 gr: 0.66 ± 0.21 gr/min, 50 gr: 0.58 ± 0.18 gr/min) while the rate of carbohydrate oxidation was higher ($p < 0.05$, 0 gr: 1.71 ± 0.55 gr/min, 25 gr: 1.89 ± 0.66 gr/min, 50 gr: 2 ± 0.49 gr/min) by increasing the amount of carbohydrate administered. The above shows that even if the maximal fat oxidation decreased when the amount of carbohydrate intake increased, this did not affect the intensity of its achievement. Practitioners can perform exercises at this running speed, always achieving the maximal fat oxidation regardless of the amount of carbohydrate they have consumed. Increasing the amount of complex carbohydrate administered reduces the rate of fat oxidation while increasing the rate of carbohydrate oxidation during continuous exercise.

Key words: carbohydrates, fat oxidation rate, aerobic exercise

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΦΙΕΡΩΣΗ.....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1. Σκοπός της έρευνας.....	13
1.2. Ερευνητικές υποθέσεις.....	13
1.3. Οριοθετήσεις και περιορισμοί.....	13
1.4. Ορισμοί και συντομογραφίες.....	14
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	15
2.1. Δείγμα.....	15
2.2. Πειραματικός σχεδιασμός.....	15
2.3. Περιγραφή μετρήσεων και οργάνων μέτρησης.....	16
2.3.1. Δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης έντασης μέχρι την εξάντληση.....	16
2.3.2. Προσδιορισμός του ρυθμού οξειδωσης των λιπιδίων και υδατανθράκων.....	17
2.3.3. Προσδιορισμός της ΕΜΡΟΛ και ΜΡΟΛ.....	17
2.3.4. Προσδιορισμός των θερμίδων που καταναλώθηκαν κατά τη συνεχόμενη άσκηση.....	19
2.4. Στατιστική Ανάλυση.....	20
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	21
3.1. Μέγιστος ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων.....	21
3.2. Ταχύτητα επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης λιπιδίων.....	22
3.3. ΕΜΡΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας.....	23
3.4. ΕΜΡΟΛ ως σε σχετικές τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου.....	24
3.5. ΕΜΡΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.....	25

3.6. ΕΜΠΟΛ σε απόλυτες τιμές της μέγιστης καρδιακής συχνότητας	26
3.7. ΕΜΠΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας.....	27
3.8. Ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση.....	28
3.9. Ρυθμός οξειδωσης των υδατανθράκων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση.....	29
3.10. Συνολική κατανάλωση λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση.....	30
3.11. Συνολική κατανάλωση υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση..	31
3.12. Συνολική κατανάλωση θερμίδων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση.....	32
3.13. Ποσοστό θερμίδων από καύση λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση..	33
3.14. Ποσοστό θερμίδων από καύση υδατανθράκων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση.....	34
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	35
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	40
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.	Υπολογισμός του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης των λιπιδίων και της έντασης επίτευξης του.....	18
Σχήμα 2.	Υπολογισμός της EMPOΛ ως τιμή κατανάλωσης οξυγόνου.....	18
Σχήμα 3.	Υπολογισμός της EMPOΛ ως τιμή καρδιακής συχνότητας.....	19
Σχήμα 4.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στο μέγιστο ρυθμό οξειδωσης των λιπιδίων (MPOΛ, $\bar{x} \pm SD$).....	21
Σχήμα 5.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ταχύτητα ($\bar{x} \pm SD$) επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης λιπιδίων (MPOΛ).....	22
Σχήμα 6.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης των λιπιδίων (EMPOΛ) εκφρασμένη ως ποσοστό της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας ($\bar{x} \pm SD$)...	23
Σχήμα 7.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης των λιπιδίων (EMPOΛ) εκφρασμένη σε σχετικές τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου ($\bar{x} \pm SD$).....	24
Σχήμα 8.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης των λιπιδίων (EMPOΛ) ως ποσοστό της VO_2max ($\bar{x} \pm SD$).....	25
Σχήμα 9.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης των λιπιδίων (EMPOΛ) σε απόλυτες τιμές της μέγιστης καρδιακής συχνότητας ($\bar{x} \pm SD$).....	26
Σχήμα 10.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης των λιπιδίων (EMPOΛ) ως ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας ($\bar{x} \pm SD$).....	27
Σχήμα 11.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στο ρυθμό οξειδωσης των λιπιδίων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).....	28
Σχήμα 12.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στον ρυθμό οξειδωσης των υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).....	29
Σχήμα 13.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στη συνολική κατανάλωση των λιπιδίων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).....	30
Σχήμα 14.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στη συνολική κατανάλωση των υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).....	31
Σχήμα 15.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στη συνολική κατανάλωση των θερμίδων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).....	32

Σχήμα 16.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στο ποσοστό θερμίδων από καύση λιπιδίων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).....	33
Σχήμα 17.	Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στο ποσοστό θερμίδων από καύση υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).....	34

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων κατά τη διάρκεια της άσκησης (ΜΡΟΛ) καθώς και η ένταση της άσκησης που επιτυγχάνεται (ΕΜΡΟΛ) θεωρούνται βιολογικοί δείκτες της μεταβολικής υγείας και της απόδοσης (Gahete et al., 2019). Για τους περισσότερους αθλητές αντοχής, η ΕΜΡΟΛ φαίνεται να έχει ιδιαίτερη σημασία. Αν επιτυγχάνεται σε ένα υψηλό ποσοστό της VO_{2max} ή της HR_{max} σημαίνει ότι θα μπορούν οι αθλητές να ασκούνται χρονικά σε υψηλή ένταση χωρίς να εμφανίζεται αυξημένος ρυθμός οξείδωσης των υδατανθράκων καθώς θα στηρίζονται περισσότερο στο μεταβολισμό των λιπιδίων. Εκτεταμένη παραμονή στην ένταση στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη οξείδωση του λίπους μειώνει την ενδογενή οξείδωση υδατανθράκων κατά τη διάρκεια της άσκησης με κύριο αποτέλεσμα τη μη εξάντληση του μυϊκού γλυκογόνου, η οποία συνδέεται με την κόπωση (Maunder et al., 2018). Η εξοικονόμηση υδατανθράκων μέχρι το τέλος του αγώνα ή της προπόνησης οδηγεί στα βέλτιστα αποτελέσματα. Η αύξηση, επομένως, της ΕΜΡΟΛ είναι μία από τις πιο σημαντικές πτυχές της προπόνησης αντοχής.

Οι υδατάνθρακες είναι ένα σημαντικό ενεργειακό υπόστρωμα σε όλες τις εντάσεις άσκησης. Οι κύριοι καθοριστικοί παράγοντες της χρήσης υδατανθράκων κατά την άσκηση είναι η ένταση και η διάρκειά της, ακολουθούμενη από την προπόνηση και τη διατροφική κατάσταση (Gonzalez et al., 2017). Η γλυκόζη είναι ένα συστατικό των περισσότερων δισακχαριτών και πολυσακχαριτών και ως εκ τούτου είναι ο πανταχού παρόν υδατάνθρακας στις δίαιτες των περισσότερων ανθρώπων. Αποτελεί, επίσης, την κύρια κυτταρική πηγή καυσίμου σε όλους σχεδόν τους ανθρώπινους ιστούς. Ο στόχος σε μια "αθλητική διαίτα" πριν την άσκηση είναι ο εφοδιασμός και η πλήρης κάλυψη του οργανισμού σε γλυκογόνο. Εάν ο στόχος είναι η απόδοση σε υψηλής έντασης άσκησης αντοχής ή σε αγώνα αντοχής τότε η πρόσληψη υδατανθράκων στη βέλτιστη ποσότητα και χρονική διάρκεια μπορεί να βοηθήσει (Mata et al., 2019)

Έρευνες δείχνουν ότι η χορήγηση μεγάλων ποσοτήτων γλυκόζης (>100gr) πριν την άσκηση δεν έχουν ευεργετικά αποτελέσματα και αυτό διότι η υπεύθυνη ορμόνη για τη μεταφορά και την απορρόφηση της γλυκόζης στα κύτταρα, η ινσουλίνη, εκκρίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα με αποτέλεσμα την απότομη πτώσης της γλυκόζης προκαλώντας μείωση της αντοχής (Hargreaves et al., 2004; Jeukendrup et al., 2010). Αντίθετα, η

χορήγηση φρουκτόζης δεν προκαλεί τόσο ραγδαία αύξηση της γλυκόζης στο αίμα με αποτέλεσμα να μην εκκρίνονται μεγάλα ποσά ινσουλίνης και να μην επέρχεται υπογλυκαιμία. Η διάσπαση της φρουκτόζης γίνεται με πιο αργό ρυθμό (Cerman & VanLoon, 2013), κάτι που σημαίνει ότι ο αθλητής έχει ικανότητα άσκησης σε υψηλότερες εντάσεις για περισσότερο χρόνο. Αυτό έχει αποδοθεί στο γεγονός ότι η φρουκτόζη πρέπει να μετατραπεί σε γλυκόζη στο ήπαρ προτού μεταβολιστεί (Jeukendrup, 2014). Ενώ οι πρώτες συστάσεις χορήγησης υδατανθράκων πρότειναν σκευάσματα με βάση τη γλυκόζη (Coggan & Coyle, 1991), πιο πρόσφατες οδηγίες προτείνουν ότι με σύνθετο υδατάνθρακα, γλυκόζης και φρουκτόζης, η απόδοση μπορεί να βελτιωθεί (Jeukendrup, 2014). Ο σύνθετος υδατάνθρακας αποτελείται από συνδυασμό υδατανθράκων, όπως για παράδειγμα γλυκόζη και μαλτοδεξτρίνη ή γλυκόζη και φρουκτόζη ενώ παράλληλα προσδίδει περισσότερη ενέργεια και μεταβολίζεται πιο αργά συγκριτικά με τον απλό υδατάνθρακα (Lecoultre et al., 2010; Gray et al., 2020). Χορήγηση σκευασμάτων που περιλαμβάνουν και τους δύο μονοσακχαρίτες προκαλούν ενδιαφέροντα αποτελέσματα στην απόδοση αντοχής. Ο ρυθμός οξείδωσης των υδατανθράκων του χορηγούμενου μείγματος (50 gr γλυκόζης και 50 gr φρουκτόζης, αναλογία 1:1) κατά τη διάρκεια της άσκησης ήταν περίπου ίδιος συγκριτικά με την χορήγηση 100 gr γλυκόζης ή καθαρής φρουκτόζης. Ωστόσο η συνολική οξείδωση των υδατανθράκων του σύνθετου μείγματος ήταν μεγαλύτερο συγκριτικά με την οξείδωση των 100 gr γλυκόζης (Adoro et al., 1994). Όμως σε άλλη μελέτη, ο συνδυασμός περίπου διπλάσιας ποσότητας γλυκόζης από ότι φρουκτόζης (αναλογία 2:1 γλυκόζης-φρουκτόζης) οδήγησε σε υψηλότερη εξωγενή οξείδωση υδατανθράκων (Jeukendrup & Moseley, 2010). Έτσι κατά την διάρκεια της άσκησης η χορήγηση γλυκόζης ή σύνθετου υδατάνθρακα διαφέρει σημαντικά ως προς τον αυξημένο ρυθμό οξείδωσης των υδατανθράκων (Hulston et al., 2009; Lecourte et al., 2010; Jentjens & Jeukendrup, 2005) ενώ σε άλλες φαίνεται πως ο ρυθμός οξείδωσης δεν διαφέρει μεταξύ τους (Tripllet et al., 2010; Trommelen et al., 2017).

Η ΕΜΠΟΛ έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές. Η πλειονότητα των ερευνών προσδιορίζει το σημείο εμφάνισης της κατά τη διάρκεια εκτέλεσης δοκιμασίας σε εργοδιάδρομο ή εργοποδήλατο (Cheneviere et al., 2010; Zakrewski & Tolfrey, 2011). Στην έρευνα των Cheneviere et al (2010) σε μια δοκιμασία αυξανόμενης έντασης, χωρίς εξάντληση, στο ποδήλατο και το διάδρομο, η ΕΜΠΟΛ επιτεύχθηκε στο 44% της VO_2max στο ποδήλατο και στο 57% της VO_2max στο διάδρομο. Ωστόσο, ο ρυθμός οξείδωσης των

λιπιδίων δεν διέφερε μεταξύ των δύο δοκιμασιών. Στην έρευνα των Zakrewski & Tolfrey (2011) η ΕΜΡΟΛ βρέθηκε στο 55% της VO_2max σε μια δοκιμασία στο εργοποδήλατο που συμμετείχαν παιδιά ηλικίας $9,5 \pm 0,5$ ετών. Σε άλλες μελέτες έχουν συγκρίνει τις διαφορές μεταξύ ανδρών και γυναικών (Cheneviere et al., 2011) καθώς και προπονημένους και απροπόνητους (Burgomaster και et al., 2008; Stisen et al., 2006). Στην έρευνα των Cheneviere et al (2011) εξετάστηκαν οι διαφορές του φύλου στην ΕΜΡΟΛ και στον ΜΡΟΛ. Σε μια δοκιμασία αυξανόμενης έντασης που έγινε σε ποδήλατο βρέθηκε πως η ΕΜΡΟΛ ($50,0 \pm 2,7\%$ έναντι $58,1 \pm 1,9\%$ VO_2max) και ο ΜΡΟΛ ($4,5 \pm 0,3$ mg/min έναντι $6,6 \pm 0,9$ mg/min) ήταν υψηλότερα στις γυναίκες από ότι στους άνδρες. Αυτά τα ευρήματα υποστηρίζουν την ιδέα ότι οι γυναίκες χρησιμοποιούν περισσότερο το λίπος ως πηγή ενέργειας από τους άνδρες, αλλά δείχνουν επίσης ότι αυτή η μεγαλύτερη οξείδωση του λίπους μετατοπίζεται προς υψηλότερες εντάσεις άσκησης στις γυναίκες από ότι στους άνδρες. Οι Stisen et. al (2006) εφάρμοσαν αυξανόμενης έντασης άσκηση, όχι έως την εξάντληση, σε 17 προπονημένες και απροπόνητες γυναίκες. Η ΕΜΡΟΛ και ο ΜΡΟΛ βρέθηκαν να είναι ελαφρώς υψηλότεροι στις προπονημένες γυναίκες ($56 \pm 3\%$ VO_2max και $0,38 \pm 0,03$ g/min) σε σύγκριση με τις απροπόνητες ($53 \pm 2\%$ VO_2max και $0,31 \pm 0,01$ g/min). Τα διαφορετικά αποτελέσματα, σύμφωνα με τους ερευνητές, οφείλονται στην υψηλότερη VO_2max που είχα οι προπονημένες σε σύγκριση με τις απροπόνητες γυναίκες. Επιπρόσθετα, μελετήθηκε η μεταβολή ή μη του σημείου εμφάνισης της ΕΜΡΟΛ κατά την διάρκεια ενός 24ώρου (Mohebbi & Azizi, 2011). Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν στο ποδήλατο μια δοκιμασία αυξανόμενης έντασης το απόγευμα και την επόμενη ημέρα το πρωί. Βρέθηκε πως η ΕΜΡΟΛ ($53,2 \pm 7,2\%$ vs $47 \pm 9,8\%$ VO_2max) αλλά και ο ΜΡΟΛ ($7,18 \pm 1,5$ g/min vs $6,12 \pm 1,5$ g/min) ήταν μεγαλύτεροι το πρωί σε σύγκριση με το προηγούμενο απόγευμα.

Συνεπώς, η πλειονότητα των εργασιών ασχολήθηκε με την εύρεση του σημείου εμφάνισης του ΕΜΡΟΛ και με τη διαφοροποίηση του σε σχέση με άλλες παραμέτρους (δείγμα, είδος άσκησης κλπ). Ελάχιστες είναι οι έρευνες που ασχολήθηκαν με την μεταβολή του μετά την χορήγηση υδατανθράκων. Σε μια μόνο μελέτη έχει αξιολογηθεί η ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων και η ένταση επίτευξη του με την πρόσληψη υδατανθράκων πριν από την άσκηση (Achten & Jeukendrup, 2003) και βρέθηκε ότι ο ΜΡΟΛ μειώθηκε κατά 28% ενώ η ένταση επίτευξης του (ΕΜΡΟΛ) μειώθηκε κατά 14%. Από όσο γνωρίζουμε, δεν έχει εξεταστεί η μεταβολή της ταχύτητας ΜΡΟΛ και του ρυθμού

οξειδωσης των λιπιδίων και υδατανθράκων μετά την χορήγηση διαφορετικής ποσότητας σύνθετου υδατάνθρακα πριν την άσκηση. Επίσης δεν έχει εξεταστεί πως μεταβάλλεται ο ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων και των υδατανθράκων σε μια συνεχόμενη άσκηση με ένταση κοντά στον ΜΡΟΛ μετά από ήδη εκτέλεση μιας αυξανόμενης έντασης δοκιμασία και πως επηρεάζεται αυτή με την κάθε διαφορετική χορηγούμενη ποσότητα σύνθετου υδατάνθρακα. Η μελέτη της μεταβολής της έντασης που προκαλεί τον μέγιστο ρυθμό οξειδωσης των λιπιδίων μετά την πρόσληψη υδατάνθρακα θα δώσει πληροφορίες για τις αλλαγές της μεταβολικής λειτουργίας του οργανισμού με σκοπό να δοθούν ορισμένες κατευθύνσεις για τη βέλτιστη στρατηγική που μπορεί να ακολουθηθεί σε αγώνισμα ή προπόνηση αντοχής.

1.1. Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να εξετάσει την επίδραση της ποσότητας των προσλαμβανόμενων σύνθετων υδατανθράκων στον μέγιστο ρυθμό οξειδωσης των λιπιδίων, στην ένταση επίτευξής του και στη μεταβολική λειτουργία κατά την αερόβια άσκηση. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκε: α) πως μεταβάλλεται ο μέγιστος ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων και η ένταση στην οποία επιτυγχάνεται μετά την κατάποση 0, 25, και 50 gr σύνθετου υδατάνθρακα και β) πως μεταβάλλεται ο ρυθμός οξειδωσης και η ποσότητα των υδατανθράκων και των λιπιδίων κατά τη διάρκεια συνεχόμενης αερόβιας άσκησης διάρκειας 30 λεπτών, με ένταση στο 60% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας (MAT) χωρίς επιπλέον λήψη υδατανθράκων, σε σύγκριση με την διαφορετική ποσότητα σύνθετου υδατάνθρακα που ήδη έχει χορηγηθεί.

1.2. Ερευνητικές υποθέσεις

α) Η χορήγηση διαφορετικής ποσότητας σύνθετου υδατάνθρακα στην αρχή της άσκησης θα μειώσει τον ΜΡΟΛ και την ΕΜΡΟΛ.

β) Ο ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων θα είναι μικρότερος και ο ρυθμός οξειδωσης των υδατανθράκων μεγαλύτερος κατά τη διάρκεια συνεχόμενης αερόβιας άσκησης με την κάθε αύξηση της χορηγούμενης ποσότητας σύνθετου υδατάνθρακα.

1.3. Οριοθετήσεις και περιορισμοί

- Το δείγμα αποτέλεσαν μη ενεργοί αθλητές και αθλήτριες με μέτρια εμπειρία, τουλάχιστον 6 μηνών, στην αερόβια άσκηση.
- Οι δοκιμαζόμενοι δεν θα έπρεπε να έχουν λάβει τροφή τουλάχιστον 3 ώρες πριν την δοκιμασία και να μην εκτελούν κάποια φυσική δραστηριότητα κατά την περίοδο της έρευνας
- Η σωματική μάζα κάθε ασκούμενου κυμαίνονταν από 65 έως 75 κιλά.

1.4. Ορισμοί και Συντομογραφίες

- *Αντοχή*: η ικανότητα διατήρησης μιας συγκεκριμένης απόδοσης για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα
- *Μέγιστη αερόβια ταχύτητα*: Η ταχύτητα στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σε δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης.
- *Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου*: Η μέγιστη ποσότητα οξυγόνου που μπορεί να προσληφθεί και να χρησιμοποιηθεί από τα μυϊκά κύτταρα στη μονάδα του χρόνου για την παραγωγή ενέργειας.
- *Μέγιστη καρδιακή συχνότητα* : Η μέγιστη τιμή καρδιακή συχνότητας ενός ασκούμενου.
- *EMPOΛ*: Ένταση που επιτυγχάνεται ο μέγιστος ρυθμός καύσης λιπιδίων
- *MPOΛ*: Μέγιστος ρυθμός οξείδωσης λιπιδίων
- *RER*: Πηλίκο ανταλλαγής αερίων
- *VO₂max*: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου
- *MAT*: Μέγιστη αερόβια ταχύτητα
- *HRmax*: Μέγιστη καρδιακή συχνότητα

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Δείγμα

Το δείγμα της μελέτης αποτέλεσαν 12 άτομα (10 άντρες και 2 γυναίκες, ύψος: 177 ± 6 cm, σωματική μάζα: $69,2 \pm 5$ kg, VO_2max : $52,92 \pm 5.39$ ml/min/kg), τα οποία συμμετείχαν εθελοντικά στην μελέτη και είχαν προπονητική εμπειρία στην προπόνηση αντοχής τουλάχιστον 6 μηνών.

2.2. Πειραματικός σχεδιασμός

Οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν 4 επισκέψεις στο χώρο του ΤΕΦΑΑ του Δ.Π.Θ. Στην πρώτη επίσκεψη υποβλήθηκαν σε δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης ταχύτητας, έως την εξάντληση, για τη μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, της μέγιστης καρδιακής συχνότητας και της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας σε εργοδιάδρομο. Στις τρεις επόμενες επισκέψεις, χωρίς να έχουν λάβει τροφή τις τρεις τελευταίες ώρες, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν στον εργοδιάδρομο δοκιμασία με σταδιακά αυξανόμενη ταχύτητα κατά 1 km/h ανά 4 λεπτά μέχρι το αναπνευστικό πηλίκο ανταλλαγής αερίων (RER) να είναι $\geq 1,0$. Είκοσι λεπτά μετά την ολοκλήρωση της δοκιμασίας προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης, οι ασκούμενοι εκτέλεσαν συνεχόμενη αερόβια άσκηση διάρκειας τριάντα λεπτών με ένταση στο 60% της MAT. Στις δύο επισκέψεις, 30 λεπτά πριν την έναρξη των δοκιμασιών, οι δοκιμαζόμενοι έλαβαν ή 25 ή 50 gr σύνθετου υδατάνθρακα (φρουκτόζη και γλυκόζη με αναλογία 0,8:1) σε μορφή υδρογέλης (Gel 100 Maurten, Sweden) ενώ στην τρίτη επίσκεψη δεν χορηγήθηκε διατροφικό σκεύασμα (0 gr). Σε όλη τη διάρκεια των δοκιμασιών μετρήθηκαν η καρδιακή συχνότητα, η κατανάλωση οξυγόνου και παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα βάση των οποίων υπολογίστηκαν οι ποσότητες των λιπιδίων και των υδατανθράκων που καταναλώθηκαν. Ένα άτομο αφαιρέθηκε από τα αποτελέσματα της συνεχόμενης αερόβιας άσκησης λόγω τεχνικού προβλήματος κατά τη μέτρηση. Οι τρεις πειραματικές συνθήκες εκτελέστηκαν με τυχαία σειρά και με αντιστάθμιση.

2.3. Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης

2.3.1. Δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης έντασης έως την εξάντληση

Για τη μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και την εύρεση της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας πραγματοποιήθηκε δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση, σε εργοδιάδρομο (h/p Cosmos pulsar 3p). Η αρχική ταχύτητα ορίστηκε στα 8 - 10 km/h, ανάλογα με την εκτιμώμενη δυνατότητα του εξεταζόμενου και αυξάνονταν κατά 1 km/h κάθε 2 λεπτά έως την εξάντληση του δοκιμαζόμενου. Η κλίση του διαδρόμου ήταν 1% σε όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας (Jones & Doust, 1996). Γινόταν συνεχής καταγραφή της κατανάλωσης οξυγόνου και της παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα με σύστημα ανοιχτού κυκλώματος εργοσπιρομετρίας (Vmax Encore 229, Sensormedics, USA) και της καρδιακής συχνότητας τηλεμετρικά με φορητό πομπό (Polar H10). Η επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$ θεωρήθηκε επιτυχής όταν πληρούνταν τουλάχιστον τρία από τα παρακάτω κριτήρια: 1) ορατή εξάντληση του δοκιμαζόμενου 2) μέγιστη καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 90% της προβλεπόμενης μέγιστης καρδιακής συχνότητας με βάση την ηλικία ($220 - \text{ηλικία}$), 3) λόγος ανταλλαγής αναπνευστικών αερίων $>1,08$ και 4) πλατό στην κατανάλωση οξυγόνου (αύξηση $<2,5$ ml/kg/min) παρά την αύξηση της επιβάρυνσης. Οι αναλυτές αερίων βαθμονομούνταν πριν από κάθε δοκιμασία με τη χρήση αερίων γνωστής ποσοστιαίας συγκέντρωσης O_2 και CO_2 με βάση της οδηγίες του κατασκευαστή. Επίσης, πριν από κάθε δοκιμασία γίνονταν βαθμονόμηση του ροόμετρου του εργοσπιρόμετρου με τη χρήση σύριγγας όγκου 3L με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Ως μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου λήφθηκε η μέγιστη τιμή της κατανάλωσης O_2 σε χρονικό διάστημα 30 sec, ως $K\Sigma_{max}$ η μέγιστη τιμή της καρδιακής συχνότητας που καταγράφηκε, ενώ ως μέγιστη αερόβια ταχύτητα η ταχύτητα του τελευταίου σταδίου που ολοκλήρωσε ο κάθε δοκιμαζόμενος. Αν ο δοκιμαζόμενος δεν ολοκλήρωνε το στάδιο τότε η μέγιστη αερόβια ταχύτητα υπολογιζόταν με βάση τον τύπο:

Ταχύτητα στο τελευταίο ολοκληρωμένο στάδιο + (δευτερόλεπτα τρεξίματος στο τελευταίο στάδιο / 120).

2.3.2. Προσδιορισμός του ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων και υδατανθράκων

Στη δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης και στην δοκιμασία άσκησης διάρκειας 30 λεπτών υπολογίστηκαν ο ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων και υδατανθράκων βάσει των τύπων (Péronnet & Massicotte, 1991):

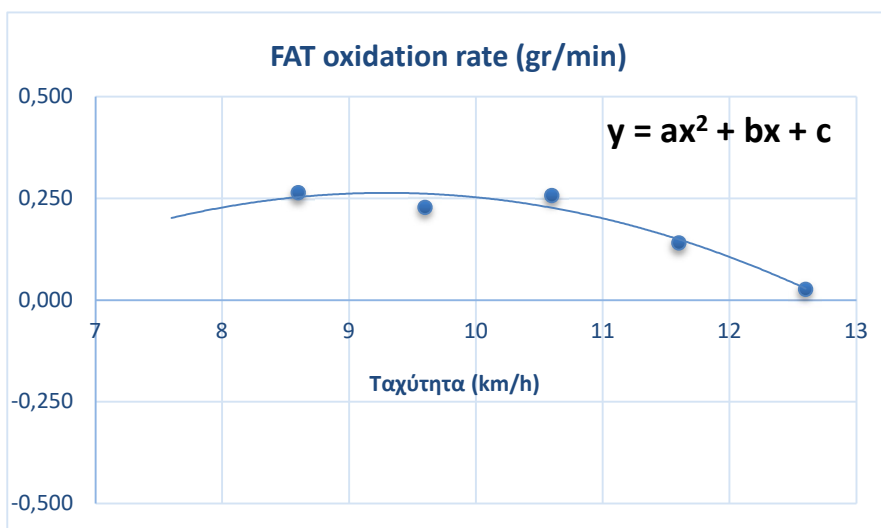
$$\text{Ρυθμός οξείδωσης λιπιδίων (gr/min)} = 1,695 \times \text{VO}_2 \text{ (L/min)} - 1,701 \times \text{VCO}_2 \text{ (L/min)}$$

$$\text{Ρυθμός οξείδωσης υδατανθράκων (gr/min)} = 4,585 \times \text{VCO}_2 \text{ (L/min)} - 3,223 \times \text{VO}_2 \text{ (L/min)}$$

Για τη δοκιμασία αυξανόμενης επιβάρυνσης οι υπολογισμοί έγιναν για κάθε στάδιο άσκησης χρησιμοποιώντας τις τιμές κατανάλωσης οξυγόνου και αποβολής διοξειδίου του άνθρακα των τελευταίων 30 sec του κάθε σταδίου. Για τη δοκιμασία σταθερής έντασης υπολογίστηκε η συνολική κατανάλωση λιπιδίων και υδατανθράκων ανά 10λεπτο άσκησης και στο σύνολο των τριάντα λεπτών.

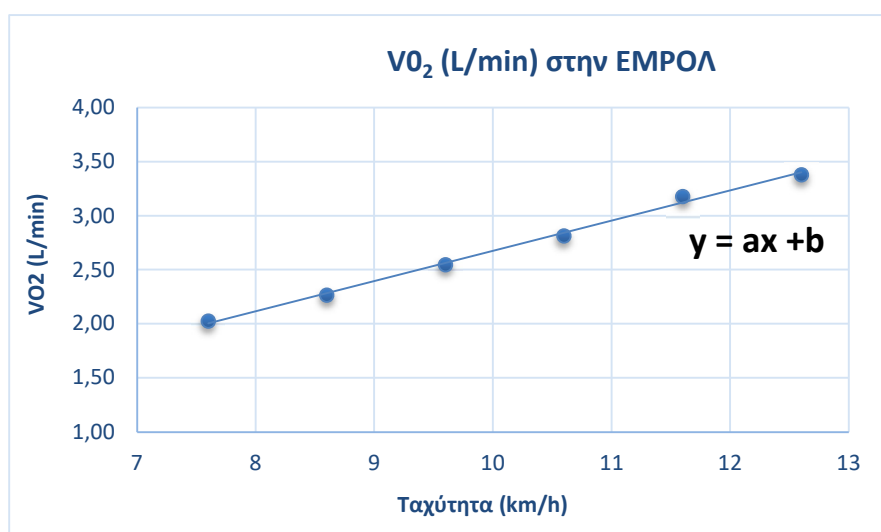
2.3.3. Προσδιορισμός της ΕΜΡΟΛ και ΜΡΟΛ

Για τον προσδιορισμό της ΕΜΡΟΛ και ΜΡΟΛ υπολογίστηκε ο ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων σε κάθε στάδιο της δοκιμασίας. Κατόπιν χρησιμοποιήθηκε η μαθηματική μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων εφαρμόζοντας μοντέλο πολυώνυμου 2^{ου} βαθμού ($y = ax^2 + bx + c$) στη σχέση μεταξύ του ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων και της ταχύτητας σε κάθε επίπεδο έντασης (Σχήμα 1). Η ΕΜΡΟΛ υπολογίστηκε βάση των τιμών των συντελεστών του πολυωνύμου ($-b/2a$) και στη συνέχεια ο ΜΡΟΛ βάση πολυωνύμου: $a*EMPOΛ^2 + b*EMPOΛ + c$



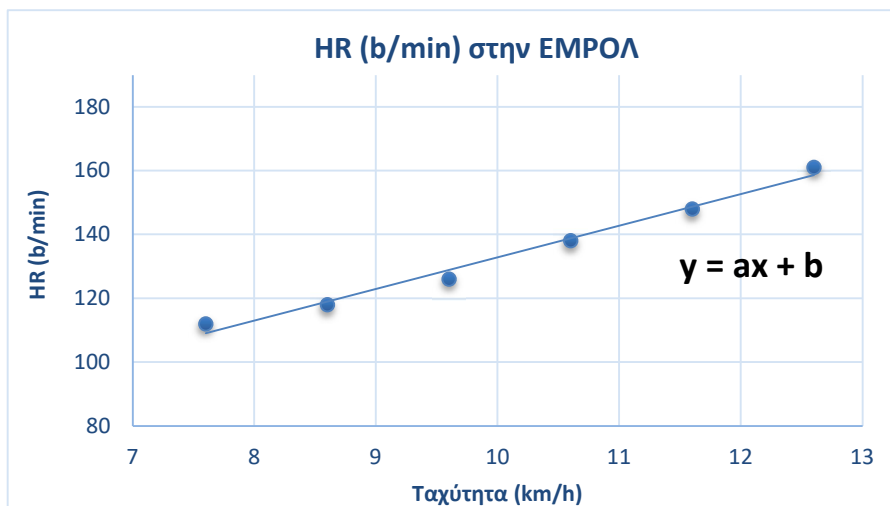
Σχήμα 1. Υπολογισμός του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων και της έντασης επίτευξής του.

Η κατανάλωση οξυγόνου στο ΜΡΟΛ υπολογίστηκε μέσω της γραμμικής σχέσης $y = ax + b$ μεταξύ της ταχύτητας και της κατανάλωσης οξυγόνου σε κάθε επίπεδο έντασης (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Υπολογισμός της ΕΜΡΟΛ ως τιμή κατανάλωσης οξυγόνου.

Η καρδιακή συχνότητα στο ΜΡΟΛ υπολογίστηκε μέσω της γραμμικής σχέσης $y = ax + b$ μεταξύ της καρδιακής συχνότητας και της ταχύτητας σε κάθε επίπεδο έντασης (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Υπολογισμός της ΕΜΡΟΛ ως τιμή καρδιακής συχνότητας.

Η ταχύτητα, η κατανάλωση οξυγόνου και η καρδιακή συχνότητα που αντιστοιχούσαν στο ΜΡΟΛ εκφράστηκαν και αναλύθηκαν τόσο σε απόλυτες τιμές όσο και ως ποσοστό των μέγιστων τιμών τους.

2.3.4. Προσδιορισμός των θερμίδων που καταναλώθηκαν κατά τη συνεχόμενη άσκηση

Βάση των τύπων που αναφέρθηκαν προηγούμενα για τον υπολογισμό του ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων και των υδατανθράκων κατά τη διάρκεια της αυξανόμενης έντασης άσκησης χρησιμοποιήθηκαν και για τον υπολογισμό του ρυθμού οξείδωσής τους κατά τη συνεχόμενη άσκηση ανά 10λεπτο αλλά και στο σύνολο. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η συνολική ποσότητα των λιπιδίων και των υδατανθράκων στα παραπάνω χρονικά διαστήματα και οι θερμίδες που καταναλώθηκαν από κάθε ενεργειακό υπόστρωμα αντιστοιχώντας 9,75 kcal/gr λίπους και 4,07 kcal/gr υδατάνθρακα (Jeukendrup & Wallis, 2005). Με βάση αυτές τις τιμές υπολογίστηκαν οι συνολικές θερμίδες αλλά και το ποσοστό αυτών που αντιστοιχεί στα λιπίδια και στους υδατάνθρακες.

2.4. Στατιστική ανάλυση

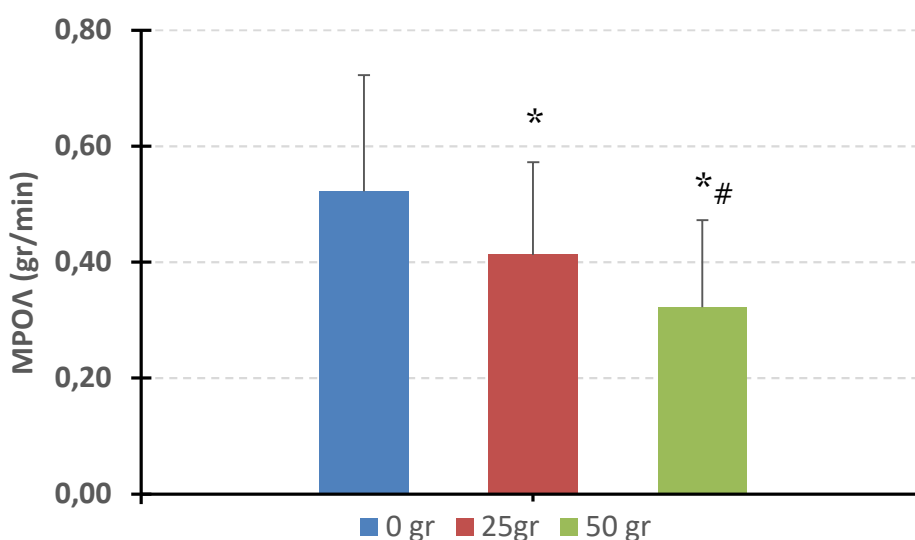
Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσες τιμές και τυπική απόκλιση. Για τη διερεύνηση της επίδραση της ποσότητας των υδατανθράκων (0, 25 και 50 gr) που προσλήφθηκαν πριν την άσκηση α) στο μέγιστο ρυθμό καύσης λιπιδίων, την ταχύτητα επίτευξης αυτού, καθώς και την VO_2 και την καρδιακή συχνότητα στην ταχύτητα του μέγιστου ρυθμού οξειδωσης λιπιδίων κατά τη δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης και β) στη συνολική ποσότητα των λιπιδίων και των υδατανθράκων που καταναλώθηκαν στη δοκιμασία διάρκειας 30 λεπτών, εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε ένα παράγοντα. Για τη διερεύνηση της επίδρασης της ποσότητας των υδατανθράκων (0, 25 και 50 gr) που προσλήφθηκαν πριν την άσκηση και τη χρονική περίοδο άσκησης και την αλληλεπίδρασή τους, στη συνολική ποσότητα των λιπιδίων και των υδατανθράκων που καταναλώθηκαν στη δοκιμασία διάρκειας 30 λεπτών ανά 10λεπτο, εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε δύο παράγοντες. Επιμέρους διαφορές μεταξύ των μέσων όρων εντοπίστηκαν με το τεστ του Tukey. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0,05$. Το μέγεθος της διαφοράς (ΜΔ) στην επίδραση της ποσότητας των υδατανθράκων (0, 25, 50 gr) που προσλήφθηκαν πριν την άσκηση προσδιορίστηκε με το ΜΔ του Cohen, (Cohen 1988). Τιμές ΜΔ μικρότερες του 0,2 ορίστηκαν ως πολύ μικρές και μεγαλύτερες από 0,2, 0,5 και 0,8 ως μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, αντίστοιχα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να βρεθεί πως επιδρά η χορήγηση διαφορετικής ποσότητας σύνθετου υδατάνθρακα πριν την άσκηση στο μέγιστο ρυθμό καύσης λιπιδίων και την ένταση που επιτυγχάνεται όπως και ο συνολικός ρυθμός οξείδωσης λιπιδίων και υδατανθράκων σε συνεχόμενη αερόβια άσκηση. Στα αποτελέσματα παρουσιάζονται, αρχικά, οι διαφορές στο μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων και στην ταχύτητα στην οποία επιτυγχάνεται αυτή και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση.

3.1. Μέγιστος ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων

Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά [$F(2,22)= 16,28, p= 0,01, MΔ: 0 \text{ gr}$ έναντι $25 \text{ gr}: 0,6, 25 \text{ gr}$ έναντι $50 \text{ gr}: 0,58, 0$ έναντι $50 \text{ gr}: 1,12$] στον ΜΡΟΛ μεταξύ των συνθηκών (Σχήμα 4).

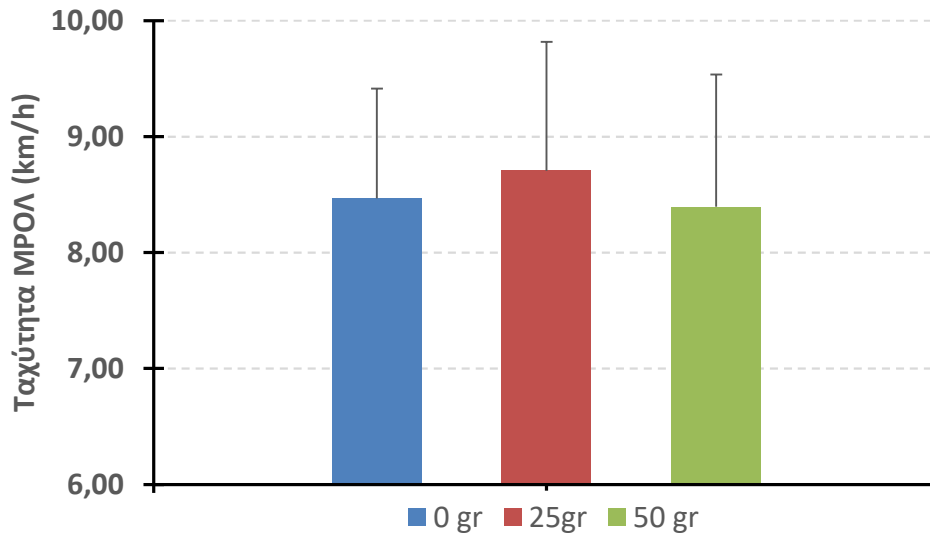


Σχήμα 4. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στο μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων (ΜΡΟΛ, $\bar{x} \pm SD$)

* $p < 0,05$ από τη χορήγησης 0 gr, # $p < 0,05$ χορήγηση 25 gr

3.2. Ταχύτητα επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης λιπιδίων

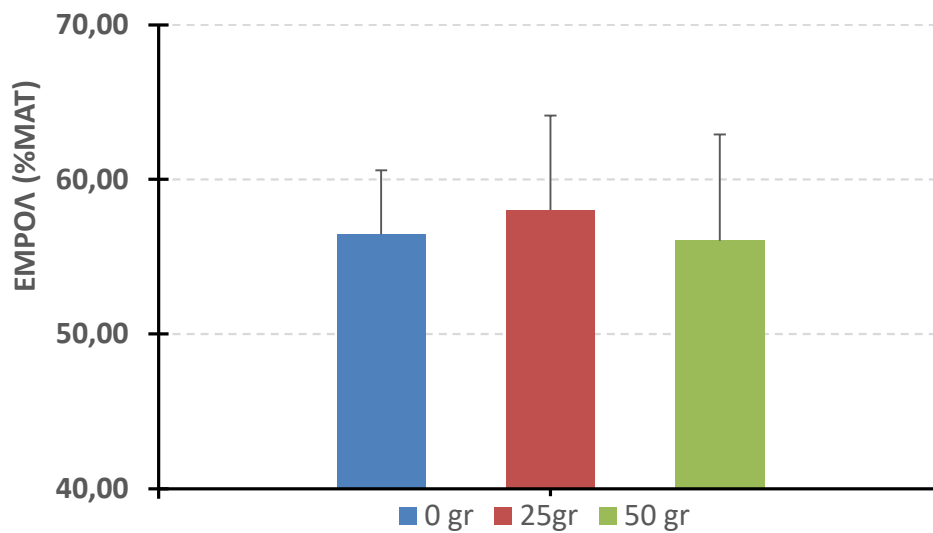
Παρατηρήθηκε, μη στατιστικά σημαντική [$F(2,22) = 2,0$, $p = 0,12$, ΜΔ: 0 έναντι 25 gr: -0.23, 25 gr έναντι 50 gr: 0.27, 0 έναντι 50 gr: 0.07] στην ταχύτητα επίτευξης του ΜΡΟΛ όπου ήταν σχεδόν αμετάβλητη μεταξύ των συνθηκών (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ταχύτητα ($\bar{x} \pm SD$) επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης λιπιδίων (ΜΡΟΛ).

3.3. ΕΜΡΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας

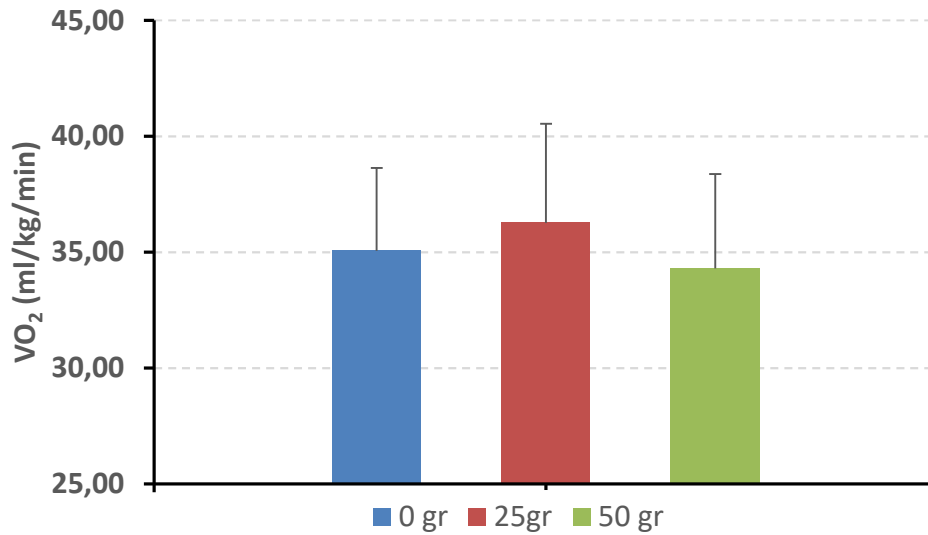
Παρατηρήθηκε μη στατιστικά σημαντική διαφορά ($F(2,22)= 2,23$, $p= 0,14$, ΜΔ: 0 gr έναντι 25 gr: -0.33, 25 gr έναντι 50 gr: 0.35, 0gr έναντι 50 gr: 0.08] στην ΕΜΡΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας μεταξύ των συνθηκών (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων (EMPOA) εκφρασμένη ως ποσοστό της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας ($\bar{x} \pm SD$).

3.4. ΕΜΡΟΛ σε σχετικές τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου

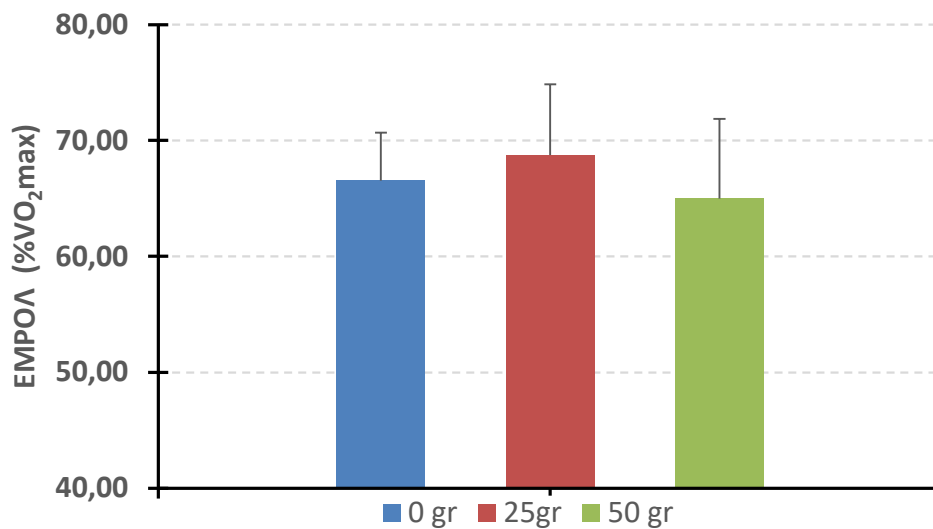
Παρατηρήθηκε μη στατιστικά σημαντική διαφορά ($F(2,22)= 2,18, p= 0,14, MΔ: 0 \text{ gr}$ έναντι $25 \text{ gr}: -0.23, 25 \text{ gr}$ έναντι $50 \text{ gr}: 0.35, 0 \text{ gr}$ έναντι $50 \text{ gr}: -0.13$) στην ΕΜΡΟΛ σε σχετικές τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου μεταξύ των συνθηκών (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων (ΕΜΡΟΛ) εκφρασμένη σε σχετικές τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου ($\bar{x} \pm SD$).

3.5. ΕΜΡΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου

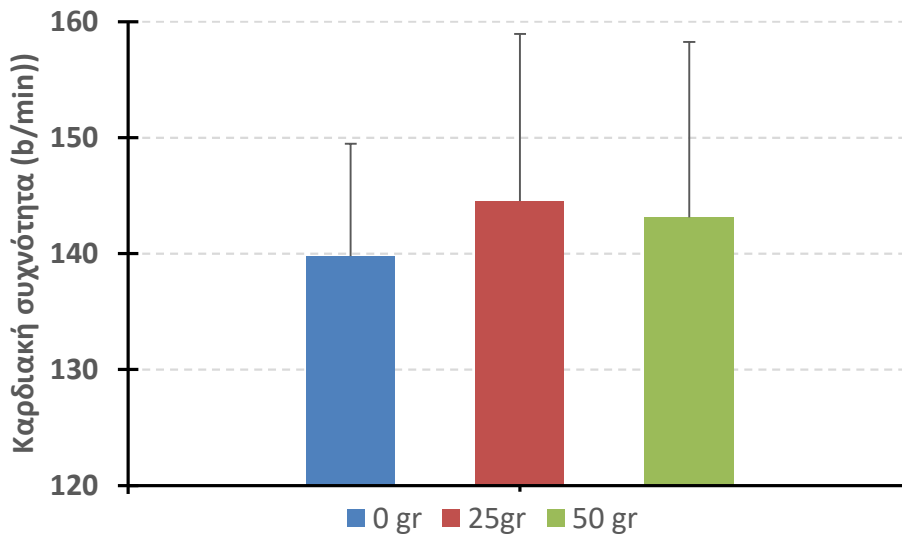
Παρατηρήθηκε μη στατιστικά σημαντική διαφορά ($F(2,22)= 2,13$, $p= 0,14$, $MΔ$: 0 gr έναντι 25 gr:- 0.23, 25 gr έναντι 50 gr: 0.10, 0 gr έναντι 50 gr: -0.26] στην ΕΜΡΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου μεταξύ των συνθηκών (Σχήμα 8).



Σχήμα 8. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων (ΕΜΡΟΛ) ως ποσοστό της VO₂max ($\bar{x} \pm SD$).

3.6. ΕΜΡΟΛ σε απόλυτες τιμές της μέγιστης καρδιακής συχνότητας

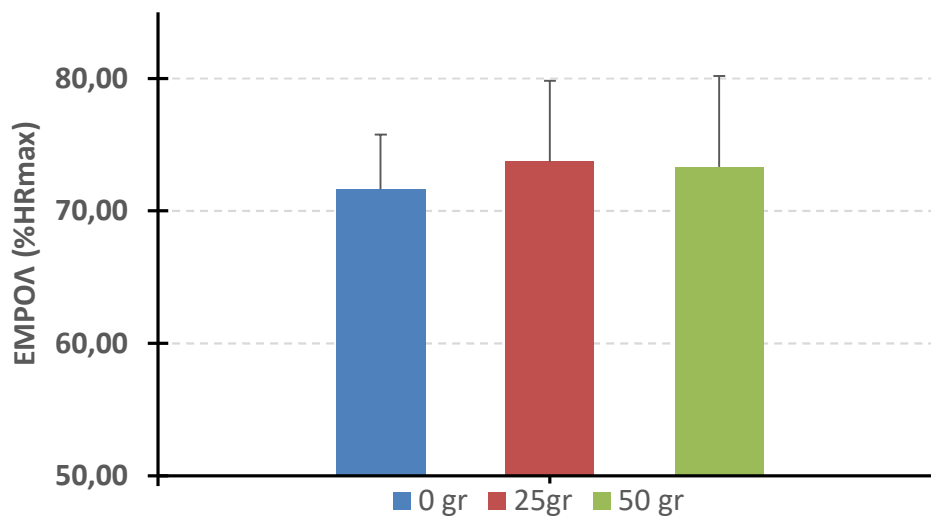
Παρατηρήθηκε μη στατιστικά σημαντική διαφορά ($F(2,22)= 2,23$, $p= 0,13$, ΜΔ: 0 gr έναντι 25 gr: -0.39, 25 gr έναντι 50 gr: 0.1, 0 έναντι 50 gr: -0.26] στην ΕΜΡΟΛ σε απόλυτες τιμές της μέγιστης καρδιακής συχνότητας μεταξύ των συνθηκών (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων (ΕΜΡΟΛ) σε απόλυτες τιμές της μέγιστης καρδιακής συχνότητας ($\bar{x} \pm SD$).

3.7. ΕΜΡΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας

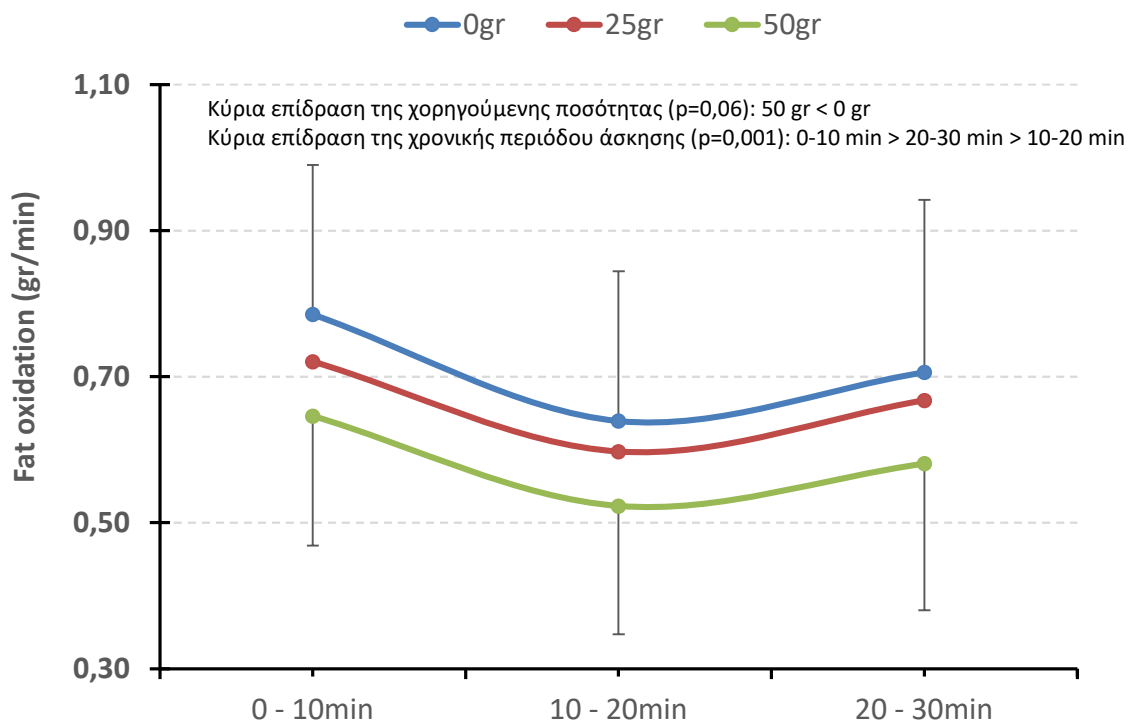
Παρατηρήθηκε μη στατιστικά σημαντική διαφορά ($F(2,22)= 2,13$, $p= 0,16$, ΜΔ: 0 gr έναντι 25 gr: -0.4, 25 gr έναντι 50 gr: 0.06, 0 έναντι 50 gr: -0.30] στην ΕΜΡΟΛ ως ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας μεταξύ των συνθηκών (Σχήμα 10).



Σχήμα 10. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στην ένταση επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων (EMPOA) ως ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας ($\bar{x} \pm SD$).

3.8. Ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση

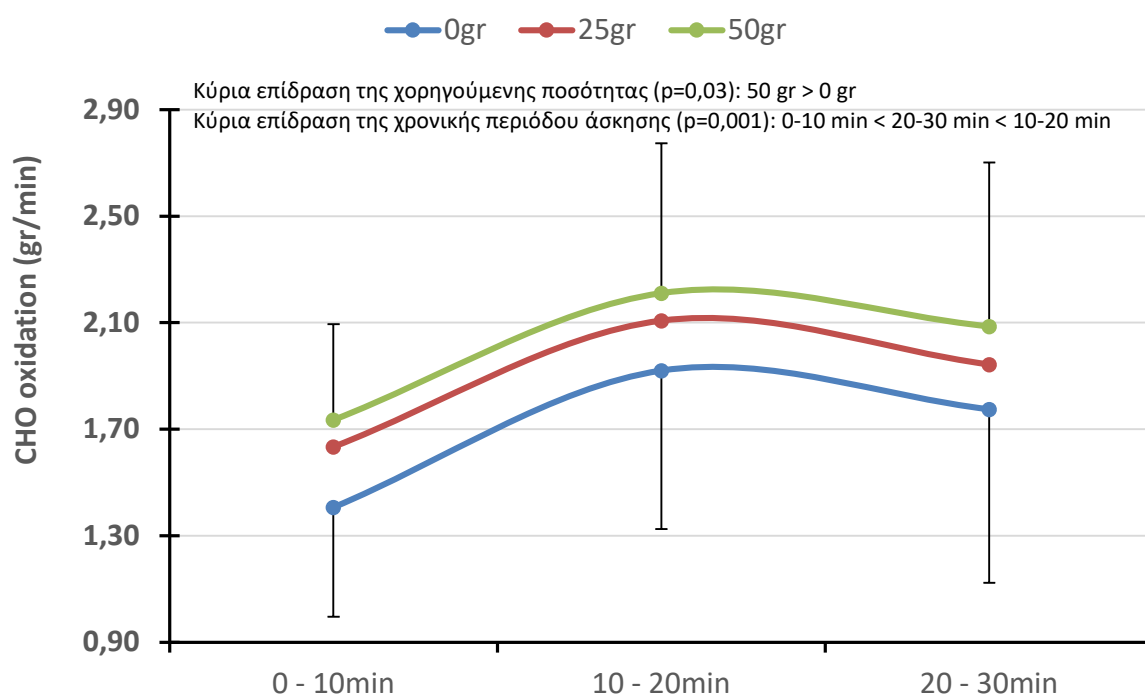
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [$F(4,40)= 0,49, p= 0,74$] μεταξύ της ποσότητας των υδατανθράκων που προσλήφθηκε και της χρονικής περιόδου άσκησης στο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση. Παρατηρήθηκε τάση κύριας επίδρασης [$F(2,20)= 3,18, p=0,06$] του παράγοντα ποσότητα του χορηγούμενου υδατάνθρακα στο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων ο οποίος ήταν χαμηλότερος στη συνθήκη χορήγησης 50 gr έναντι της συνθήκης μη χορήγησης (0 gr). Επίσης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική περίοδος άσκησης [$F(2,20)= 20,32, p= 0,001$] στο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων ο οποίος ήταν υψηλότερος στο πρώτο δεκάλεπτο άσκησης έναντι του δεύτερου και του τρίτου δεκαλέπτου και στο τρίτο έναντι του δεύτερου δεκαλέπτου (Σχήμα 11).



Σχήμα 11. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).

3.9. Ρυθμός οξείδωσης των υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση

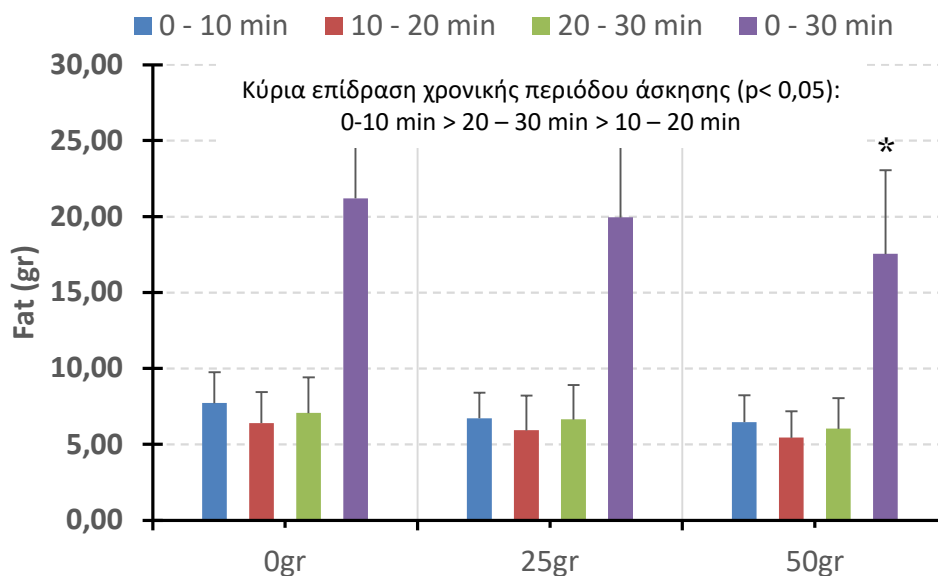
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [$F(4,40)= 0,17, p= 0,95$] μεταξύ της ποσότητας των υδατανθράκων που προσλήφθηκε και της χρονικής περιόδου άσκησης στο ρυθμό οξείδωσης των υδατανθράκων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση. Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση [$F(2,20)= 4,38, p= 0,03$] του παράγοντα ποσότητα του χορηγούμενου υδατάνθρακα στο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων ο οποίος ήταν υψηλότερος στη συνθήκη χορήγησης 50 gr έναντι της συνθήκης μη χορήγησης (0 gr). Επίσης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική περίοδος άσκησης [$F(2,20)= 29,69, p= 0,001$] στο ρυθμό οξείδωσης των υδατανθράκων ο οποίος ήταν χαμηλότερος στο πρώτο δεκάλεπτο άσκησης έναντι του δεύτερου και του τρίτου δεκαλέπτου και στο τρίτο έναντι του δεύτερου δεκαλέπτου (Σχήμα 12).



Σχήμα 12. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στον ρυθμό οξείδωσης των υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$).

3.10. Συνολική κατανάλωση λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [$F(4,40)= 0,13, p= 0,96$] μεταξύ της ποσότητας των υδατανθράκων που προσλήφθηκε και της χρονικής περιόδου άσκησης στη συνολική κατανάλωση λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση. Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση [$F(2,20)= 3,59, p= 0,05$] του παράγοντα ποσότητα του χορηγούμενου υδατάνθρακα στη συνολική κατανάλωση λιπιδίων η οποία ήταν χαμηλότερη στη συνθήκη χορήγησης 50 gr έναντι της συνθήκης μη χορήγησης (0 gr). Επίσης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική περίοδος άσκησης [$F(2,20)= 12,94, p= 0,001$] στη συνολική κατανάλωση λιπιδίων η οποία ήταν υψηλότερη στο πρώτο δεκάλεπτο άσκησης έναντι του δεύτερου και του τρίτου δεκαλέπτου και στο τρίτο έναντι του δεύτερου δεκαλέπτου (Σχήμα 13).

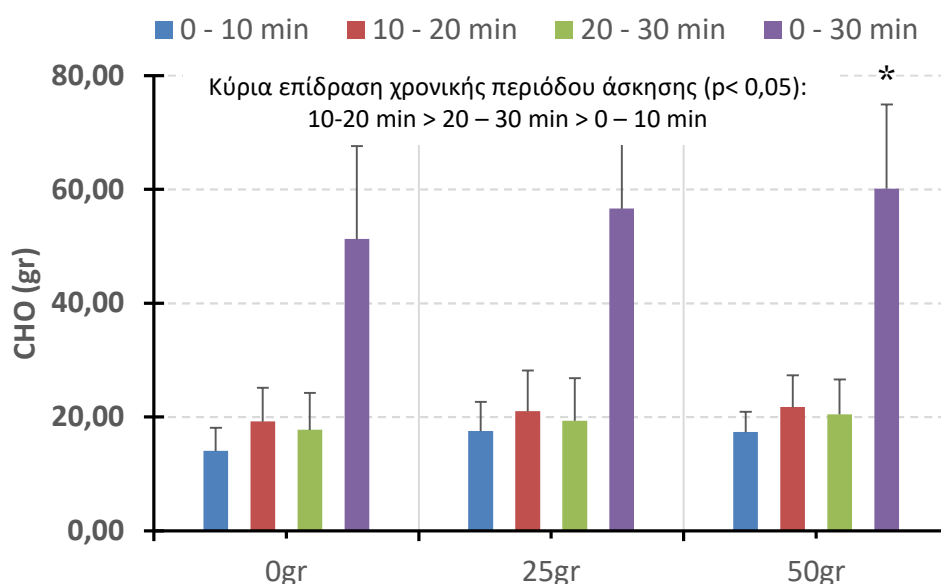


Σχήμα 13. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στη συνολική κατανάλωση των λιπιδίων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$)

* $p=0,05$ από τη χορήγηση 0 gr

3.11. Συνολική κατανάλωση υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [$F(4,40)= 0,17, p= 0,95$] μεταξύ της ποσότητας των υδατανθράκων που προσλήφθηκε και της χρονικής περιόδου άσκησης στη συνολική κατανάλωση υδατανθράκων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση. Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση [$F(2,20)= 4,38, p= 0,03$] του παράγοντα ποσότητα του χορηγούμενου υδατάνθρακα στη συνολική κατανάλωση υδατανθράκων η οποία ήταν υψηλότερη στη συνθήκη χορήγησης 50 gr έναντι της συνθήκης μη χορήγησης (0 gr). Επίσης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική περίοδος άσκησης [$F(2,20)= 29,69, p= 0,001$] στη συνολική κατανάλωση υδατανθράκων η οποία ήταν υψηλότερη στο δεύτερο δεκάλεπτο άσκησης έναντι του τρίτου και του πρώτου δεκαλέπτου και στο τρίτο έναντι του πρώτου δεκαλέπτου (Σχήμα 14).

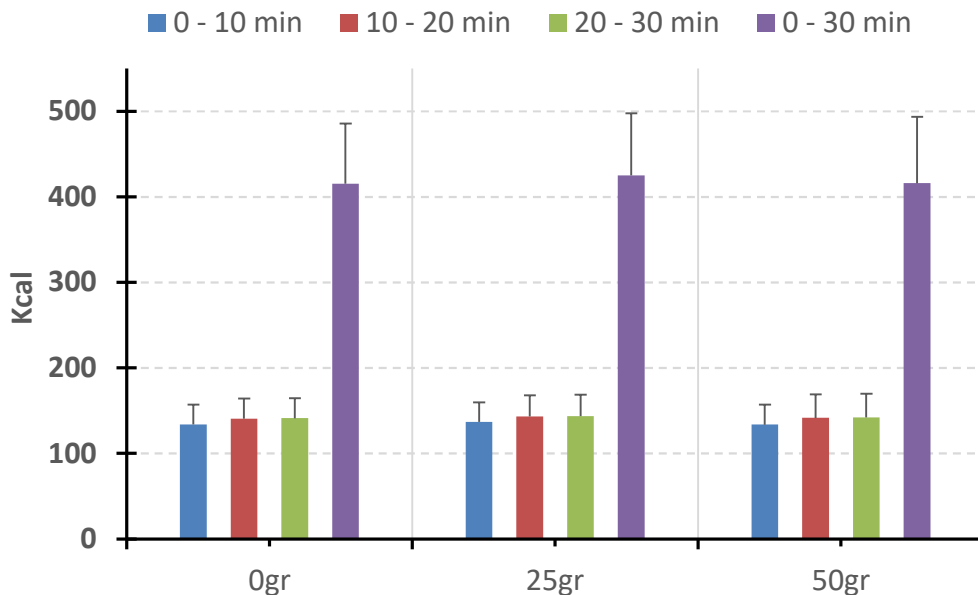


Σχήμα 14. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στη συνολική κατανάλωση των υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$)

* $p < 0,05$ από τη χορήγηση 0 gr

3.12. Συνολική κατανάλωση θερμίδων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση

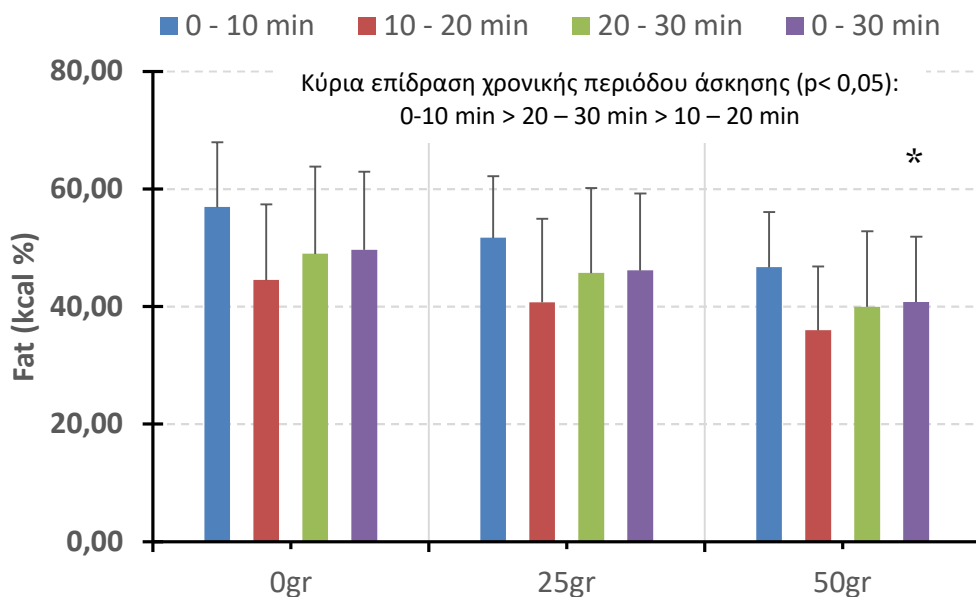
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [$F(4,40)= 0,019, p= 0,99$] μεταξύ της ποσότητας των υδατανθράκων που προσλήφθηκε και της χρονικής περιόδου άσκησης στη συνολική κατανάλωση θερμίδων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση [$F(2,20)= 1,87, p= 0,18$] του παράγοντα ποσότητα του χορηγούμενου υδατάνθρακα στη συνολική κατανάλωση θερμίδων η οποία ήταν στατιστικά αμετάβλητη μεταξύ των συνθηκών χορήγησης (0,25 και 50 gr). Επίσης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική περίοδος άσκησης ($F(2,20)= 13,00, p= 0,001$) στη συνολική κατανάλωση θερμίδων η οποία ήταν υψηλότερη στο χαμηλότερη στο πρώτο δεκάλεπτο άσκησης έναντι του δευτέρου και του τρίτου δεκαλέπτου (Σχήμα 15).



Σχήμα 15. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στη συνολική κατανάλωση των θερμίδων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$)

3.13. Ποσοστό θερμίδων από καύση λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [$F(4,40)= 0,14, p= 0,96$] μεταξύ της ποσότητας των υδατανθράκων που προσλήφθηκε και της χρονικής περιόδου άσκησης στο ποσοστό θερμίδων από καύση λιπιδίων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση. Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση [$F(2,20)= 4,70, p= 0,02$] του παράγοντα ποσότητα του χορηγούμενου υδατάνθρακα στο ποσοστό θερμίδων από καύση λιπιδίων το οποίο ήταν χαμηλότερο στη συνθήκη χορήγησης 50 gr έναντι της συνθήκης μη χορήγησης (0 gr). Επίσης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική περίοδος άσκησης ($F(2,20)= 27,53, p= 0,001$) στο ποσοστό θερμίδων από καύση λιπιδίων το οποίο ήταν χαμηλότερο στο δεύτερο δεκάλεπτο άσκησης έναντι του τρίτου και του πρώτου δεκαλέπτου και στο τρίτο έναντι του πρώτου δεκαλέπτου (Σχήμα 16).

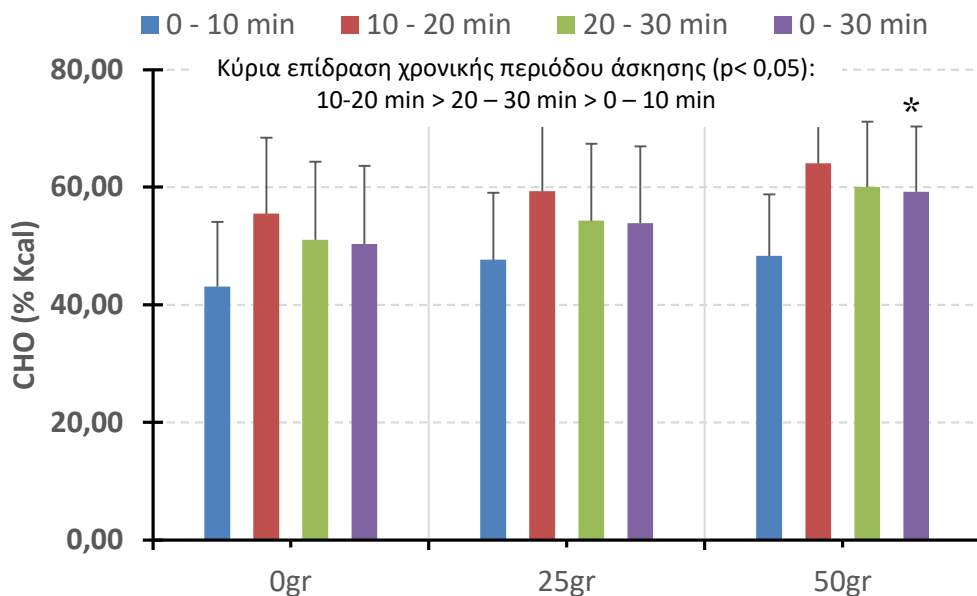


Σχήμα 16. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στο ποσοστό θερμίδων από καύση λιπιδίων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$)

* $p=0,02$ από τη χορήγηση 0 gr

3.14. Ποσοστό θερμίδων από καύση υδατανθράκων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [$F(4,40)= 0,51$ $p= 0,72$] μεταξύ της ποσότητας των υδατανθράκων που προσλήφθηκε και της χρονικής περιόδου άσκησης στο ποσοστό θερμίδων από καύση υδατανθράκων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση. Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση [$F(2,20)= 3,85$, $p= 0,04$] του παράγοντα ποσότητα του χορηγούμενου υδατάνθρακα στο ποσοστό θερμίδων από καύση υδατανθράκων το οποίο ήταν υψηλότερο στη συνθήκη χορήγησης 50 gr έναντι της συνθήκης μη χορήγησης (0 gr). Επίσης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική περίοδος άσκησης ($F(2,20)= 21,73$, $p= 0,001$) στο ποσοστό θερμίδων από καύση υδατανθράκων το οποίο ήταν υψηλότερο στο δεύτερο δεκάλεπτο άσκησης έναντι του τρίτου και του πρώτου δεκαλέπτου και στο τρίτο έναντι του πρώτου δεκαλέπτου (Σχήμα 17).



Σχήμα 17. Σύγκριση μεταξύ της χορήγησης 0, 25 και 50 gr στο ποσοστό θερμίδων από καύση υδατανθράκων κατά την συνεχόμενη αερόβια άσκηση ($\bar{x} \pm SD$)
* $p= 0,04$ από τη χορήγηση 0 gr

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να ερευνηθεί η επίδραση της χορήγησης σύνθετου υδατάνθρακα στην μεταβολική λειτουργία του οργανισμού κατά την άσκηση. Πιο συγκεκριμένα το κυρίως ερώτημα που ερευνήθηκε στην παρούσα μελέτη ήταν αν η διαφορετική χορηγούμενη ποσότητα σύνθετου υδατάνθρακα μεταβάλλει τον μέγιστο ρυθμό καύσης των λιπιδίων και την ένταση στην οποία επιτυγχάνεται. Κύριο εύρημα της παρούσας έρευνας ήταν η μη μεταβολή της δρομικής ταχύτητας, της κατανάλωσης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας επίτευξης του μέγιστου ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων με τη χορήγηση 25 ή 50 gr σύνθετου υδατάνθρακα 30 min πριν την έναρξη της άσκησης.

Οι υδατάνθρακες για να είναι χρήσιμοι για το σώμα πρέπει να υποστούν πέψη, να απορροφηθούν δηλαδή και να μεταφερθούν στα κατάλληλα κύτταρα για το μεταβολισμό. Γενικά, όταν η κατανάλωση υδατανθράκων είναι υψηλότερη από ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή να αποθηκευτεί μέσα στα κύτταρα, αυτοί που περισσεύουν μετατρέπονται σε λίπος (Wilmore & Costill, 2006). Η πρόσληψη των υδατανθράκων μπορεί να γίνει πριν, κατά τη διάρκεια ή στο τέλος της άσκησης. Η πρόσληψη πριν και κατά τη διάρκεια της άσκησης έχει ως στόχο την ενίσχυση της απόδοσης όταν ο αθλητής ή ο ασκούμενος εκτελεί από μέτριας έως υψηλής έντασης αερόβια άσκηση. Υπάρχουν διάφορες επιπτώσεις από την κατάποση υδατανθράκων. Όσο περισσότεροι υδατάνθρακες γίνονται διαθέσιμοι στους μύες, τόσο η γλυκόλυση αυξάνεται. Σε έρευνα όπου οι συμμετέχοντες ποδηλάτησαν για 40min στο 50% της VO_{2max} ενώ τους χορηγήθηκε 60 και 10 min πριν την άσκηση η ίδια ποσότητα γλυκόζης (1,4 gr/kg), προκλήθηκε υπερινσουλιναμία και μείωση κατά 34% της συνολικής οξείδωσης των λιπιδίων (Coyle et al., 1997). Συνεπώς η μεγάλη αύξηση της γλυκόζης, σε συνδυασμό με την αύξηση της ινσουλίνης και την αναστολή της λιπόλυσης τόσο στον λιπώδη ιστό όσο και στους μύες, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων. Αυτό δείχνει ότι η διαθεσιμότητα υδατανθράκων μπορεί να μεταβάλει άμεσα τον ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων κατά τη διάρκεια της άσκησης.

Η πρόσληψη υδατανθράκων πριν από την άσκηση έχει πολύ ισχυρή ανασταλτική επίδραση στην οξείδωση του λίπους. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υπάρχει σημαντική μείωση στο μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων

με κάθε αύξηση στη ποσότητα χορηγούμενου σύνθετου υδατάνθρακα, 0, 25 και 50 gr. Ο μέσος όρος στην συνθήκη των 50 gr βρέθηκε μικρότερος κατά 11,8% συγκριτικά με τη συνθήκη των 25 gr και κατά 38,3% συγκριτικά με την συνθήκη των 0 gr. Με τα αποτελέσματα αυτά συμφωνεί και η έρευνα των Achten & Jeukedrup (2003) στην οποία μετά την πρόσληψη 75gr γλυκόζης ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων βρέθηκε μειωμένος κατά 28% όταν συγκρίθηκε με την κατάποση ενός εικονικού φαρμάκου πριν την άσκηση. Στην έναρξη της άσκησης, παρατηρείται πτώση της συγκέντρωσης γλυκόζης στο αίμα λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης ινσουλίνης και μειωμένης ενδογενής οξείδωσης υδατανθράκων, παρά τη συνεχή απορρόφηση του προσλαμβανόμενου υδατάνθρακα. Μετά από κατάποση υδατανθράκων μειώνεται η λιπόλυση που οδηγεί και σε μειωμένο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων (Hargreaves et al., 2004). Ο ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων μειώνεται λόγω της χαμηλότερης διαθεσιμότητας λιπαρών οξέων στο πλάσμα, αλλά και ως αποτέλεσμα της αναστολής της οξείδωσης των λιπιδίων εντός των μυών (Coyle et al., 1997).

Σημαντικό εύρημα της παρούσας έρευνας ήταν η μη μεταβολή της δρομικής ταχύτητας, της κατανάλωσης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας επίτευξης στο μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων με τη χορήγηση 25 και 50 gr σύνθετου υδατάνθρακα 30 min την έναρξη της προσπάθειας έναντι της μη χορήγησης υδατάνθρακα. Σε προηγούμενη μελέτη βρέθηκε μείωση κατά 13,5% της ΕΜΡΟΛ, εκφρασμένη ως ποσοστό της VO_2max , όταν ασκούμενοι εκτέλεσαν δοκιμασία σε εργοποδήλατο αφού, 45 min πριν, έλαβαν 75 gr γλυκόζης (Achten & Jeukendrup, 2003). Οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας και αυτής των Achten & Jeukendrup (2003) μπορεί να οφείλονται στον διαφορετικό τρόπο άσκησης (εργοποδήλατο έναντι εργοδιαδρόμου), στη διαφορετική ποσότητα και σύνθεση του υδατάνθρακα που δόθηκε (75 gr γλυκόζης έναντι 25 ή 50 gr σύνθετου υδατάνθρακα γλυκόζης και φρουκτόζης) καθώς και στο διαφορετικό χρόνο χορήγησης του υδατάνθρακα (45 min έναντι 30 min). Το τρέξιμο έχει ως αποτέλεσμα πιο έντονες αλλαγές στα επίπεδα της γλυκόζης και της ινσουλίνης στο αίμα σε σύγκριση με το ποδήλατο στην ίδια σχετική ένταση (Tsintzas & Williams, 1998). Αυτό μπορεί να οφείλεται στη διαφορά πως στο τρέξιμο ενεργοποιούνται περισσότερες μυϊκές ομάδες σε σχέση με το ποδήλατο. Οι σύνθετοι υδατάνθρακες, ωστόσο, απαιτούν περισσότερο χρόνο για να διασπαστούν πλήρως και έτσι προκαλούν βραδύτερη αύξηση της γλυκόζης του αίματος. Όλοι οι υδατάνθρακες πρέπει πρώτα να

μετατραπούν σε γλυκόζη και με αυτή την μορφή να κυκλοφορήσουν μέσω του αίματος στους μύες. Λόγω αυτού, οι σύνθετοι υδατάνθρακες ασκούν μικρότερη επίδραση στα επίπεδα λιπιδίων του σώματος (Wilmore & Costill, 2006). Η μη εύρεση διαφοράς στην ΕΜΡΟΛ στην παρούσα μελέτη δείχνει ότι η χορήγηση του υδατάνθρακα μειώνει μόνον το ρυθμό οξειδωσης του λίπους χωρίς να τον μετατοπίζει σε υψηλότερες ή χαμηλότερες ταχύτητες κίνησης. Φαίνεται λοιπόν πως η επίδραση της χορήγησης σύνθετου υδατάνθρακα στο μεταβολισμό των λιπιδίων είναι ομοιόμορφη σε όλο το εύρος των εντάσεων αερόβιας άσκησης.

Η παρούσα έρευνα εξέτασε την επίδραση της διαφορετικής ποσότητας σύνθετων υδατανθράκων στη μεταβολική λειτουργία κατά τη διάρκεια συνεχόμενης αερόβιας άσκησης. Βρέθηκε πως στο σύνολο της άσκησης, ο ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων μειώθηκε στις συνθήκες που χορηγήθηκε υδατάνθρακας με σημαντική μείωση μεταξύ των 0 gr ($0,71 \pm 0,22$ gr/min) και 50 gr ($0,58 \pm 0,18$ gr/min) ενώ αντίστροφα ο ρυθμός οξειδωσης των υδατανθράκων ήταν υψηλότερος με την κάθε αύξηση στη χορήγηση του υδατάνθρακα. Όμως χρονικά η διαφορετική ποσότητα υδατάνθρακα δεν επηρέασε τους ρυθμούς οξειδωσης των λιπιδίων και υδατανθράκων. Σε παλαιότερη μελέτη εξετάστηκε η επίδραση της διαφορετικής ποσότητας χορήγησης υδατανθράκων πριν την άσκηση στη μεταβολική λειτουργία και τον ρυθμό οξειδωσης των λιπιδίων (Sherman et al., 1991). Χορηγήθηκαν 60 λεπτά πριν την άσκηση 78 ή 156 gr σύνθετου υδατάνθρακα (γλυκόζης και μαλτοδεξτρίνης) ή ενός εικονικού φαρμάκου και οι ασκούμενοι εκτέλεσαν σε ποδήλατο συνεχόμενη άσκηση, διάρκειας 90 min, στο 70% της VO_{2max} . Δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στη μείωση των συγκεντρώσεων της γλυκόζης στο αίμα κατά τη διάρκεια της άσκησης ακόμη και αν η συγκέντρωση της ινσουλίνης ήταν περισσότερο αυξημένη με την κατάποση των 156 gr υδατάνθρακα σε σύγκριση με την κατάποση των 78 gr υδατάνθρακα. Ωστόσο, ο ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων αυξανόταν κατά τη διάρκεια της άσκησης και με τις δύο ποσότητες υδατάνθρακα που χορηγήθηκαν αλλά ήταν σημαντικά χαμηλότερος συγκριτικά με τη χορήγηση του εικονικού φαρμάκου. Έτσι υποδεικνύεται ότι ο ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων σε εντάσεις 62–72% VO_{2max} , μετά την κατανάλωση 78 gr σύνθετου υδατάνθρακα ή διπλάσιας ποσότητας, 156 gr, πριν από την άσκηση, δεν επηρεάζεται ως προς τη χρονική μεταβολή του αλλά μόνο ως προς το ρυθμό του.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένα, ο ρυθμός οξειδωσης των λιπιδίων και υδατανθράκων κατά τη συνεχόμενη αερόβια άσκηση βρέθηκε μικρότερος και

μεγαλύτερος, αντίστοιχα, με τη διαφορετική ποσότητα χορήγησης του υδατάνθρακα στο σύνολο της άσκησης. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί πως μετά τα πρώτα 10 min της άσκησης, ο ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων μειώθηκε και αυξήθηκε ξανά στα τελευταία 10 min σε όλες τις συνθήκες ενώ αντίστοιχα ο ρυθμός οξείδωσης των υδατανθράκων αυξήθηκε μετά τα πρώτα 10 min και μειώθηκε στα τελευταία 10 min. Η δοκιμασία της συνεχόμενης αερόβιας άσκησης πραγματοποιήθηκε και στις τρεις συνθήκες (0, 25 και 50 gr χορήγησης υδατάνθρακα) 20 min μετά τη δοκιμασία εύρεσης της ΕΜΡΟΛ και του ΜΡΟΛ. Οι ασκούμενοι στο χρονικό πλαίσιο των 20 min δεν έκαναν κάποια δραστηριότητα παρά μόνο ξεκουράζονταν. Σε προηγούμενες μελέτες έχει αναφερθεί πως η ξαφνική πτώση της συγκέντρωσης της γλυκόζης στον ορό κατά τα πρώτα λεπτά της άσκησης αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό των ατόμων που λαμβάνουν γλυκόζη 30 – 90 λεπτά πριν την άσκηση (Chryssanthopoulos et al., 1994; Goodpaster et al., 1996; Tokmakidis & Volaklis 2000). Άρα, πιθανόν η συγκέντρωση της γλυκόζης μειώθηκε στα 20 λεπτά και μέχρι τελικά να αυξηθεί η συγκέντρωση ινσουλίνης υπήρχε αυξημένη λιπόλυση. Σε μια έρευνα των Tokmakidis & Karamanolis (2008) που εφαρμόστηκε σε διάδρομο, οι ασκούμενοι εκτέλεσαν δύο δοκιμασίες. Την μία μέρα έλαβαν 15 min πριν την άσκηση ένα εικονικό φάρμακο και την άλλη μέρα 1g/kg σωματικής μάζας γλυκόζης. Ξεκίνησαν για 5 min στο 60% $\dot{V}O_2\max$, 45 min στο 70% $\dot{V}O_2\max$ και μετά έτρεξαν έως την εξάντληση στο 80% $\dot{V}O_2\max$. Στα 45 min της άσκησης επιτεύχθηκε η μέγιστη οξείδωση των λιπιδίων όταν έλαβαν υδατάνθρακα ενώ στα 30 min περίπου όταν έλαβαν το εικονικό φάρμακο. Στην παρούσα έρευνα, οι ασκούμενοι εκτέλεσαν τη δοκιμασία της συνεχόμενης αερόβιας άσκησης 70 – 75 min μετά την χορήγηση της ποσότητας του σύνθετου υδατάνθρακα Σύμφωνα και με την έρευνα των Tokmakidis & Karamanolis (2008) μετά το τέλος της δοκιμασίας εύρεσης της ΕΜΡΟΛ πιθανά ο μεταβολισμός των λιπιδίων να ήταν υψηλός στα 20 min ξεκούρασης μεταξύ των δύο δοκιμασιών. Έτσι, ο οργανισμός χρησιμοποίησε την πρώτη πηγή ενέργειας που είχε διαθέσιμη (λιπίδια) στο πρώτο 10λεπτο με αποτέλεσμα να βλέπουμε την μείωση στον ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων στο δεύτερο 10λεπτο. Ωστόσο, στις συνθήκες χορήγησης του σύνθετου υδατάνθρακα, μετά τα 70-75 min ο σύνθετος υδατάνθρακας μπορεί να μην εξαντλήθηκε και έτσι να βλέπουμε μεγαλύτερο ρυθμό οξείδωσης των υδατανθράκων. Σε έρευνα των Marmy-Conus et al. (1996) η γλυκόζη που απορροφήθηκε από το έντερο αυξήθηκε στα πρώτα λεπτά, μειώθηκε στα πρώτα 30 λεπτά της άσκησης και στη συνέχεια αυξήθηκε ξανά προς το τέλος της άσκησης διάρκειας

60λεπτών. Έτσι, μπορεί η εξωγενής ή η μη χορήγηση υδατάνθρακα να μειώθηκε αρκετά μετά τα 20 λεπτά άσκησης και εφόσον η ένταση ήταν σταθερή (60% VO_2max) ο οργανισμός να αύξησε το ποσοστό ενέργειας που χρειαζόταν από τα λιπίδια. Παρόλα αυτά χρειάζεται περισσότερο διερεύνηση για το πως επηρεάζει άμεσα η πρόσληψη της διαφορετικής ποσότητας του σύνθετου υδατάνθρακα (0,25 και 50gr) 30 min πριν, την δοκιμασία συνεχόμενης αερόβιας άσκησης τον ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων και υδατανθράκων σε μια συνεχόμενη αερόβια άσκηση διάρκειας τουλάχιστον 30min.

Εν κατακλείδι, φαίνεται πως η αύξηση του χορηγούμενου σύνθετου υδατάνθρακα πριν την άσκηση μειώνει το μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων αλλά όχι την ΕΜΡΟΛ. Όσον αφορά τον ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων κατά την διάρκεια συνεχόμενης αερόβιας άσκησης, είναι μειωμένος με τη αύξηση της χορήγηση υδατάνθρακα αλλά συνεχίζει να αυξάνεται με τη διάρκεια της άσκησης. Η μη μεταβολή της ΕΜΡΟΛ με την πρόσληψη της διαφορετικής ποσότητας (0, 25 και 50 gr) σύνθετου υδατάνθρακα, σημαίνει ότι οι προπονητές μπορούν να προπονούν τους αθλητές τους χωρίς να τους επηρεάζει η χορήγηση του σύνθετου υδατάνθρακα καθώς οι ασκούμενοι θα εκτελούν την άσκηση με την ίδια ταχύτητα πετυχαίνοντας πάντοτε το μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων ανεξάρτητα από την ποσότητα του σύνθετου υδατάνθρακα που θα έχουν καταναλώσει.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της ποσότητας των προσλαμβανόμενων σύνθετου υδατάνθρακα (0, 25 και 50 gr γλυκόζης και φρουκτόζης σε αναλογία 0,8:1) στο μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων, στην ένταση επίτευξής του και στη μεταβολική λειτουργία κατά την αερόβια άσκηση. Από την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε πως η χορήγηση σύνθετου υδατάνθρακα πριν την άσκηση μειώνει το μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων χωρίς όμως αυτό να επηρεάσει την ταχύτητα ή την καρδιακή συχνότητα επίτευξής του. Επίσης, ο ρυθμός οξείδωσης των λιπιδίων μειώνεται με την αύξηση της ποσότητας του υδατάνθρακα ενώ αντίστοιχα ο ρυθμός οξείδωσης των υδατανθράκων αυξάνεται κατά τη διάρκεια συνεχόμενης άσκησης. Η μη μεταβολή της ΕΜΡΟΛ με την πρόσληψη της διαφορετικής ποσότητας σύνθετου υδατάνθρακα, σημαίνει ότι οι προπονητές μπορούν να προπονούν τους αθλητές τους χωρίς να τους επηρεάζει η χορήγηση του σύνθετου υδατάνθρακα καθώς οι ασκούμενοι θα εκτελούν την άσκηση με την ίδια ταχύτητα ή καρδιακή συχνότητα πετυχαίνοντας πάντοτε το μέγιστο ρυθμό οξείδωσης των λιπιδίων ανεξάρτητα από την ποσότητα του σύνθετου υδατάνθρακα που θα έχουν καταναλώσει.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Achten J., Gleeson M., & Jeukendrup A.E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(1), 92-97.
2. Achten J. & Jeukendrup A.E. (2003). The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *Journal of Sports Science*, 21(12), 1017-1024.
3. Achten J. & Jeukendrup A.E. (2004). Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition*, 20(7-8), 716-727.
4. Adopo E., Péronnet F., Massicotte D., Brisson G.R. & Hillaire-Marcel, C. (1994). Respective oxidation of exogenous glucose and fructose given in the same drink during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76(3), 1014-1019.
5. Amaro-Gahete F.J., Sanchez-Delgado G., Jurado-Fasoli L., De-la-O A., Castillo M.J., Helge J.W. & Ruiz J.R. (2019). Assessment of maximal fat oxidation during exercise: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(7), 910-921.
6. Cermak N.M. & van Loon L.J. (2013). The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Medicine*, 43(11), 1139-1155.
7. Chenevière X., Borrani F., Sangsue D., Gojanovic B. & Malatesta D. (2011). Gender differences in whole-body fat oxidation kinetics during exercise. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 36(1), 88-95.
8. Chenevière X., Malatesta D., Gojanovic B. & Borrani F. (2010). Differences in whole-body fat oxidation kinetics between cycling and running. *European Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1037-1045.
9. Chryssanthopoulos C., Hennessy L.C.M. & Williams C. (1994). The influence of pre-exercise glucose ingestion on endurance running capacity. *British Journal of Sports Medicine*, 28(2), 105-109.
10. Coggan A.R., & Coyle E.F. (1991). Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. *Exercise Sport Science Reviews*, 19, 1-40.
11. Coyle E.F., Jeukendrup A.E., Wagenmakers A.J. & Saris W.H. (1997). Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *American Journal of Physiology*, 273(2), 268-275.
12. Febbraio M.A., Chiu A., Angus D.J., Arkinstall M.J. & Hawley J.A. (2000). Effects of carbohydrate ingestion before and during exercise on glucose kinetics and performance. *Journal of Applied Physiology*, 89(6), 2220-2226.

13. Goodpaster B.H., Costill D.L., Fink W.J., Trappe T.A., Jozsi A.C., Starling R.D. & Trappe, S.W. (1996). The effects of pre-exercise starch ingestion on endurance performance. *International Journal of Sports Medicine*, 17(5), 366-372.
14. Gray E.A., Green T.A., Betts J.A. & Gonzalez J.T. (2020) Postexercise Glucose-Fructose Coingestion Augments Cycling Capacity During Short-Term and Overnight Recovery From Exhaustive Exercise, Compared With Isocaloric Glucose. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 30(1), 54-61.
15. Hargreaves M., Hawley J. & Jeukendrup A.E. (2004). Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: Effects on metabolism and performance. *Journal of Sports Sciences*, 22(1), 31-38.
16. Horowitz J.F., Mora-Rodriguez R., Byerley L.O. & Coyle E.F. (1997). Lipolytic suppression following carbohydrate ingestion limits fat oxidation during exercise. *American Journal of Physiology*, 273(4), 768-775.
17. Hulston C.J. & Jeukendrup A.E. (2009). No placebo effect from carbohydrate intake during prolonged exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19(3), 275-284.
18. Jentjens R.L., Achten J. & Jeukendrup, A.E. (2004). High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(9), 1551-1558.
19. Jentjens R.L. & Jeukendrup, A.E. (2005). High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *British Journal of Nutrition*, 93(4), 485-492.
20. Jeukendrup A.E. & Killer S.C. (2010). The Myths Surrounding Pre-Exercise Carbohydrate Feeding. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 57(2), 18-25.
21. Jeukendrup A.E. & Moseley L. (2010). Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(1), 112-121.
22. Jeukendrup A.E. (2014). A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. *Sports Medicine*, 44(1), 25-33.
23. Jeukendrup A.E. & Wallis, G.A. (2005). Measurement of Substrate Oxidation during Exercise by Means of Gas Exchange Measurements. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 28-37.
24. Lecoultre V., Benoit R., Carrel G., Schutz Y., Millet G.P., Tappy L. & Schneiter P. (2010). Fructose and glucose co-ingestion during prolonged exercise increases lactate and glucose fluxes and oxidation compared with an equimolar intake of glucose. *American Journal of Clinical Nutrition*, 92(5), 1071-1079.

25. Lima-Silva A.E., Bertuzzi R.C., Pires F.O., Gagliardi J.F., Barros R.V., Hammond J. & Kiss M.A. (2010). Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(1), 31-35.
26. Marmy-Conus N., Fabris S., Proietto J. & Hargreaves M. (1985). Pre-exercise glucose ingestion and glucose kinetics during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81(2), 853-857.
27. Mata F., Valenzuela PL. & Gimenez J. (2019). Carbohydrate Availability and Physical Performance: Physiological Overview and Practical Recommendations. *Nutrients*, 11(5), 1084.
28. Maunder E., Plews D.J., & Kilding A.E. (2018). Contextualising Maximal Fat Oxidation During Exercise: Determinants and Normative Values. *Frontiers in Physiology*, 23(9), 599.
29. Mohebbi H. & Azizi M. (2011). Maximal fat oxidation at the different exercise intensity in obese and normal weight men in the morning and evening. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(1), 49-58.
30. Oosthuysen T., Carstens M. & Millen A.M. (2015). Ingesting Isomaltulose Versus Fructose-Maltodextrin During Prolonged Moderate-Heavy Exercise Increases Fat Oxidation but Impairs Gastrointestinal Comfort and Cycling Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 25(5), 427-438.
31. Péronnet F. & Massicotte D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: An update. *Canadian Journal of Sport Science*, 16(1), 23-29.
32. Sherman W.M., Pedan M.C. & Wright D.A. (1991). Carbohydrate feedings 1 h before exercise improve cycling performance. *American Journal of Clinical Nutrition*, 54(5), 866-870.
33. Stisen A.B., Stougaard O., Langfort J., Helge J.W., Sahlin K., & Madsen K. (2006). Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *European Journal of Applied Physiology*, 98(5), 497-506.
34. Tokmakidis S.P. & Karamanolis I.A. (2008). Effects of carbohydrate ingestion 15 min before exercise on endurance running capacity. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 33(3), 441-449.
35. Tokmakidis S.P. & Volaklis K.A. (2000). Pre-exercise glucose ingestion at different time periods and blood glucose concentration during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 21(6), 453-457.
36. Trommelen J., Fuchs C.J., Beelen M., Lenaerts K., Jeukendrup A.E., Cermak N.M. & van Loon, L.J. (2017). Fructose and sucrose intake increase exogenous carbohydrate oxidation during Exercise. *Nutrients*, 9(2), 167-169.

37. Tsintzas K. & Williams C. (1998). Human muscle glycogen metabolism during exercise. Effect of carbohydrate supplementation. *Sports Medicine*, 25(1), 7-23.
38. Wilmore J. & Costill D. (2006). *Φυσιολογία της άσκησης και του αθλητισμού - Τόμος II*. Αθήνα: Έκδόσεις Πασχαλίδη.
39. Zakrzewski J. & Tolfrey K. (2011). Exercise protocols to estimate Fatmax and maximal fat oxidation in children. *Pediatric Exercise Science*, 23(1), 122-135.