

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΑΠΑΝΗ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΜΥΪΚΗΣ ΕΝΔΥΝΑΜΩΣΗΣ ΜΕ ΔΡΑΜΙΑ.
της

Πίσσα Μαρίας (ΑΕΜ: 0719249)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, της Σχολής Επιστημών Φυσικής Αγωγής, Αθλητισμού και Διαιτολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Εγκεκριμένη από το καθηγητικό σώμα:

Επιβλέπων καθηγητής: Δραγανίδης Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής

ΤΡΙΚΑΛΑ, 4 ΙΟΥΛΙΟΣ 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να προσδιορίσει την ενεργειακή δαπάνη κατά την εκτέλεση ασκήσεων μυϊκής ενδυνάμωσης με δρόμια. Για το σκοπό αυτό 10 υγιείς άνδρες, ηλικίας 20-30 ετών εκτέλεσαν 7 ασκήσεις (1 για κάθε κινητικό πρότυπο) με δρόμια σε δύο διαφορετικές συνθήκες εκτέλεσης: (α) 30 δευτερόλεπτα (συνθήκη 30") και (β) 45 δευτερόλεπτα (συνθήκη 45") εκτέλεσης. Αρχικά, οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε αξιολόγηση των σωματομετρικών τους χαρακτηριστικών, της σύστασης σώματος, του μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας, της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, της μέγιστης δύναμης και της αντοχής στη δύναμη των μυών του άνω και κάτω μέρους του σώματος. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν με τυχαιοποιημένη σειρά (μια άσκηση σε μια συνθήκη ανά ημέρα) τις ασκήσεις (1) plank with kettlebell pass, (2) swings, (3) overhead squat-thrusters, (4) lunges with motion hands, (5) single leg deadlift, (6) wood chop και (7) snatch. Πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από κάθε άσκηση καταγράφονταν η υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης (μέσω της κλίμακας Borg), η συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα, η καρδιακή συχνότητα και η κατανάλωση οξυγόνου (μέσω φορητού αναλυτή αερίων). Η συνολική ενεργειακή δαπάνη υπολογίστηκε ως το άθροισμα της ενέργειας που δαπανήθηκε από το οξειδωτικό σύστημα, το γλυκολυτικό σύστημα και την περίσσεια κατανάλωση οξυγόνου. Στα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι στη συνθήκη 30" η άσκηση lunges with hands motion προκάλεσε την μεγαλύτερη θερμιδική δαπάνη (~25 kcals) ενώ η άσκηση single leg deadlift ήταν αυτή που προκάλεσε τη μικρότερη (~9 kcals). Αντίστοιχα στην συνθήκη 45" την μεγαλύτερη θερμιδική δαπάνη προκάλεσε η άσκηση overhead squat (~32 kcals) ενώ την μικρότερη η άσκηση single leg deadlift (~11 kcals). Τέλος, σημαντική διαφορά μεταξύ των συνθηκών εντοπίστηκε στις ασκήσεις overhead squat και snatch, με τη συνθήκη 45" να προκαλεί μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη συγκριτικά με τη συνθήκη 30", κατά 50% και 24%, αντίστοιχα. Συμπερασματικά, η εκτέλεση ασκήσεων με δρόμια ως πρόσθετη επιβάρυνση προκαλεί σημαντική ενεργειακή δαπάνη, με τις ασκήσεις που ενεργοποιούν μεγάλες μυϊκές ομάδες και περισσότερες από μια αρθρώσεις να τη μεγιστοποιούν.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακή δαπάνη, ασκήσεις μυϊκής ενδυνάμωσης, δρόμια, περίσσεια κατανάλωση οξυγόνου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω σε αυτό το σημείο κάποιους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου και με στήριξαν όχι μόνο κατά την διάρκεια διεξαγωγής της πτυχιακής αλλά και όλης της ακαδημαϊκής μου καριέρας. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Δραγανίδη Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθεια, την συνεχή ανατροφοδότηση και την υπομονή που έδειξε από την αρχή μέχρι και το τέλος της διπλωματικής μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον διδάσκων με σύμβαση στο ΤΕΦΑΑ του Π.Θ. και μέλος της ερευνητικής ομάδας του SmArT Lab κ. Πούλιο Αθανάσιο για την σημαντική βοήθεια με τον εξοπλισμό του εργαστηρίου Βιοχημείας, Φυσιολογίας και Διατροφής της Άσκησης (SmArT Lab) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Φατούρο Ιωάννη για την ευκαιρία που μου πρόσφερε να υλοποιήσω μία έρευνα και να έρθω πιο κοντά με το ερευνητικό κομμάτι. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους έμειναν δίπλα μου στα δύσκολα, με στήριξαν με όποιο τρόπο μπορούσαν και πίστεψαν σε εμένα. Αυτή η διπλωματική είναι ένα μικρό δείγμα ευγνωμοσύνης για όλα τα εμπόδια και δυσκολίες που ξεπεράσαμε. Στην μητέρα μου και τον πατέρα μου λοιπόν, με ατέρμονη αγάπη.

Πίσσα Μαρία
Τρίκαλα, 30-6-2023

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΣΚΟΠΟΣ	7
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ	7
1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	9
1.1. Ενεργειακή δαπάνη.....	9
1.2. Ενεργειακή δαπάνη κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος της άσκησης.....	13
1.3. Αξιολόγηση της θερμιδικής δαπάνης κατά την άσκηση.....	15
1.4. Προπόνηση με δρόμια.....	16
1.5. Σημαντικότητα προσδιορισμού της ενεργειακής δαπάνης κατά την άσκηση με δρόμια.....	20
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	21
2.1 Συμμετέχοντες.....	21
2.2 Πειραματικός σχεδιασμός.....	21
2.3 Περιγραφή των ασκήσεων.....	22
2.4. Περιγραφή των δοκιμασιών.....	24
2.4.1. Αξιολόγηση ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και σύστασης σώματος.....	24
2.4.2. Αξιολόγηση αρτηριακής πίεσης.....	25
2.4.3. Αξιολόγηση καρδιοαναπνευστικής ικανότητας.....	25
2.4.4. Αξιολόγηση μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας (RMR)	26
2.4.5. Αξιολόγηση μέγιστης δύναμης (1-RM)	26
2.4.6. Αξιολόγηση της μυϊκής αντοχής.....	27
2.4.7. Μέτρηση γαλακτικού οξέος.....	27
2.4.8. Αξιολόγηση θερμιδικής δαπάνης κατά την άσκηση.....	28
2.4.9. Στατιστική ανάλυση.....	28
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	28
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	33
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	35
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	37

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Περιγραφικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων.....	29
---	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα στις επτά ασκήσεις των δυο συνθηκών.....	30
Σχήμα 2. Ποσοστιαία μεταβολή της καρδιακής συχνότητας στις επτά ασκήσεις των δυο συνθηκών	31
Σχήμα 3. Ποσοστιαία μεταβολή της υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης στις επτά ασκήσεις των δυο συνθηκών	31
Σχήμα 4. Η ενεργειακή δαπάνη (kcal) στις επτά ασκήσεις των δυο συνθηκών.....	32

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φυσική δραστηριότητα περιλαμβάνει τόσο καθημερινές δραστηριότητες όπως δουλειές σπιτιού, μετακινήσεις με τα πόδια ή ποδήλατο, εργασία στον επαγγελματικό χώρο, στον κήπο ή για αναψυχή κ.α., όσο και την συμμετοχή σε άσκηση ή προπόνηση με στόχο τη βελτίωση των φυσικών ικανοτήτων. Σύμφωνα με μελέτες, όσο περισσότερο φυσικά δραστήριο είναι ένα άτομο τόσο μικρότερο κίνδυνο διατρέχει να είναι υπέρβαρο ή παχύσαρκο, να εκδηλώσει κάποιο μη μεταδιδόμενο νόσημα όπως ο διαβήτης τύπου II ή ακόμη να εμφανίσει απώλεια ισορροπίας και αστάθεια ιδιαίτερα στα άτομα τρίτης ηλικίας. Η μείωση του σωματικού βάρους, η θετική επίδραση στην ψυχοσύνθεση των ασκούμενων αλλά και μεταβολές στο ορμονικό προφίλ είναι ορισμένες μόνο από τις καλά τεκμηριωμένες επιδράσεις της άσκησης και της φυσικής δραστηριότητας. Επιπλέον, η συστηματική συμμετοχή σε φυσική δραστηριότητα ή άσκηση είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος, σε συνδυασμό με την αλλαγή των διατροφικών συνηθειών, για παχύσαρκα και υπέρβαρα άτομα προκειμένου να καταφέρουν να φτάσουν στο επιθυμητό βάρος και βελτιώσουν την υγεία και την ποιότητας ζωής τους. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες εκτιμάται ότι μέχρι το 2030 δύο στους τρεις ενήλικες θα είναι παχύσαρκοι. Δεδομένου ότι η παχυσαρκία αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο εκδήλωσης χρόνιων ασθενειών όπως διαβήτη τύπου II, υπέρταση, καρκίνο, καρδιαγγειακές παθήσεις, οι οποίες μειώνουν την ποιότητα των ατόμων αλλά και το προσδόκιμο ζωής, η συμμετοχή σε άσκηση ή φυσική δραστηριότητα είναι αναγκαία για τον έλεγχο του σωματικού βάρους και τη μείωση του κινδύνου εκδήλωσης χρόνιων νοσημάτων.

Σύμφωνα με την Αμερικανική Καρδιολογική Εταιρεία (AHA), συστήνεται η τακτική σωματική δραστηριότητα καθώς και η μέτρια έως υψηλής ένταση άσκησης, η οποία σταδιακά αυξάνεται σε ≥ 250 λεπτά/εβδομάδα προκειμένου να επιτευχθεί απώλεια βάρους αλλά και βελτίωση της σύστασης σώματος. Ο συνδυασμός άσκησης και σωστής διατροφής αποτελεί την αποτελεσματικότερη μέθοδο για τη διατήρηση της κατάλληλης σύστασης σώματος αλλά και για τη μείωση των προβλημάτων υγείας. Για την απώλεια βάρους, τη σύσταση σώματος, το μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας και συνολικά την υγεία των ενηλίκων έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες με διαφορετικά είδη άσκησης όπως συνεχόμενη μέθοδος προπόνησης αντοχής μέτριας ή υψηλής έντασης, προπόνηση αντιστάσεων κ.ά. Με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία η υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος καθώς οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της απόδοσης, της σύστασης σώματος, της ευαισθησίας στην ινσουλίνη, στο

μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας, στο μυϊκό μεταβολισμό και στο λιπιδαιμικό προφίλ στο αίμα σε υπέρβαρους και παχύσαρκους ενήλικες.

Ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκή ερευνητικά δεδομένα αναφορικά με την ενεργειακή δαπάνη που προκαλείται κατά την εκτέλεση βασικών ασκήσεων που χρησιμοποιούνται στον αθλητικό χώρο και ανταποκρίνονται πάνω στις τάσεις τις εποχής και πιο συγκεκριμένα της λειτουργικής προπόνησης. Για το λόγο αυτό, η παρούσα μελέτη εξέτασε την ενεργειακή δαπάνη που προκαλείται κατά την εκτέλεση λειτουργικών ασκήσεων με δρόμια. Το ασκησιολόγιο και ο χρόνος άσκησης επιλέχθηκαν με κριτήριο την κάλυψη όλων των βασικών κινητικών προτύπων (διποδικό, μονοποδικό, αντιθετικό, περιστροφικό, πίεση, έλξη και σύνθετο) και για την ευρεία χρήση τους σε αθλητικούς χώρους όπως είναι τα γυμναστήρια και τα γήπεδα. Για τον υπολογισμό της συνολικής ενεργειακής δαπάνης σε κάθε άσκηση συνυπολογίστηκε η ενεργειακή δαπάνη που προκαλείται:

- I. από την ενεργοποίηση του οξειδωτικού συστήματος παραγωγής ενέργειας,
- II. από την ενεργοποίηση του γλυκολυτικού συστήματος παραγωγής ενέργειας και
- III. κατά την περίσσεια κατανάλωση οξυγόνου μετά το τέλος της άσκησης.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν (i) να εκτιμηθεί η θερμιδική δαπάνη που προκαλείται κατά την εκτέλεση λειτουργικών ασκήσεων με χρήση δραμιού (kettlebell) ως πρόσθετη επιβάρυνση, και (ii) να εξεταστεί η επίδραση της χρονική διάρκειας εκτέλεσης, συγκρίνοντας την εκτέλεση της κάθε άσκησης για 30 έναντι 45 δευτερολέπτων.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

- 1) Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ασκήσεων στη συνολική ενεργειακή δαπάνη.
- 2) Υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση της χρονική διάρκειας εκτέλεσης στη συνολική ενεργειακή δαπάνη.
- 3) Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ασκήσεων στην καρδιακή συχνότητα.
- 4) Υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση της χρονική διάρκειας εκτέλεσης στην καρδιακή συχνότητα.

- 5) Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ασκήσεων στην υποκειμενική κλίμακα αντίληψης της κόπωσης.
- 6) Υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης στην υποκειμενική κλίμακα αντίληψης της κόπωσης.
- 7) Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ασκήσεων στη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα.
- 8) Υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης στη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα.

1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.1. Ενεργειακή δαπάνη.

Η ημερήσια ενεργειακή δαπάνη αποτελεί το σύνολο των θερμίδων που δαπανά ο οργανισμός μέσα στη μέρα για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του σε ενέργεια τόσο για να την εκτέλεση των καθημερινών δραστηριοτήτων όσο και για της ζωτικής σημασίας βιολογικές λειτουργίες του (Honthâas & Ritz, 2002). Η ενεργειακή δαπάνη και η ενεργειακή πρόσληψη (μέσω της διατροφής) καθορίζουν το ενεργειακό ισοζύγιο, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως θετικό, αρνητικό ή ουδέτερο (Sherwood, 2015). Θετικό χαρακτηρίζεται όταν η ενεργειακή πρόσληψη υπερτερεί της ενεργειακής δαπάνης κάτι που μακροπρόθεσμα προάγει την αύξηση του σωματικού βάρους, ενώ στην αντίθετη περίπτωση όπου υπερτερεί η ενεργειακή δαπάνη, χαρακτηρίζεται ως αρνητικό και μακροπρόθεσμα οδηγεί στην απώλεια βάρους (Sherwood, 2015). Η επίτευξη αρνητικού ενεργειακού ισοζυγίου επιδιώκεται σε περιπτώσεις ατόμων που επιθυμούν να χάσουν βάρος ή σε αθλήματα με κατηγορίες βάρους όπως είναι η άρση βαρών (Casanova, Beaulieu, Finlayson, & Hopkins, 2019; Lambert, Frank, & Evans, 2004). Τέλος, το ουδέτερο χαρακτηρίζεται από την ισορροπία μεταξύ ενεργειακής δαπάνης και πρόσληψης οδηγώντας στη διατήρηση του σωματικού βάρους μακροπρόθεσμα (Molé, 1990).

Η συνολική ενεργειακή δαπάνη της ημέρας καθορίζεται από (i) το βασικό μεταβολικό ρυθμό (BMP), (ii) την τροφογενή θερμογένεση, (iii) τη φυσική δραστηριότητα και (iv) την άσκηση. Ο BMP αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής δαπάνης (περίπου 60-70%) και αφορά την ενέργεια που απαιτείται για την διατήρηση των ζωτικής σημασίας λειτουργίας του οργανισμού όπως η αναπνοή, η κυκλοφορία του αίματος, η σύνθεση πρωτεϊνών, η παραγωγή κυττάρων κ.α. (Speakman & Selman, 2003). Ο BMP μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η ηλικία, το φύλο και το κλίμα (Bouchard, Pérusse, Dériaz, Després, & Tremblay, 1993) (Smith, Soeters, Wüst, & Houtkooper, 2018). Όσον αφορά την τροφογενή θερμογένεση, αποτελεί ~5-10% της ημερήσιας θερμιδικής δαπάνης και αφορά την ενέργεια που δαπανάται μετά την κατανάλωση γεύματος προκειμένου να διασπαστεί η τροφή και να πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες της πέψης, απορρόφησης και αποθήκευσης των μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών συστατικών της (Calcagno et al., 2019). Παραμένει αυξημένη από 2 έως 6 ώρες μετά την κατανάλωση του γεύματος, εμφανίζοντας τη μέγιστη τιμή της περίπου στη 1 ώρα (Κλεισούρας, 2011), και είναι ανάλογη με την ποσότητα των γευμάτων, δηλαδή όσο μικρότερο είναι ένα γεύμα τόσο μικρότερη η τροφογενής θερμογένεση που παράγεται (Κλεισούρας, 2011). Η φυσική δραστηριότητα και η

άσκηση αποτελούν ~5-25% της συνολικής ενεργειακής δαπάνης ενός ατόμου. Η φυσική δραστηριότητα μπορεί να περιλαμβάνει μόνο καθημερινές δραστηριότητες όπως οι δουλειές του σπιτιού ή να περιλαμβάνει και άσκηση η οποία αποτελεί μια δομημένη, οργανωμένη και επαναλαμβανόμενη φυσική δραστηριότητα με κάποιους στόχους. Συνεπώς, η μεγάλη μεταβλητότητα που παρατηρείται στο ποσοστό που συνεισφέρει η φυσική δραστηριότητά και η άσκηση στη συνολική ενεργειακή δαπάνη αποδίδεται στο γεγονός ότι η ποσότητα και η ένταση της φυσικής δραστηριότητας καθώς επίσης και τα στοιχεία της επιβάρυνσης (είδος άσκησης, ένταση, διάρκεια, ποσότητα, συχνότητα) της άσκησης διαφέρουν από άτομο σε άτομο (Κλεισούρας, 2011). Επιπλέον παράγοντες όπως το επίπεδο φυσικής κατάστασης μπορεί επίσης να επηρεάσουν την ενεργειακή δαπάνη σωματικής δραστηριότητας, καθώς ενδέχεται να αποτελεί μόλις το 10-15% της συνολικής ενεργειακής δαπάνης για έναν ασκούμενο αναψυχής ενώ στην περίπτωση ενός μαραθωνοδρόμου με πολύ υψηλό επίπεδο φυσικής κατάστασης μπορεί να αποτελεί μέχρι και το 50% (Logue et al., 2020). Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και παράγοντες όπως το είδος της άσκησης αν πρόκειται για πρόγραμμα αντιστάσεων ή τρέξιμο (Hunter, Fisher, Neumeier, Carter, & Plaisance, 2015; Li, Xue, Hong, Song, & He, 2020) οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

Η αξιολόγηση της ημερήσιας ενεργειακής δαπάνης μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση του διπλά σημειωμένου νερού, η οποία αποτελεί τη μέθοδο αναφοράς και βασίζεται στην απομάκρυνση του δευτέρου και του οξυγόνου από τα σωματικά υγρά (Westerterp, 2017). Η διαφορά ανάμεσα στους δύο ρυθμούς απομάκρυνσης είναι ανάλογη προς την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και κατά συνέπεια προς την συνολική ενεργειακή κατανάλωση (Westerterp, 2017). Είναι μία μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, έως και 3 εβδομάδες, με μεγάλη αξιοπιστία και εγκυρότητα (Κλεισούρας, 2011). Εναλλακτικά, η ημερήσια ενεργειακή δαπάνη μπορεί να αξιολογηθεί από το άθροισμα του BMP, της τροφογενούς θερμογένεσης, της φυσικής δραστηριότητας και της άσκησης. Ο BMP μπορεί να αξιολογηθεί κυρίως μέσω εργαστηριακών μεθόδων ή να εκτιμηθεί μέσω εξισώσεων (Levine, 2005). Εργαστηριακά αξιολογείται έμμεσα με χρήση αναλυτή αερίων ή άμεσα μέσω ειδικού θερμιδομετρικού θαλάμου καταγραφής της θερμότητας (Levine, 2005). Ο θερμιδομετρικός θάλαμος αποτελεί μια αρκετά περίπλοκη και εξαιρετικά δαπανηρή διαδικασία μέσω της οποίας υπολογίζεται η ανταλλαγή αερίων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα αλλά και η παραγωγή θερμότητας που απελευθερώνει το σώμα (Κλεισούρας, 2011). Τα αποτελέσματα προκύπτουν από την διαφορά θερμοκρασίας του θαλάμου

μέσω του νερού που κυκλοφορεί στα τοιχώματά του (Sherwood, 2015). (Sherwood, 2015). Ο έμμεσος προσδιορισμός περιλαμβάνει τη μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου και αποβολής διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα χρόνου μέσω αναλυτή αερίων, και βασίζεται στην εξίσωση: $\text{υπόστρωμα} + \text{O}_2 \rightarrow \text{θερμότητα} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (Sherwood, 2015). Η επίδραση της τροφογενούς θερμογένεση στην ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται μεταξύ 5%-15% σε σχέση με το BMP (Κλεισούρας, 2011). Όσον αφορά την ενεργειακή δαπάνη φυσικής δραστηριότητας ή/και άσκησης, μπορεί να αξιολογηθεί είτε με εργαστηριακές μεθόδους είτε με εφαρμοσμένες μεθόδους και ερωτηματολόγια. Από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους είναι η χρήση του αναλυτή αερίων που μας δίνει δεδομένα ως προς την κατανάλωση οξυγόνου και αποβολή διοξειδίου του άνθρακα (Κλεισούρας, 2011). Για τον καθορισμό της ποσοστιαίας συνεισφοράς στην παραγωγή ενέργειας από υδατάνθρακες και λίπος, χρησιμοποιείται το αναπνευστικό πηλίκο όπου η αναλογία διοξειδίου του άνθρακα προς οξυγόνο καθορίζεται από το υπόστρωμα που μεταβολίζεται, με τιμές ≥ 1 να υποδεικνύουν την παραγωγή ενέργεια αποκλειστικά από υδατάνθρακες ενώ τιμές ≤ 0.7 την παραγωγή ενέργειας από λίπος (Patel, Kerndt, & Bhardwaj, 2023). Επίσης, έμμεση εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης δραστηριότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της καρδιακής συχνότητας, καθώς εκτιμάται ότι ο όγκος οξυγόνου είναι ανάλογος με την αύξηση της καρδιακής συχνότητας (Κλεισούρας, 2011). Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί ιδιαίτερη προσοχής, διότι παράγοντες όπως η ηλικία, το φύλο, η κούραση και οποιοσδήποτε άλλος παράγοντας μπορεί να επηρεάσει την καρδιακή συχνότητα μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένη εκτίμηση της δαπανώμενης ενέργειας (Κλεισούρας, 2011). Εάν όμως αυτοί οι παράγοντες τεθούν υπό έλεγχο τότε θα μπορούμε να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα (Κλεισούρας, 2011). Επιπρόσθετα, συσκευές όπως τα «έξυπνα» ρολόγια καρπού (smart watches), βηματόμετρα, επιταχυνσιόμετρα και δραστηριογράφοι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έμμεση εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης δραστηριότητας (Mubarik & Iqbal, 2023) (Düking et al., 2020). Τα βηματόμετρα τοποθετούνται στο ύψος του ισχίου και εκτιμούν την δαπανώμενη ενέργεια μέσω αλγορίθμου ο οποίος συνεκτιμάει τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά, την ηλικία, το φύλο και την απόσταση που διένυσε το άτομο που το φοράει (Tudor-Locke & Bassett, 2004). Με αντίστοιχο τρόπο υπολογίζουν την ενεργειακή δαπάνη δραστηριότητας τα επιταχυνσιόμετρα και οι δραστηριογράφοι με τη διαφορά ότι έχουν την δυνατότητα μέτρησης και της έντασης της δραστηριότητας, παρέχοντας έτσι με ακόμη μεγαλύτερη εγκυρότητα την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στο πεδίο όσο και σε εργαστηριακό περιβάλλον

(Freedson, Melanson, & Sirard, 1998). Τέλος, για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης δραστηριότητας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ερωτηματολογία, τα οποία περιλαμβάνουν ερωτήσεις που αφορούν το είδος, τη συχνότητα, την ένταση, την ποσότητα και τη διάρκεια των δραστηριοτήτων που εκτελούνται σε ημερήσια βάση (Craig et al., 2003) αλλά και μεταβολικές εξισώσεις (Levine, 2005).

Όσον αφορά τους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή δαπάνη, καθοριστικής σημασίας φαίνεται να είναι η κληρονομικότητα, η ηλικία, το φύλο και η σύσταση σώματος. Αν και δεν υπάρχουν πολλά ερευνητικά δεδομένα στην βιβλιογραφία, αρκετές αναφορές υποστηρίζουν ότι τα επίκτητα χαρακτηριστικά του ατόμου επηρεάζουν την ενεργειακή δαπάνη (Bouchard et al., 1993). Όσον αφορά την ηλικία, τα παιδιά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη συγκριτικά με τους ενήλικες και αυτό αποδίδεται στην ανάπτυξη τους, την διαφορά στην καθημερινή δραστηριότητά τους αλλά και στη νευρομυϊκή διέγερση (Κλεισούρας, 2011) Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας η εφηβική ηλικία χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: 10-14, 15-19 και 20-24 χρονών (Patton et al., 2016). Σε αυτό το διάστημα τα παιδιά αναπτύσσουν ταχύτατες ψυχολογικές, σεξουαλικές, νευρολογικές και συμπεριφοριστικές αλλαγές (Das et al., 2017) και παρουσιάζουν μια έντονη καθημερινότητα η οποία απαρτίζεται από σχολικές και εξωσχολικές δραστηριότητες (Klausen, Toubro, & Astrup, 1997). Σε αντίθεση με τα παιδιά και τους εφήβους, παρατηρείτε σημαντική πτώση στην ενεργειακή δαπάνη των ενηλίκων. Σύμφωνα με μία πρόσφατη μελέτη στην οποία συμμετείχαν εμμηνοπαυσιακές γυναίκες, ο βασικός μεταβολικός ρυθμός διαταράσσεται και αυξάνεται εξαιτίας των μεταβολικών ανωμαλιών που προκαλούν τα αυξημένα οιστρογόνα, κάτι το οποίο μπορεί να αποκατασταθεί μέσω χορήγησης της κατάλληλης φαρμακευτικής αγωγής (Kravitz, Kazlauskaitė, & Joffe, 2018). Το φύλο είναι ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τον BMP, αν και τα αντίστοιχα δεδομένα στη βιβλιογραφία είναι περιορισμένα. Ωστόσο, η επίδραση του φύλου επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ηλικία, (αν δηλαδή μιλάμε για άντρα ή γυναίκα 25 ή 45 ή 65 ετών), η σύσταση σώματος (αν είναι παχύσαρκος ή ελλιποβαρής), η κατάσταση της υγείας (αν είναι υγιείς ή αντιμετωπίζει προβλήματα υγείας) ή ακόμη και το επίπεδο φυσικής δραστηριότητάς (αν ακολουθεί δραστήριο ή καθιστικό τρόπο ζωής) (Smith et al., 2018). Επιπλέον, οι γυναίκες παρουσιάζουν αυξημένο BMP κατά την εγκυμοσύνη αλλά και κατά την διάρκεια της εμμηνοπαύσεως (Tramunt et al., 2020). Επίσης, το σωματικό βάρος και η σύσταση σώματος επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την ενεργειακή δαπάνη. Όσο μεγαλύτερο Δείκτη Μάζας Σώματος (ΔΜΣ) έχει κάποιος τόσο μεγαλύτερες είναι και οι

ενεργειακές του απαιτήσεις (Casanova et al., 2021). Βέβαια ρυθμιστικό ρόλο σε αυτό έχει η σύσταση σώματος, και πιο συγκεκριμένα η αναλογία λιπώδους προς άλιπης σωματικής μάζας (Westerterp, 2018). Συγκεκριμένα τα άτομα με μεγαλύτερη μυϊκή μάζα και μικρότερο ποσοστό σωματικού λίπους παρουσιάζουν μεγαλύτερο BMP (Westerterp, 2018). Αντίστοιχα, οι γυναίκες παρουσιάζουν χαμηλότερο BMP συγκριτικά με τους άνδρες, λόγω της χαμηλότερης μυϊκής τους μάζας (Stec & Rawson, 2012). Αναφορικά με την τροφογενής θερμογένεση, φαίνεται να επηρεάζεται σε κατά κύριο λόγο από την ποιότητα της τροφής που καταναλώνεται και πιο συγκεκριμένα την ποσότητα της διατροφής σε υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπη (Sherwood, 2015). Επίσης, μπορεί να επηρεαστεί και από τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά όπως το ύψος, το βάρος ή το συνολικό εμβαδόν του ατόμου (Sherwood, 2015). Τέλος, η θερμιδική δαπάνη δραστηριότητας επηρεάζεται από το επίπεδο φυσικής κατάστασης του ατόμου, αλλά και τα στοιχεία της επιβάρυνσης, όπως η διάρκεια, η ένταση, η ποσότητα αλλά και η συχνότητα των προπονήσεων στις οποίες συμμετέχει (Berthiaume, Lalande-Gauthier, Chrone, & Karelis, 2015).

1.2. Ενεργειακή δαπάνη κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος της άσκησης.

Τα ενεργειακά συστήματα που συνεισφέρουν στη θερμιδική δαπάνη κατά την άσκηση είναι το σύστημα των φωσφαγόνων, το γλυκολυτικό και το οξειδωτικό (Κλεισούρας, 2011). Το σύστημα των φωσφαγόνων αποτελείται από την τριφωσφορική αδενοσίνη και την φωσφοκρεατίνη (Κλεισούρας, 2011). Η τριφωσδορική αδενοσίνη ή αλλιώς ATP αποτελεί την απαιτούμενη μορφή ενέργειας για τις μεταβολικές διεργασίες όπως η μυϊκή συστολή, η μεταφορά ιόντων και μορίων αλλά και η βιοσύνθεση μακρομορίων (Κλεισούρας, 2011). Στο σώμα μας βρίσκεται σε ελάχιστες ποσότητες περίπου 1.8 χιλιοθερμίδες (Κλεισούρας, 2011). Η ATP αποτελείται από 3 φωσφορικές ρίζες και δύο ασταθείς δεσμούς υψηλής ενέργειας, όταν χάνει την μία ρίζα μετατρέπεται σε διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και όταν χάνει και την δεύτερη γίνεται μονοφωσφορική αδενοσίνη (AMP) (Κλεισούρας, 2011). Η φωσφοκρεατίνη, βρίσκεται στους μυς σε μεγαλύτερη ποσότητα από την ATP και χρησιμοποιείται σε μικρές-εκρηκτικές προσπάθειες με μεγάλη ένταση μικρότερη των 10 δευτερολέπτων (εκκίνηση κολύμβησης, άλματα) και ανάλογα με την ένταση της εκτέλεσης αναπληρώνεται από 30 δευτερόλεπτα έως 4 λεπτά σε ένα πολύ ικανοποιητικό ποσοστό του 85% (Κλεισούρας, 2011). Το σύστημα των φωσφαγόνων είναι σημαντικό για προσπάθειες διάρκειας έως 7 δευτερόλεπτα (Κλεισούρας, 2011). Το γλυκολυτικό σύστημα, αντλεί την ενέργειά του από τους υδατάνθρακες που αποθηκεύονται στο συκώτι και στα μυϊκά κύτταρα (Κλεισούρας, 2011).

Με την εκκίνηση της άσκησης χρησιμοποιείται ATP και όταν αρχίζει να διασπάται σε ADP και Pi τότε ξεκινάει η διαδικασία της γλυκογονόλυσης (Κλεισούρας, 2011). Αυτή περιλαμβάνει τον καταβολισμό της γλυκόζης σε μία σειρά διασπάσεων και ενώσεων που ονομάζεται αναερόβια γλυκόλυση, το τελικό αποτέλεσμα της οποίας είναι το πυροσταφυλικό οξύ από το οποίο “κερδίζουμε” καθαρά 2 μόρια ATP στο τέλος του κάθε κύκλου (Κλεισούρας, 2011). Το πυροσταφυλικό οξύ στη συνέχεια μετατρέπεται είτε σε γαλακτικό οξύ, κυρίως σε προσπάθειες υψηλής έντασης και σύντομης διάρκειας, είτε θα διασπαστεί σε άλλα μόρια και ενώσεις με την παρουσία οξυγόνου (Κλεισούρας, 2011). Το γλυκολυτικό σύστημα είναι σημαντικό για προσπάθειες διάρκειας από λίγα δευτερόλεπτα έως 1 λεπτό (Κλεισούρας, 2011). Το οξειδωτικό σύστημα βασίζεται στον κύκλο του κιτρικού οξέως ή Krebs και στην οξειδωτική φωσφορυλίωση για την παραγωγή ενέργειας, και συνεισφέρει σε μέγιστο βαθμό στην παραγωγή ενέργειας σε προσπάθειες που διαρκούν από λίγα λεπτά μέχρι ώρες (Κλεισούρας, 2011).

Μετά το τέλος της δραστηριότητας/άσκησης η κατανάλωση οξυγόνου παραμένει αυξημένη για μερικά λεπτά έως και ώρες έως ότου επιστρέψει στις τιμές ηρεμίας (Κλεισούρας, 2011). Το φαινόμενο αυτό καλείται ως περίσσεια κατανάλωση οξυγόνου (ΠΚΟ) και συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στην ενεργειακή δαπάνη που προκαλείται από τη δραστηριότητα/άσκηση (Κλεισούρας, 2011). Η ΠΚΟ επηρεάζεται κυρίως από την ένταση και την διάρκεια της άσκησης (Κλεισούρας, 2011). Συγκεκριμένα, όσο πιο έντονη και μεγαλύτερης διάρκειας είναι η άσκηση/δραστηριότητα που εκτελείται τόσο μεγαλύτερη είναι η ΠΚΟ (Κλεισούρας, 2011). Επίσης, παράγοντες όπως το επίπεδο φυσικής κατάστασης αλλά και το φύλο μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ΠΚΟ (Børsheim & Bahr, 2003), με τα προπονημένα άτομα να παρουσιάζουν συντομότερο διάστημα ΠΚΟ συγκριτικά με άτομα χαμηλότερου επιπέδου φυσικής κατάστασης (Κλεισούρας, 2011).

Τόσο η ποσοστιαία συνεισφορά των ενεργειακών συστημάτων στην ενεργειακή δαπάνη κατά την άσκηση όσο και η ΠΚΟ επηρεάζονται από το είδος της άσκησης, την ένταση και τη διάρκειά της. Σε πρόσφατη μελέτη η οποία σύγκρινε την ενεργειακή δαπάνη που προκαλείται κατά την εκτέλεση κυκλικής προπόνησης και διαλειμματικής προπόνησης ταχύτητας, διαπιστώθηκε ότι η δεύτερη επιφέρει μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη ανεξαρτήτως του επιπέδου φυσικής κατάστασης των ασκούμενων (Schleppenbach et al., 2017). Στην έρευνα του Greer και των συνεργατών του όπου πραγματοποιήθηκε σύγκριση της ενεργειακής δαπάνη μεταξύ τριών διαφορετικών ειδών προπόνησης (i) προπόνηση αντιστάσεων, (ii) μέτριας έντασης καρδιοαναπνευστική άσκηση και

(iii) υψηλής έντασης διαλειμματική καρδιοαναπνευστική άσκηση, οι ερευνητές κατέληξαν ότι η μέτριας έντασης καρδιοαναπνευστική άσκηση προκάλεσε τη μικρότερη ενεργειακή δαπάνη συγκριτικά με τα άλλα δύο είδη προπόνησης (Greer, Sirithienthad, Moffatt, Marcello, & Panton, 2015). Επίσης, όταν η υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση καρδιοαναπνευστικού τύπου προηγείται της κυκλικής προπόνησης με βάρη, η ενεργειακή δαπάνη είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη που προκαλείται από τη μεμονωμένη εφαρμογή των δυο προπονήσεων (Nuñez et al., 2020). Σε άλλη μελέτη όπου εξετάστηκε η επίδραση της διάρκειας της άσκησης, οι ερευνητές παρατήρησαν ότι η διάρκεια επηρέασε μόνο τη χρονική διάρκεια της ΠΚΟ (Sedlock, Fissinger, & Melby, 1989). Συγκεκριμένα, σε ασκήσεις με μικρή διάρκεια παρατηρείται πως ο χρόνος της ΠΚΟ είναι μειωμένος, κάτι που οδηγεί και σε χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη (Børsheim & Bahr, 2003). Μάλιστα, φαίνεται ότι η σχέση μεταξύ της διάρκειας της άσκησης και της ΠΚΟ είναι ανάλογη, δηλαδή όσο μεγαλύτερη η διάρκεια της άσκησης τόσο περισσότερο διαρκεί η ΠΚΟ και τόσο μεγαλύτερη είναι ενεργειακή δαπάνη (Børsheim & Bahr, 2003). Αναφορικά με τη επίδραση της έντασης της άσκησης, έχει αναφερθεί ότι τόσο η ενεργειακή δαπάνη κατά την άσκηση όσο και η διάρκεια της ΠΚΟ είναι ανάλογα της έντασης (Sedlock et al., 1989). Χαρακτηριστικά, έρευνες έχουν δείξει ότι η υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση αυξάνει την διάρκεια της ΠΚΟ και συνεπώς την συνολική ενεργειακή δαπάνη, γεγονός που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά το σχεδιασμό προγραμμάτων άσκησης με στόχο την απώλεια βάρους (Schleppenbach et al., 2017).

1.3. Αξιολόγηση της θερμιδικής δαπάνης κατά την άσκηση.

Η αξιολόγηση της ενεργειακής δαπάνης κατά την άσκηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω έμμεσης θερμιδομετρίας κατά την οποία καταγράφονται και αναλύονται τα αναπνευστικά αέρια μέσω αναλυτή αερίων, δηλαδή η κατανάλωση οξυγόνου και η αποβολή διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και να εκτιμήσουμε τον βαθμό στον οποίο τα μακροθρεπτικά στοιχεία συνεισφέρουν στην παραγωγή ενέργειας (C. B. Scott & Kemp, 2005). Επιπρόσθετα, με τη μέθοδο αυτή μπορεί να μετρηθεί η ΠΚΟ ώστε να υπολογιστεί η ενέργεια που δαπανάται μετά το τέλος της άσκησης έως την επαναφορά της ομοιοστασίας (κατανάλωση οξυγόνου, απομάκρυνση γαλακτικού και πτώση θερμοκρασίας κ.ά.) (C. Scott, 2005). Η έμμεση θερμιδομετρία με χρήση αναλυτή ωστόσο, δεν παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης της συνεισφοράς της γαλακτικής γλυκόλυσης στην ενεργειακή δαπάνη, και ως εκ τούτου αποτελεί μια αξιόπιστη μέθοδο όταν η άσκηση είναι χαμηλής προς μέτριας έντασης, όπου η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται κατά κύριο λόγο από οξειδωτικό

σύστημα (C. B. Scott, 2006). Για να μπορέσει με ακρίβεια η συγκεκριμένη μέθοδος να χρησιμοποιηθεί και σε υψηλής έντασης άσκηση, είτε συνεχόμενης μορφής είτε διαλειμματικής ή ακόμη και κατά την άσκηση με αντιστάσεις, θα πρέπει να συνδυαστεί με τη μέτρηση της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος (C. B. Scott & Fountaine, 2013). Συνεπώς, αν και η καταγραφή των αναπνευστικών αερίων μέσω αναλυτή αερίων παρέχει έγκυρη εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης κατά την άσκηση χαμηλής έντασης (Conceição et al., 2018), στην υψηλής έντασης άσκησης και στην άσκηση με αντιστάσεις, η καταγραφή των αναπνευστικών αερίων θα πρέπει να συνοδεύεται από τη μέτρηση του γαλακτικού οξέος (C. B. Scott, Leighton, Ahearn, & McManus, 2011).

Μια από τις μελέτες που έχουν μετρήσει την ενεργειακή δαπάνη κατά την συνεχόμενη άσκηση χαμηλής έντασης είναι εκείνη του Conceição και των συνεργατών του, στην οποία οι ερευνητές κατέγραψαν την κατανάλωση οξυγόνου μέσω αναλυτή αερίων, την καρδιακή συχνότητα και τη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος (Conceição et al., 2018). Στα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης παρατηρήθηκε σημαντική συνεισφορά στην ενεργειακή δαπάνη από το οξειδωτικό και το γλυκολυτικό σύστημα και κυρίως της γαλακτικής γλυκόλυσης όταν η άσκηση εκτελέστηκε με περιορισμό της αιματικής ροής (Conceição et al., 2018). Στη μελέτη των Scott και συν. όπου καταγράφηκαν τόσο τα αναπνευστικά αέρια όσο και η συγκέντρωση γαλακτικού αλλά και η ΠΚΟ σε πρωτόκολλο διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στην ενεργειακή δαπάνη μεταξύ του γλυκολυτικού συστήματος και της ΠΚΟ σε σχέση με το οξειδωτικό σύστημα (C. B. Scott et al., 2011). Δύο μελέτες που έχουν εξετάσει την ενεργειακή δαπάνη κατά την άσκηση με αντιστάσεις είναι των Benito και Hunter. Στην μελέτη των Benito και συν., εξετάστηκε η ενεργειακή δαπάνη αξιολογώντας την κατανάλωση οξυγόνου αλλά και τη μεταβολή της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος σε 3 διαφορετικά πρωτόκολλα άσκησης: (i) με ελεύθερα βάρη, (ii) με μηχανήματα και (iii) με συνδυασμό των παραπάνω (Benito et al., 2016). Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι ο συνδυασμός μηχανημάτων και ελευθέρων βαρών προκάλεσε τη μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη αλλά την μικρότερη συγκέντρωση γαλακτικού σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεθόδους (Benito et al., 2016). Από την άλλη, η άσκηση με ελεύθερα βάρη αλλά και με μηχανήματα προκάλεσε τη μεγαλύτερη ενεργοποίηση του αναερόβιου συστήματος συγκριτικά το συνδυασμό των δύο (Benito et al., 2016).

1.4. Προπόνηση με δρόμια

Το δράμι ή αλλιώς kettlebell, είναι ένα ρωσικό σφαιρίδιο από χυτοσίδηρο. Στην Ελλάδα χρησιμοποιήθηκε σαν μονάδα μέτρησης βάρους ως το 1959. Υπάρχει ποικιλία ως προς το βάρος το οποίο κυμαίνεται από 4 έως 60 κιλά (Thomas, Larson, Hollander, & Kraemer, 2014). Τα δράμια πλέον δεν χρησιμοποιούνται μόνο για προπόνηση φυσικής κατάστασης και υγείας αλλά και ως ξεχωριστό άθλημα άρσης βαρών (Thomas et al., 2014). Αποτελεί ένα οργανωμένο όργανο λειτουργικής προπόνησης καθώς το σχήμα και το μέγεθος του επιτρέπουν την ασφαλή επιτάχυνσή του κατά τη διάρκεια των ασκήσεων ενώ ο τρόπος κατανομής του κέντρου βάρους του, του δίνει μηχανικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τους αλτήρες (Thomas et al., 2014). Αρκετές μελέτες έχουν εξετάσει την αποτελεσματικότητα των δραμιών σε παραμέτρους φυσικής κατάστασης όπως η βαλλιστική δύναμη, η μυϊκή ενδυνάμωση και η αντοχή (Lake & Lauder, 2012). Το δράμι είναι εξαιρετικά εύχρηστο όργανο καθώς παρέχει την δυνατότητα σταδιακής αύξησης της επιβάρυνσης σε πληθώρα ασκήσεων ενώ παράλληλα είναι οικονομικός και ανθεκτικός εξοπλισμός με μεγάλη ποικιλία στα υλικά της κατασκευής του (Thomas et al., 2014; Vancini et al., 2019). Επιπλέον, τα δράμια χρησιμοποιούνται ευρέως πλέον στην λειτουργική προπόνηση (Thomas et al., 2014). Η λειτουργική προπόνηση προσομοιάζει την ασκήσεις της με καθημερινές δραστηριότητες και συνεισφέρει στην βελτίωση της ποιότητας ζωής αλλά και στην πρόληψη-αντιμετώπιση μυοσκελετικών προβλημάτων (Thomas et al., 2014). Οι ασκήσεις που εφαρμόζονται είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να ενεργοποιείται όλο το σώμα ή τμηματικά σε ανοιχτή και κλειστή κινητική αλυσίδα (Thomas et al., 2014). Τα πρότυπά της βασίζονται στην καθημερινότητα ή τον αγωνιστικό αθλητισμό παρέχοντας ολοκληρωμένη εκγύμναση στα 3 επίπεδα κίνησης εγκάρσιο, οβελιαίο και μετωπιαίο (Thomas et al., 2014). Πλεονεκτήματά της χρήσης δραμιού κατά τη λειτουργική προπόνηση είναι η μετατόπιση του κέντρου βάρους του σώματος κατά την εκτέλεση των ασκήσεων και η ενεργοποίηση των μυών του κορμού σε όλες τις κινήσεις για σταθεροποίηση και ισορροπία (Thomas et al., 2014). Οι ασκήσεις μπορούν να γίνουν σε περισσότερα από ένα κινητικά πρότυπα και επίπεδα κίνησης, παρέχοντας μεγάλη ποικιλία συνδυαστικών ασκήσεων (Thomas et al., 2014). Το δράμι απευθύνεται τόσο σε αθλητές όσο και σε αρχάριους. Στην κατηγορία των αθλητών χρησιμοποιείται για μεγιστοποίηση απόδοσης με εξατομίκευση ασκήσεων ανά άθλημα ενώ αντίστοιχα στους αρχάριους για αναψυχή, πρόληψη και αύξηση του μεταβολισμού (Thomas et al., 2014). Μπορεί να ενταχθεί σε προγράμματα που βρίσκονται τόσο σε εσωτερικό χώρο όπως τα γυμναστήρια όσο και σε εξωτερικό όπως τα πάρκα αλλά και σε ατομική προπόνηση ή και σε ομαδική (Thomas et al., 2014).

Ανάλογα με το στόχο, το ασκησιολόγιο με δράμια μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ενταχθεί σε προγράμματα μυϊκής αντοχής, υπερτροφίας ή ταχύ-δύναμης (Manocchia, Spierer, Lufkin, Minichiello, & Castro, 2013). Τα οφέλη της άσκησης με δράμια είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε αρχάριους όσο και σε προχωρημένους, σε άντρες και γυναίκες, σε παιδιά και ηλικιωμένους (Beerse, Callahan, & Barrios, 2023; Stagi, Mulliri, Doneddu, Ghiani, & Marini, 2023; Watts, Boessneck, & Riemann, 2022). Επιπρόσθετα, είναι ένα μέσο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έκκεντρη, ισομετρική αλλά και πλειομετρική προπόνηση (Seeger, Arvidsson, & Thorstensson, 1998). Επίσης, οι ασκήσεις με δράμια ανταποκρίνονται και στα 3 επίπεδα (οριζόντιο, μετωπιαίο και εγκάρσιο) αλλά και σχεδόν σε όλα τα πρότυπα (οριζόντιο, αντιθετικό κ.ά.) (Suchomel, Nimphius, Bellon, & Stone, 2018). Οι προσαρμογές που προκαλεί η προπόνηση με δράμια έχουν να κάνουν όχι μόνο με μυοσκελετικές αλλά και με ορμονικές και νευρολογικές αποκρίσεις. Συγκεκριμένα, σε πρόσφατη περιπτώσιακή μελέτη στην οποία συμμετείχε αθλήτρια που είχε τραυματιστεί στον χιαστό σύνδεσμο, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση όχι μόνο της νευρομυϊκής λειτουργίας αλλά της καρδιαγγειακής, έπειτα από παρέμβαση 6 εβδομάδων η οποία περιείχε ασκησιολόγιο με δράμια (Zebis et al., 2017). Σε άλλη μελέτη αναφέρθηκε ότι η προπόνηση με δράμια επέφερε μεγαλύτερη βελτίωση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κατά 6% συγκριτικά με μία κυκλική προπόνηση με βάρη (Falatic et al., 2015). Επίσης, σημαντική μείωση στην αρτηριακή πίεση αλλά και στην καρδιακή συχνότητα διαπιστώθηκε σε χορεύτριες μπαλέτου έπειτα από πρόγραμμα άσκησης με δράμια (Grigoletto et al., 2020), ενώ πολύ σημαντικές είναι οι βελτιώσεις που έχουν αναφερθεί τόσο στη μυϊκή μάζα όσο και τον νευρομυϊκό συντονισμό των ασκούμενων (Chen, Wu, Chen, Ho, & Chung, 2018).

Τα δράμια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μυϊκή ενδυνάμωση, για απώλεια βάρους, για αποκατάσταση αλλά και για αναψυχή σε αρχάριους ασκούμενους (Vancini et al., 2019). Μάλιστα, οι Otto και συν., σύγκριναν τις προσαρμογές που προκαλεί η προπόνηση με δράμι με εκείνες της άρσης βαρών καταλήγοντας ότι η πρώτη επιφέρει καλύτερες προσαρμογές συγκριτικά με τη δεύτερη (Otto, Coburn, Brown, & Spiering, 2012). Επίσης, η άσκηση με δράμια φαίνεται πως επιφέρει σημαντικά οφέλη και στη μηχανική των αρθρώσεων του κάτω μέρους (ισχίο, γόνατο και αστράγαλος) και ιδιαίτερα στην άρθρωση του ισχίου, γεγονός που υποδεικνύει τη χρησιμότητα της χρήσης δραμιών σε προγράμματα άσκησης με στόχο τη βελτίωση της κινητικότητας αυτών των αρθρώσεων αλλά και σε αποκατάσταση τραυματισμών (Watts et al., 2022). Επιπρόσθετα,

σημαντική είναι και η βελτίωση που παρατηρείται στην αλτικότητα και την ισορροπία μετά από προπόνηση με δράμια. Συγκεκριμένα, στη μελέτη των Grigoletto και συν., οι χορεύτριες μπαλέτου που ακολούθησαν πρόγραμμα προπόνησης με δράμια παρουσίασαν μεγαλύτερη βελτίωση στην αλτικότητα και την ισορροπία συγκριτικά με τις χορεύτριες που συμμετείχαν μόνο στην "τυπική" προπόνηση (Grigoletto et al., 2020). Σημαντικές είναι οι επιδράσεις της προπόνησης με δράμια και σε ψυχολογικές παραμέτρους. Χαρακτηριστικά, σημαντική βελτίωση καταγράφηκε στο άγχος, την κατάθλιψη και την ποιότητα του ύπνου μετά από ένα πρόγραμμα άσκησης 12 εβδομάδων με δράμια (Rufo-Tavares et al., 2020).

Η προπόνηση με δράμια μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε αθλητές όσο και σε ασκούμενους αναψυχής (Suchomel et al., 2018). Σε άτομα που ακολουθούν καθιστικό τρόπο ζωής η προπόνηση με δράμια μπορεί να εξίσου αποτελεσματική με την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση με τρέξιμο στη βελτίωση της ανοχής στη γλυκόζη (Greenwald et al., 2016). Θετικές είναι οι επιδράσεις της προπόνησης με δράμια σε άτομα τρίτης ηλικίας καθώς σημαντική βελτίωση της δύναμης χειρολαβής και μείωση του πόνου στην περιοχή της οσφυϊκής μοίρας παρατηρήθηκε μετά από πρόγραμμα άσκησης 8 εβδομάδων (Chen et al., 2018), ενώ σημαντική μείωση έχει καταγραφεί στη συχνότητα καταγμάτων και στις πτώσεις ηλικιωμένων ατόμων (Meigh, Keogh, Schram, Hing, & Rathbone, 2022). Δεκαέξι αθλητές υψηλού επιπέδου η προπόνηση με δράμια μπορεί να εφαρμοστεί με στόχο τη βελτίωση της μυϊκής μάζας, της σύστασης σώματος αλλά και της συμμετρίας ιδιαίτερα του άνω μέρους του σώματος (Stagi et al., 2023).

Οι μεταβολικές απαιτήσεις των ασκήσεων με δράμια είναι αρκετά υψηλές. Χαρακτηριστικά, η εκτέλεση ενός πρωτοκόλλου άσκησης με δράμια διάρκειας 12 λεπτών προκαλεί μεγαλύτερες αποκρίσεις στην κατανάλωση οξυγόνου και την καρδιακή συχνότητα συγκριτικά με τη δοκιμασία μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (Farrar, Mayhew, & Koch, 2010). Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και σε πιο πρόσφατη μελέτη στην οποία συγκρίθηκαν οι ολυμπιακές προασκήσεις με χρήση δραμιού σε σχέση με μέγιστη άσκηση σε εργόμετρο (Chan et al., 2020), με τους ερευνητές να καταλήγουν ότι η προπόνηση με δράμια επιφέρει μεγαλύτερη καρδιοαναπνευστική απόκριση συγκριτικά με την άσκηση στο εργόμετρο (Chan et al., 2020). Αντίστοιχα, οι Williams και Kraemer, ανέφεραν παρόμοιες αποκρίσεις του αναπνευστικού πηλίκου, της αναπνευστικής συχνότητας, του αερισμού ανά λεπτό, της θερμιδικής δαπάνης αλλά και της καρδιακής συχνότητας μετά από δυο πρωτόκολλα υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης όπου το ένα περιελάμβανε ασκησιολόγιο με δράμια και το άλλο άσκηση σε κυκλοεργόμετρο (Williams & Kraemer, 2015).

Τέλος, οι Thoms και συν., επιχείρησαν να εξετάσουν αν η μέτριας έντασης συνεχόμενη άσκηση με δρόμια επιφέρει παρόμοιες καρδιοαναπνευστικές και μεταβολικές αποκρίσεις με το υψηλής έντασης περπάτημα στον διάδρομο (Thomas et al., 2014). Αν και οι ερευνητές στη συγκεκριμένη μελέτη δεν παρατήρησαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο πρωτοκόλλων άσκησης ως προς την κατανάλωση οξυγόνου, το αναπνευστικό πηλίκο και την κατανάλωση θερμίδων ανά λεπτό, διαπίστωσαν ότι τόσο η καρδιακή συχνότητα όσο και η κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης ήταν μεγαλύτερη στο πρωτόκολλο με δρόμια σε σχέση με την άσκηση στο κυκλοεργόμετρο (Thomas et al., 2014).

1.5. Σημαντικότητα προσδιορισμού της ενεργειακής δαπάνης κατά την άσκηση με δρόμια.

Η ενεργειακή δαπάνη που προκαλείται κατά την άσκηση με δρόμια δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς μέχρι σήμερα. Η αντίστοιχη βιβλιογραφία είναι ελλιπής και όσες έρευνες έχουν γίνει είτε χρησιμοποιήσαν δρόμια ως βοηθητικό όργανο είτε δεν εξέτασαν την ενεργειακή δαπάνη. Η μοναδική μελέτη που χρησιμοποίησε πρωτόκολλο άσκησης αποκλειστικά με δρόμια δεν εξέτασε την ενεργειακή δαπάνη αλλά είχε ως στόχο την εξάντληση μέσα από μέγιστη προσπάθεια μεγάλου χρονικού διαστήματος (12 λεπτά) (Farrar et al., 2010).

Δεδομένου ότι η παχυσαρκία αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς και η άσκηση αποτελεί την κύρια μέθοδο αύξησης της ενεργειακής δαπάνης, η γνώση της ενεργειακής δαπάνης που προκαλείται κατά την εκτέλεση ασκήσεων με δρόμια είναι αναγκαία τόσο για τους γυμναστές όσο και για τους ασκούμενους. Συγκεκριμένα, οι γυμναστές θα είναι σε θέση να δημιουργήσουν τα προγράμματα τους σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών με σκοπό να καταφέρουν την εξατομίκευση και να πετύχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Κάποιος ασκούμενος μπορεί να έχει ως στόχο την απώλεια λίπους ενώ κάποιος άλλος την μυϊκή υπερτροφία. Θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο να έχουμε δεδομένα ανάλογα με τα όργανα που χρησιμοποιούνται περισσότερο γνωρίζοντας ποιες ασκήσεις προκαλούν τη μεγαλύτερη και ποιες τη μικρότερη ενεργειακή δαπάνη. Επιπρόσθετα, πέρα από το γενικό πληθυσμό και οι επαγγελματίες αθλητές θα επωφεληθούν από τη συγκεκριμένη πληροφορία καθώς θα έχουν τη δυνατότητα να εντάξουν στην προπόνηση ασκήσεις με δρόμια για τη βελτιστοποίηση των προσαρμογών τους.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Συμμετέχοντες

Πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική ανάλυση ισχύος (probability error: 0.05, power: 0.85, effect size: 0.30) από την οποία προέκυψε ότι ο ελάχιστος αριθμός συμμετεχόντων που απαιτούνται προκειμένου να εντοπιστούν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις κύριες εξαρτημένες μεταβλητές, σε έναν πειραματικό σχεδιασμό με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε 2 πειραματικές συνθήκες και σε 7 χρονικές στιγμές, είναι 9 άτομα. Σύμφωνα με το παραπάνω, στη μελέτη έλαβαν μέρος 10 άνδρες, ηλικίας 18-30 ετών, με προπονητική εμπειρία ≥ 4 έτη και ενεργοί αθλητές αναψυχής με μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου 48 ml/kg/min, 1 μέγιστη επανάληψη (1-ME) στις πιέσεις στήθους 82 κιλά και 1-ME στο κάθισμα 110 κιλά. Πριν την διεξαγωγή της έρευνας, ενημερώθηκαν πλήρως για την διαδικασία το σκοπό, τα οφέλη αλλά και τους πιθανούς κινδύνους της μελέτης και υπέγραψαν για την συμμετοχή τους αφού συμπλήρωσαν το έντυπο ιατρικού ιστορικού. Τα κριτήρια που εξετάστηκαν για την συμμετοχή στη μελέτη είναι : 1) άνδρες ηλικίας 18-30 ετών, 2) υγιείς χωρίς την λήψη ιατροφαρμακετικών σκευασμάτων και συμπληρωμάτων διατροφής που θα επηρεάσουν την έρευνα, 3) είναι ενεργοί αθλητές με προπονητική εμπειρία ≥ 4 ετών, 4) θα απέχουν από το αλκοόλ κατά την διάρκεια της μελέτης και 5) δεν θα αντιμετωπίζουν κάποιο μυοσκελετικό τραυματισμό. Η μελέτη έλαβε έγκριση από την Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Αριθμ. Πρωτ: 2098).

2.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Για την διεξαγωγή της έρευνας, εφαρμόστηκε τυχαιοποιημένος ερευνητικός σχεδιασμός επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, με δύο πειραματικές συνθήκες (30 δευτερόλεπτα και 45 δευτερόλεπτα) και 7 διαφορετικές ασκήσεις. Έτσι οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν όλες τις ασκήσεις και στις δύο συνθήκες αλλά με τυχαία σειρά. Όλη η διαδικασία και οι μετρήσεις της έρευνας διεξήχθησαν στο εργαστήριο Βιοχημείας, Φυσιολογίας και διατροφής της Άσκησης (SmArTLab) του Κέντρου Αξιολόγησης Φυσικής Απόδοσης (ΚΕΑΦΑ) του Τ.Ε.Φ.Α.Α. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Αρχικά όλοι συμμετέχοντες εξοικειώθηκαν τόσο με τις 7 ασκήσεις της μελέτης όσο και με τις δοκιμασίες αξιολόγησης της απόδοσης (κάθισμα, πίεση στήθους, μυϊκή αντοχή κοιλιακών) σε διάστημα 7 ημερών. Σκοπός, ήταν ο συμμετέχοντες να ήταν σε θέση να εκτελούν με σωστή τεχνική

τις ασκήσεις πριν την έναρξη της παρέμβασης. Αμέσως μετά την περίοδο εξοικείωσης οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε αξιολόγηση των περιγραφικών τους χαρακτηριστικών και συγκεκριμένα των ανθρωπομετρικών τους χαρακτηριστικών (σωματικό βάρος και ύψος), της περιφέρειας μέσης και των ισχίων, της σύστασης σώματος (ποσοστό σωματικού λίπους, λιπώδη ιστού, άλιπη σωματική μάζα, μυϊκή μάζα), του μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας, της καρδιακής συχνότητας ηρεμίας, της αρτηριακής πίεσης αλλά, της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου για τον προσδιορισμό της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας καθώς και της μέγιστης δύναμης και της αντοχής στη δύναμη.

Μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης των περιγραφικών χαρακτηριστικών οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν με τυχαιοποιημένη σειρά τις 7 ασκήσεις, με την κάθε άσκηση να εκτελείται σε δυο συνθήκες: (α) χρονική διάρκεια εκτέλεσης 30 δευτερόλεπτα (συνθήκη 30'') και (β) χρονική διάρκεια εκτέλεσης 45 δευτερόλεπτα (συνθήκη 45''). Σε κάθε επίσκεψή τους, οι συμμετέχοντες έρχονταν στο χώρο της μέτρησης νωρίς το πρωί, σε συνθήκη νηστείας και εκτελούσαν μία άσκηση σε μια συνθήκη. Επιπλέον στους συμμετέχοντες δόθηκε η οδηγία να απέχουν από οποιασδήποτε μορφής άσκηση ή έντονη φυσική δραστηριότητα για τις προηγούμενες 48-72 ώρες. Με την άφιξη τους στο χώρο της μέτρησης, οι συμμετέχοντες παρέμεναν αρχικά σε καθιστή θέση για μερικά λεπτά (~10 λεπτά) φορώντας τον φορητό αναλυτή αερίων και καρδιοσυχνόμετρο για την καταγραφή της κατανάλωσης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας ηρεμίας, αντίστοιχα. Επιπλέον, πριν την έναρξη της άσκησης και οι συμμετέχοντες βρισκότουσαν σε καθιστή θέση γινόταν λήψη τριχοειδικού αίματος για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος. Αμέσως μετά εκτελούσαν την άσκηση φορώντας τον αναλυτή αερίων. Με την ολοκλήρωση της άσκησης οι συμμετέχοντες επέστρεφαν σε καθιστή θέση, διατηρώντας τον αναλυτή αερίων μέχρις ότου η κατανάλωση οξυγόνου επέστρεφε στις τιμές ηρεμίας (με απόκλιση $\pm 5\%$) για την καταγραφή της ΠΚΟ, ενώ στα 4 λεπτά γινόταν εκ νέου λήψη τριχοειδικού αίματος για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος. Επιπλέον, τόσο πριν την έναρξη της άσκησης όσο και αμέσως μετά την ολοκλήρωσή της οι συμμετέχοντες ποσοτικοποιούσαν την αίσθηση της κόπωσης μέσω της αντίστοιχης κλίμακας Borg.

2.3 Περιγραφή των ασκήσεων

Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν τις παρακάτω 7 ασκήσεις: (1) plank with kettlebell pass, (2) swings, (3) overhead squat-thrusters, (4) lunges with motion hands, (5) single leg deadlift, (6) wood chop

και (7) snatch. Για την εκτέλεση των ασκήσεων χρησιμοποιήθηκαν δράμια 6 - 16 κιλά, με την επιβάρυνση σε κάθε άσκηση να καθορίζεται εξατομικευμένα (ο καθορισμός πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της περιόδου εξοικείωσης) . Το σημείο επαφής του ασκούμενου με το δράμι διέφερε από άσκηση σε άσκηση ανάλογα με το πρότυπο και το είδος άσκησης. Σκοπός των συμμετεχόντων ήταν να εκτελέσουν όσες περισσότερες επαναλήψεις μπορούσαν με σωστή τεχνική στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (ανάλογα με τη συνθήκη εκτέλεσης 30 ή 45 δευτερόλεπτα).

Plank with kettlebell pass: Ο συμμετέχων βρισκόταν σε θέση σανίδας με τα πόδια στο άνοιγμα των ώμων ενώ το δράμι βρισκόταν τοποθετημένο από την εξωτερική πλευρά και πίσω από το χέρι του. Σκοπός της άσκησης ήταν να σύρει με το αντίθετο χέρι το δράμι και να το φέρει εσωτερικά και πίσω από το χέρι που τραβούσε. Αφού έφτανε το δράμι στην επιθυμητή θέση ξανά ερχόταν στιγμιαία σε θέση σανίδας και επαναλάμβανε με το αντίθετο χέρι μέχρι να ολοκληρωθεί ο προκαθορισμένος χρόνος εκτέλεσης.

Swings: Ο συμμετέχων από όρθια θέση με τα πόδια στο άνοιγμα των ώμων κρατούσε το δράμι με το ένα χέρι ενώ το άλλο μπορούσε να το έχει είτε στη μέση για στήριξη είτε βοηθητικά στον αέρα για ισορροπία. Από εκεί λύγιζε τα γόνατα με μία γωνία περίπου 25-30 μοίρες και με μία ταυτόχρονη κίνηση του χεριού ανάμεσα από τα πόδια, έδινε φόρα στο δράμι προκειμένου κατά το τέντωμα των ποδιών να σηκωθεί το χέρι με το δράμι σε πρόταση έως ότου φτάσει παράλληλα με το έδαφος. Οι επαναλήψεις γινόντουσαν συνεχόμενα εξαιτίας της ροπής δηλαδή από το σημείο που ήταν τεντωμένο το χέρι κατέβαινε κατευθείαν ανάμεσα από τα πόδια.

Overhead squat-thrusters: Ο συμμετέχων βρισκόταν σε θέση καθίσματος με τα πόδια στο άνοιγμα των ώμων. Κρατούσε και στα δύο χέρια δράμια σε γωνία αγκώνα 90 μοίρες και τους βραχίονες παράλληλα με το έδαφος. Αρχικά εκτελούνταν το κάθισμα (μέχρι 90 μοίρες γωνία στα γόνατα) και αμέσως μετά, κατά τη διάρκεια της ανόδου του σώματος ο ασκούμενος εκτελούσε ταυτόχρονη ανάταση χεριών σε ευθεία πάνω από το κεφάλι με τα δράμια. Έπειτα, τα κατέβαζε στην αρχική τους θέση σε γωνία 90 μοιρών και τους βραχίονες παράλληλα με το έδαφος και συνέχιζε μέχρι να ολοκληρωθεί ο χρόνος εκτέλεσης.

Lunges with motion hands: Ο συμμετέχων από όρθια θέση κρατώντας το δράμι από το τοξωτό του μέρος και με τα δύο χέρια από το ύψος του στήθους εκτελούσε μία προβολή προς τα εμπρός ενώ ταυτόχρονα έκανε πρόταση χεριών μέχρι τα χέρια να είναι παράλληλα με το έδαφος χωρίς να πέσουν χαμηλότερα από το ύψος του στήθους. Κατά την επαναφορά του σώματος στην

αρχική θέση γινόταν και η επαναφορά των χεριών. Η άσκηση εκτελούνταν με επαναλαμβανόμενες εναλλαγές των ποδιών.

Single leg deadlift: Ο συμμετέχων από όρθια μονοποδική θέση έχοντας το δράμι στο ίδιο χέρι με το πρωταγωνιστικό πόδι εκτελούσε άρσεις θανάτου. Γινόταν μία κάμψη του ισχίου σε συνδυασμό με μία κάμψη του γόνατος (~ 25-35 μοίρες) ενώ παράλληλα το χέρι που κρατούσε το δράμι ακολουθούσε την κίνηση προς τα κάτω, κοντά στο σώμα χωρίς όμως να έρχεται σε επαφή με αυτό. Κατά την διάρκεια της άσκησης δεν γινόταν εναλλαγή ποδιού ή χεριού, ωστόσο δινόταν στον ασκούμενο δυνατότητα να ακουμπάει στο έδαφος ελάχιστα το πόδι του για σταθεροποίηση εξαιτίας της αστάθειας που δημιουργούταν κατά την επαναφορά.

Woodchop: Ο συμμετέχων από όρθια θέση με τα πόδια στο άνοιγμα των ώμων, κρατούσε το δράμι και με τα δύο χέρια. Εκτελούσε ένα κάθισμα 90 μοιρών ενώ παράλληλα με το κατέβασμα τα χέρια με το δράμι έβγαιναν από την εξωτερική πλευρά του σώματος και πλησίαζαν τον αστράγαλο του ποδιού. Κατά το ανέβασμα του κορμού, ανέβαιναν και τα χέρια από κάτω προς τα επάνω προς την αντίθετη πλευρά. Ιδιαίτερη έμφαση δινόταν στην αποφυγή της στροφής της λεκάνης και στην εκτέλεση της άσκησης μόνο από μία πλευρά και όχι αμφίπλευρα.

Snatch: Ο συμμετέχων από όρθια θέση με τα πόδια στο άνοιγμα των ώμων κρατούσε με το ένα χέρι το δράμι ενώ το άλλο χρησιμοποιούνταν υποστηρικτικά για ισορροπία. Όπως και στην άσκηση των swings ο ασκούμενος, με μία μικρή ώθηση και μία κάμψη γονάτων περίπου 25-30 μοίρες όταν έφτανε το δράμι λίγο πιο μπροστά από την πυελική περιοχή τραβούσε το χέρι με μία γωνία 90 μοιρών (κοντά στο σώμα) προς τα επάνω εκτελώντας ταυτόχρονα μία περιστροφή του καρπού. Παράλληλα με το ανέβασμα του χεριού τα πόδια "ξεκολλάγανε" στιγμιαία από το έδαφος εκτελώντας ταυτόχρονα ένα κάθισμα με μεγαλύτερο άνοιγμα ποδιών για μεγαλύτερη επιφάνεια στήριξης. Έτσι, στο χαμηλότερο σημείο του καθίσματος το χέρι βρισκόταν τεντωμένο δίπλα από το αυτί και μετά σηκώνόταν ο ασκούμενος. Η εκτέλεση της άσκησης γινόταν από την μία πλευρά.

2.4. Περιγραφή των δοκιμασιών

2.4.1. Αξιολόγηση ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και σύστασης σώματος

Για τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά (σωματικό βάρος και ύψος) και την αξιολόγησή τους χρησιμοποιήθηκε βαθμονομημένος ζυγός με ενσωματωμένο αναστημόμετρο (BeamBalance-Stadiometer, Seca, Vogel&Halke, Hamburg, Germany) με ακρίβεια μισού (0,5) κιλού και μισού (0,5) εκατοστού, αντίστοιχα. Για την μέτρηση του σωματικού ύψους, ο συμμετέχοντας χωρίς

παπούτσια στεκόταν στο κέντρο του αναστημόμετρου με τις φτέρνες ενωμένες (σχηματίζοντας μία μικρή γωνία) και το βάρος κατανεμημένο ισόποσα και στις 2 πλευρές. Ο συμμετέχων έπαιρνε βαθιά εισπνοή και αμέσως μετά τοποθετούνταν ο οριζόντιος άξονας του αναστημόμετρου στο κεφάλι του. Για τη μέτρηση του σωματικού βάρους, ο συμμετέχων ανέβαινε στην ζυγαριά χωρίς παπούτσια και με όσο το δυνατόν λιγότερα ρούχα και στεκόταν ακίνητος στο κέντρο της πλατφόρμας με τα πόδια ενωμένα. Όσον αφορά τον δείκτη μάζας σώματος (ΔΜΣ), αξιολογήθηκε με την εξίσωση $\Delta\text{ΜΣ (kg/m}^2\text{)} = \text{σωματικό βάρος (σε κιλά)} / \text{ύψος}^2 \text{ (σε μέτρα)}$. Για την αξιολόγηση των περιφερειών μέσης και ισχίου, πραγματοποιήθηκε μέτρηση των συγκεκριμένων ανατομικών σημείων μέσω ελαστικής μετροταινίας. Για την περιοχή της μέσης, η ταινία τοποθετούνταν στο σημείο όπου σχηματιζόταν η μικρότερη περιφέρεια κατά προσέγγιση 2-3 εκατοστά πάνω από το ύψος του ομφαλού ενώ για την περιφέρεια ισχίου, το σημείο αναφοράς ήταν η μεγαλύτερη διάμετρος που σχηματιζόταν περίπου 3-4 εκατοστά κάτω από το οστό της λεκάνης.

Αξιολόγηση της σύστασης σώματος (DXA)

Η αξιολόγηση της σύστασης σώματος των συμμετεχόντων πραγματοποιήθηκε μέσω απορροφησιομετρίας διπλής δέσμης ακτίνων X (DXA, LunarDPXNT) και του αντίστοιχου λογισμικού (Encore 2007, General Electric Company, Madison, WI, USA) (Poulios et al., 2018). Πριν από κάθε μέτρηση γινόταν έλεγχος και βαθμονόμηση του μηχανήματος και του λογισμικού του. Η αξιολόγηση ήταν ολόσωμη, με το συμμετέχων σε ύπτια κατάκλιση, έχοντας αφαιρέσει από πάνω του μεταλλικά αντικείμενα. Κατά την διάρκεια της μέτρησης, ο δοκιμαζόμενος έπρεπε να είναι ακίνητος έχοντας τα χέρια δίπλα στο σώμα του.

2.4.2. Αξιολόγηση αρτηριακής πίεσης

Η αξιολόγηση της αρτηριακής πίεσης πραγματοποιούνταν σε συνθήκη ηρεμίας με τον εξεταζόμενο σε καθιστή θέση, και το χέρι στο οποίο γινόταν η μέτρηση στο ύψος της καρδιάς. Ο εξεταστής τοποθετούσε την περιχειρίδα 2 εκατοστά περίπου πάνω από τον αγκώνα. Πραγματοποιούνταν δύο μετρήσεις σε κάθε χέρι με τη 2^η μέτρηση να γίνεται περίπου 1 με 2 λεπτά μετά την ολοκλήρωση της 1^{ης}.

2.4.3. Αξιολόγηση καρδιοαναπνευστικής ικανότητας

Για την αξιολόγηση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας των συμμετεχόντων μετρήθηκε η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο εργαστήριο. Η δοκιμασία πραγματοποιήθηκε σε δαπεδοεργόμετρο, εφαρμόζοντας πρωτόκολλο προοδευτικά αυξανόμενης έντασης με ταυτόχρονη καταγραφή των αναπνευστικών αερίων μέσω αυτόματου αναλυτή ανταλλαγής αερίων (VmaxEncore 29, BEBJO296, YorbaLinda, CA, USA). Πριν από κάθε μέτρηση γινόταν βαθμονόμηση του αναλυτή με αέρια ακριβείας (16% O₂, 4% CO₂, 80% N₂). Ο χώρος διεξαγωγής βρισκόταν σε ουδέτερες περιβαλλοντικές συνθήκες. Πριν τη δοκιμασία, ο συμμετέχων εκτελούσε προθέρμανση η οποία περιελάμβανε τρέξιμο πολύ χαμηλής έντασης για 5 λεπτά στο διάδρομο και δυναμικές διατάξεις. Έπειτα, εκτελούσε τη δοκιμασία καθ' όλη τη διάρκεια της οποίας φορούσε καρδιοσυχνόμετρο τύπου Polar καθώς και τον αναλυτή ανταλλαγής αερίων. Η δοκιμασία ξεκινούσε με ταχύτητα διαδρόμου 8 χιλιόμετρα/ώρα και κάθε 2 λεπτά αυξανόταν κατά 1 χιλιόμετρο/ώρα, μέχρι εξάντλησης. Η μέτρηση θεωρούνταν μέγιστη εάν: (α) ο ασκούμενος είχε φτάσει στην μέγιστη καρδιακή του συχνότητα, (β) παρουσιαζόταν πλατό στις τιμές οξυγόνου, (γ) το αναπνευστικό πηλίκο να ήταν μεγαλύτερο ή ίσο του 1.1 ή/και (δ) ο ασκούμενος έφτανε στην εξάντληση σύμφωνα με την αξιολόγηση της υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης μέσω της κλίμακας Borg (6-20βάθμια).

2.4.4. Αξιολόγηση μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας (RMR)

Η αξιολόγηση του μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας πραγματοποιήθηκε τις πρώτες πρωινές ώρες μετά από ολονύχτια νηστεία και αποχή από οποιαδήποτε μορφής έντονη σωματική δραστηριότητα ή άσκηση για τις προηγούμενες 48-72 ώρες. Ο χώρος διεξαγωγής ήταν σε ουδέτερες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο συμμετέχων φορούσε καρδιοσυχνόμετρο τύπου Polar για την καταγραφή της καρδιακής συχνότητας ενώ για την καταγραφή των αναπνευστικών αερίων χρησιμοποιούταν αναλυτής αερίων με την ειδική μάσκα. Η διάρκεια της μέτρησης ήταν 40-45 λεπτά.

2.4.5. Αξιολόγηση μέγιστης δύναμης (1-RM)

Η αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης έγινε με την μέθοδο του άμεσου προσδιορισμού της μίας μέγιστης επανάληψης (1-ME) στις ασκήσεις πιέσεις στήθους και κάθισμα. Πριν την έναρξη της μέτρησης οι συμμετέχοντες εκτελούσαν αρχικά μια γενική προθέρμανση και στην συνέχεια μια ειδική εστιάζονταν στην προ-ενεργοποίηση των μυϊκών ομάδων που θα συμμετείχαν στην

εκάστοτε άσκηση. Η αξιολόγηση της 1-ME στο κάθισμα πραγματοποιούνταν επάνω σε ειδικό πλατό στο οποίο υπήρχαν ορθοστάτες και παράλληλες προστατευτικές μπάρες ασφαλείας. Ο συμμετέχων αρχικά εκτελούσε 5-10 επαναλήψεις με φορτίο 60% με βάση το προπονητικό του πρόγραμμα και την εκτιμώμενη 1-ME. Ακολουθούσε διάλειμμα 2-3 λεπτών και έπειτα το φορτίο αυξανόταν κατά 10-20% μέχρι να μπορεί να εκτελέσει μια επανάληψη με άρτια τεχνική. Η όλη διαδικασία ολοκληρωνόταν σε 4-5 προσπάθειες για την αποφυγή της κόπωσης. Για την αξιολόγηση της 1-ME στις πιέσεις στήθους, ο συμμετέχων εκτελούσε αρχικά 5-10 επαναλήψεις με το 60% της εκτιμώμενης μέγιστης επανάληψης και έπειτα ακολουθούσε διαλείμματα 2-3 λεπτά. Έπειτα η ένταση αυξανόταν κατά 5-10% σε κάθε προσπάθεια ενώ μεταξύ των προσπαθειών δινόταν διάλειμμα 2-3 λεπτών. Η διαδικασία ολοκληρωνόταν σε 4-5 προσπάθειες μέχρι την εύρεση της 1-ME.

2.4.6. Αξιολόγηση της μυϊκής αντοχής

Η αξιολόγηση της μυϊκής αντοχής πραγματοποιήθηκε μέσω των δοκιμασιών (α) κάμψεις και (β) αναδιπλώσεις κορμού. Για την μέτρηση των αναδιπλώσεων κορμού, σκοπός ήταν να εκτελεστούν όσες περισσότερες επαναλήψεις με σωστή τεχνική και σταθερή ταχύτητα η οποία καθοριζόταν από μετρονόμο για συνολικό χρονικό διάστημα 30 δευτερολέπτων. Ο δοκιμαζόμενος τοποθετούνταν σε ένα στρώμα σε ύπτια κατάκλιση, με τα γόνατα λυγισμένα και τα χέρια κοντά στο σώμα. Ο κορμός έπρεπε ανασηκωνόταν από το έδαφος μέχρις ότου η άκρη των δαχτύλων της παλάμης να ακουμπούσε της χαρτοταινία που ήταν τοποθετημένη σε απόσταση 12 εκατοστών μπροστά από την αρχική θέση των χεριών. Στην θέση εκκίνησης τα δάχτυλα έπρεπε να είναι πίσω από την γραμμή και στην φάση ολοκλήρωσης της κίνησης έπρεπε να είναι στο τελευταίο σημείο της 2^{ης} ταινίας. Για την μέτρηση των κάμψεων, ο ασκούμενος εκτελούσε κάμψεις με έναν ρυθμό που μπορούσε να διατηρήσει μέχρι την εξάντληση ή την αλλοίωση της τεχνικής. Θέση εκκίνησης ήταν η πρηνή κατάκλιση από θέση σανίδας, με τα χέρια τεντωμένα, τις παλάμες στο πάτωμα με μεταξύ τους απόσταση ίση με το άνοιγμα των ώμων. Η στήριξη στα πόδια ήταν στις μύτες και το κεφάλι στην προέκταση της σπονδυλικής στήλης. Ο ασκούμενος εκτελούσε την κάμψη έως 2 εκατοστά πριν ακουμπήσει το στήθος στο έδαφος.

2.4.7. Μέτρηση γαλακτικού οξέος

Για την μέτρηση γαλακτικού οξέος χρησιμοποιήθηκε φορητός αναλυτής (LactatePlus™, NovaBiomedical, USA) και οι αντίστοιχες ταινίες μίας χρήσης. Πριν τη λήψη, το σημείο καθαριζόταν με αλκοόλη 70% και αφού στέγνωσε πραγματοποιούνταν λήψη τριχοειδικού δείγματος αίματος το οποίο τοποθετούνταν απευθείας επάνω στην ειδική ταινία. Στη συνέχεια η ταινία τοποθετούνταν στον αναλυτή, ο οποίος μα έδινε αυτόματα την τελική τιμή σε 14 δευτερόλεπτα.

2.4.8. Αξιολόγηση θερμидικής δαπάνης κατά την άσκηση

Για την αξιολόγηση της ενεργειακής δαπάνης κατά την άσκηση υπολογίστηκε το άθροισμα της ενεργειακής δαπάνης του οξειδωτικού συστήματος, του γλυκολυτικού συστήματος και της ΠΚΟ. Συγκεκριμένα για τον υπολογισμό της συνολικής ενεργειακής δαπάνης χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εξισώσεις:

- ΕΔ οξειδωτικού συστήματος (χιλιοθερμίδες ή kcals) = $(VO_{2\text{άσκησης}} - VO_{2\text{ηρεμίας}}) * 21,1 \text{ (kJ)} / 4,184$.
- ΕΔ γλυκολυτικού συστήματος (χιλιοθερμίδες ή kcals) = $[(\text{Γαλακτικό}_{\text{ηρεμίας}} - \text{Γαλακτικό}_{\text{μετά την άσκηση}}) * \text{Σωματικό βάρος(κιλά)} * 3.0 \text{ (ml O}_2\text{)}] * 21,1 \text{ (kJ)} / 4,184$.
- ΕΔ ΠΚΟ (χιλιοθερμίδες ή kcals): $[(VO_{2\text{περίσσειας}} - VO_{2\text{ηρεμίας}}) * 19,6 \text{ (kJ)} / 4,184] * \text{λεπτά}_{\text{ΠΚΟ}}$

2.4.9. Στατιστική ανάλυση

Πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας των δεδομένων χρησιμοποιώντας το τεστ Shapiro-Wilk, από το οποίο προέκυψε ότι τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την παρούσα μελέτη δεν ακολουθούσαν την κανονική κατανομή, και ως εκ τούτου για τη στατιστική επεξεργασία τους εφαρμόστηκαν μη παραμετρικά τεστ. Συγκεκριμένα, για τις συγκρίσεις των ασκήσεων στις εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκε το τεστ Kruskal-Wallis για τον έλεγχο κύριας επίδρασης, συνοδευόμενο από το Mann-Whitney U τεστ για τις κατά ζεύγη συγκρίσεις. Για τις συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών στις εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκε το Wilcoxon Signed Rank τεστ. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο .05. Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS (IBM SPSS Statistics, version 26.0).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα περιγραφικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

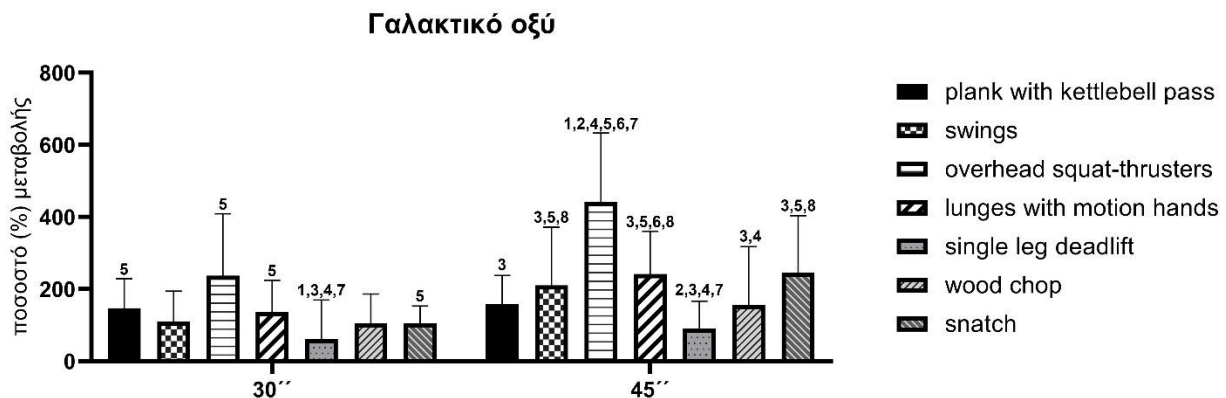
Πίνακας 1. Περιγραφικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων.

	<i>N</i> = 10
Ηλικία (έτη)	22.9 ± 2.3
Σωματομετρικά χαρακτηριστικά	
Σωματικό βάρος (kg)	79.7 ± 9.9
Σωματικό ύψος (cm)	177 ± 0.05
Δείκτης μάζας σώματος (kg/m ²)	25.4 ± 2.5
Περιφέρεια μέσης (cm)	80.7 ± 5.1
Περιφέρεια ισχίου (cm)	102.2 ± 5.0
Περιφέρεια μέσης/ισχίου	0.79 ± 0.03
Σύσταση σώματος	
Ποσοστό λίπους (%)	20.4 ± 6.2
Λιπώδης μάζα (kg)	16.6 ± 6.9
Άλιπη σωματική μάζα (kg)	62.3 ± 4.4
Μυϊκή μάζα (kg)	59.0 ± 4.3
Καρδιοαναπνευστική ικανότητα	
Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO ₂ max, ml/kg/min)	48.8 ± 8.0
Μέγιστη καρδιακή συχνότητα (beats/min)	199 ± 12.1
Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας (beats/min)	58.5 ± 5.6
Μυϊκή δύναμη - αντοχή	
Μέγιστη δύναμη άνω μέρους (kg)	81.5 ± 20.0
Μέγιστη δύναμη κάτω μέρους (kg)	109.5 ± 20.3
Μυϊκή αντοχή – Δοκιμασία κοιλιακών 30 δευτ. (επαναλήψεις)	31 ± 8
Μυϊκή αντοχή – Δοκιμασία κάμψεων 30 δευτ. (επαναλήψεις)	22 ± 6
Μεταβολισμός	
Μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας (kcal/s)	1594 ± 247

Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος

Στη συνθήκη 30'' η μεγαλύτερη αύξηση στο γαλακτικό οξύ προκλήθηκε από την άσκηση overhead squat κατά 237%, ενώ η μικρότερη αύξηση παρατηρήθηκε κατά την εκτέλεση της άσκησης single leg deadlift κατά 62%. Στη συνθήκη 45'' οι ασκήσεις overhead squat-thrusters, snatch, lunges with

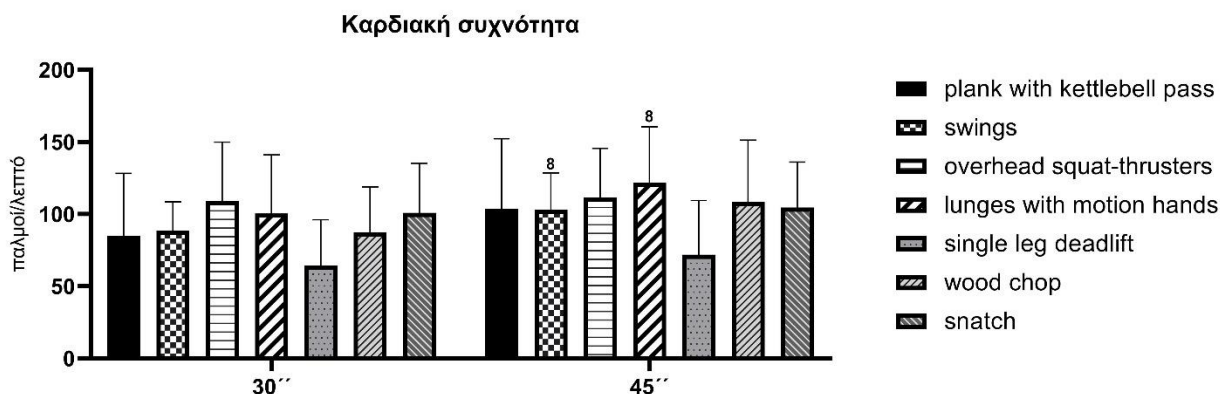
motion hands και swings επέφεραν τη μεγαλύτερη αύξηση στη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος κατά 441%, 245%, 242% και 211%, αντίστοιχα, χωρίς να υπάρχουν μεταξύ τους διαφορές. Αντίθετα, η μικρότερη μεταβολή στο γαλακτικό εντοπίστηκε στην άσκηση single leg deadlift, με ποσοστό αύξησης 89%. Από τη σύγκριση των δυο συνθηκών (30'' έναντι 45''), διαπιστώθηκε ότι η συνθήκη 45'' προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση του γαλακτικού οξέος συγκριτικά με τη συνθήκη 30'' στις ασκήσεις swings, lunges with motion hands και snatch κατά 101%, 106% και 140% αντίστοιχα.



Σχήμα 1. Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα στις επτά ασκήσεις των δυο συνθηκών. ¹ Σημαντική διαφορά με το Plank στη ίδια συνθήκη, ² Σημαντική διαφορά με το Swings στη ίδια συνθήκη, ³ Σημαντική διαφορά με το Squat στη ίδια συνθήκη, ⁴ Σημαντική διαφορά με το Lunges στη ίδια συνθήκη, ⁵ Σημαντική διαφορά με το Deadlift στην ίδια συνθήκη, ⁶ Σημαντική διαφορά με το Woodchop στην ίδια συνθήκη, ⁷ Σημαντική διαφορά με το Snatch στην ίδια συνθήκη, ⁸ Σημαντική διαφορά μεταξύ 30'' και 45'' στην ίδια άσκηση. Επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$.

Καρδιακή συχνότητα

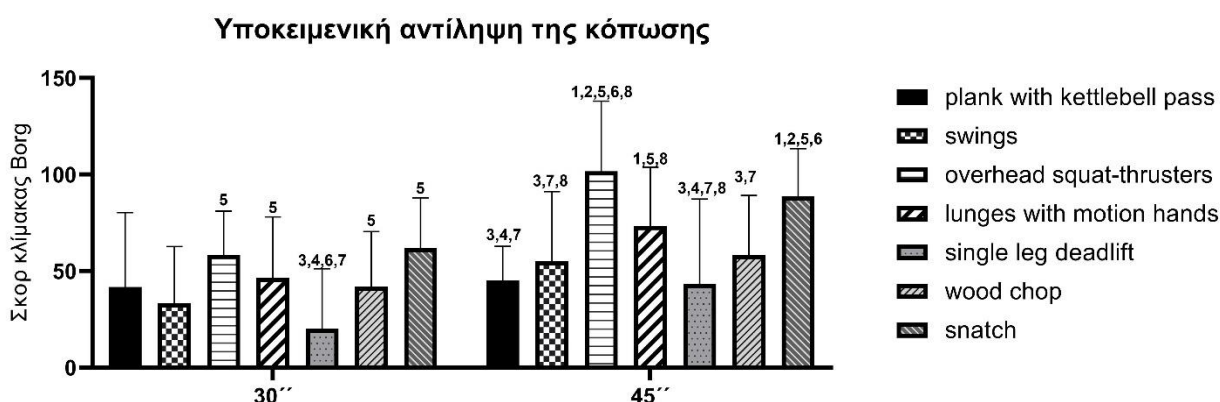
Όσον αφορά την καρδιακή συχνότητα, τόσο στην συνθήκη 30'' όσο και στη συνθήκη 45'' δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ασκήσεων. Ωστόσο, από τη σύγκριση μεταξύ των συνθηκών διαπιστώθηκε ότι η συνθήκη 45'' προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση της καρδιακής συχνότητας κατά 14% και 22% στις ασκήσεις swings και lunges with hand movement, αντίστοιχα, συγκριτικά με την συνθήκη 30''.



Σχήμα 2. Ποσοστιαία μεταβολή της καρδιακής συχνότητας στις επτά ασκήσεις των δυο συνθηκών.
⁸ Σημαντική διαφορά μεταξύ 30'' και 45'' στην ίδια άσκηση. Επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$.

Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης

Στην συνθήκη 30'' οι ασκήσεις snatch και overhead squat προκάλεσαν τη μεγαλύτερη αύξηση στην υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης κατά 62% και 58%, αντίστοιχα, ενώ η μικρότερη αύξηση καταγράφηκε στην άσκηση single leg deadlift με ποσοστό 20%. Όσον αφορά τη συνθήκη 45'' η μεγαλύτερη αύξηση εντοπίστηκε στην άσκηση overhead squat-thrusters με ποσοστό 102% ενώ η μικρότερη στις ασκήσεις plank with kettlebell pass και single leg deadlift με ποσοστό 45% και 43%, αντίστοιχα. Από τη σύγκριση των συνθηκών προέκυψε ότι η συνθήκη 45'' προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση της υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης συγκριτικά με τη συνθήκη 30'' κατά 22%, 44%, 26% και 23% στις ασκήσεις swings, overhead squat-thrusters, lunges with motion hands και single leg deadlift, αντίστοιχα.

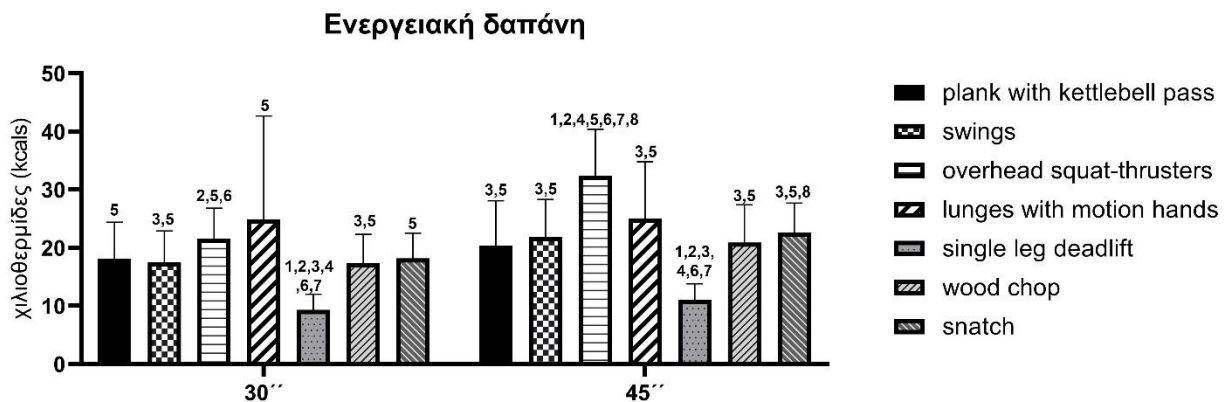


Σχήμα 3. Ποσοστιαία μεταβολή της υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης στις επτά ασκήσεις των δυο συνθηκών. ¹ Σημαντική διαφορά με το Plank στη ίδια συνθήκη, ² Σημαντική διαφορά με το Swings στη ίδια συνθήκη, ³ Σημαντική διαφορά με το Squat στη ίδια συνθήκη, ⁴ Σημαντική

διαφορά με το Lunges στη ίδια συνθήκη, ⁵ Σημαντική διαφορά με το Deadlift στην ίδια συνθήκη, ⁶ Σημαντική διαφορά με το Woodchop στην ίδια συνθήκη, ⁷ Σημαντική διαφορά με το Snatch στην ίδια συνθήκη, ⁸ Σημαντική διαφορά μεταξύ 30'' και 45'' στην ίδια άσκηση. Επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$.

Συνολική θερμιδική δαπάνη

Η υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη στην συνθήκη 30'' εντοπίστηκε στις ασκήσεις lunges with motion hands και overhead squat-thrusters με 25 και 22 χιλιοθερμίδες (kcal), αντίστοιχα, ενώ η μικρότερη ενεργειακή δαπάνη προκλήθηκε στην άσκηση single leg deadlift με μόλις 9 χιλιοθερμίδες. Στη συνθήκη 45'' η μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη παρατηρήθηκε στην άσκηση overhead squat-thrusters με 32 χιλιοθερμίδες, με τη μικρότερη να εντοπίζεται στην άσκηση single leg deadlift με 11 χιλιοθερμίδες. Από τη σύγκριση των δυο συνθηκών προέκυψε ότι η συνθήκη 45'' επέφερε μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη από τη συνθήκη 30'' στις ασκήσεις overhead squat-thrusters και snatch κατά 10 και 5 χιλιοθερμίδες αντίστοιχα.



Σχήμα 4. Η ενεργειακή δαπάνη (kcal) στις επτά ασκήσεις των δυο συνθηκών. ¹ Σημαντική διαφορά με το Plank στη ίδια συνθήκη, ² Σημαντική διαφορά με το Swings στη ίδια συνθήκη, ³ Σημαντική διαφορά με το Squat στη ίδια συνθήκη, ⁴ Σημαντική διαφορά με το Lunges στη ίδια συνθήκη, ⁵ Σημαντική διαφορά με το Deadlift στην ίδια συνθήκη, ⁶ Σημαντική διαφορά με το Woodchop στην ίδια συνθήκη, ⁷ Σημαντική διαφορά με το Snatch στην ίδια συνθήκη, ⁸ Σημαντική διαφορά μεταξύ 30'' και 45'' στην ίδια άσκηση. Επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα μελέτη αποσκοπούσε (i) στον προσδιορισμό της ενεργειακής δαπάνης κατά την εκτέλεση βασικών ασκήσεων με χρήση δραμιού ως πρόσθετη επιβάρυνση και (ii) στην διερεύνηση της επίδρασης της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης στην ενεργειακή δαπάνη. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδεικνύουν ότι η άσκηση lunges with hands motion προκαλεί τη μεγαλύτερη θερμιδική δαπάνη στην εκτέλεση 30'' ενώ στη εκτέλεση των 45'' η άσκηση overhead squat-thrusters είναι αυτή που επιφέρει τη μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη. Αντίθετα, η μικρότερη ενεργειακή δαπάνη προκαλείται από την άσκηση single leg deadlift τόσο στην εκτέλεση 30'' όσο και στην εκτέλεση των 45''.

Για τον προσδιορισμό της έντασης της άσκησης αξιολογήθηκαν η κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης ή αλλιώς κλίμακα Borg, η καρδιακή συχνότητα και το γαλακτικό οξύ. Όσον αφορά την κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης η μικρότερη τιμή στα 30'' παρατηρήθηκε στην άσκηση single leg deadlift ενώ η μεγαλύτερη στην άσκηση snatch. Από την άλλη στην συνθήκη των 45'' η μικρότερη τιμή εντοπίστηκε πάλι στην άσκηση single leg deadlift ενώ η μεγαλύτερη στο overhead squat. Η κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης (Borg) τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τον προσδιορισμό της έντασης της άσκησης. Είναι ένας αξιόπιστος, οικονομικός τρόπος που δεν επηρεάζεται από το φύλο ή την φυσική κατάσταση των ασκούμενων (Scherr et al., 2013). Σε πρόσφατη μελέτη η οποία είχε ως στόχο τη σύγκριση της θερμιδικής δαπάνης μεταξύ λειτουργικής προπόνησης (αντιστάσεων) και ενός πρωτοκόλλου στο δαπεδοεργόμετρο, αξιολογήθηκε και η κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης ως δείκτης προσδιορισμού της έντασης. Οι ερευνητές διαπίστωσαν μεγαλύτερη αύξηση της τιμής της κλίμακας κατά την λειτουργική προπόνηση συγκριτικά με την άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο (Mangona, Brasil, Prista, & Farinatti, 2023).

Αναφορικά με την καρδιακή συχνότητα, στην εκτέλεση των 30'' η μικρότερη αύξησή της εντοπίστηκε στην άσκηση single leg deadlift ενώ η μεγαλύτερη στην άσκηση overhead squat. Αντίστοιχα στην εκτέλεση των 45'' η άσκηση single leg deadlift προκάλεσε τη μικρότερη αύξηση της καρδιακής συχνότητας και η άσκηση lunges with hands motion τη μεγαλύτερη. Σε πρόσφατη μελέτη η οποία επιχείρησε να συσχετίσει την θερμιδική δαπάνη με τη μεταβολή της καρδιακής συχνότητας, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η καρδιακή συχνότητα αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη τόσο της έντασης όσο και της θερμιδικής δαπάνης όταν πρόκειται για ασκήσεις αντιστάσεων χαμηλής έντασης με πιθανότητα σφάλματος μικρότερη του 10% (Reis et al., 2019).

Η μικρότερη αύξηση του γαλακτικού οξέος καταγράφηκε στην άσκηση single leg deadlift τόσο στην εκτέλεση των 30'' όσο και στην εκτέλεση των 45'' η μεγαλύτερη παρατηρήθηκε στην άσκηση overhead squat και στις δυο χρονικές διάρκειες εκτέλεσης. Το γαλακτικό οξύ αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη της έντασης αλλά όχι της θερμιδικής δαπάνης (João et al., 2021). Στην έρευνα των Joao συν., συγκρίθηκαν τρία πρωτόκολλα άσκησης με διαφορετικό αριθμό σετ αλλά και ένταση εκτέλεσης. Οι ερευνητές δεν παρατήρησαν κάποια διαφορά ως προς τις εντάσεις των πρωτοκόλλων αλλά και την θερμιδική δαπάνη (João et al., 2021) . Όσον αφορά τα αποτελέσματα της έρευνας με την κλίμακα υποκειμενικής κόπωσης μπορεί να επηρεάστηκαν από το γεγονός ότι κατά ένα μεγαλύτερο μέρος του συνόλου οι γυναίκες ήταν περισσότερες από τους άντρες και οι συμμετέχοντες δεν είχαν εμπειρία ως προς την λειτουργική προπόνηση. Επιπρόσθετα, το πρωτόκολλο είχε 4 γύρους των 12 ασκήσεων με την μεγαλύτερη δυνατή ένταση των συμμετεχόντων και 1 λεπτό διάλειμμα. Αυτό υποδεικνύει την εξάντληση των ασκούμενων εξαιτίας των μεγάλων μυϊκών ομάδων που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και των υψηλών απαιτήσεων σε νευρομυϊκό συντονισμό (Mangona et al., 2023). Αναφορικά με την καρδιακή συχνότητα, τα αποτελέσματα της μελέτης παραπάνω μελέτης έδειξαν ότι μπορεί να επηρεάστηκαν από το πρωτόκολλο καθώς 56 άντρες χωρίστηκαν τυχαιοποιημένα σε 4 ομάδες εκ των οποίων η κάθε ομάδα εκτέλεσε 2 ασκήσεις σε 4 σετ με διαφορετική επιβάρυνση κάθε φορά με βάση την μια μέγιστη επανάληψή τους (Mangona et al., 2023). Συνεπώς, διαπιστώνεται η σημαντική συμβολή της έντασης της άσκησης (Reis et al., 2019). Σε πρόσφατη μελέτη στην οποία έλαβαν μέρος 15 άντρες ηλικίας 18- 25 ετών οι οποίοι εκτέλεσαν 8 ασκήσεις σε 3 πρωτόκολλα διαφορετικής έντασης (ένα έντονης, ένα μέτριας και ένα χαμηλής εντάσεως) οι ερευνητές παρατήρησαν περιορισμένη αύξηση του γαλακτικού οξέος διότι ότι δεν ενεργοποιήθηκαν αρκετές μυϊκές ομάδες καθώς η πλειοψηφία των ασκήσεων ήταν σε μηχανήματα (João et al., 2021). Αν ωστόσο οι ασκήσεις εκτελούνταν με χρήση ελευθέρων βαρών, λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων νευρομυϊκού συντονισμού τις ενεργοποίησης περισσότερων μυϊκών ομάδων τότε ενδεχομένως τα αποτελέσματα να ήταν διαφορετικά (João et al., 2021).

Η ενεργειακή δαπάνη αξιολογήθηκε από το άθροισμα της συνεισφοράς του οξειδωτικού και του γλυκολυτικού συστήματος και της ΠΚΟ. Όσον αφορά την εκτέλεση των 30'' η μικρότερη ενεργειακή δαπάνη προκλήθηκε από την άσκηση single leg deadlift ενώ η μεγαλύτερη από την άσκηση lunges with hands motion. Αντίστοιχα, στην εκτέλεση των 45'' η μικρότερη ενεργειακή

δαπάνη καταγράφηκε στην άσκηση single leg deadlift ενώ η μεγαλύτερη στην άσκηση overhead squat. Αν και η βιβλιογραφία είναι σχετικά ελλιπής όσον αφορά την ενεργειακή δαπάνη, οι Vezina και συν., επιχείρησαν να προσδιορίσουν την ενεργειακή δαπάνη κατά την εκτέλεση ασκήσεων με αντιστάσεις εφαρμόζοντας 4 ασκήσεις σε μορφή κυκλικής προπόνησης και εκτελώντας 3 σετ σε κάθε άσκηση (Vezina, Der Ananian, Campbell, Meckes, & Ainsworth, 2014). Στο συγκεκριμένο ασκησιόλογιο συμπεριλήφθηκε και η άσκηση lunges ωστόσο η ενεργειακή δαπάνη αξιολογήθηκε σε MET και όχι σε θερμίδες (Vezina et al., 2014). Στα αποτελέσματα της μελέτης παρατηρήθηκε ότι η άσκηση lunges προκάλεσε μια ενεργειακή δαπάνη ίση με 7,52 MET υποδεικνύοντας πως η συγκεκριμένη άσκηση αυξάνει σημαντικά τις μεταβολικές απαιτήσεις επιβεβαιώνοντας και τα ευρήματα της παρούσας μελέτης (Vezina et al., 2014). Επίσης, αν και δεν υπάρχουν επαρκή ερευνητικά δεδομένα για την ενεργειακή δαπάνη που προκαλείται κατά την εκτέλεση ασκήσεων που περιέχουν squat, στη μελέτη των Hunter και συν., παρατηρήθηκε ότι μετά από προπονητική παρέμβαση διάρκειας ενός μήνα με συχνότητα προπόνησης 3 φορές την εβδομάδα και ασκησιόλογιο στο οποίο συμπεριλήφθηκε και το squat προκλήθηκε μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη συγκριτικά με την καρδιοαναπνευστική προπόνηση (Hunter et al., 2015). Στη μελέτη των Vezina και συν., εκτελέστηκαν επαναλαμβανόμενα οι ασκήσεις push ups, curl ups, pull ups και lunges, με 3 σετ για κάθε άσκηση με του ερευνητές να τονίζουν ότι οι συγκεκριμένες ασκήσεις προάγουν την απώλεια βάρους καθώς είναι ιδιαίτερα απαιτητικές αφού απαιτούν τη συμμετοχή πολλών κινητικών ομάδων και πολύ καλού νευρομυϊκού συντονισμού (Vezina et al., 2014). Στην έρευνα του Hunter και των συνεργατών του, εφαρμόστηκε προπονητική παρέμβαση διάρκειας ενός μήνα με συχνότητα 3 φορές την εβδομάδα σε συνδυασμό με διατροφική παρέμβαση, σε 140 παχύσαρκες προ-εμμηνοπαυσιακές γυναίκες που ακολουθούσαν καθιστική ζωή (Hunter et al., 2015). Αν και οι ασκήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην προπονητική παρέμβαση (squats, leg extension, leg curl, elbow flexion, triceps extension, lateral pull-down, bench press, military press, lower back extension, και bent leg sit-ups) δεν απαιτούν την συμμετοχή πολλών μυϊκών ομάδων και δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητικές ως προς τον νευρομυϊκό συντονισμό, επέφεραν σημαντική απώλεια βάρους λόγω του γεγονότος ότι οι συμμετέχουσες ακολουθούσαν καθιστικό τρόπο ζωής και είχαν πολύ χαμηλό επίπεδο φυσικής κατάστασης (Hunter et al., 2015).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια η προπόνηση με αντιστάσεις και ιδιαίτερα η λειτουργική προπόνηση εφαρμόζονται όλο και περισσότερο από άτομα διαφορετικού προπονητικού επιπέδου, αποσκοπώντας τόσο στην προαγωγή της σωματικής και ψυχικής υγείας όσο και στη βελτίωση παραμέτρων φυσικής κατάστασης όπως η δύναμη, η ευλυγισία, αλλά και η βελτίωση της σύστασης σώματος. Το δράμι είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως στη λειτουργική προπόνηση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πρωταθλητές έως και ερασιτέχνες ασκούμενους. Θα ήταν αρκετά χρήσιμο για τους γυμναστές αλλά και τους επαγγελματίες υγείας να γνωρίζουν ποια είναι η ενεργειακή δαπάνη που προκαλείται κατά την εκτέλεση ασκήσεων με δράμια ώστε να τις εντάξουν στα προγράμματά τους και να καταφέρουν γρηγορότερα και αποτελεσματικότερα τον στόχο τους. Η παρούσα μελέτη ήταν η πρώτη που επιχείρησε να εκτιμήσει την ενεργειακή δαπάνη κατά την εκτέλεση μεμονωμένων σετ λειτουργικών ασκήσεων με δράμια. Μελλοντικές μελέτες, θα πρέπει να εφαρμόσουν τη συγκεκριμένη μεθοδολογία σε επαναλαμβανόμενα σετ αλλά και σε ολόκληρες προπονητικές μονάδες.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Beerse, M., Callahan, C., & Barrios, J. (2023). Self-directed kinematic adjustments when learning the kettlebell swing in young adults. *Sports Biomech*, 1-17. doi:10.1080/14763141.2022.2161409
- Benito, P. J., Alvarez-Sánchez, M., Díaz, V., Morencos, E., Peinado, A. B., Cupeiro, R., & Maffulli, N. (2016). Cardiovascular Fitness and Energy Expenditure Response during a Combined Aerobic and Circuit Weight Training Protocol. *PLoS One*, 11(11), e0164349. doi:10.1371/journal.pone.0164349
- Berthiaume, M. P., Lalande-Gauthier, M., Chrone, S., & Karelis, A. D. (2015). Energy expenditure during the group exercise course Bodypump in young healthy individuals. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(6), 563-568.
- Børsheim, E., & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med*, 33(14), 1037-1060. doi:10.2165/00007256-200333140-00002
- Bouchard, C., Pérusse, L., Dériaz, O., Després, J. P., & Tremblay, A. (1993). Genetic influences on energy expenditure in humans. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 33(4-5), 345-350. doi:10.1080/10408399309527631
- Calcagno, M., Kahleova, H., Alwarith, J., Burgess, N. N., Flores, R. A., Busta, M. L., & Barnard, N. D. (2019). The Thermic Effect of Food: A Review. *J Am Coll Nutr*, 38(6), 547-551. doi:10.1080/07315724.2018.1552544
- Casanova, N., Beaulieu, K., Finlayson, G., & Hopkins, M. (2019). Metabolic adaptations during negative energy balance and their potential impact on appetite and food intake. *Proc Nutr Soc*, 78(3), 279-289. doi:10.1017/s0029665118002811
- Casanova, N., Beaulieu, K., Oustric, P., O'Connor, D., Gibbons, C., Duarte, C., . . . Hopkins, M. (2021). Body Fatness Influences Associations of Body Composition and Energy Expenditure with Energy Intake in Healthy Women. *Obesity (Silver Spring)*, 29(1), 125-132. doi:10.1002/oby.23034
- Chan, M., MacInnis, M. J., Koch, S., MacLeod, K. E., Lohse, K. R., Gallo, M. E., . . . Koehle, M. S. (2020). Cardiopulmonary Demand of 16-kg Kettlebell Snatches in Simulated Girevoy Sport. *J Strength Cond Res*, 34(6), 1625-1633. doi:10.1519/jsc.0000000000002588
- Chen, H. T., Wu, H. J., Chen, Y. J., Ho, S. Y., & Chung, Y. C. (2018). Effects of 8-week kettlebell training on body composition, muscle strength, pulmonary function, and chronic low-grade inflammation in elderly women with sarcopenia. *Exp Gerontol*, 112, 112-118. doi:10.1016/j.exger.2018.09.015
- Conceição, M. S., Gáspari, A. F., Ramkrapes, A. P. B., Junior, E. M. M., Bertuzzi, R., Cavaglieri, C. R., & Chacon-Mikahil, M. P. T. (2018). Anaerobic metabolism induces greater total energy expenditure during exercise with blood flow restriction. *PLoS One*, 13(3), e0194776. doi:10.1371/journal.pone.0194776
- Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., . . . Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc*, 35(8), 1381-1395. doi:10.1249/01.Mss.0000078924.61453.Fb
- Das, J. K., Salam, R. A., Thornburg, K. L., Prentice, A. M., Campisi, S., Lassi, Z. S., . . . Bhutta, Z. A. (2017). Nutrition in adolescents: physiology, metabolism, and nutritional needs. *Ann N Y Acad Sci*, 1393(1), 21-33. doi:10.1111/nyas.13330

- Düking, P., Giessing, L., Frenkel, M. O., Koehler, K., Holmberg, H. C., & Sperlich, B. (2020). Wrist-Worn Wearables for Monitoring Heart Rate and Energy Expenditure While Sitting or Performing Light-to-Vigorous Physical Activity: Validation Study. *JMIR Mhealth Uhealth*, 8(5), e16716. doi:10.2196/16716
- Falatic, J. A., Plato, P. A., Holder, C., Finch, D., Han, K., & Cisar, C. J. (2015). Effects of Kettlebell Training on Aerobic Capacity. *J Strength Cond Res*, 29(7), 1943-1947. doi:10.1519/jsc.0000000000000845
- Farrar, R. E., Mayhew, J. L., & Koch, A. J. (2010). Oxygen cost of kettlebell swings. *J Strength Cond Res*, 24(4), 1034-1036. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d15516
- Freedson, P. S., Melanson, E., & Sirard, J. (1998). Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer. *Med Sci Sports Exerc*, 30(5), 777-781. doi:10.1097/00005768-199805000-00021
- Greenwald, S., Seger, E., Nichols, D., Ray, A. D., Rideout, T. C., & Gosselin, L. E. (2016). Effect of an Acute Bout of Kettlebell Exercise on Glucose Tolerance in Sedentary Men: A Preliminary Study. *Int J Exerc Sci*, 9(3), 524-535.
- Greer, B. K., Sirithienthad, P., Moffatt, R. J., Marcello, R. T., & Panton, L. B. (2015). EPOC Comparison Between Isocaloric Bouts of Steady-State Aerobic, Intermittent Aerobic, and Resistance Training. *Res Q Exerc Sport*, 86(2), 190-195. doi:10.1080/02701367.2014.999190
- Grigoletto, D., Marcolin, G., Borgatti, E., Zonin, F., Steele, J., Gentil, P., . . . Paoli, A. (2020). Kettlebell Training for Female Ballet Dancers: Effects on Lower Limb Power and Body Balance. *J Hum Kinet*, 74, 15-22. doi:10.2478/hukin-2020-0010
- Honthâas, C., & Ritz, P. (2002). [Energy expenditure: method employed]. *Ann Endocrinol (Paris)*, 63(6 Pt 2), S30-37.
- Hunter, G. R., Fisher, G., Neumeier, W. H., Carter, S. J., & Plaisance, E. P. (2015). Exercise Training and Energy Expenditure following Weight Loss. *Med Sci Sports Exerc*, 47(9), 1950-1957. doi:10.1249/mss.0000000000000622
- João, G. A., Almeida, G. P. L., Tavares, L. D., Kalva-Filho, C. A., Carvas Junior, N., Pontes, F. L., . . . Figueira, A. J. (2021). Acute Behavior of Oxygen Consumption, Lactate Concentrations, and Energy Expenditure During Resistance Training: Comparisons Among Three Intensities. *Front Sports Act Living*, 3, 797604. doi:10.3389/fspor.2021.797604
- Klausen, B., Toubro, S., & Astrup, A. (1997). Age and sex effects on energy expenditure. *Am J Clin Nutr*, 65(4), 895-907. doi:10.1093/ajcn/65.4.895
- Kravitz, H. M., Kazlauskaitė, R., & Joffe, H. (2018). Sleep, Health, and Metabolism in Midlife Women and Menopause: Food for Thought. *Obstet Gynecol Clin North Am*, 45(4), 679-694. doi:10.1016/j.ogc.2018.07.008
- Lake, J. P., & Lauder, M. A. (2012). Mechanical demands of kettlebell swing exercise. *J Strength Cond Res*, 26(12), 3209-3216. doi:10.1519/JSC.0b013e3182474280
- Lambert, C. P., Frank, L. L., & Evans, W. J. (2004). Macronutrient considerations for the sport of bodybuilding. *Sports Med*, 34(5), 317-327. doi:10.2165/00007256-200434050-00004
- Levine, J. A. (2005). Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutr*, 8(7a), 1123-1132. doi:10.1079/phn2005800
- Li, S., Xue, J. J., Hong, P., Song, C., & He, Z. H. (2020). Comparison of energy expenditure and substrate metabolism during overground and motorized treadmill running in Chinese middle-aged women. *Sci Rep*, 10(1), 1815. doi:10.1038/s41598-020-58791-0

- Mangona, L., Brasil, I. A., Prista, A., & Farinatti, P. (2023). Energy Expenditure, Intensity, and Perceived Effort in Recreational Functional Training. *Res Q Exerc Sport*, 1-10. doi:10.1080/02701367.2022.2148624
- Manocchia, P., Spierer, D. K., Lufkin, A. K., Minichiello, J., & Castro, J. (2013). Transference of kettlebell training to strength, power, and endurance. *J Strength Cond Res*, 27(2), 477-484. doi:10.1519/JSC.0b013e31825770fe
- Meigh, N. J., Keogh, J. W. L., Schram, B., Hing, W., & Rathbone, E. N. (2022). Effects of supervised high-intensity hardstyle kettlebell training on grip strength and health-related physical fitness in insufficiently active older adults: the BELL pragmatic controlled trial. *BMC Geriatr*, 22(1), 354. doi:10.1186/s12877-022-02958-z
- Molé, P. A. (1990). Impact of energy intake and exercise on resting metabolic rate. *Sports Med*, 10(2), 72-87. doi:10.2165/00007256-199010020-00002
- Mubarik, A., & Iqbal, A. M. (2023). Holter Monitor. In *StatPearls*. Treasure Island (FL) ineligible companies. Disclosure: Arshad Muhammad Iqbal declares no relevant financial relationships with ineligible companies.: StatPearls Publishing
- Copyright © 2023, StatPearls Publishing LLC.
- Núñez, T. P., Amorim, F. T., Beltz, N. M., Mermier, C. M., Moriarty, T. A., Nava, R. C., . . . Kravitz, L. (2020). Metabolic effects of two high-intensity circuit training protocols: Does sequence matter? *J Exerc Sci Fit*, 18(1), 14-20. doi:10.1016/j.jesf.2019.08.001
- Otto, W. H., 3rd, Coburn, J. W., Brown, L. E., & Spiering, B. A. (2012). Effects of weightlifting vs. kettlebell training on vertical jump, strength, and body composition. *J Strength Cond Res*, 26(5), 1199-1202. doi:10.1519/JSC.0b013e31824f233e
- Patel, H., Kerndt, C. C., & Bhardwaj, A. (2023). Physiology, Respiratory Quotient. In *StatPearls*. Treasure Island (FL) ineligible companies. Disclosure: Connor Kerndt declares no relevant financial relationships with ineligible companies. Disclosure: Abhishek Bhardwaj declares no relevant financial relationships with ineligible companies.: StatPearls Publishing
- Copyright © 2023, StatPearls Publishing LLC.
- Patton, G. C., Sawyer, S. M., Santelli, J. S., Ross, D. A., Afifi, R., Allen, N. B., . . . Viner, R. M. (2016). Our future: a Lancet commission on adolescent health and wellbeing. *Lancet*, 387(10036), 2423-2478. doi:10.1016/s0140-6736(16)00579-1
- Poulios, A., Fatouros, I. G., Mohr, M., Draganidis, D. K., Deli, C., Papanikolaou, K., . . . Jamurtas, A. Z. (2018). Post-Game High Protein Intake May Improve Recovery of Football-Specific Performance during a Congested Game Fixture: Results from the PRO-FOOTBALL Study. *Nutrients*, 10(4). doi:10.3390/nu10040494
- Reis, V. M., Vianna, J. M., Barbosa, T. M., Garrido, N., Vilaça Alves, J., Carneiro, A. L., . . . Novaes, J. (2019). Are wearable heart rate measurements accurate to estimate aerobic energy cost during low-intensity resistance exercise? *PLoS One*, 14(8), e0221284. doi:10.1371/journal.pone.0221284
- Rufo-Tavares, W., Barbosa Lira, C. A., Andrade, M. S., Zimerer, C., Leopoldo, A. S., Sarro, K. J., . . . Vancini, R. L. (2020). Effects of kettlebell training and detraining on mood status and sleep and life quality of healthy women. *J Bodyw Mov Ther*, 24(4), 344-353. doi:10.1016/j.jbmt.2020.07.006
- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*, 113(1), 147-155. doi:10.1007/s00421-012-2421-x

- Schleppenbach, L. N., Ezer, A. B., Gronemus, S. A., Widenski, K. R., Braun, S. I., & Janot, J. M. (2017). Speed- and Circuit-Based High-Intensity Interval Training on Recovery Oxygen Consumption. *Int J Exerc Sci*, 10(7), 942-953.
- Scott, C. (2005). Misconceptions about Aerobic and Anaerobic Energy Expenditure. *J Int Soc Sports Nutr*, 2(2), 32-37. doi:10.1186/1550-2783-2-2-32
- Scott, C. B. (2006). Estimating energy expenditure for brief bouts of exercise with acute recovery. *Appl Physiol Nutr Metab*, 31(2), 144-149. doi:10.1139/h05-013
- Scott, C. B., & Fountaine, C. (2013). Estimating the energy costs of intermittent exercise. *J Hum Kinet*, 38, 107-113. doi:10.2478/hukin-2013-0050
- Scott, C. B., & Kemp, R. B. (2005). Direct and indirect calorimetry of lactate oxidation: implications for whole-body energy expenditure. *J Sports Sci*, 23(1), 15-19. doi:10.1080/02640410410001716760
- Scott, C. B., Leighton, B. H., Ahearn, K. J., & McManus, J. J. (2011). Aerobic, anaerobic, and excess postexercise oxygen consumption energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-set of bench press to muscular fatigue. *J Strength Cond Res*, 25(4), 903-908. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c6a128
- Sedlock, D. A., Fissinger, J. A., & Melby, C. L. (1989). Effect of exercise intensity and duration on postexercise energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc*, 21(6), 662-666. doi:10.1249/00005768-198912000-00006
- Seger, J. Y., Arvidsson, B., & Thorstensson, A. (1998). Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 79(1), 49-57. doi:10.1007/s004210050472
- Smith, R. L., Soeters, M. R., Wüst, R. C. I., & Houtkooper, R. H. (2018). Metabolic Flexibility as an Adaptation to Energy Resources and Requirements in Health and Disease. *Endocr Rev*, 39(4), 489-517. doi:10.1210/er.2017-00211
- Speakman, J. R., & Selman, C. (2003). Physical activity and resting metabolic rate. *Proc Nutr Soc*, 62(3), 621-634. doi:10.1079/pns2003282
- Stagi, S., Mulliri, G., Doneddu, A., Ghiani, G., & Marini, E. (2023). Body Composition and Strength Symmetry of Kettlebell Sport Athletes. *Biology (Basel)*, 12(3). doi:10.3390/biology12030440
- Stec, M. J., & Rawson, E. S. (2012). Estimation of resistance exercise energy expenditure using triaxial accelerometry. *J Strength Cond Res*, 26(5), 1413-1422. doi:10.1519/JSC.0b013e318248d7b4
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med*, 48(4), 765-785. doi:10.1007/s40279-018-0862-z
- Thomas, J. F., Larson, K. L., Hollander, D. B., & Kraemer, R. R. (2014). Comparison of two-hand kettlebell exercise and graded treadmill walking: effectiveness as a stimulus for cardiorespiratory fitness. *J Strength Cond Res*, 28(4), 998-1006. doi:10.1519/jsc.0000000000000345
- Tramunt, B., Smati, S., Grandgeorge, N., Lenfant, F., Arnal, J. F., Montagner, A., & Gourdy, P. (2020). Sex differences in metabolic regulation and diabetes susceptibility. *Diabetologia*, 63(3), 453-461. doi:10.1007/s00125-019-05040-3
- Tudor-Locke, C., & Bassett, D. R., Jr. (2004). How many steps/day are enough? Preliminary pedometer indices for public health. *Sports Med*, 34(1), 1-8. doi:10.2165/00007256-200434010-00001

- Vancini, R. L., Andrade, M. S., Rufo-Tavares, W., Zimerer, C., Nikolaidis, P. T., & de Lira, C. A. B. (2019). Kettlebell Exercise as an Alternative to Improve Aerobic Power and Muscle Strength. *J Hum Kinet*, 66, 5-6. doi:10.2478/hukin-2018-0062
- Vezina, J. W., Der Ananian, C. A., Campbell, K. D., Meckes, N., & Ainsworth, B. E. (2014). An examination of the differences between two methods of estimating energy expenditure in resistance training activities. *J Strength Cond Res*, 28(4), 1026-1031. doi:10.1519/jsc.0000000000000375
- Watts, C. Q., Boessneck, K., & Riemann, B. L. (2022). Effects of Kettlebell Load on Joint Kinetics and Global Characteristics during Overhead Swings in Women. *Sports (Basel)*, 10(12). doi:10.3390/sports10120203
- Westerterp, K. R. (2017). Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. *Eur J Appl Physiol*, 117(7), 1277-1285. doi:10.1007/s00421-017-3641-x
- Westerterp, K. R. (2018). Exercise, energy balance and body composition. *Eur J Clin Nutr*, 72(9), 1246-1250. doi:10.1038/s41430-018-0180-4
- Williams, B. M., & Kraemer, R. R. (2015). Comparison of Cardiorespiratory and Metabolic Responses in Kettlebell High-Intensity Interval Training Versus Sprint Interval Cycling. *J Strength Cond Res*, 29(12), 3317-3325. doi:10.1519/jsc.0000000000001193
- Zebis, M. K., Andersen, C. H., Bencke, J., Ørntoft, C., Linnebjerg, C., Hölmich, P., . . . Andersen, L. L. (2017). Neuromuscular Coordination Deficit Persists 12 Months after ACL Reconstruction But Can Be Modulated by 6 Weeks of Kettlebell Training: A Case Study in Women's Elite Soccer. *Case Rep Orthop*, 2017, 4269575. doi:10.1155/2017/4269575
- Κλεισούρας, Β. (2011). *Εργοφυσιολογία* (11 ed.). Ελλάδα: Ιατρικές Εκδόσεις Πασχαλίδη.