

*Μεταπτυχιακή διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα της «Σχολής Επιστήμης
Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού» του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας*



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ – ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ & ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**



**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΣΚΗΣΗ, ΕΡΓΟΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“Καθορισμός της ενεργειακής δαπάνης προγράμματος άσκησης μυϊκής
ενδυνάμωσης με το βάρος του σώματος”**

Χρήστος Φωτίου

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΦΑΤΟΥΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΔΕΛΗ ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ

ΓΕΩΡΓΑΚΟΥΛΗ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

Λάρισα 2023



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ – ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ & ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**



**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΣΚΗΣΗ, ΕΡΓΟΣΠΡΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»**

“Determining the energy expenditure of a bodyweight muscle-strengthening exercise program”

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
2.Γενικό Μέρος.....	7
2.1. Η άσκηση και τα οφέλη της.....	7
2.2. Προπόνηση με το βάρος του σώματος.....	9
2.3. Ενεργειακή δαπάνη και τρόποι υπολογισμού της.....	10
2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την Ενεργειακή Δαπάνη.....	13
3. Ειδικό Μέρος.....	14
3.1. Σκοπός.....	14
3.2. Υλικό και Μέθοδος.....	14
3.2.1. Συμμετέχοντες.....	14
3.2.2. Κριτήρια συμμετοχής.....	15
3.2.3. Παρακολούθηση Διατροφής.....	16
3.2.4. Πειραματικός σχεδιασμός.....	16
3.2.5. Πρωτόκολλο παρέμβασης.....	18
3.2.6. Ερευνητικά εργαλεία.....	19
3.3. Ανάλυση βασικών μετρήσεων.....	19
3.4. Εκτίμηση σωματομετρικών χαρακτηριστικών και σωματικής σύστασης.....	19
3.5. Αξιολόγηση δεικτών απόδοσης.....	20
3.6. Μέτρηση ενεργειακής δαπάνης άσκησης.....	20
3.7. Στατιστική Ανάλυση.....	21
4. Αποτελέσματα.....	22
4.1. Μεταβολικές απαιτήσεις των ασκήσεων.....	22
4.1.1. Συγκέντρωση γαλακτικού αίματος (BL).....	22
4.1.2. Αποκρίσεις της VO2.....	23
4.1.3. Καρδιακή συχνότητα (HR).....	25
4.1.4. Κλίμακα Αντίληψης της προσπάθειας (RPE).....	27
4.1.5. Διάρκεια EPOC (ED).....	29
4.1.6. Η επίδραση του μοτίβου κίνησης κατά την άσκηση στην ενεργειακή δαπάνη στη δοκιμή των 30 δευτερολέπτων.....	30
4.1.7. Η επίδραση του μοτίβου κίνησης κατά την άσκηση στην ενεργειακή δαπάνη στη δοκιμή 45 δευτερολέπτων.....	31
4.1.8. Η επίδραση της διάρκειας της άσκησης στην ενεργειακή δαπάνη.....	33
5. Συζήτηση.....	34
Βιβλιογραφία.....	39

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να εξεταστεί ο καθορισμός της ενεργειακής δαπάνης προγράμματος άσκησης μυϊκής ενδυνάμωσης με μοναδικό εξοπλισμό το βάρος του σώματος. Συγκεκριμένα αξιολογήθηκε η συνολική ενεργειακή δαπάνη (ΣΕΔ) 7 μεμονωμένων ασκήσεων, σε δύο χρονικά πλαίσια εκτέλεσης (T30, T45), με τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων και με την άρτια τεχνική. Στη μελέτη έλαβαν μέρος 10 συμμετέχοντες, με ηλικιακό εύρος που κυμαίνεται από 18 έως και 35 έτη. Εκτέλεσαν με τυποποιημένη σειρά τις ασκήσεις των δύο δοκιμών (T30 & T45). Η συνολική ενεργειακή δαπάνη, η ενεργειακή δαπάνη του οξειδωτικού συστήματος (Vo2cal), η ενεργειακή δαπάνη της περίσσειας οξυγόνου αποκατάστασης (EPOCcal), η ενεργειακή δαπάνη του γλυκολυτικού συστήματος (BLcal), η ποσοστιαία μεταβολή γαλακτικού οξέος (BLd%) και κατανάλωσης οξυγόνου (VO₂%) κατά την άσκηση, η καρδιακή συχνότητα ως προς το ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (HR%), η μέση καρδιακή συχνότητα (HRm) και η μέση κατανάλωση οξυγόνου (VO_{2m}) αποτελούσαν δείκτες που αξιολογήθηκαν κατά τη διάρκεια και μετά την ολοκλήρωση των ασκήσεων. Από τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι το μέγεθος και ο αριθμός των μυϊκών ομάδων που συμμετέχουν σε μια άσκηση επηρεάζονται από το χρόνο εκτέλεσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η μυϊκή ομάδα που συμμετέχει, τόσο περισσότερο οξυγόνο χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η σύσπαση. Σ αυτήν την κατηγορία ασκήσεων εντάσσονται οι ασκήσεις burpees, jumping jacks και push ups, με την πρώτη να παρουσιάζει την σημαντικότερη επίδραση σε όλες τις μεταβλητές που αξιολογήθηκαν. Αντίθετα η άσκηση plank το κύριο χαρακτηριστικό της οποίας ήταν η ισομετρική σύσπαση, προκάλεσε την μικρότερη μεταβολή των δεικτών που αξιολογήθηκαν. Τα δεδομένα της μελέτης θα βοηθήσουν τους επαγγελματίες της άσκησης στην κατάρτιση προπονητικών μονάδων, τόσο για αθλητές όσο και για ασκούμενους.

Λέξεις κλειδιά: Άσκηση με το βάρος του σώματος, συνολική ενεργειακή δαπάνη, μεταβολικοί δείκτες, ένταση άσκησης

ABSTRACT

The purpose of this work was to examine the determination of the energy expenditure of a muscle strengthening exercise program weight as the only equipment with body. In particular, the total energy expenditure (EEP) of 7 individual exercises was evaluated, in two execution time frames (T30, T45) and with the maximum number of repetitions and with perfect technique. 10 participants took part in the study, with an age range ranging from 18 to 35 years. They performed the exercises of the two tests (T30 & T45) in a standardized order. The total energy expenditure, the energy expenditure of the oxidative system (Vo2cal), the energy expenditure of excess oxygen recovery (EPOCcal), the energy expenditure of the glycolytic system (BLcal), the percentage change in lactic acid (BLd%) and oxygen consumption (VO2d%) during exercise, heart rate as a percentage of maximum (HR%), mean heart rate (HRm) and mean oxygen consumption (VO2m) were indicators assessed during and after completion of the exercises. From the results it was observed that the size and number of muscle groups involved in an exercise are affected by the execution time. The larger the muscle group involved, the more oxygen is needed for the contraction to take place. Burpees, Jumping Jacks and Push Ups are included in this category of exercises, with the first showing the most significant effect on all variables evaluated. On the contrary, the Plank exercise, the main characteristic of which was the isometric contraction, caused the smallest change in the indicators evaluated. The data from the study will help exercise professionals in the development of training units, both for athletes and trainees.

Key words: Bodyweight exercise, total energy expenditure, metabolic indices, exercise intensity

1. Εισαγωγή

Η παχυσαρκία αποτελεί μια αρνητική παράμετρο της δημόσιας υγείας, η οποία σχετίζεται με την εμφάνιση καρδιαγγειακών παθήσεων, διαβήτη και μεταβολικού συνδρόμου [1], επιβαρύνοντας το σύστημα υγείας παγκοσμίως [2]. Η παχυσαρκία προέρχεται ως αποτέλεσμα της διαταραχής τους ενεργειακού ισοζυγίου και συγκεκριμένα, όταν η ενεργειακή πρόσληψη υπερβαίνει την ενεργειακή δαπάνη για εκτεταμένη χρονική περίοδο [3]. Η συστηματική σωματική δραστηριότητα ή η δομημένη άσκηση είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη και τη διαχείριση ασθενειών που εμφανίζονται ως αποτέλεσμα του σύγχρονου τρόπου ζωής, όπου η σωματική δραστηριότητα είναι μειωμένη και η θερμιδική κατανάλωση είναι αυξημένη [4,5]. Παρά τις συστάσεις από επιστημονικούς φορείς που αποσαφηνίζουν και αποδεικνύουν ότι η συστηματική άσκηση μειώνει τον κίνδυνο και βοηθά στη διαχείριση πολλών μη μεταδοτικών ασθενειών [6,7,8], φαίνεται πως το φαινόμενο της παχυσαρκίας διογκώνεται [9].

Το Αμερικανικό Κολλέγιο Αθλητιατρικής (ACSM) προτείνει ≥ 150 λεπτά/εβδομάδα μέτριας έντασης άσκηση ή 75 λεπτά/εβδομάδα έντονης αερόβιας δραστηριότητας (≥ 1.000 kcal/εβδομάδα θερμιδικής δαπάνης) για τη βελτίωση της υγείας [6] και ≥ 225 λεπτά/εβδομάδα (2.000 kcal/εβδομάδα θερμιδική δαπάνη) για απώλεια βάρους/συντήρηση και καρδιομεταβολική υγεία [10] σε συνδυασμό με άσκηση μυϊκής ενδυνάμωσης (RT; >13 μεταβολικό ισοδύναμο της εργασίας-ώρα/εβδομάδα) [6,11]. Ωστόσο, τα παραπάνω πρωτόκολλα άσκησης απαιτούν μεγάλη χρονική διάρκεια για την αποτελεσματική εκτέλεσή τους (300 έως 400 λεπτά/εβδομάδα) ενώ παράλληλα χαρακτηρίζονται ως μονότονα και μη ελκυστικά κατά την εκτέλεσή τους [12,13] με αποτέλεσμα την διακοπή των συμμετεχόντων από την συστηματική άσκηση [14]. Η διαλειμματική προπόνηση (IT), από την άλλη πλευρά, απαιτεί λιγότερο για την εκτέλεσή της, ενώ μέσω επιστημονικών ερευνών αποδεικνύεται η αποτελεσματικότητα της στην διαχείριση του σωματικού βάρους, μειώνοντας τους καρδιομεταβολικούς κινδύνους [15,16]. Η υβριδική διαλειμματική προπόνηση (HYB), αποτελεί έναν τρόπο προπόνησης που συνδυάζει ασκήσεις που ενεργοποιούν τόσο το μιτοχονδριακό όσο και το γλυκολυτικό σύστημα χρησιμοποιώντας είτε το σωματικό βάρος είτε πρόσθετες εξωτερικές αντιστάσεις μέσω μηχανημάτων ή ελεύθερων βαρών [17]. Η υβριδική διαλειμματική προπόνηση όχι μόνο βελτιώνει τη λειτουργική και σωματική απόδοση αλλά προκαλεί επίσης θετικές αλλαγές στη μάζα σώματος, τη σύσταση σώματος, επιδρώντας σε καρδιομεταβολικούς παράγοντες με τρόπο αποτελεσματικό με τρόπο ευχάριστο [17,18,19,20]. Οι ασκήσεις με αντίσταση το σωματικό βάρος (BWRE) αποτελούν μια διασκεδαστική μέθοδο προπόνησης ενδυνάμωσης του μυϊκού συστήματος, μέσω της χρήσης των θεμελιωδών μοτίβων κίνησης [21,22,23,08,24], χωρίς τη χρήση πρόσθετου εξοπλισμού, έχοντας αποδεδειγμένα θετικά οφέλη ως προς την διαχείριση του βάρους καθώς και την βελτίωση του καρδιομεταβολικού προφίλ [4,25,17,26,27,28].

Η ενεργειακή δαπάνη (EE) χρησιμοποιείται για την διαχείριση του σωματικού βάρους, ωστόσο ο προσδιορισμός της πραγματοποιείται συχνά με έμμεσο τρόπο κατά τη διάρκεια της άσκησης [14]. Τόσο στις ασκήσεις με τη χρήση εξωτερικών αντιστάσεων όσο και στις ασκήσεις με αντίσταση το σωματικό βάρος, ο προσδιορισμός της ενεργειακής δαπάνης είναι δύσκολος καθώς, σε σύγκριση με την αερόβια άσκηση [14], η κατανάλωση οξυγόνου (VO_2) δεν είναι σταθερή λόγω της αναλογίας έργου διαλλείματος, ενώ παράλληλα

δύναται να παραμείνει αυξημένη μετά την άσκηση μέχρι ο οργανισμός να επιστρέψει στην κατάσταση ηρεμίας [29,30]. Παράλληλα το ενεργειακό υπόστρωμα που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των ασκήσεων μπορεί να προέρχεται τόσο μέσω του μιτοχονδριακού συστήματος όσο και μέσω του γλυκολυτικού συστήματος, με διαφορετική κάθε φορά αναλογία [31].

Αν και οι ασκήσεις με αντίσταση το σωματικό βάρος χρησιμοποιούνται συχνά σε πολλαπλά θεμελιώδη μοτίβα κίνησης και είναι αποτελεσματική για τη διαχείριση βάρους, οι πληροφορίες σχετικά με το ενεργειακό τους κόστος είναι περιορισμένες [4,26]. Επιπλέον, φαίνεται πως υπάρχει περιορισμένος έλεγχος της έντασης διεξαγωγής των ασκήσεων και της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης των ασκήσεων με τη μέθοδο αντίστασης του σωματικού βάρους, στην ενεργειακή δαπάνη [21,22,23,24]. Ως εκ τούτου, αυτή η έρευνα είχε ως στόχο να προσδιορίσει την επίδραση της άσκησης μέσω αντίστασης του σωματικού βάρους, όταν εκτελείται σε διάφορα κινητικά μοτίβα, στην ενεργειακή δαπάνη, καθώς επίσης και να εξετάσει την επίδραση της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης των ασκήσεων στην ενεργειακή δαπάνη (TEE). Η υπόθεσή μας είναι ότι (i) η μεγαλύτερη διάρκεια άσκησης θα προκαλέσει υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη λόγω υψηλότερων μεταβολικών απαιτήσεων και (ii) η ενεργειακή δαπάνη θα διαφέρει ως αποτέλεσμα της χρήσης διαφορετικών μοτίβων κίνησης.

2. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Η άσκηση και τα οφέλη της

Η σωματική άσκηση και η σωματική δραστηριότητα στη σύγχρονη εποχή φαντάζει ιδιαίτερος σημαντική για την προάσπιση της υγείας [32]. Με τον όρο άσκηση εννοούμε κάθε συστηματική κίνηση του σώματος ή συμμετοχή του ατόμου σε φυσικές δραστηριότητες, η οποία έχει προκαθορισμένη χρονική διάρκεια και στην οποία εμπλέκονται μεγάλες μυϊκές ομάδες του σώματος [33]. Η άσκηση είναι στενά συνδεδεμένη με τη σωματική υγεία ενός ανθρώπου και αποτελεί το αποτελεσματικότερο μέσο πρόληψης κατά της εμφάνισης χρόνιων ασθενειών, αλλά και την καλύτερη θεραπεία για την αντιμετώπισή τους [33]. Παρ' όλα αυτά, η άσκηση για να γίνει αποτελεσματική, πρέπει ο σχεδιασμός, η εφαρμογή και η καθοδήγησή της να συμβαδίζει με τις βασικές αρχές της προπονητικής αλλά και με τις ιδιαιτερότητες και ανάγκες του κάθε ασκούμενου [34]. Η βελτίωση της φυσικής κατάστασης των ατόμων, μέσω της άσκησης, προκύπτει λόγω της βελτίωσης των λειτουργιών των διάφορων συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού, όπως είναι για παράδειγμα το κυκλοφορικό, το αναπνευστικό και το μυοσκελετικό [35].

Πολλοί παράγοντες μπορούν να διαφοροποιηθούν μέσω της συστηματικής άσκησης, με τον βασικό μεταβολικό ρυθμό να αποτελεί έναν καθοριστικό δείκτη για την εξατομίκευση της προπόνησης και της διαμόρφωσης προγραμμάτων προπόνησης και διατροφής [36]. Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός (BMR) έχει οριστεί ως η ελάχιστη ενέργεια που καταναλώνει ο κάθε οργανισμός μέσα σε μία ημέρα (24 ώρες) για να μπορέσει να διεξάγει τις βασικές και απαραίτητες λειτουργίες για την ζωή του [36]. Ωστόσο, επηρεάζεται

από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η ηλικία, το φύλο, το μέγεθος του σώματος και η άλυπη σωματική μάζα και η σωματική δραστηριότητα [37]. Επιπλέον, η σωματική δραστηριότητα μπορεί να επηρεάσει την βασικός μεταβολικός ρυθμός καθώς κατά την εκτέλεσή της, διενεργούνται μεταβολές στη σωματική σύσταση, με μείωση του σωματικού λίπους και αύξηση της μυϊκής μάζας [37]. Σε παλαιότερη έρευνα μελετήθηκε η επίδραση τόσο της αερόβιας όσο και της αναερόβιας άσκησης στο βασικό μεταβολικό ρυθμό. Στη μελέτη συμμετείχαν 40 άντρες και 20 γυναίκες νεαρής ηλικίας οι οποίοι ήταν υπέρβαροι. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η άσκηση αύξησε το βασικό μεταβολικό ρυθμό των συμμετεχόντων [37].

Παρά την επίδραση της άσκησης στο βασικό μεταβολικό ρυθμό και στην διαχείριση βάρους, έχει αποδειχθεί πως η άσκηση βελτιώνει τη λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος. Η καρδιά “δυναμώνει” και παρατηρείται αύξηση στο μέγεθος του μυοκαρδίου, με αποτέλεσμα να αντλείται περισσότερο αίμα σε κάθε παλμό. Φυσικό επακόλουθο όλων αυτών είναι η μείωση της καρδιακής συχνότητας ηρεμίας. Η αερόβια άσκηση όπως το περπάτημα, το τρέξιμο, το ποδήλατο και το κολύμπι, είναι η αποτελεσματικότερη μορφή άσκησης για τη βελτίωση του καρδιαγγειακού συστήματος, καθώς αυξάνει την καρδιακή παροχή και τον όγκο παλμού, μειώνει την καρδιακή συχνότητα και την αρτηριακή πίεση, και μ αυτή την διαδικασία βελτιώνεται η αερόβια ικανότητα [38]. Στην έρευνά τους οι Maessen et al (2016) μελέτησαν τη σχέση μεταξύ της μακροχρόνιας άσκησης και την πρόληψη των καρδιαγγειακών ασθενειών. Στην έρευνα συμμετείχαν 21.266 άτομα από τα οποία ζητήθηκε να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με τα μοτίβα μακροχρόνιας άσκησής τους και την υγεία του καρδιαγγειακού τους συστήματος. Η καρδιαγγειακή νόσος (CVD) ορίστηκε ως διάγνωση εμφράγματος του μυοκαρδίου, εγκεφαλικού επεισοδίου ή καρδιακής ανεπάρκειας και ως παράγοντες καρδιαγγειακού κινδύνου (CVRFs) ορίστηκαν η υπέρταση, η υπερχοληστερολαιμία και ο διαβήτης τύπου 2. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χαμηλής έως μέτριας έντασης άσκηση μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων [38].

Η άσκηση έχει θετική επίδραση όμως και στο αναπνευστικό σύστημα καθώς έχει βρεθεί πως βελτιώνει δείκτες όπως η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) και ο πνευμονικός αερισμός. Τα άτομα που ασκούνται συστηματικά, έχουν μεγαλύτερο αναπνεόμενο όγκο αέρα ενώ η συχνότητα αναπνοών είναι μικρότερη σε σύγκριση με τα άτομα που δεν ασκούνται. Σύμφωνα με έρευνες η αποτελεσματικότερη μορφή άσκησης για τη βελτίωση της λειτουργίας του αναπνευστικού συστήματος είναι η αερόβια άσκηση [39]. Έχει παρατηρηθεί πως τα παιδιά που συμμετέχουν σε συστηματικές σωματικές δραστηριότητες αντιμετωπίζουν μικρότερο κίνδυνο εμφάνισης άσθματος [40].

Ένα ακόμα σύστημα στο οποίο επιδρά η άσκηση είναι το ερειστικό σύστημα. Κατά τη διάρκεια της ζωής μας και κυρίως μετά την ενηλικίωση, παρατηρείται απώλεια κολλαγόνου από τα οστά, τα οποία γίνονται πιο εύθραυστα, με αποτέλεσμα τη μείωση της μάζας και της αντοχής τους [41]. Ο ρόλος της άσκησης είναι πολύ σημαντικός στον τομέα της πρόληψης και της αντιμετώπισης των προβλημάτων που παρουσιάζονται στα οστά, όπως για παράδειγμα η οστεοπόρωση στις γυναίκες. Έχει αποδειχθεί πως η άσκηση συμβάλλει στην αποφυγή ή την καθυστέρηση της εμφάνισης της οστεοπόρωσης, μέσω της μεγιστοποίησης της οστικής μάζας κατά τη διάρκεια της παιδικής και εφηβικής ηλικίας. Ασκήσεις που περιλαμβάνουν μεταφορά του σωματικού βάρους (περπάτημα, τρέξιμο) και κρούσεις (άλματα) συμμετέχουν αποφασιστικά στην ανάπτυξη και τη διατήρηση ενός υγιούς σκελετού. Επιπλέον, οι μορφές άσκησης που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι

αποτελεσματικές και για την αντιμετώπιση της οστεοπόρωσης, μειώνοντας τον ρυθμό απώλειας της οστικής μάζας [41].

Η άσκηση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα επίπεδα και τη δράση των διάφορων ορμονών που σχετίζονται με τη σωματική ανάπτυξη (αυξητική ορμόνη, τεστοστερόνη), αλλά και την υγεία (ινσουλίνη). Η άσκηση μειώνει τα επίπεδα της ινσουλίνης στο αίμα και αυξάνει την ευαισθησία της. Η ινσουλίνη είναι πολύ σημαντική για την υγεία, αφού σχετίζεται με το μεταβολικό σύνδρομο (αυξημένη αντίσταση στην ινσουλίνη) και, κατ' επέκταση σύνδεση με την παχυσαρκία [39]. Σε μελέτη που έγινε σε 346 άντρες και 455 γυναίκες σε 18 κλινικές σε 13 Ευρωπαϊκές χώρες, μελετήθηκε η αντίσταση στην ινσουλίνη σε σχέση με την συνολική σωματική δραστηριότητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η καθημερινή άσκηση ήταν ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ευαισθησία στην ινσουλίνη [43]. Τέλος, η άσκηση επιδρά σημαντικά στην μυϊκή ενδυνάμωση (π.χ. με το βάρος του σώματος, με λάστιχα ή με αντιστάσεις). Η μυϊκή ενδυνάμωση προφυλάσσει τον ασκούμενο από ορθοσωματικά προβλήματα, μειώνει τον κίνδυνο των τραυματισμών και ενισχύει τη διαδικασία ανάπτυξης του σώματος κατά τη διάρκεια της παιδικής και εφηβικής ηλικίας. Μέσω της άσκησης, βελτιώνεται και η διατακτική ικανότητα των μυών, των τενόντων, των συνδέσμων και των αρθρικών θυλάκων, έχοντας ως αποτέλεσμα το άτομο να εκτελεί τις καθημερινές του δραστηριότητες με μεγαλύτερη ευκολία [43].

2.2 Προπόνηση με το βάρος του σώματος (BWRE)

Μια από τις πιο κλασικές μεθόδους προπόνησης, που εφαρμόζεται με ευκολία χωρίς τη χρήση συγκεκριμένου εξοπλισμού, είναι αυτή της προπόνησης με το βάρος του σώματος (με μοναδικό εξοπλισμό το σώμα μας και την βαρύτητα) (BWRE) [44]. Ο συγκεκριμένος τρόπος εκγύμνασης εμπεριέχει ένα μεγάλο φάσμα θετικών επιδράσεων έχοντας παρόμοια δράση στο μυοσκελετικό σύστημα όπως και η προπόνηση αντιστάσεων [44]. Αρκετά διαδεδομένη και δημοφιλής τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιείται ευρέως στον αθλητικό χώρο και ανταποκρίνεται πάνω στις τάσεις της εποχής του Functional Fitness Training, με ένα από τα βασικότερα στοιχεία της προπόνησης με το βάρος του σώματος να είναι αυτό της προσαρμοστικότητας της ανάλογα με το επίπεδο αλλά και τους στόχους του κάθε ασκούμενου [45]. Στοιχεία όπως το ποσοστό χρήσης του σωματικού βάρους, η επιλογή πολυαρθρικών ή μη ασκήσεων, η γωνία εφαρμογής της δύναμης, ο ρυθμός εκτέλεσης των ασκήσεων, η διάρκεια των ασκήσεων και η διάρκεια του διαλείμματος μπορούν να διαμορφώσουν την επιβάρυνση σε συνάρτηση με τα ατομικά χαρακτηριστικά και τις ανάγκες των ασκούμενων [45]. Οι περισσότερες διαδεδομένες ασκήσεις είναι οι κάμψεις (push ups) (κλειστές κινητικές ασκήσεις άνω σώματος), οι ασκήσεις ενεργοποίησης κοιλιακών μυών (sit ups), οι ωθήσεις (squat), η προπόνηση άλματος για την ανάπτυξη ταχύτητας και εκρηκτικότητας κ.α. [46,47,48].

Ως διαλειμματική προπόνηση περιγράφεται η προπόνηση που περιλαμβάνει την εναλλαγή διαστημάτων έντονης προσπάθειας με διαστήματα ανάπαυσης ή πιο ήπιας προσπάθειας κατά την οποία το σώμα ξεκουράζεται έτσι ώστε να μπορέσει να συνεχίσει την προπόνηση την προπονητική διαδικασία [48]. Για παράδειγμα το ποδόσφαιρο αποτελεί ένα διαλειμματικό άθλημα το οποίο περιλαμβάνει την εναλλαγή χαμηλής και υψηλής έντασης [49]. Ωστόσο, η προπόνηση με ασκησιολόγιο του οποίου η επιβάρυνση είναι

το ατομικό σωματικό βάρος έχει βρεθεί πως ενισχύει την αντοχή και αυξάνει τη μυϊκή μάζα, μειώνοντας ταυτόχρονα τις πιθανότητες για μυοσκελετικό τραυματισμό [44]. Παράλληλα, ένα από τα προτερήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η ευκολία στην εκτέλεση της καθώς δεν υφίσταται περιορισμός χώρου [50]. Η ύπαρξη ενός μεγάλου σε εύρος ασκησιολόγιο σε διάφορα μοτίβα κινήσεων οδηγούν στην εκγύμναση μεγάλων και μικρών μυϊκών ομάδων [50].

Οι περισσότερες ασκήσεις με βάρος σώματος είναι ασκήσεις κλειστής αλυσίδας, οι οποίες χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό αρθρώσεων και ενεργοποιούνται περισσότερες από μία μυϊκές ομάδες [50]. Η άσκηση κλειστής κινητικής αλυσίδας είναι μια άσκηση κατά την οποία το άνω τμήμα είναι σταθερό, δηλαδή το τελικό άκρο που εφαρμόζει στην αντίσταση δεν κινείται. Όπως όταν το πέλμα του ποδιού έρχεται σε επαφή με το έδαφος ή τον εξοπλισμό άσκησης. Για παράδειγμα, κατά την άσκηση στην «πρέσσα ποδιών» όπου κινούνται οι αρθρώσεις του ισχίου και του γόνατος, το τελικό άκρο, δηλαδή το πέλμα του ποδιού, δεν κινείται. Με το άνω τμήμα σταθερό, η κίνηση σε οποιαδήποτε άρθρωση της κινητικής αλυσίδας απαιτεί να κινηθούν και οι άλλες αρθρώσεις της κινητικής αλυσίδας. Έτσι, τόσο το εγγύς όσο και το άνω τμήμα λαμβάνουν προπόνηση αντίστασης ταυτόχρονα. Στην περίπτωση του κάτω άκρου, οι ασκήσεις κλειστής κινητικής αλυσίδας (CKC) είναι πιο λειτουργικές, καθώς η άσκηση βάρους είναι εξ ορισμού μια δραστηριότητα κλειστής κινητικής αλυσίδας του κάτω άκρου και οι κινητικές δεξιότητες που αναπτύσσουμε στην καθημερινότητα αποτελούνται κυρίως από αυτές τις κινήσεις (περπάτημα, τρέξιμο, άρση βάρους). Η άσκηση κλειστής κινητικής αλυσίδας έχει αναφερθεί ότι παράγει ανώτερη έκκεντρη σύσπαση των μυών, καθώς, μειώνει τις δυνάμεις διάτμησης ενώ προσθέτει δυνάμεις συμπίεσης στις αρθρώσεις, ενισχύοντας έτσι τη σταθερότητα της άρθρωσης [50]. Ασκήσεις όπως είναι τα καθίσματα με το βάρος του σώματος (Bodyweight squat) είναι μία πολύ βασική κίνηση (CKC) του σώματος που βοηθά στην αύξηση της δύναμης των κάτω άκρων. Πρόκειται για μία μορφή άσκησης η οποία μπορεί να εκτελεστεί, απαιτώντας λίγο χώρο και δεν χρειάζεται εξοπλισμό. Τα καθίσματα με το βάρος του σώματος αυξάνουν την μυϊκή αντοχή καθώς ενδυναμώνουν σημαντικά τα κάτω άκρα βελτιώνοντας παράλληλα την κινητικότητα και την λειτουργική ικανότητα των ασκούμενων [51]. Τέλος, σε έρευνα που διεξήχθη από τους Adegoke et al (2019) η επίδραση ασκήσεων κλειστής κινητικής αλυσίδας που χρησιμοποιείται το βάρος του σώματος σε δείκτες υγείας ατόμων με οστεοαρθρίτιδα. Οι δείκτες υγείας που μελετήθηκαν ήταν: η αίσθηση του πόνου (PI), το επίπεδο λειτουργικότητας (FS), το ενεργητικό εύρος κίνησης (AROP) και το παθητικό εύρος κίνησης (PROM). Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν τις παρακάτω ασκήσεις για 8 εβδομάδες (άσκηση τετρακέφαλου, mini-squats, step-up και step-down). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ασκήσεις αυτές μείωσαν σημαντικά τον πόνο ενώ αύξησαν τους δείκτες που αφορούν την κινητικότητα [52,53].

2.3 Ενεργειακή δαπάνη και τρόποι υπολογισμού της

Η ενεργειακή δαπάνη είναι η ποσότητα των θερμίδων που δαπανάται από τον κάθε άνθρωπο ώστε να διατηρήσει σταθερό το σωματικό του βάρος [54]. Όταν η θερμιδική του πρόσληψη είναι ίση με τη θερμιδική του δαπάνη η διαδικασία αυτή λέγεται ενεργειακό ισοζύγιο [54]. Η καθημερινή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού απαιτεί ένα μεγάλο ποσοστό θερμίδων από αυτές που καθημερινά λαμβάνει (περίπου 60-70%),

η θερμογενετική δράση της τροφής απαιτεί 5-10% των θερμίδων, ενώ η φυσική δραστηριότητα (ενεργειακή δαπάνη κίνησης), αποτελεί το 30% της ημερήσιας ενεργειακής απώλειας [55]. Ένα παράδειγμα το οποίο εξηγεί τα παραπάνω είναι το ακόλουθο, αφού μία μέση γυναίκα έχει ενεργειακή απώλεια περίπου 2.000 kcal την ημέρα, μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι δαπανώνται περίπου 1.200 kcal από τον βασικό μεταβολισμό, περίπου 600 kcal από φυσική δραστηριότητα και 200 kcal για την τροφογενή θερμογένεση [55,56,57]. Σύμφωνα με αρκετές μελέτες η συμμετοχή σε προγράμματα άσκησης προκαλεί αύξηση στο μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας [56]. Συγκεκριμένα σε προηγούμενη μελέτη Aristizabal et al (2015) διαπιστώθηκε πως η προπόνηση αντοχής με αντιστάσεις μπορούν να προκαλέσουν αύξηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού [58]. Παρόμοια δεδομένα παρατηρήθηκαν και σε άλλες πρόσφατες μελέτες, όπου φάνηκε πως η προπόνηση με αντιστάσεις αύξησε τον βασικό μεταβολικό ρυθμό κατά περίπου 96 kcal/ημέρα [59,60].

Η αξιολόγηση της ενεργειακής δαπάνης μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω τη μεθόδου της σπιρομετρίας ανοιχτού κυκλώματος, με αυτόματο εργοσπιρόμετρο. Η διαδικασία αυτή γίνεται ως εξής, το άτομο εισπνέει αέρα του περιβάλλοντος, ο οποίος έχει σταθερή σύνθεση σε οξυγόνο (O_2), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), άζωτο και αδρανή αέρια. Η διαφορά στα ποσοστά του O_2 και του CO_2 στον εκπνεόμενο αέρα σε σχέση με τον εισπνεόμενο, έμμεσα απεικονίζει μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης, κατά την εκτέλεσης μιας δραστηριότητας [61]. Στη συνέχεια, η χρήση του οξυγόνου (O_2) από τον οργανισμό, μετατρέπεται σε χυλιοθερμίδες (kcal). Έχει βρεθεί πως η κατανάλωση ενός λίτρου οξυγόνου ισοδυναμεί περίπου με θερμική ενέργεια 4,82 kcal. Οι υδατάνθρακες, τα λίπη και οι πρωτεΐνες αποδίδουν ενέργεια στον οργανισμό όταν μεταβολιστούν και έτσι χαρακτηρίζονται από διαφορετική χημική σύσταση, με αυτό να έχει ως συμπέρασμα πως το κάθε θρεπτικό συστατικό απαιτεί διαφορετική ποσότητα οξυγόνου για την οξειδωσή του, καθώς επίσης παράγει και διαφορετικά ποσά διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της καύσης. [62]. Επιπλέον δείκτης που χρησιμοποιείται για την αποσαφήνιση των ενεργειακών πηγών κατά τη διάρκεια της άσκησης είναι το αναπνευστικό πηλίκο (Respiratory Quotient - RQ), τιμές του οποίου προσδιορίζουν το πηλίκο της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα προς την κατανάλωση οξυγόνου (VCO_2/VO_2). Όταν το πηλίκο ισούται με 0,7 διαπιστώνεται ότι το υπόστρωμα που οξειδώθηκε ήταν λίπος [63]. Από την άλλη πλευρά όταν το πηλίκο είναι ίσο με 1 διαπιστώνεται ότι αυξάνεται η συμμετοχή των υδατανθράκων [64]. Η εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης κατά τη διάρκεια μιας άσκησης έχει μελετηθεί κυρίως μετρώντας την πρόσληψη του οξυγόνου (VO_2). Ωστόσο, κατά την εκτέλεση μιας άσκησης και ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια αυτής, εκτός από την κατανάλωση οξυγόνου η ενέργεια παρέχεται και μέσω του συστήματος φωσφαγόνων και της γαλακτικής γλυκόλυσης [65]. Στην έρευνα των Scott et al (2009) μελετήθηκε η αξιοπιστία και η εγκυρότητα των εκτιμήσεων της ενεργειακής δαπάνης κατά τη διάρκεια και μετά από περιόδους άσκησης με πιέσεις πάγκου. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η εκτίμησης της ενεργειακής υποεκτιμάται καθώς υπάρχει συνεισφορά τριών συστημάτων κατά την εκτέλεση ασκήσεων με αντιστάσεις. Έτσι η ενεργειακή δαπάνη δεν μπορεί να προσδιοριστεί μόνο με τη μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου. Στη συγκεκριμένη έρευνα, η ενεργειακή κατανάλωση στις πιέσεις σε πάγκο προσδιορίζεται μέσω της ενεργειακής εκτίμησης της κατανάλωσης οξυγόνου στη διάρκεια της άσκησης, της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος που παράχθηκε λόγω αυτής και της κατανάλωσης του οξυγόνου μετά την άσκηση (EPOC). Επιπλέον, διαφαίνεται ότι η αναερόβια ενεργειακή δαπάνη έχει σημαντική συνεισφορά στην

ενεργειακή δαπάνη κατά την άσκηση σε όλες τις άρσεις [66,67,68]. Τέλος, στην προηγούμενη μελέτη διαπιστώθηκε πως η μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης πρέπει να χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε ασκήσεις με χαμηλή έως μέτρια ένταση, η οποία εκτελείται με παρατεταμένα και υπό σταθερό ρυθμό [69]. Αντίθετα, στη διάρκεια μιας σύντομης και έντονης άσκησης η κατανάλωση οξυγόνου μπορεί να μην είναι σταθερή, ενώ σε συνάρτηση με την ένταση και τη διάρκεια η παραγωγή ενέργειας προέρχεται από το σύστημα φωσφαγόνων και την γαλακτική γλυκόλυση. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η μέτρηση μόνο της κατανάλωσης οξυγόνου υποεκτιμά την πραγματική ενεργειακή δαπάνη της άσκησης και αυτή η συνθήκη μπορεί να επιφέρει λάθη στον υπολογισμό του μεταβολικού κόστους διάφορων φυσικών δραστηριοτήτων [66].

Στην έρευνα των Vezina et al (2014) συγκρίνονται δύο διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης της ενεργειακής δαπάνης, σε 4 ασκήσεις δύναμης, οι οποίες είναι οι κάμψεις, κοιλιακοί, έλξεις και προβολές. Με την παραδοσιακή μέθοδο υπολογίστηκε ο μέσος όρος της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης και με την άλλη μέθοδο υπολογίστηκε η πρόσληψη οξυγόνου στην περίοδο αποκατάστασης. Τα ερευνητικά αποτελέσματα υπέδειξαν ότι ο υπολογισμός της ενεργειακής δαπάνης, με την παραδοσιακή μέθοδο, μπορεί να υποεκτιμήσει την πραγματική τιμή των αναερόβιων ασκήσεων διότι με τη χρήση της μεθόδου αυτής οι ασκήσεις θεωρήθηκαν μέτριας έντασης, σύμφωνα με τα μεταβολικά ισοδύναμα (Metabolic Equivalents, 3-6 METs). Ένα μεταβολικό ισοδύναμο (MET) ορίζεται ως η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται ενώ κάποιος κάθεται σε ηρεμία και ισούται με 3,5 ml O₂ ανά kg σωματικού βάρους x min. Η έννοια του μεταβολικού ισοδυναμίου αντιπροσωπεύει μια απλή, πρακτική και εύκολα κατανοητή διαδικασία για την έκφραση του ενεργειακού κόστους των σωματικών δραστηριοτήτων ως πολλαπλάσιο του μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας [68]. Αντιθέτως με τη μέθοδο της μέτρησης της VO₂ κατά την αποκατάσταση όλες οι ασκήσεις είχαν μεγαλύτερες τιμές για την ενεργειακή κατανάλωση και οι τρεις από αυτές (κάμψεις, προβολές και έλξεις) θεωρήθηκαν ασκήσεις μεγάλης έντασης, (>6METs). Θεωρώντας πως η ένταση των ασκήσεων είναι μια από τις βασικότερες παραμέτρους γίνεται αντιληπτό πως οι ασκήσεις δύναμης θεωρούνται μέτριας και όχι υψηλής έντασης στοιχεί που μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα, ως προς την διαμόρφωση προγραμμάτων προπόνησης [67]. Μια από τις μεταβλητές που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή δαπάνη κατά τη διάρκεια προπόνησης είναι ο όγκος προπόνησης, παρ' όλα αυτά η ένταση φαίνεται να επιδρά εντοτότερα στην περίσσεια οξυγόνου αποκατάστασης (EPOC) [69]. Έπειτα από την προπόνηση η τιμή της VO₂ δεν επανήλθε άμεσα στις τιμές ηρεμίας, αντίθετως η ενεργειακή δαπάνη παρέμεινε σε υψηλότερα επίπεδα από τις τιμές ηρεμίας για μικρό χρονικό διάστημα. Η συγκεκριμένη ενεργειακή απαίτηση ως προς το χρονικό διάστημα της αποκατάστασης είναι το EPOC [70]. Είναι απαραίτητο να προσθέσουμε ότι ανάλογα με το ασκησιολόγιο της εκάστοτε προπόνησης, την ένταση και τη συχνότητα της, η συνολική ενέργεια που δαπανήθηκε στη διάρκεια της αποκατάστασης, πιθανότατα να είναι σημαντικός παράγοντας στην αύξηση της συνολικής ενεργειακής δαπάνης, πράγμα που μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση ή τη μείωση του βάρους [69].

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την Ενεργειακή Δαπάνη

Έχει διαπιστωθεί πως μετά από προπόνηση ή άσκηση μέτριας ή υψηλής έντασης αυξάνεται η πρόσληψη οξυγόνου με παράλληλη αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων, στοιχεία που αποτελούν σημαντικό παράγοντα, στην εκπόνηση προγραμμάτων άσκησης με σκοπό τον έλεγχο ή τη μείωση του σωματικού βάρους [71]. Επιπλέον, έχει φανεί πως η αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου και της ενεργειακής δαπάνης ως αποτέλεσμα της άσκησης, δεν μεταβάλλονται σε συνάρτηση με το διάλειμμα, καθώς ο οργανισμός του ασκούμενου συνεχίζει να καταναλώνει ενέργεια για άγνωστο χρονικό διάστημα, έως ότου επανέλθει σε κατάσταση όμοια με αυτή που είχε πριν ξεκινήσει την άσκηση [72]. Σε σχετική έρευνα που πραγματοποίησαν οι Farinatti et al (2011) εξετάστηκε η επιρροή που ασκεί το διάλειμμα μεταξύ των σετ ως προς την κατανάλωση οξυγόνου. Τα δεδομένα έδειξαν ότι τα μικρά διαλείμματα ανάμεσα στα σετ αύξησαν την κόπωση κατά τη διάρκεια των σετ, κυρίως σε ασκήσεις με δράση των μεγάλων μυϊκών ομάδων. Παρόμοια δεδομένα παρατηρήθηκε και σε δείκτες όπως η VO₂ και το EPOC. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο ρόλος των διαλειμμάτων στην πρόληψη της γρήγορης κόπωσης φαίνεται να είναι σημαντικός όταν γίνεται χρήση μεγάλων μυϊκών ομάδων. Επιπλέον, φαίνεται ότι η άσκηση που κάνει χρήση μεγάλης μυϊκής μάζας προκαλεί μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη, λόγω της μεγαλύτερης κατανάλωσης οξυγόνου μετά την άσκηση (EPOC) [74]. Οι Farinatti et al (2016) στην έρευνά τους μελέτησαν την ενεργειακή κατανάλωση και τη χρήση του υποστρώματος, σε συνάρτηση με το αναπνευστικό πηλίκο. Οι ασκούμενοι εκτέλεσαν 5 σετ με 10 επαναλήψεις/σετ, έντασης 15 RM, με διάλειμμα ενός λεπτού μεταξύ των σετ. Μελετώντας τα αποτελέσματα της έρευνας, παρατηρήθηκε ότι η συνεισφορά της οξείδωσης λιπιδίων κατά την φάση της κατανάλωσης οξυγόνου μετά την άσκηση ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με την ενεργειακή συνεισφορά που επήλθε από αυτό το ενεργειακό υπόστρωμα κατά την διάρκεια εκτέλεσης της άσκησης [74]. Οι μειώσεις του σωματικού λίπους βασίζονται, στην ενεργειακή δαπάνη κατά τη διάρκεια κάθε προπόνησης και στην πρόσθετη ενεργειακή δαπάνη που παρατηρείται κατά την περίοδο αποκατάστασης (EPOC) μετά τις προπονήσεις. Η ενεργειακή δαπάνη εκτός από την ένταση και τον όγκο φαίνεται πως επηρεάζεται και από την επιλογή των ασκήσεων [75]. Η έρευνα των Ratamess et al (2015) έδειξε ότι οι ασκήσεις ελεύθερων βαρών που ενεργοποιούν μεγάλη μυϊκή μάζα όπως το squat, το deadlift κλπ αποδίδουν υψηλή ενεργειακή δαπάνη.

Στην μελέτη των Vianna et al (2014) πραγματοποιήθηκε έλεγχος ως προς την διακύμανση των τιμών της VO₂ και της καρδιακής συχνότητας στην διάρκεια της περιόδου αποκατάστασης, σε διάφορους τύπους ασκήσεων με αντιστάσεις. Οι ασκούμενοι στην έρευνα αυτή, εκτέλεσαν το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων (στο 80% του 1 RM) για τις εξής τέσσερις ασκήσεις: καθίσματα, πιέσεις σε πάγκο, εμπρόςθια έλξη τροχαλίας και εκτάσεις αγκώνων σε τροχαλία. Ενδιάμεσα στις παραπάνω ασκήσεις πραγματοποιούσαν διάλειμμα ενός λεπτού. Ως προς τα αποτελέσματα της μελέτης, διαφαίνεται ότι ο ρυθμός μείωσης της VO₂ κατά την χρονική περίοδο της αποκατάστασης ήταν παρόμοιος στις διάφορες ασκήσεις, ανεξαρτήτως μεγέθους μυϊκής μάζας, χρήσης μηχανημάτων ή ελεύθερων βαρών και των ασκήσεων σε άνω ή κάτω άκρα. Από την άλλη πλευρά, η χρονική διάρκεια επαναφοράς της καρδιακής συχνότητας σε συνθήκες ηρεμίας ήταν μεγαλύτερη σε ασκήσεις που ενεργοποίησαν μεγαλύτερο μυϊκό όγκο [70].

Όπως αναφέρθηκε, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της ενεργειακής δαπάνης που πραγματοποιείται στα πλαίσια ενός προγράμματος άσκησης μυϊκής ενδυνάμωσης με το βάρος του σώματος. Μελετώντας την βιβλιογραφία φαίνεται ότι υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις πάνω τον καθορισμό της ενεργειακής δαπάνης που καταναλώνει ένας μέσος ασκούμενος εκτελώντας ασκήσεις με το βάρος του σώματος. Για το λόγο αυτό το θέμα εργασίας που επιλέχθηκε για την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με τον καθορισμό της ενεργειακής δαπάνης μεμονωμένων ασκήσεων οι οποίες είναι ευρέως γνωστές και χρήσιμες στους αθλητικούς χώρους με σκοπό την ανάλυση και την διερεύνηση, για το ποια είναι η ενεργειακή δαπάνη που καταναλώνει ένας μέσος ασκούμενος εκτελώντας ασκήσεις, για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Με τον τρόπο αυτό επιδιώκεται η συμβολή της εργασίας σε μελλοντικές έρευνες η σε κατάρτιση και εφαρμογή προγραμμάτων προπόνησης σε γήπεδα και γυμναστήρια.

3. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1. Σκοπός

Οι βασικοί στόχοι της παρούσας μελέτης είναι α) ο προσδιορισμός της ενεργειακής δαπάνης ως αποτέλεσμα της εκτέλεσης των επτά βασικών ασκήσεων με την μέθοδο BWRE β) ο έλεγχος των διαφορών στην συνολική ενεργειακή δαπάνη σε συνάρτηση με την χρονική διάρκεια εκτέλεσης των ασκήσεων (T30 & T45) καθώς και γ) ο εντοπισμός πιθανών διαφορών μεταξύ των ασκήσεων και μεταξύ της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης σε δείκτες που προσδιορίζουν την προπονητική επιβάρυνση.

3.2. Υλικό και Μέθοδος

3.2.1 Συμμετέχοντες

Μέσω της ανάλυσης ισχύος (μέγεθος επίδρασης >0.3 , πιθανότητα σφάλματος 0.05, τιμή ισχύος $P=0.80$) προσδιορίστηκε το μέγεθος του δείγματος για την διεξαγωγή της μελέτης, με σκοπό την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Έτσι, από την ανάλυση υποδείχθηκε, πως ένας αριθμός 8-10 συμμετεχόντων ήταν ικανός για την ορθή αξιολόγηση των στατιστικών αναλύσεων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τυχαιοποιημένο, διπλά-τυφλό σχεδιασμό, με τους εθελοντές να συμμετάσχουν διασταυρωμένα και στις δύο συνθήκες (T30 & T45), πραγματοποιώντας επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Αρχικά 18 συμμετέχοντες ενημερώθηκαν ως προς τις διαδικασίες και τις μετρήσεις της έρευνας, ωστόσο και με βάση τα κριτήρια συμμετοχής, 12 δοκιμαζόμενοι συμμετείχαν, ενώ μετά και την διεξαγωγή και των δύο συνθηκών αναλύθηκαν τα δεδομένα από 10 συμμετέχοντες (Εικόνα 1). Τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων απεικονίζονται στον Πίνακα 1. Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν εκτενώς σε αίθουσα της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού του πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Σ.Ε.Φ.Α.Α Π.Θ.), τόσο για την πειραματική διαδικασία όσο και για τον σχεδιασμό της μελέτης που επρόκειτο να πραγματοποιηθεί. Παράλληλα ενημερώθηκαν για τους πιθανούς κινδύνους και τα διάφορα οφέλη από τη συμμετοχή τους και στη συνέχεια υπέγραψαν το έντυπο συναίνεσης και το ιατρικό τους ιστορικό. Η συμμετοχή τους ήταν οικειοθελής και σε οποιαδήποτε φάση της μελέτης μπορούσαν να διακόψουν την συμμετοχής τους.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά Συμμετεχόντων

	<i>N = 10</i>
	<i>7A + 3Γ</i>
Ηλικία (age)	25.8 ± 5.3
Σωματικό βάρος (kg)	73.6 ± 12.4
Ύψος (cm)	178 ± 0.13
Δείκτης Μάζας Σώματος (kg/m ²)	23.1 ± 2.2
Περίμετρος μέσης (cm)	80 ± 8.6
Περίμετρος γλουτών (cm)	96 ± 6.9
Αναλογία μέσης-ισχίου	083 ± 0.05
Σωματικό λίπος (%)	23.7 ± 9.4
VO ₂ max (ml/kg/min)	45 ± 5.2
Μέγιστοι καρδιακοί παλμοί (beats/min)	190 ± 4
Καρδιακοί παλμοί σε κατάσταση ηρεμίας (beats/min)	57.4 ± 6.7
Γαλακτικό οξύ σε κατάσταση ηρεμίας (mM)	1.0 ± 0.2
Δύναμη πάνω μέρους του σώματος (kg)	65.5 ± 23
Σχετική δύναμη του επάνω μέρους του σώματος	0.89 ± 0.32
Κάτω μέρος του σώματος (kg)	88.8 ± 17.9
Σχετική δύναμη του κάτω μέρους του σώματος	1.23 ± 0.23
Crunches 30 δευτερόλεπτα. (reps)	30 ± 6
Push-Ups 30 δευτερόλεπτα. (reps)	24 ± 8
Μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας (kcal/day)	1730 ± 244

3.2.2 Κριτήρια Συμμετοχής

Στην μελέτη μπορούσαν να λάβουν μέρος συμμετέχοντες και από τα δύο φύλλα. Επίσης για να λάβουν μέρος στην έρευνα θα έπρεπε να πληρούν τα εξής κριτήρια 1) η ηλικία τους θα έπρεπε να κυμαίνεται από 18 έως 35 έτη 2) να μην νοσούν ή να μην έχουν οποιοδήποτε μυοσκελετικό τραυματισμό, 3) να είναι δραστήριοι με φυσιολογικό δείκτη μάζας σώματος. Δεν ήταν δυνατή η συμμετοχή για άτομα τα οποία είχαν υποστεί καρδιολογική επέμβαση ή άτομα με χρόνια ασθένεια-νόσημα (π.χ. Σακχαρώδης διαβήτης, καρδιαγγειακή νόσο, οργανική ανεπάρκεια, μεταβολικό σύνδρομο), 3) παρουσίαζαν καρδιαγγειακές/αναπνευστικές επιπλοκές στην ηρεμία αλλά και κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαγνωστικής δοκιμασίας κόπωσης, 4) κατανάλωναν διατροφικά συμπληρώματα και αντιφλεγμονώδη φαρμακευτικά σκευάσματα. Από τους συμμετέχοντες ζητήθηκε να μην ακολουθήσουν κατά την διάρκεια της συμμετοχής τους στη μελέτη καμία άλλη φυσική δραστηριότητα. Όλες οι διαδικασίες εφαρμόστηκαν σύμφωνα με τη

Διακήρυξη του Ελσίνκι του 1975 και οι μεταγενέστερες τροποποιήσεις και η έγκρισή της ελήφθησαν από μια Επιτροπή Δεοντολογίας (1814). Η μελέτη καταχωρήθηκε στο ClinicalTrials.gov (NCT05221203).

3.2.3 Παρακολούθηση Διατροφής

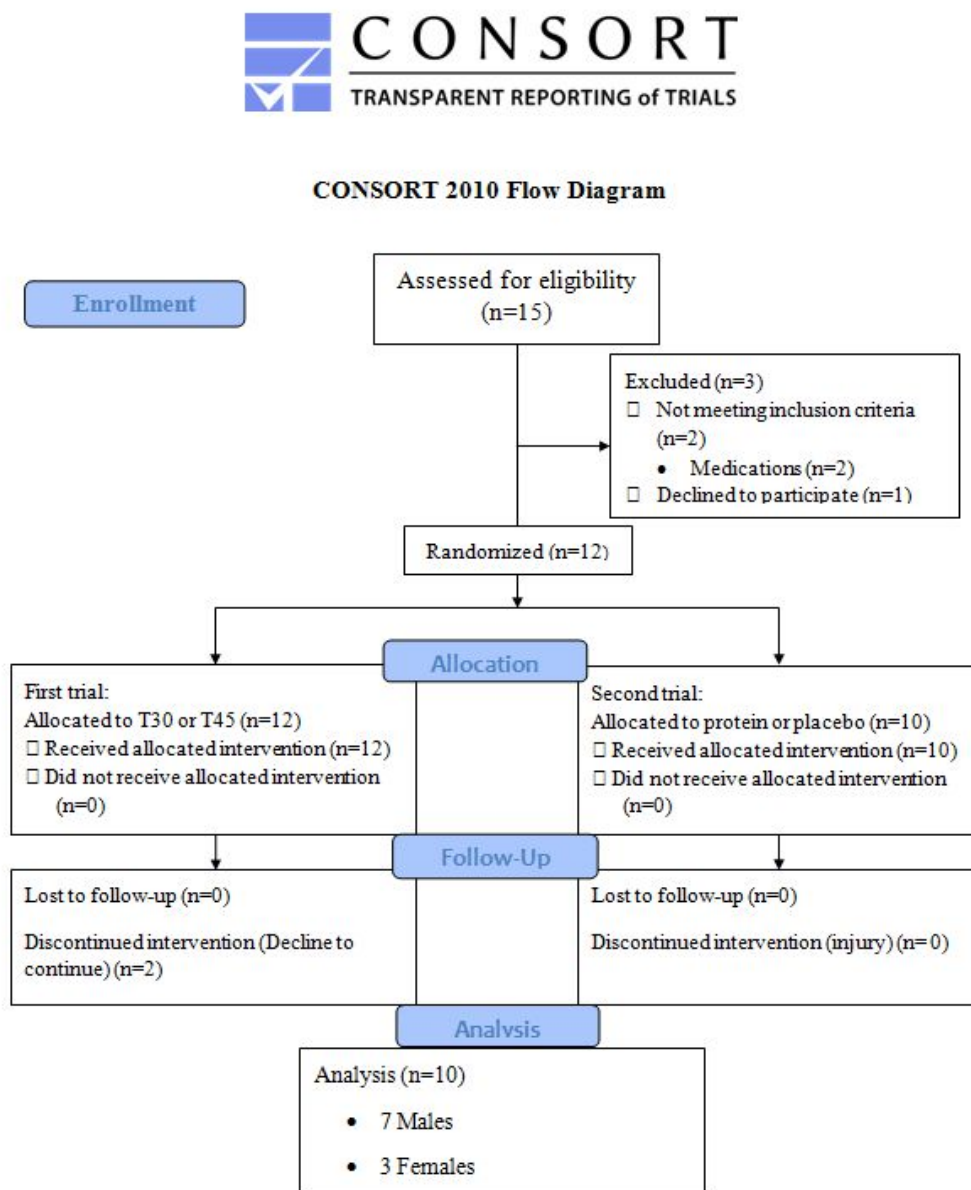
Για τη μέτρηση της ημερήσιας διατροφικής πρόσληψης, οι συμμετέχοντες υπέβαλαν διατροφικό ημερολόγιο διάρκειας επτά ημερών αφού είχαν εκπαιδευτεί σχετικά με τον τρόπο καταγραφής της κατανάλωσης φαγητού/υγρού από διαιτολόγο. Τα διατροφικά ημερολόγια αναλύθηκαν μέσω του Science Fit Diet 200 A (Science Technologies, Αθήνα, Ελλάδα).

3.2.4 Πειραματικός Σχεδιασμός

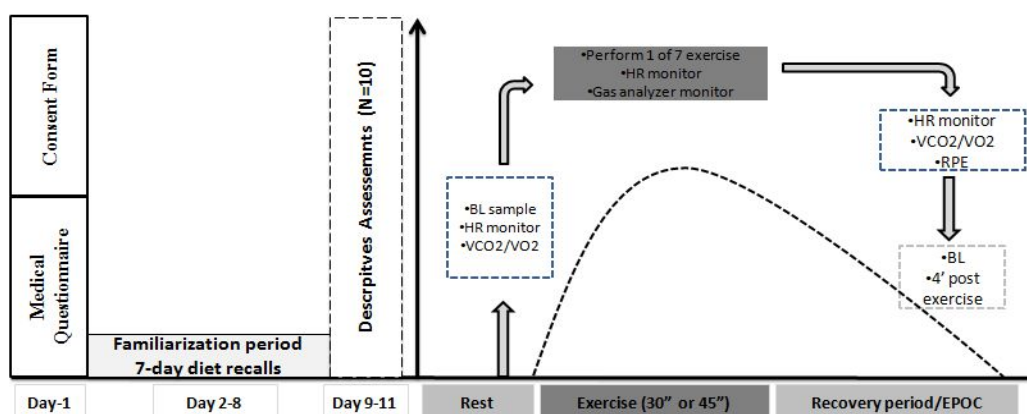
Το Σχήμα 2 απεικονίζει τον πειραματικό σχεδιασμό της μελέτης. Οι εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας της Σ.Ε.Φ.Α.Α Τρικάλων χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις και τις αξιολογήσεις της μελέτης κατά την φάση διεξαγωγής της. Οι πρώτες επισκέψεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Βιοχημείας, Φυσιολογίας και Διατροφής της άσκησης (SmArTLab) του Κέντρου Έρευνας και Αξιολόγησης της Φυσικής Απόδοσης (ΚΕΑΦΑ) του Τ.Ε.Φ.Α.Α. του Π.Θ. Οι συμμετέχοντες εξοικειώθηκαν αρχικά (μία εβδομάδα) με τις ασκήσεις που θα εκτελούσαν καθώς και με τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιούσαν. Κατά την εξοικείωση, ένας διαιτολόγος έδωσε οδηγίες στους συμμετέχοντες για τον τρόπο καταγραφής των διατροφικών ημερολογίων. Επιπλέον ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να διατηρήσουν το ίδιο διατροφικό πρότυπο καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Μετά το πέρας της πρώτης εβδομάδας οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν σειρά μετρήσεων που αφορούσε δείκτες περιγραφικών χαρακτηριστικών και απόδοσης. Την πρώτη μέρα μετρήθηκε το ύψος, βάρος και από αυτό προέκυψε ο δείκτης μάζας σώματος (BMI), η περίμετρος της μέσης (W) και της περιφέρειας (HC). Την επόμενη μέρα (επίσκεψη) μετρήθηκε ο βασικός μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας (RMR). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής, σε κάθε ασκούμενο τοποθετούνταν μια ζώνη μέτρησης καρδιακών παλμών (Polar) και ένας αναλυτής αερίων. Ο ασκούμενος ξάπλωνε σε ένα σκοτεινό δωμάτιο για σαράντα λεπτά, σε κατάσταση απόλυτης ηρεμίας (ανάπαυση) με σκοπό την μέτρηση των θερμίδων που καταναλώνει το σώμα του ασκούμενου, ώστε να εξυπηρετεί τις απαραίτητες λειτουργίες ώστε να κρατηθεί εν ζωή (καρδιακός ρυθμός, λειτουργία εγκεφάλου, αναπνοή). Σ ολόκληρη την διαδικασία καταγράφηκαν και οι χαμηλότεροι καρδιακοί παλμοί (καρδιακοί παλμοί ηρεμίας, RHR). Επιπλέον μετρήθηκε η σύσταση του σώματος με τη μέθοδο DXA και από εκεί λάβαμε τις εξής τιμές, το σωματικό λίπος (BodyFat), τη λιπώδη μάζα (FatMass), τη μάζα χωρίς λίπος (Fat-FreeMass), την οστική πυκνότητα (BoneMineralDensity), την περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα (BoneMineralContent). Η Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO₂max) και οι μέγιστοι καρδιακοί παλμοί (MHR) μετρήθηκαν σε αναλυτή αερίων με τη χρήση δαπεδοεργόμετρου. Τέλος έγινε η μέτρηση προσδιορισμούς της μίας μέγιστης επανάληψης (1RM) στις ασκήσεις πρέσα στήθους και άσκηση Squat με ελεύθερα βάρη. Πριν την εκτέλεση της άσκησης πραγματοποιήθηκε προθέρμανση. Η μέτρηση της μυϊκής αντοχής των 30 δευτερολέπτων έγινε για τις ασκήσεις curl-up, push up. Αφού ολοκληρώθηκαν οι αρχικές μετρήσεις, τις επόμενες ημέρες πραγματοποιήθηκε το πρωτόκολλο παρέμβασης. Κάθε ασκούμενος προσήλθε στις εγκαταστάσεις του

Πανεπιστημίου στο Κέντρο Έρευνας και Αξιολόγησης της Φυσικής Απόδοσης (ΚΕΑΦΑ) του Τ.Ε.Φ.Α.Α. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για 14 φορές ακόμα. Οι συμμετέχοντες κατανεμήθηκαν τυχαία στα δύο πρωτόκολλα άσκησης, i) 30 δευτερολέπτων (T30) και ii) 45 δευτερολέπτων (T45) που περιλάμβαναν την εκτέλεση μιας άσκησης ανά ημέρα για κάθε συμμετέχοντα. Για την επιλογή της σειράς των ασκούμενων και των ασκήσεων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του πίνακα τυχαίων αριθμών (αναλογία κατανομής 1/1) από ανεξάρτητο βοηθό ερευνητή που δεν συμμετείχε στο σχεδιασμό, στην υλοποίηση και στις αναλύσεις δεδομένων της μελέτης.

Εικόνα 1. Το διάγραμμα CONSORT της μελέτης.



Εικόνα 2. Ο πειραματικός σχεδιασμός της μελέτης.



3.2.5 Πρωτόκολλο Παρέμβασης

Αναλυτικότερα στο πρωτόκολλο παρέμβασης κάθε ασκούμενος εκτελούσε την κάθε μια από τις επτά βασικές ασκήσεις (squat, alternate lunges, front plank, jumping jacks, push ups, burpees, single-leg squat) τόσο με την χρονική διάρκεια των 30 όσο και με την χρονική διάρκεια των 45 δευτερολέπτων αντίστοιχα. Για να πραγματοποιηθεί η πειραματική διαδικασία κατά τη διάρκεια των ασκήσεων τοποθετούνταν στον συμμετέχοντα, καρδιοσυχνόμετρο ενώ παράλληλα γινόταν χρήση φορητού αναλυτή αερίων και δινόταν χρονικό διάστημα ικανό έτσι ώστε να πλησιάσουν τα επίπεδα ηρεμίας η κατανάλωση οξυγόνου, το αναπνευστικό πηλίκο O_2/CO_2 (RQ), η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος και η καρδιακή συχνότητα των συμμετεχόντων. Επιπλέον πριν από την εκτέλεση των ασκήσεων οι συμμετέχοντες όριζαν το επίπεδο επιβάρυνσης μέσω της κλίμακας Borg. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες εκτελούσαν το πρωτόκολλο που τυχαιοποιημένα είχε επιλεγεί. Μετά την ολοκλήρωση είτε των 30 είτε των 45 δευτερολέπτων, και συγκεκριμένα μετά από τέσσερα λεπτά πραγματοποιούνταν η μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος. Ο φορητός αναλυτής αερίων αφαιρούνταν μόλις η κατανάλωση οξυγόνου, το RQ και η καρδιακή συχνότητα επέστρεφαν στα επίπεδα ηρεμίας. Επιπλέον μετά την εκτέλεση των ασκήσεων οι συμμετέχοντες όριζαν το επίπεδο επιβάρυνσης μέσω της κλίμακας Borg.

3.2.6 Ερευνητικά Εργαλεία

1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά: Σωματικό ύψος, σωματική μάζα σε αναστημόμετρο-ζυγό (Stadiometer 208; Seca, Birmingham, UK). Ο Δείκτης Μάζας Σώματος (BMI) υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης (κίλά/ύψος²) .
2. Σωματική σύσταση: Ποσοστό σωματικού λίπους, μυϊκή μάζα, λιπώδης μάζα με τη μέθοδο της απορροφησιομετρίας διπλής δέσμης ακτίνων X (DXA, Lunar DPXNT).
3. Αερόβια ικανότητα: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου VO₂max με αναλυτή αερίων σε δαπεδοεργόμετρο (CareFusion, Viasis).
4. Φορητός αναλυτής αερίων: Καταγραφή, προαναφερθέντων τιμών, κατά τη διάρκεια της άσκησης.
5. Καρδιοσυνόμετρο: Προσδιορισμός της καρδιακής συχνότητας κατά την διάρκεια εκτέλεσης των πρωτοκόλλων (Polar, M200)
6. Μετρητής γαλακτικού οξέως: Μέτρηση γαλακτικού στο αίμα πριν και μετά την άσκηση (Lactate PlusTM, Nova Biomedical, ΗΠΑ) και ταινίες μιας χρήσης.
7. Αξιολόγηση 1 Μέγιστης Επανάληψης: Μηχάνημα πρέσας στήθους και άσκηση squat χρησιμοποιώντας ελεύθερα βάρη(μπάρα)

3.2.7 Ανάλυση βασικών μετρήσεων

Κατά τη διάρκεια των αρχικών μετρήσεων ο κάθε ασκούμενος κλήθηκε να πραγματοποιήσει μια σειρά δοκιμασιών προκειμένου να δημιουργηθεί μια πλήρης εικόνα της φυσικής του κατάστασης και τον διατροφικών του συνθηκών. Για το σκοπό αυτό, αξιολογήθηκαν τα σωματομετρικά τους χαρακτηρίστηκα με τη χρήση αναλογικού ζυγού, αναστημόμετρου και ολικής σάρωσης του σώματος μέσω απορρόφησης ακτίνων X διπλής εκπομπής. Επιπρόσθετα, αξιολογήθηκαν παράγοντες όπως, η αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας, μέσω του άμεσου προσδιορισμού της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (Vo₂max), σε δαπεδοεργόμετρο και η μέτρηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας (RMR), μέσω αναλυτή αερίων.

3.2.8 Εκτίμηση σωματομετρικών χαρακτηριστικών και σωματικής σύστασης

Η μέτρηση του αναστήματος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αναστημόμετρου SECA. Στους ασκούμενους δόθηκε η οδηγία να ανέβουν στην πλατφόρμα του αναστημόμετρου να σταθούν όρθιοι, με τις φτέρνες ενωμένες και τα πόδια σε γωνία 60 μοιρών, ενώ οι γλουτοί και το άνω μέρος της πλάτης ήταν σε επαφή με την κάθετη δοκό του μηχανήματος. Έπειτα τους ζητήθηκε να εισπνεύσουν και να διατηρήσουν τον εισπνεόμενο αέρα, ενώ ο υπεύθυνος συμπίεσε την οριζόντια δοκό του αναστημόμετρου στο άνω μέρος της κεφαλής. Το σωματικό βάρος μετρήθηκε μέσω του ζυγού (Beambalance, Seca, Germany) [29] και υπολογίστηκε ο δείκτης μάζας σώματος.

Για την σύσταση του σώματος πραγματοποιήθηκε ολική σάρωση του, μέσω απορρόφησης ακτίνων X διπλής εκπομπής (DXA, GE Healthcare, Lunar DPX-NT) και τα δεδομένα αναλύθηκαν μέσω του

προγράμματος Lunar. Οι συμμετέχοντες, μετά από τις οδηγίες που τους δόθηκαν για την διαδικασία της μέτρησης (κλείσιμο των ματιών κατά την διάρκεια της σάρωσης, ακινησία των μελών του σώματος, αφαίρεση μεταλλικών αντικειμένων), τοποθετήθηκαν σε ύπτια θέση για 10 λεπτά που είναι η συνολική χρονική διάρκεια σάρωσης. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκε λεπτομερώς όλη η σωματική διάπλαση, δηλαδή το ποσοστό του σωματικού λίπους, η άλιπη σωματική μάζα αλλά και η οστική πυκνότητα [30].

Για την καταγραφή του βασικού μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας (RMR) έγινε χρήση αναλυτή αερίων. Οι συμμετέχοντες τοποθετήθηκαν σε κρεβάτι σε σκοτεινό θάλαμο, ενώ μέσω ενός συστήματος μονάδας ανοιχτού κυκλώματος (Vmax Encore 29, BEBJO296, Yorba Linda, CA, ΗΠΑ) πραγματοποιήθηκε η καταγραφή ανταλλαγής αερίων. Στους συμμετέχοντες είχαν δοθεί οδηγίες να προσέλθουν για την μέτρηση ακολουθώντας διαδικασία που έχει περιγραφεί προηγουμένως [80].

3.2.9 Αξιολόγηση Δεικτών Απόδοσης

- **Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου:** Η αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας πραγματοποιήθηκε, μέσω του προσδιορισμού της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (Vo_{2max}), σε δαπεδοεργόμετρο (Stex 8025 T, Korea). Στο πρωτόκολλο σταδιακά αυξανόμενης έντασης που χρησιμοποιήθηκε, η ταχύτητα αυξανόταν κατά 1χλμ./ώρα για κάθε δύο λεπτά ενώ, η κλίση παρέμενε σταθερή σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης [81,82]. Η καταγραφή της πρόσληψης οξυγόνου πραγματοποιήθηκε μέσω ηλεκτρονικού συστήματος ανταλλαγής πνευμονικών αερίων (VmaxEncore 29, BEBJO296, YorbaLinda, CA, USA) ενώ, έγινε χρήση του ανοικτού συστήματος σπироμέτρησης, με καταγραφή των τιμών κάθε 30 δευτερόλεπτα (breathbybreath). Σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης οι συμμετέχοντες φορούσαν καρδιοσυχνόμετρο τύπου Polar (FT1), για την καταγραφή της καρδιακής συχνότητας. Επιπλέον, αξιολογήθηκε η υποκειμενική κόπωση του κάθε ασκούμενου μέσω της κλίμακας Borg.
- **Μέγιστο επίπεδο δύναμης:** Η αξιολόγηση του επιπέδου δύναμης, έγινε μέσω του προσδιορισμού της 1ME σε δύο ασκήσεις (πιέσεις στήθους και πρέσα ποδιών). Οι συμμετέχοντες εκτελούσαν επαναλαμβανόμενα σετ με ταυτόχρονη προοδευτική αύξηση της αντίστασης μέχρι να ολοκληρώσουν τη 1ME. Ανάμεσα στην προοδευτική αύξηση των κιλών των επιτυχημένων σετ, στους δοκιμαζόμενους δινόταν ένα διάλλειμα 3-5 λεπτών, όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενη μελέτη [83].
- **Μέγιστο επίπεδο μυϊκής αντοχής:** Η αξιολόγηση της μυϊκής αντοχής, δηλαδή ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων που μπορεί ο κάθε ασκούμενος να εκτελέσει σε εξήντα δευτερόλεπτα (60 sec) έγινε με την χρήση δυο ασκήσεων και συγκεκριμένα των κοιλιακών ροκανισμάτων (curl-up) και κάμψεων (push up) [84,85,86].

3.3 Μέτρηση ενεργειακής δαπάνης άσκησης

Κατά την καταγραφή των δεδομένων και για τον υπολογισμό της ενεργειακής δαπάνης κατά τη διάρκεια της άσκησης για 30 και 45 δευτερόλεπτα, αλλά και της ενεργειακής δαπάνης για το χρονικό

διάστημα μετά το τέλος της άσκησης (συνολικής ενεργειακής δαπάνης) για 30 και 45 δευτερόλεπτα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εξισώσεις [87,88]:

$$\text{Συνολική ΕΔ δραστηριότητας/άσκησης (TEE)} = \text{ΕΔ οξειδωτικού συστήματος} + \text{ΕΔ γλυκολυτικού συστήματος} + \text{ΕΔ περίσσεια οξυγόνου αποκατάστασης}$$

όπου:

- ΕΔ οξειδωτικού συστήματος (MES): $\text{VO2}_{\text{άσκησης}} - \text{VO2}_{\text{ηρεμίας}} = \text{VO2}$
 - 1 LO₂ = 21,1 kJ
- ΕΔ γλυκολυτικού συστήματος (AGP): $\Delta \text{lac}(\text{mmol}) = \text{Lac}_{\text{post}} - \text{Lac}_{\text{pre}}$
 - $\Delta \text{lac}(\text{mmol}) \times \text{Body weight}(\text{kg}) \times 3.0 (\text{ml O}_2) = \text{ml O}_2$
 - 1 L O₂ = 21,1 kJ
- ΕΔ περίσσεια οξυγόνου αποκατάστασης (EPOC): $\text{VO2}_{\text{EPOC}} - \text{VO2}_{\text{ηρεμίας}} = \text{VO2}$
 - 1 L O₂ = 19,6 kJ

3.4 Στατιστική Ανάλυση

Η κανονικότητα των δεδομένων εξετάστηκε χρησιμοποιώντας τη δοκιμή Shapiro-wilk (δεν ήταν απαραίτητη μια μη παραμετρική δοκιμή). Για την ανάλυση των εξαρτημένων μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε μια αμφίδρομη (δοκιμαστική άσκηση X) ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Το τεστ πολλαπλής σύγκρισης του Bonferroni (για σύγκριση κατά ζεύγη) χρησιμοποιήθηκε όταν ανιχνεύθηκε ένα στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα. Η σημασία προσδιορίστηκε σε $p < 0.05$. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης (CI) και το μέγεθος των επιδράσεων (ES) υπολογίστηκαν για όλες τις εξαρτημένες μεταβλητές μέσω του πρωτοκόλλου g του Hedge, το οποίο διορθώθηκε από το θέμα της μεροληψίας. Η κλίμακα του ES ήταν η εξής: κανένα, μικρό, μεσαίο-μεγάλο για τιμές 0,00–0,19, 0,20–0,49, 0,50–0,79 και $\geq 0,8$, αντίστοιχα. Για όλες τις αναλύσεις δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SPSS (SPSS, IBM SPSS Statistics, έκδοση 26.0).

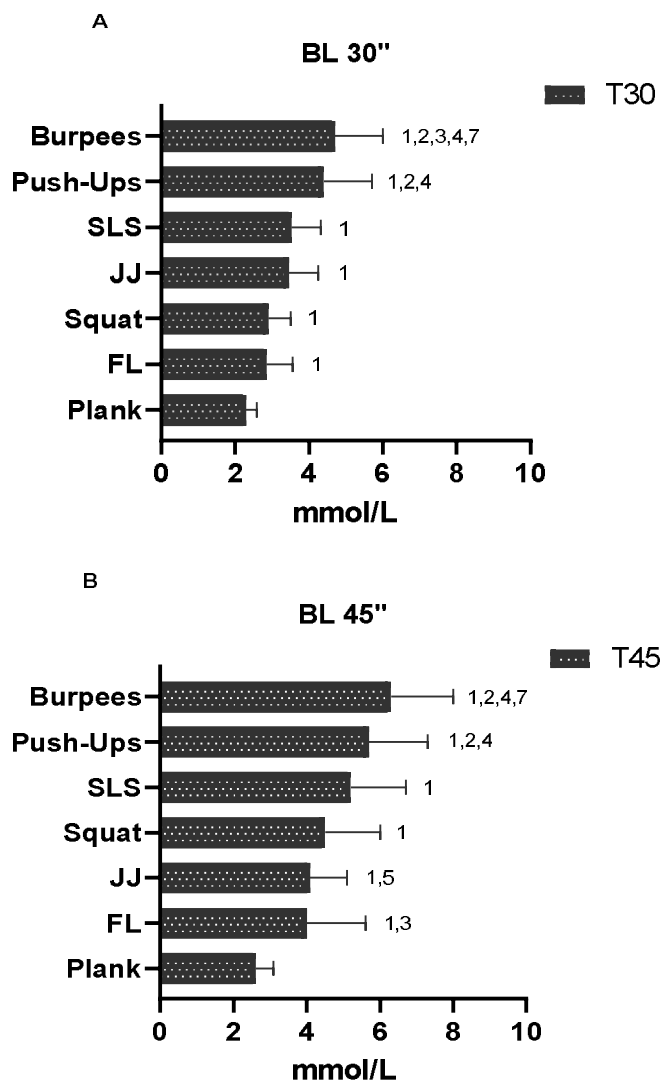
4. Αποτελέσματα

Η ανάλυση των διατροφικών ημερολογίων δεν αποκάλυψε διαφορές μεταξύ των δοκιμών. Δεν καταγράφηκαν τραυματισμοί κατά τη διάρκεια της μελέτης. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων, το δείγμα της μελέτης έδειξε ομοιογένεια ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά και την κατάσταση της φυσικής τους κατάστασης (Πίνακας 1). Παρουσιάζονται μόνο στατιστικά σημαντικές διαφορές.

4.1. Μεταβολικές απαιτήσεις των ασκήσεων

4.1.1 Συγκέντρωση γαλακτικού αίματος (Blood Lactate- BL)

Στο T30, τα burpees παρουσίασαν τη μεγαλύτερη άνοδο στο Blood Lactate (Εικόνα 3Α) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (plank: 102%, $p=0,002$, squat: 60,3%, $p=0,001$, single leg squat: 32,8%, $p=0,012$, front lunges: 66%, $p=0,002$, jumping jacks: 36,7%, $p=0,020$) εκτός από push-ups (παρά τη διαφορά 7%). Η plank παρουσίασε τη μικρότερη άνοδο στο Blood Lactate σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat: 26%, $p=0,036$, single leg squat: 52,1%, $p=0,006$, front lunges: 21,7%, $p=0,045$, push-ups: 86,9%, $p=0,002$, jumping jacks: 47,8%, $p=0,003$). Το Blood Lactate στα push-ups ήταν μεγαλύτερο από το squat (48,2%, $p=0,011$) και τα front lunges (53,5%, $p=0,017$). Στο T45 (Εικόνα 3Β), η plank παρουσίασε τη μικρότερη άνοδο στο Blood Lactate σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat: 70,4%, $p=0,009$, single leg squat: 93,1%, $p=0,001$, front lunges: 51,5%, $p=0,034$, push-ups: 112%, $p=0,000$, burpees: 134%, $p=0,000$, jumping jacks: 55,3%, $p=0,002$). Τα burpees παρουσίασαν μεγαλύτερη αύξηση στο BL σε σύγκριση με ορισμένες ασκήσεις (squat: 39,7%, $p=0,032$; front lunges: 57,2%, $p=0,028$; burpees: 53,4%, $p=0,005$). Τα push-ups είχαν ως αποτέλεσμα υψηλότερο Blood Lactate από το squat (24,4%, $p=0,013$), τα front lunges (40%, $p=0,012$) και τα jumping jacks (36,5%, $p=0,008$). Το Blood Lactate ήταν μεγαλύτερο στο single leg squat σε σύγκριση με τα front lunges (27,5%, $p=0,026$). Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των δοκιμών.



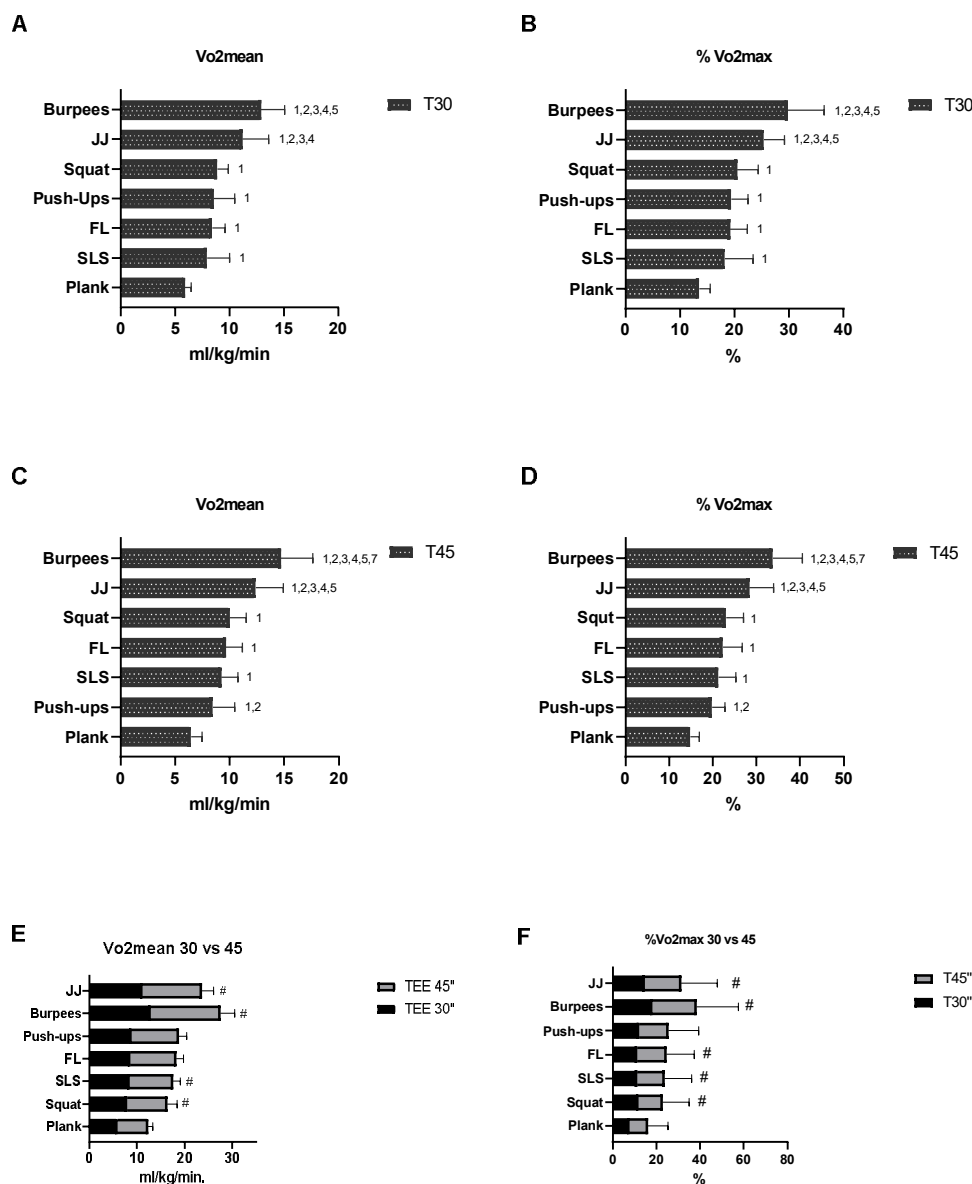
Εικόνα 3. Αλλαγές στη συγκέντρωση γαλακτικού (Blood Lactate) αίματος (A: BL στο T30, B: BL στο T45) σε επτά ασκήσεις δύο δοκιμών. Οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις απεικονίζονται μέσω οριζόντιων ράβδων. SLS: Single Leg Squat, FL: Front lunges, JJ: Jumping Jacks; 1. Διαφορά από το plank, 2. Διαφορά από το squat; 3. Διαφορά από το single leg squat, 4. Διαφορά από τα front lunges, 5. Διαφορά από τα push-ups 6. Διαφορά από τα burpees, 7. Διαφορά από τα jumping jacks.

4.1.2 Αποκρίσεις της VO₂

Στο T30, τα burpees (plank: 122%, $p=0,000$, squat: 46,5%, $p=0,001$, single leg squat: 63,9%, $p=0,001$, front lunges: 55,4%, $p=0,001$, push-ups: 51,7%, $p=0,001$) και jumping jacks (plank: 93,2%, $p=0,000$, squat: 27,3%, $p=0,017$, single leg squat: 41,8%, $p=0,002$, front lunges: 35%, $p=0,001$) οδήγησαν στη μεγαλύτερη μέση απόκριση VO₂ (Εικόνα 4A) σε σύγκριση με άλλες ασκήσεις. Η χαμηλότερη μέση απόκριση VO₂ παρατηρήθηκε στην plank σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat: 51,7%, $p=0,000$, single leg squat: 36,2%, $p=0,008$, front lunges: 43,1%, $p=0,000$, push-ups: 46,5%, $p=0,001$). Ομοίως, όσο υψηλότερο είναι το VO₂ ως ποσοστό VO₂max (%VO₂max, Εικόνα 4B) σημειώθηκε στα burpees (plank: 121%, $p=0,000$,

squat: 45,6%, $p=0,001$, single leg squat: 64%, $p=0,000$, front lunges: 55,4%, $p=0,001$, push-ups: 53,8%, $p=0,002$) και jumping jacks (plank: 88,4%, $p=0,000$, squat: 24%, $p=0,017$, single leg squat: 39,7%, $p=0,001$, front lunges: 32,5%, $p=0,000$, push-ups: 31,1%, $p=0,001$) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις. Το χαμηλότερο %VO₂max σημειώθηκε στη plank σε σύγκριση με άλλες ασκήσεις (squat: 51,8%, $p=0,000$, single leg squat: 35,4%, $p=0,006$, front lunges: 42,8%, $p=0,000$, push-ups: 43,8%, $p=0,000$). Στο T45, τα burpees οδήγησαν στη μεγαλύτερη μέση απόκριση VO₂ (Εικόνα 4C) σε σύγκριση με άλλες ασκήσεις (plank: 127%, $p=0,000$, squat: 47,4%, $p=0,011$, single leg squat: 59,1%, $p=0,001$, front lunges: 52,5%, $p=0,002$, push-ups: 74%, $p=0,000$, jumping jacks: 18,8%, $p=0,028$). Το jumping jacks προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση στη μέση VO₂ από την plank (92,2%, $p=0,000$), το squat (24,4%, $p=0,011$), το single leg squat (34,3%, $p=0,001$), το front lunges (28,7%, $p=0,002$) και push-ups (46,8%, $p=0,000$). Η plank προκάλεσε τη χαμηλότερη μέση VO₂ σε σύγκριση με άλλες ασκήσεις (squat: 54,5%, $p=0,000$, single leg squat: 43,1%, $p=0,001$, front lunges: 49,3%, $p=0,000$, push-ups: 30,9%, $p=0,009$). Η αύξηση της μέσης VO₂ στο squat ήταν υψηλότερη από ότι στα push-ups (25,2%, $p=0,043$). Ομοίως, στο T45, η υψηλότερη απόκριση %VO₂max (Εικόνα 4D) σημειώθηκε στα burpees (plank: 128%, $p=0,000$, squat: 45,7%, $p=0,001$, single leg squat: 58,5%, $p=0,000$, front lunges: 51,7%, $p=0,001$, push-ups: 76,2%, $p=0,002$) και jumping jacks (plank: 92,3%, $p=0,000$, squat: 22,8%, $p=0,017$, single leg squat: 33,5%, $p=0,001$, front lunges: 27,8%, $p=0,000$, push-ups: 48,4%, $p=0,001$) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις. Η χαμηλότερη απόκριση %VO₂max παρατηρήθηκε στη plank (squat: 55,9%, $p=0,000$, single leg squat: 43,9%, $p=0,006$, front lunges: 50%, $p=0,000$, push-ups: 29%, $p=0,000$).

Η μέση απόκριση VO₂ ήταν στατιστικά σημαντική υψηλότερη στο T45 σε σύγκριση με το T30 κατά 13,7%, 16,7%, 15,1%, 14,1% και 10% σε squat ($p=0,004$), single leg squat ($p=0,004$), front lunges ($p=0,001$), burpees ($p=0,019$) και jumping jacks ($p=0,016$) αντίστοιχα (Εικόνα 4E). Η διακύμανση του %VO₂max ήταν στατιστικά σημαντική υψηλότερη στο T45 σε σύγκριση με το T30 κατά 13,1%, 16,5%, 15,5%, 13,2% και 11,9% σε squat ($p=0,002$), single leg squat ($p=0,003$), front lunges ($p=0,002$), burpees ($p=0,015$) και jumping jacks ($p=0,020$) αντίστοιχα (Εικόνα 4F).



Σχήμα 4. Αλλαγές στις αποκρίσεις Vo2 (A: Vo2 Mean στο T30, B: %Vo2max στο T30, C: Vo2 Mean στο T45, D: %Vo2max στο T45, E: Vo2 μέσες διαφορές μεταξύ δοκιμών, F: %Vo2max διαφορές μεταξύ δοκιμών) σε επτά ασκήσεις δύο δοκιμών. Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις απεικονίζονται μέσω οριζόντιων ράβδων. SLS: Single Leg Squat, FL: Front lunges, JJ: Jumping Jacks; 1. Διαφορά από το plank, 2. Διαφορά από το squat; 3. Διαφορά από το single leg squat, 4. Διαφορά από τα front lunges, 5. Διαφορά από τα push-ups 6. Διαφορά από τα burpees, 7. Διαφορά από τα jumping jacks.

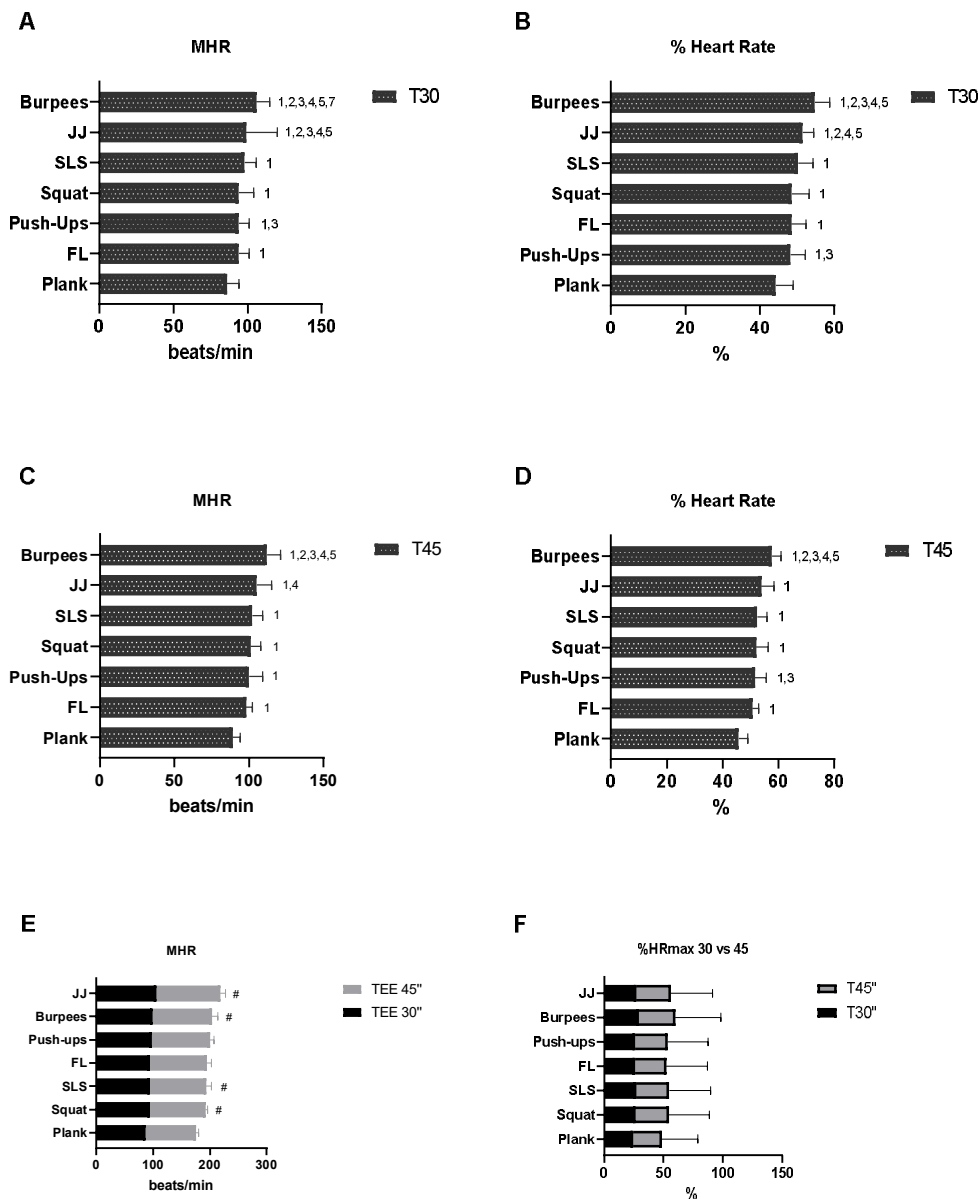
4.1.3 Καρδιακή Συχνότητα (HR)

Στο T30, η μέση καρδιακή συχνότητα (MHR) (Εικόνα 5A) αυξήθηκε περισσότερο στα burpees (plank: 23,7%, $p=0,002$, squat: 13,1%, $p=0,030$, single leg squat: 8%, $p=0,042$, front lunges: 12,7%, $p=0,029$, push-ups: 12,7%, $p=0,009$, jumping jacks: 51,4%, $p=0,000$) και λιγότερο στην plank (squat: 9,3%, $p=0,032$, single

leg squat: 13,9%, $p=0,012$, front lunges : 9,3%, $p=0,000$, push-ups: 9,3%, $p=0,043$, jumping jacks: 15,1%, $p=0,001$) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις. Επιπλέον, το η μέση καρδιακή συχνότητα (MHR) κατά τη διάρκεια του single leg squat αυξήθηκε περισσότερο από ότι στα push-ups (4,2%, $p=0,039$). Ομοίως, το υψηλότερο ποσοστό μέγιστης απόκρισης της καρδιακής συχνότητας (%HRmax) (Εικόνα 5B) σημειώθηκε στα burpees (plank: 23,7%, $p=0,002$, squat: 12,7%, $p=0,025$, single leg squat: 8,9%, $p=0,033$; front lunges: 12,9%, $p=0,022$, push-ups: 13,4%, $p=0,007$) και jumping jacks (plank: 16,2%, $p=0,002$, squat: 6,3%, $p=0,048$, front lunges: 7,2%, $p=0,048$; push-ups: 7,6%, $p=0,007$) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις. Το single leg squat προκάλεσε μεγαλύτερη απόκριση %HRmax από τα push-ups (4,1%, $p=0,030$). Η χαμηλότερη απόκριση %HRmax σημειώθηκε στην plank (squat: 9,7%, $p=0,034$, single leg squat: 13,5%, $p=0,010$, front lunges: 9,4%, $p=0,000$, push-ups: 9%, $p=0,038$).

Στο T45, το η μέση καρδιακή συχνότητα (MHR) (Εικόνα 5C) αυξήθηκε περισσότερο στα burpees (plank: 26,4%, $p=0,000$, squat: 11%, $p=0,028$, single leg squat: 10%, $p=0,013$, front lunges: 13,9%, $p=0,001$; push-ups: 12,2%, $p=0,003$) και λιγότερο στο plank (squat: 13,9%, $p=0,001$; single leg squat: 14,6%, $p=0,000$; front lunges: 10,1%, $p=0,002$; push-ups: 12,3 %, $p=0,006$, jumping jacks: 17,9%, $p=0,001$) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις. Η μέση καρδιακή συχνότητα (MHR) αυξήθηκε περισσότερο στα Jumping Jacks σε σύγκριση με τα front lunges (7,1%, $p=0,039$). Ομοίως, στο T45, το μεγαλύτερο %HRmax (Εικόνα 5D) σημειώθηκε στα burpees (plank: 26%, $p=0,000$, squat: 10,5%, $p=0,000$, single leg squat: 9,9%, $p=0,011$, front lunges: 13,6% , $p=0,001$, push-ups: 11,6%, $p=0,003$) και το χαμηλότερο στην plank (squat: 14%, $p=0,001$, single leg squat: 14,6%, $p=0,000$, front lunges: 10,9%, $p=0,002$; push-ups: 12,9%, $p=0,004$, jumping jacks: 17,9%, $p=0,000$) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις.

Η μέση καρδιακή συχνότητα (MHR) (Εικόνα 5E) ήταν στατιστικά σημαντικό υψηλότερο στο T45 σε σύγκριση με το T30 στο squat κατά 7,4%, στα single leg squat κατά 4%, στα burpees κατά 5,6% και στην άσκηση jumping jacks κατά 6% αντίστοιχα (squat: $p=0,033$, single leg squat: $p=0,011$ · burpees: $p=0,021$ και jumping jacks: $p=0,000$). Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των δοκιμών σε %HRmax (Εικόνα 5F).



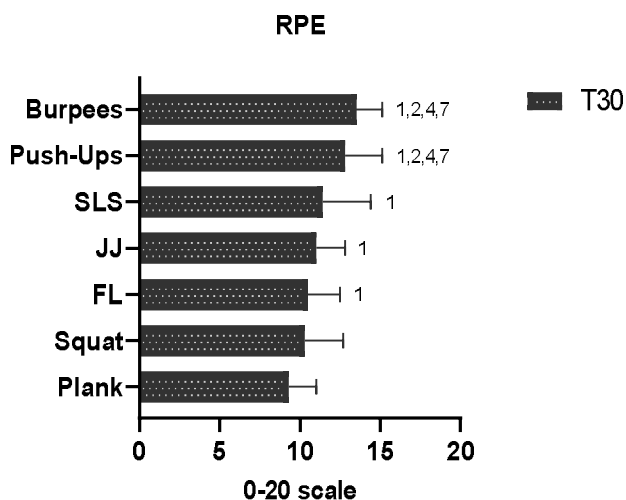
Εικόνα 5. Αλλαγές στις αποκρίσεις καρδιακού ρυθμού (A: Μέσος καρδιακός ρυθμός σε T30, B: %HRmax σε T30, C: Μέσος καρδιακός ρυθμός σε T45, D: %HRmax σε T45, E: Μέσες διαφορές καρδιακών παλμών μεταξύ δοκιμών, F : %HRmax διαφορές μεταξύ δοκιμών) σε επτά ασκήσεις δύο δοκιμών. Οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις απεικονίζονται μέσω οριζόντιων ράβδων. SLS: Single Leg Squat, FL: Front lunges, JJ: Jumping Jacks; 1. Διαφορά από το plank, 2. Διαφορά από το squat; 3. Διαφορά από το single leg squat, 4. Διαφορά από τα front lunges, 5. Διαφορά από τα push-ups 6. Διαφορά από τα burpees, 7. Διαφορά από τα jumping jacks. # Διαφορά μεταξύ δοκιμών T30 & T45.

4.1.4 Κλίμακα Αντίληψης της προσπάθειας (Rate of Perceived Exertion-RPE)

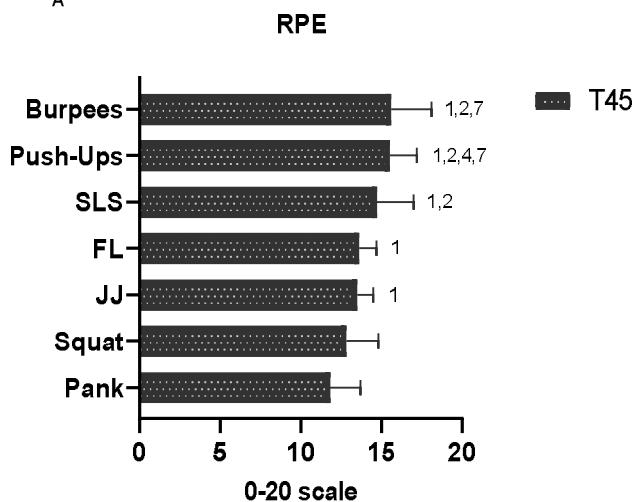
Στο T30, η χαμηλότερη RPE (Εικόνα 6A) παρατηρήθηκε στη plank (single leg squat: 22,5%, $p=0,010$, front lunges: 12,9%, $p=0,018$, push-ups: 37,6%, $p=0,000$, burpees: 45,1%, $p=0,000$, jumping jacks: 18,2%, $p=0,049$) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις εκτός του squat (παρά τη διαφορά 10,7%). Τα burpees (squat:

31%, $p=0,012$, front lunges: 28,5%, $p=0,000$, jumping jacks: 22,7%, $p=0,001$) και τα push-ups (squat: 24,2%, $p=0,034$, front lunges: 21,9%, $p=0,002$, jumping jacks: 16,3%, $p=0,021$) οδήγησε σε υψηλότερο RPE. Στο T45 το χαμηλότερο RPE (Εικόνα 6B) παρατηρήθηκε στη plank (single leg squat: 24,5%, $p=0,019$, front lunges: 15,2%, $p=0,027$, push-ups: 31,3%, $p=0,000$, burpees: 32,2%, $p=0,000$, jumping jacks: 14,4%, $p=0,016$) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις εκτός από το squat (παρά τη διαφορά 8,4%). Το RPE ήταν χαμηλότερο στα squat σε σύγκριση με τα single leg squat (14,8%, $p=0,012$), τα push-ups (21%, $p=0,000$) και τα burpees (21,8%, $p=0,018$). Το RPE των jumping jacks ήταν χαμηλότερο από αυτό των burpees (15,5%, $p=0,021$) και των push-ups (14,8%, $p=0,005$) ενώ το RPE των push-ups ήταν υψηλότερο από αυτό του front lunges (14,7%, $p=0,004$). Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των δοκιμών ($p=0,828$).

A



A

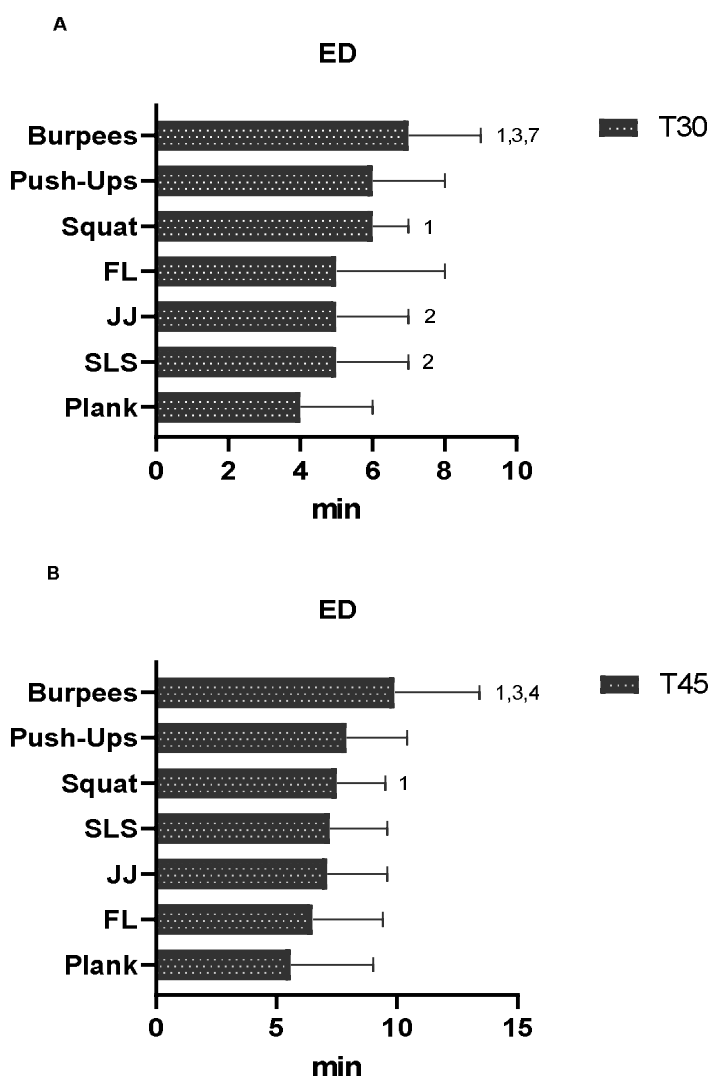


Εικόνα 3. Αλλαγές στην αντιληπτή προσπάθεια (Rate of Perceived Exertion-RPE) (A: RPE στο T30, B: RPE στο T45) σε επτά ασκήσεις δύο δοκιμών. Οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις απεικονίζονται μέσω οριζόντιων ράβδων. SLS: Single Leg Squat, FL: Front lunges, JJ: Jumping Jacks; 1. Διαφορά από το plank, 2. Διαφορά από το squat; 3.

Διαφορά από το single leg squat, 4. Διαφορά από τα front lunges, 5. Διαφορά από τα push-ups 6. Διαφορά από τα burpees, 7. Διαφορά από τα jumping jacks.

Διάρκεια EPOC (EPOC Duration-ED)

Στο T30, η ED (Εικόνα 7A) ήταν μεγαλύτερη στα burpees σε σύγκριση με την plank (75%, $p=0,027$), single leg squat (40%, $p=0,01$) και jumping jacks (40%, $p=0,017$). Η ED του squat ήταν μεγαλύτερο από αυτό της plank (50%, $p=0,004$), των single leg squat (20%, $p=0,032$) και των jumping jacks (20%, $p=0,041$). Στο T45, τα burpees προκάλεσαν μεγαλύτερη ED (Εικόνα 7B) ότι η plank (66,6%, $p=0,022$), single leg squat (42,8%, $p=0,033$), front lunges (42,8%, $p=0,041$) και jumping jacks (42,8%, $p=0,029$) αλλά όχι σε σύγκριση με το squat και τα push-ups (παρά τη διαφορά 25% και με τις δύο ασκήσεις). Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των δοκιμών.



Εικόνα 7. Αλλαγές στη διάρκεια του EPOC (EPOC Duration-ED) (A: ED στο T30, B: ED στο T45) σε επτά ασκήσεις δύο δοκιμών. Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις απεικονίζονται μέσω οριζόντιων ράβδων. SLS: Single Leg Squat, FL: Front lunges, JJ: Jumping Jacks; 1. Διαφορά από το plank, 2. Διαφορά από το squat; 3. Διαφορά από το

single leg squat, 4. Διαφορά από τα front lunges, 5. Διαφορά από τα push-ups 6. Διαφορά από τα burpees, 7. Διαφορά από τα jumping jacks. # Διαφορά μεταξύ δοκιμών T30 & T45.

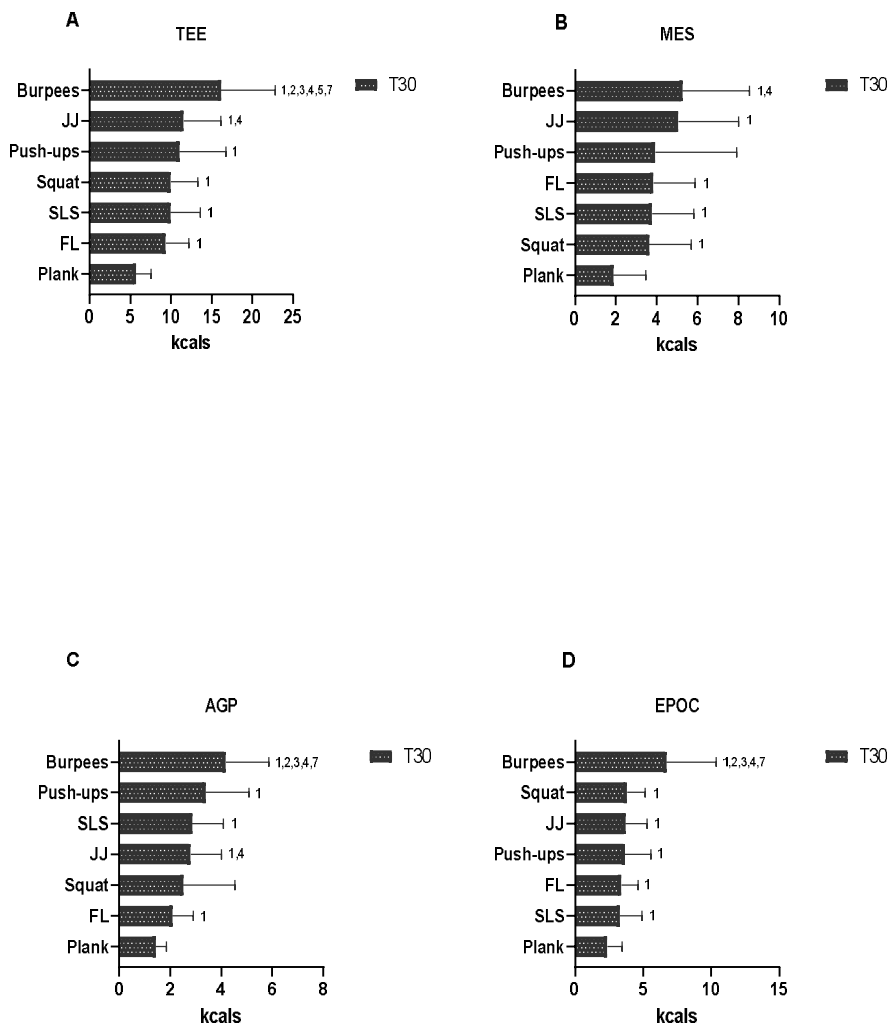
4.1.6 Η επίδραση του μοτίβου κίνησης κατά την άσκηση στην ενεργειακή δαπάνη στη δοκιμή των 30 δευτερολέπτων

Η υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη (Εικόνα 8Α) αυξήθηκε λιγότερο κατά τη διάρκεια της plank σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat: 75,3%, $p=0,001$, single leg squat: 75%, $p=0,001$, front lunges: 64,2%, $p=0,000$, push-ups: 93,6%, $p=0,004$, burpees: 184%, $p=0,000$, jumping jacks: 103,3%, $p=0,000$). Η υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη παρατηρήθηκε στα burpees σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat: 62%, $p=0,004$, single leg squat: 62,3%, $p=0,001$, front lunges: 72,9%, $p=0,004$, push-ups: 46,7%, $p=0,008$, jumping jacks: 39,7%, $p=0,006$). Η αύξηση της υψηλότερης ενεργειακής δαπάνης κατά τη διάρκεια του jumping jacks ήταν υψηλότερη κατά 23,7% από εκείνη κατά τη διάρκεια της front lunges ($p=0,021$).

Η plank έδειξε τη χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη από το μιτοχονδριακό ενεργειακό σύστημα (ΜΕΣ) (Εικόνα 8Β) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat: 92,6%, $p=0,004$, single leg squat: 99,8%, $p=0,035$, front lunges 103,5%, $p=0,008$, burpees: 178,9%, $p=0,015$, jumping jacks: 167,9%, $p=0,002$) που εμφάνισε συγκρίσιμο θερμιδικό κόστος με εξαίρεση τα burpees που ήταν πιο φορολογικά κατά 31,5% ($p=0,048$) από ό,τι μόνο το front lunges.

Η plank έδειξε τη χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη από την οδό αναερόβιας γλυκόλυσης (Εικόνα 8C) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (single leg squat: 100%, $p=0,007$, front lunges: 45,3%, $p=0,020$, push-ups: 137%, $p=0,008$, burpees: 192%, $p=0,001$, jumping jacks: 95,6%, $p=0,002$) εκτός από την άσκηση squat. Το υψηλότερο κόστος θερμίδων από την οδό αναερόβιας γλυκόλυσης παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των burpees (squat: 66,8%, $p=0,005$, single leg squat: 45,5%, $p=0,006$, front lunges: 101%, $p=0,001$, jumping jacks: 49,3%, $p=0,010$). Τα jumping jacks είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη θερμιδική δαπάνη από την οδό αναερόβιας γλυκόλυσης από το front lunges (34,6%, $p=0,027$) μόνο.

Η plank έδειξε τη χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη από την κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση (Εικόνα 8D) σε σύγκριση με τις περισσότερες ασκήσεις (squat: 61,1%, $p=0,002$, front lunges: 43,8%, $p=0,034$, push-ups: 54,8%, $p=0,048$, burpees: 183 %, $p=0,001$, jumping jacks: 56,1%, $p=0,007$) αλλά όχι σε σύγκριση με τα single leg squat. Η υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη από το EPOC παρατηρήθηκε στα burpees (plank: 182%, $p=0,001$, squat: 75,4%, $p=0,020$, single leg squat: 103%, $p=0,002$, front lunges: 96,4%, $p=0,007$, jumping jacks: 81,1 %, $p=0,003$). Είναι ενδιαφέρον ότι δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των burpees και των push-ups.



Σχήμα 8. Αλλαγές στην ενεργειακή δαπάνη (A: TEE στο T30, B: MES στο T30, C: AGP στο T30, D: EPOC στο T30) σε επτά ασκήσεις δοκιμής T30. Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις απεικονίζονται μέσω οριζόντιων ράβδων. TEE, συνολική ενεργειακή δαπάνη. MES, μιτοχονδριακό ενεργειακό σύστημα; AGP, οδός αναερόβιας γλυκόλυσης. EPOC, κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση. SLS: Single Leg Squat, FL: Front lunges, JJ: Jumping Jacks; 1. Διαφορά από το plank, 2. Διαφορά από το squat; 3. Διαφορά από το single leg squat, 4. Διαφορά από τα front lunges, 5. Διαφορά από τα push-ups 6. Διαφορά από τα burpees, 7. Διαφορά από τα jumping jacks.

4.1.7 Η επίδραση του μοτίβου κίνησης κατά την άσκηση στην ενεργειακή δαπάνη στη δοκιμή 45 δευτερολέπτων

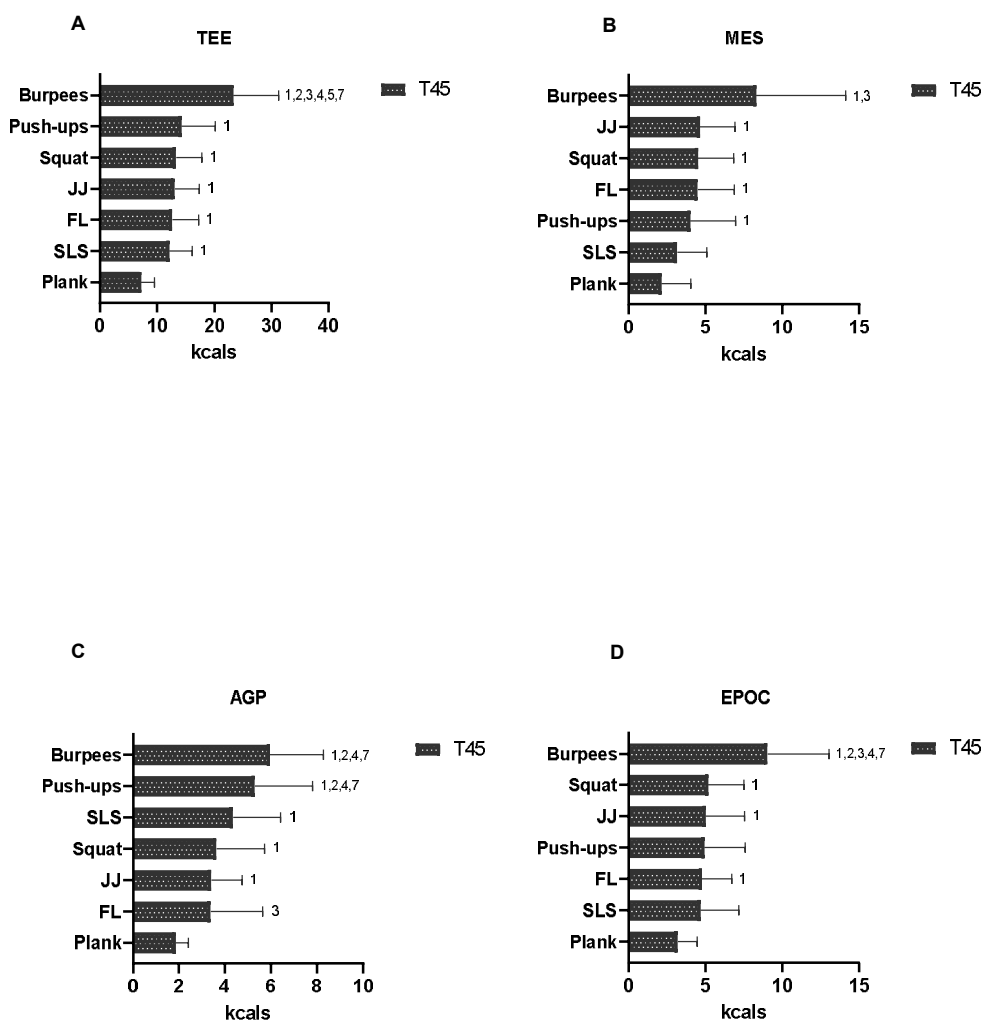
Η συνολική ενεργειακή δαπάνη (TEE) (Εικόνα 9Α) αυξήθηκε λιγότερο κατά τη διάρκεια της plank σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat: 84,6%, $p=0,000$, single leg squat: 68,8%, $p=0,001$, front lunges: 75,2%, $p=0,002$, push-ups: 97,7%, $p=0,001$, burpees: 223,7%, $p=0,000$, jumping jacks: 81,3%, $p=0,000$). Η υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη παρατηρήθηκε στα burpees σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat:

75,2%, $p=0,001$, single leg squat: 91,6%, $p=0,001$, front lunges: 84,7%, $p=0,002$, push-ups: 63,9%, $p=0,007$, jumping jacks: 78,4%, $p=0,001$).

Η plank έδειξε τη χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη από το μιτοχονδριακό ενεργειακό σύστημα(MES) (Εικόνα 9B) σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις (squat: 111%, $p=0,002$, front lunges: 110%, $p=0,020$, push-ups: 87,8%, $p=0,029$, burpees: 289%, $p=0,017$, jumping jacks: 117%, $p=0,005$). Τα burpees είχαν ως αποτέλεσμα υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη από το MES κατά 164% ($p=0,048$) σε σύγκριση με το Single Leg Squat.

Η plank έδειξε τη χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη από την οδό αναερόβιας γλυκόλυσης (AGP) (Εικόνα 9C) σε σύγκριση με τις περισσότερες από τις άλλες ασκήσεις (squat: 94,8%, $p=0,032$, single leg squat: 133%, $p=0,008$, push-ups: 185%, $p=0,002$; burpees: 220%, $p=0,000$, jumping jacks: 83,3%, $p=0,003$) και τάση για χαμηλότερο ενεργειακό κόστος από τα front lunges (81,1%, $p=0,086$). Το κόστος θερμίδων από την οδό αναερόβιας γλυκόλυσης (AGP) κατά τη διάρκεια των push-ups και των burpees από τα squat (46,4%, $p=0,007$ και 64,3%, $p=0,022$, αντίστοιχα), συγκρίνεται τα front lunges (57,3%, $p=0,010$ και 76,6%, $p=0,034$, αντίστοιχα) και τα jumping jacks (55,5%, $p=0,008$ και 74,5%, $p=0,002$, αντίστοιχα). Το θερμιδικό κόστος από την οδό αναερόβιας γλυκόλυσης (AGP) στα single leg squat ήταν υψηλότερο από τα front lunges (21%, $p=0,030$).

Η plank έδειξε τη χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη από την κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση (Εικόνα 9D) σε σύγκριση με τις περισσότερες ασκήσεις (squat: 61,3%, $p=0,007$, front lunges: 61,3%, $p=0,033$, jumping jacks: 56,4%, $p=0,033$). Η υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη από την κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση παρατηρήθηκε στα burpees (plank: 182%, $p=0,001$, squat: 74,9%, $p=0,001$, single leg squat: 93,6%, $p=0,002$, front lunges: 90%, $p=0,001$, push-ups : 83,8%, $p=0,000$, jumping jacks: 80,5%, $p=0,000$).

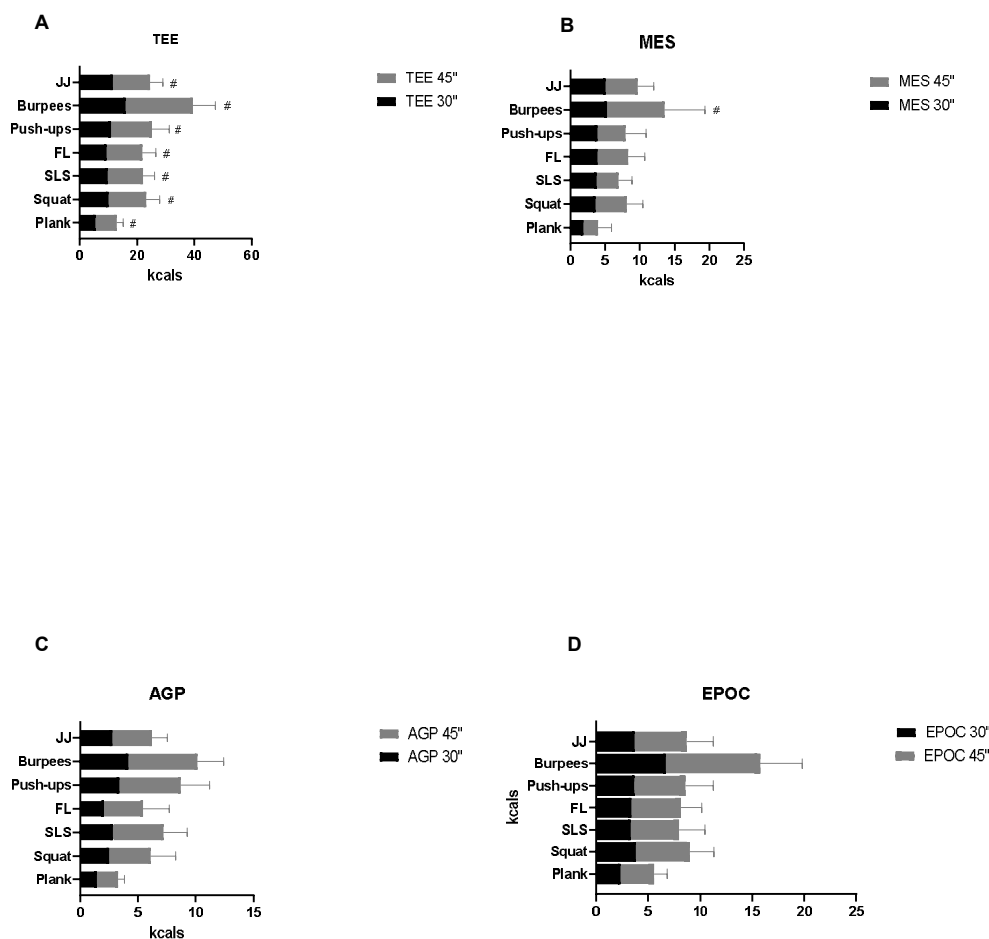


Εικόνα 9. Αλλαγές στην ενεργειακή δαπάνη (Α: TEE στο T45, Β: ΜΕΣ στο T45, Γ: AGP στο T45, Δ: EPOC στο T45) σε επτά ασκήσεις δοκιμής T45. Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις απεικονίζονται μέσω οριζόντιων ράβδων. TEE, συνολική ενεργειακή δαπάνη. MES, μιτοχονδριακό ενεργειακό σύστημα; AGP, οδός αναερόβιας γλυκόλυσης. EPOC, κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση. SLS: Single Leg Squat, FL: Front Lunges, JJ: Jumping Jacks; 1. Διαφορά από το plank, 2. Διαφορά από το squat; 3. Διαφορά από το single leg squat, 4. Διαφορά από τα front lunges, 5. Διαφορά από τα push-ups 6. Διαφορά από τα burpees, 7. Διαφορά από τα jumping jacks.

4.1.8 Η επίδραση της διάρκειας της άσκησης στην ενεργειακή δαπάνη

Το Σχήμα 10 απεικονίζει τις διαφορές μεταξύ των δύο δοκιμών. Το T45 οδήγησε σε μεγαλύτερη συνολική ενεργειακή δαπάνη (TEE) (Εικόνα 10Α) από το T30 και στις επτά ασκήσεις που εκτελέστηκαν (plank: 26,6%, $p=0,005$, squat: 33,5%, $p=0,001$, single leg squat: 22,3%, $p=0,006$, front lunges: 35,2, $p=0,009$, push-ups: 29,4%, $p=0,002$, burpees: 44,4%, $p=0,002$, jumping jacks: 13,1%, $p=0,001$). Το ενεργειακό κόστος από το μιτοχονδριακό ενεργειακό σύστημα (MES) (Εικόνα 10Β) ήταν υψηλότερο στο T45 σε σύγκριση με το T30 μόνο στα burpees (57,8%, $p=0,049$). Δεν σημειώθηκαν διαφορές μεταξύ των δοκιμών για το

ενεργειακό κόστος που προέρχεται από την αναερόβια γλυκόλυση (AGP) (Εικόνα 10C) ή την κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση (EPOC) (Εικόνα 10D).



Σχήμα 10. Διαφορές της διάρκειας άσκησης στην ενεργειακή δαπάνη (A: TEE, B: MES, C: AGP, D: EPOC) σε επτά ασκήσεις δύο δοκιμών. Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις απεικονίζονται μέσω οριζόντιων ράβδων. TEE, συνολική ενεργειακή δαπάνη. MES, μιτοχονδριακό ενεργειακό σύστημα; AGP, οδός αναερόβιας γλυκόλυσης. EPOC, κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση. SLS: Single Leg Squat, FL: Front lunges, JJ: Jumping Jacks; 1. Διαφορά από το plank, 2. Διαφορά από το squat; 3. Διαφορά από το single leg squat, 4. Διαφορά από τα front lunges, 5. Διαφορά από τα push-ups 6. Διαφορά από τα burpees, 7. Διαφορά από τα jumping jacks# Διαφορά μεταξύ δοκιμών T30 & T45.

5. Συζήτηση

Οι φυσιολογικές αποκρίσεις της διαλειμματικής άσκησης με αντίσταση προσδιορίζονται από πολλούς παράγοντες όπως η διάρκεια της άσκησης, η ένταση και οι περίοδοι αποκατάστασης, καθώς και ο τύπος του μοτίβου κίνησης [89,90]. Επιπρόσθετα, δείκτες όπως ο μέσος καρδιακός ρυθμός, η μέση κατανάλωση οξυγόνου, η κλίμακα αντίληψης της προσπάθειας, η κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση και η

συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα χαρακτηρίζουν την ένταση του προγράμματος άσκησης και προπόνησης [4,91]. Σε αυτή τη μελέτη, εξετάσαμε τους παραπάνω δείκτες επτά δημοφιλών ασκήσεων αντίστασης με την χρήση του σωματικού βάρους. Ένα από τα κύρια ευρήματα ήταν ότι κατά τη διάρκεια και μετά την άσκηση σανίδας, όλοι οι παραπάνω δείκτες ήταν χαμηλότεροι σε σύγκριση με τις άλλες ασκήσεις. Αντίθετα, η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε στην άσκηση burpees. Επιπλέον, τα push-ups και η άσκηση jumping jacks μπορούν να αυξήσουν σημαντικά ορισμένους από τους δείκτες. Πράγματι, έχει πιστοποιηθεί ότι η άσκηση burpees σχετίζεται με υψηλή καρδιοαναπνευστική και μεταβολική επίδραση [92]. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι 4 σετ των 30 δευτερολέπτων προσπαθειών φτάνουν στο 77,6% του της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου ($\text{Vo}_{2\text{max}}$) και στο 84,6% του μέγιστου καρδιακού παλμού. Στη μελέτη μας εντοπίστηκαν χαμηλότερες αποκρίσεις (% $\text{Vo}_{2\text{max}}$: 33,8% και % HRmax: 57,6%), ωστόσο πραγματοποιήθηκε μόνο ένα σετ και η προσπάθεια δεν ήταν η μέγιστη και στις δύο δοκιμές (T30 & T45). Παρόλα αυτά, οι αποκρίσεις ήταν σημαντικά αυξημένες σε σύγκριση με άλλες ασκήσεις. Θεωρητικά, η άσκηση burpees περιέχει τρεις ασκήσεις. Κατά τη διάρκεια μιας επανάληψης εκτελείται μια αλυσίδα squat, push-up και άλματος, που συνδυάζει ομόκεντρη και έκκεντρη μυϊκή σύσπαση [92]. Η δυσκολία της εκτέλεσης άσκησης burpees αποτυπώθηκε επίσης μέσω της κλίμακας αντίληψης της προσπάθειας. Επιπλέον, στις ασκήσεις που αποτελούν μέρος της άσκησης burpees όπως push-ups, squat και jumping jacks παρατηρήθηκαν παρόμοια επίπεδα τόσο στην κλίμακα αντίληψης της προσπάθειας όσο και στο μέσο καρδιακό ρυθμό. Σε προηγούμενη μελέτη, παρατηρήθηκε ότι η άσκηση push-up και squat για 36 δευτερόλεπτα αυξάνει την κλίμακα αντίληψης της προσπάθειας για 15 και 12 μονάδες αντίστοιχα. Επίσης, ο μέσος καρδιακός ρυθμός υπολογίστηκε κατά 88 b/min χρησιμοποιώντας άσκηση squat και 98,3 b/min χρησιμοποιώντας push-up [93]. Τα ίδια δεδομένα παρουσιάστηκαν και στα αποτελέσματά μας.

Το κύριο χαρακτηριστικό της άσκησης plank είναι η ισομετρική μυϊκή σύσπαση, καθώς απαιτείται από τους συμμετέχοντες να διατηρούν μια πρινή θέση σανίδας ενώ στηρίζονται στους αγκώνες και τα πόδια εκτελώντας μια μυϊκή συστολή ολόκληρου του σώματος [94]. Ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα αυτής της μελέτης είναι ότι η άσκηση plank προκαλεί χαμηλότερες μεταβολικές αποκρίσεις. Οι κύριες διαφορές της άσκησης plank σε σύγκριση με τις άλλες έξι ασκήσεις ήταν ο τύπος συστολής και ο αριθμός των ενεργών αρθρώσεων [95]. Φαίνεται ότι η μεταβολική και καρδιοαναπνευστική επίδραση των πολυαρθρικών ασκήσεων (squat, single leg squat και front lunges) είναι ισχυρότερη [95]. Ταυτόχρονα, ασκήσεις όπως το burpees και jumping jacks ενεργοποιούν μεγαλύτερο αριθμό μυϊκών ομάδων, συνδυάζοντας τον ομόκεντρο και έκκεντρο τύπο μυϊκής συστολής, με υψηλή γωνιακή ταχύτητα και προκαλώντας αύξηση της μυϊκής εργασίας, της μυϊκής δύναμης, της συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα και της κατανάλωσης οξυγόνου επίσης [95,96]. Αυτή η παρατήρηση είναι συνεπής με την ιδέα ότι το επίπεδο του VO_2 που μετράται κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης καθορίζεται από την ποσότητα της μυϊκής μάζας που ενεργοποιείται [89,97]. Σε μια προηγούμενη μελέτη, η άσκηση plank εκτελέστηκε για έξι λεπτά και συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες έπρεπε να ολοκληρώσουν τρεις επαναλήψεις του ενός λεπτού με ένα λεπτό ως περίοδο αποκατάστασης. Ωστόσο, παρατηρείται ότι μετά το πρώτο λεπτό το ποσοστό του μέγιστου καρδιακού ρυθμού (% HRmax) και το ποσοστό της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου (% $\text{Vo}_{2\text{max}}$) ήταν περίπου 50% και 20% αντίστοιχα [98]. Ωστόσο, στη μελέτη μας η άσκηση plank διήρκεσε για 30 και 45 δευτερόλεπτα και το ποσοστό του

μέγιστου καρδιακού ρυθμού (% HRmax) υπολογίστηκε μεταξύ 44,3-45,7% και το % Vo2max εκτιμήθηκε μεταξύ 14,8-17% περίπου. Έτσι, η διαφορά του 5% και στους δύο δείκτες μπορεί να φαίνεται χωρίς νόημα. Φαίνεται ότι η διάρκεια των 15 δευτερολέπτων παραπάνω δεν επηρέασε τη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα, το ποσοστό του μέγιστου καρδιακού ρυθμού (% HRmax) και το ποσοστό της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου (% Vo2max), όπως έχει περιγραφεί προηγουμένως σε μια μελέτη με άσκηση υψηλής έντασης αντίστασης [89]. Ωστόσο, διαπιστώσαμε ότι 45 δευτερόλεπτα άσκησης burpees, squat, jumping jacks και single leg squat αυξάνουν τον μέσο καρδιακό ρυθμό και τον μέσο όρο του οξυγόνου, υψηλότερο από 30 δευτερόλεπτα. Ωστόσο, φαίνεται ότι η παραδοσιακή προπόνηση με αντιστάσεις υψηλής έντασης αυξάνει γραμμικά τους μεταβολικούς παράγοντες ανάλογα με το χρόνο [89].

Προηγούμενες μελέτες έχουν εξετάσει το ενεργειακό κόστος των παραδοσιακών προπονήσεων αντίστασης, όπως τα ελεύθερα βάρη ή τα μηχανήματα, χρησιμοποιώντας επιταχυνσιόμετρο [99], έξυπνο βραχιόλι [100] ή τον καρδιακό ρυθμό (HR) ως προγνωστικό παράγοντα του ενεργειακού κόστους [101]. Επιπλέον, άλλες μελέτες υπολόγισαν την συνολική ενεργειακή δαπάνη (TEE) χρησιμοποιώντας ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης, συμπεριλαμβανομένου του VO2 μετά την άσκηση ως μέτρο του συσσωρευμένου ελλείμματος οξυγόνου [102,103,101] ή δεν προσδιόρισαν τη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα και την κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση, στον υπολογισμό της συνολικής ενεργειακής δαπάνης [93,105,106]. Επιπλέον, είναι γνωστό ότι το ενεργειακό προφίλ της άσκησης με αντίσταση διαφέρει από αυτό των αερόβιων ασκήσεων, όπως το περπάτημα ή το τρέξιμο, και επίσης η άσκηση με αντίσταση απαιτεί την ενεργοποίηση των συστημάτων φωσφαγογόνου, γλυκολυτικής και μιτοχονδριακής ενέργειας, αυξάνοντας σημαντικά το EPOC [93,107,89]. Το κύριο εύρημα αυτής της μελέτης ήταν ότι από τις επτά δημοφιλείς ασκήσεις αντίστασης που επιλέχθηκαν για αυτήν τη μελέτη, η άσκηση burpees προκαλεί την υψηλότερη ενεργειακή δαπάνη και στις δύο δοκιμές (TEE 30: 16,1 kcals & TEE45: 23,3 kcals) και ότι η άσκηση plank τη χαμηλότερη (TEE 30: 5,7 kcals & TEE45: 7,2 kcals). Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και στις ενεργειακές οδούς του μιτοχονδριακού ενεργειακού συστήματος (MES), της αναερόβιας γλυκόλυσης (AGP) και της κατανάλωσης οξυγόνου μετά την άσκηση (EPOC) κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος της άσκησης. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η άσκηση jumping jacks και push-ups χρησιμοποιούν την οδό αναερόβιας γλυκόλυσης και την κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση σε παρόμοιο επίπεδο με το burpees. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η προσοχή της ανάλυσης δεδομένων πρέπει να δοθεί όχι μόνο στα μέλη που εμπλέκονται κατά τη διάρκεια της άσκησης αλλά και στην ποσότητα της μυϊκής μάζας που ενεργοποιείται [104]. Έχει θεωρηθεί ότι η διέγερση των μυών του άνω μέρους του σώματος προκαλεί την αναερόβια γλυκόλυση λόγω της υψηλότερης αναλογίας των ινών ταχείας συστολής [108,109]. Πράγματι, στη μελέτη μας οι ασκήσεις που διεγείρουν πιο δυνατά τόσο το άνω όσο και το κάτω μέρος του σώματος παρατήρησαν υψηλότερη δαπάνη συνολική ενεργειακή δαπάνη, στην οδό αναερόβιας γλυκόλυσης καθώς και ενέργειας από την κατανάλωση οξυγόνου στο αίμα.

Έχει παρατηρηθεί ότι οι ασκήσεις με το βάρος του σώματος εξαρτάται περισσότερο από την αναερόβια γλυκόλυση και μειώνουν τα αποθέματα γλυκογόνου στους μυς [4], ειδικά όταν η μυϊκή ενεργοποίηση του άνω και κάτω μέρους του σώματος διεγείρεται ταυτόχρονα με την άσκηση burpees και push-up. [93]. Επομένως, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η συνεισφορά της αναερόβιας γλυκόλυσης στο push-up

αντιπροσωπεύει το 37,2% της συνολικής ενεργειακής δαπάνης στη δοκιμή T45. Αντίστοιχα, οι θερμίδες από το κατανάλωσης οξυγόνου μετά την άσκηση στα burpees αντιπροσωπεύουν το 41,6% της συνολικής ενεργειακής δαπάνης. Σε μια προηγούμενη μελέτη βρέθηκε επίσης, ότι τα push-ups προκαλούν υψηλότερο ενεργειακό κόστος από το squat, λαμβάνοντας υπόψη ότι στο squat, single leg squat και front lunges η μυϊκή ενεργοποίηση αντιστοιχεί σε 56,3%, ωστόσο, στην άσκηση burpees ή jumping jacks είναι πιθανό να προσθέσει συνεισφορά 41,3% των μυών του άνω σώματος αυξάνοντας τη συνολική ενεργειακή δαπάνη. Μια μοναδική πτυχή αυτής της μελέτης ήταν ότι οι θερμίδες από την κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση της άσκησης plank αντιπροσώπευαν το 44,6% της συνολικής ενεργειακής δαπάνης. Φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της άσκησης το μιτοχονδριακό ενεργειακό σύστημα και την αναερόβια γλυκόλυση έχουν χαμηλή θερμιδική συνεισφορά σε σύγκριση με την κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση. Σε μια προηγούμενη μελέτη παρατηρήθηκε ότι το ενεργειακό κόστος κατά την ανάκαμψη ήταν υψηλότερο σε σύγκριση με το χρόνο εκτέλεσης της άσκησης [100]. Αυτό αντανακλάται ως αποτέλεσμα στον τύπο συστολής, ο οποίος αυξάνει τη συστολική και διαστολική πίεση κατά τη διάρκεια της άσκησης [110]. Μόλις ολοκληρωθεί η επανάληψη των 30 ή 45 δευτερολέπτων, η ισομετρική άσκηση επιτρέπει μεγαλύτερη μυϊκή επαναιμάτωση προκειμένου να μειωθεί τόσο η ενδοθωρακική πίεση όσο και η συστηματική αγγειακή αντίσταση [111].

Αυτή η μελέτη διερεύνησε τις διαφορές μεταξύ T30 και T45 της συνολικής ενεργειακής δαπάνης. Παρατηρείται ότι η διάρκεια των 45 δευτερολέπτων αυξάνει σημαντικά την ενεργειακή δαπάνη ανεξάρτητα από το μοτίβο κίνησης ή το ενεργειακό υπόστρωμα. Ωστόσο, φαίνεται ότι αυτή η χρονική διαφορά στην άσκηση burpees έχει προκληθεί από το μιτοχονδριακό ενεργειακό σύστημα. Είναι ξεκάθαρο ότι η συμβολή του MES σε ένα πρωτόκολλο άσκησης burpees 4 σετ 30 δευτερολέπτων ήταν εξαιρετικά υψηλή. Μετά τον 4ο σετ το % Vo2peak έφτασε στο 83%. Στη μελέτη μας η ένταση ενός σετ ήταν μέτρια και έτσι οι αερόβιοι φόροι ήταν υψηλοί μετά από 30 και 45 δευτερόλεπτα αυξάνοντας την ενεργειακή δαπάνη. Ωστόσο, άλλες μελέτες έχουν διερευνήσει το ενεργειακό κόστος που συνδυάζει πρόγραμμα αερόβιας και ενδυνάμωσης [110] ή έχουν εξετάσει την επίδραση της υψηλής έντασης προπόνησης αντίστασης που προσομοιώνει ένα πρόγραμμα προπόνησης με σετ [92,98], επαναλήψεις [109] και όγκος βάρους [87]. Στη μελέτη μας εξετάστηκε η επίδραση του μοτίβου κίνησης και της διάρκειας άσκησης για να υπολογιστεί το ενεργειακό κόστος για όλα τα ενεργειακά υποστρώματα σε ασκήσεις με το βάρος του σώματος. Επιπλέον, εκτελείται άσκηση απομόνωσης χωρίς επαναλαμβανόμενα σετ και συγκεκριμένη περίοδο αποθεραπείας. Έτσι, δεν διευκρινίζεται η διέγερση του αναερόβιου γλυκολυτικού συστήματος ή του μιτοχονδριακού ενεργειακού συστήματος που συνδυάζει ασκήσεις αντίστασης με χρήση του σωματικού βάρους όπως σε μια κλασική προπόνηση. Προηγούμενες μελέτες έχουν εξετάσει το ενεργειακό κόστος των παραδοσιακών προπονήσεων αντίστασης, αλλά η άσκηση με το βάρος του σώματος είναι μια εναλλακτική και δημοφιλής μέθοδος άσκησης. Ωστόσο, μέχρι τώρα η ανάλυση της μεταβολικής επίδρασης και της ενεργειακής δαπάνης κατά τη διάρκεια και στο τέλος τις ασκήσεων με σωματικό βάρος ήταν περιορισμένη. Έτσι, από όσο γνωρίζουμε, αυτή είναι η πρώτη μελέτη που διερευνά την ενεργειακή δαπάνη επτά δημοφιλών ασκήσεων με την χρήση μόνο του σωματικού βάρους. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας δείχνουν ότι η ενεργειακή δαπάνη ήταν υψηλότερη σε πολυαθρικές ασκήσεις που συνδυάζουν την ενεργοποίηση των μυών του άνω και κάτω σώματος. Αντίθετα, η άσκηση plank προκαλεί το χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη πιθανώς λόγω τύπου μυών

που ενεργοποιεί. Αυτή η μελέτη θα βοηθήσει τους επιστήμονες και τους επαγγελματίες της άσκησης να δομήσουν ένα πιο αποτελεσματικό πρωτόκολλο άσκησης που επηρεάζει τους δείκτες υγείας και απόδοσης. Προτείνεται να αξιολογηθεί η επίδραση αυτών των ασκήσεων στην ενεργειακή δαπάνη και για ένα λεπτό [89] ή να αξιολογηθεί η επίδραση των διαφορετικών περιόδων αποκατάστασης στην ενεργειακή δαπάνη και της μεταβολικής καταπόνησης των ασκήσεων [102,112].

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Seidell JC, Halberstadt J. The global burden of obesity and the challenges of prevention. *Ann Nutr Metab.* 2015; 66(Suppl 2):S7±S12.
2. Dee A, Kearns K, O'Neill C, Sharp L, Staines A, O'Dwyer V, et al. The direct and indirect costs of both overweight and obesity: a systematic review. *BMC Res Notes* 2014; 7:242.
3. Dhurandhar EJ, Kaiser KA, Dawson JA, Alcorn AS, Keating KD, Allison DB. Predicting adult weight change in the real world: a systematic review and meta-analysis accounting for compensatory changes in energy intake or expenditure. *Int J Obes (Lond)* 2015; 39(8):1181±1187.
4. Nakagata T, Yamada Y, Naito H. Energy expenditure, recovery oxygen consumption, and substrate oxidation during and after body weight resistance exercise with slow movement compared to treadmill walking. *Physiology International*, Volume 105 (4), pp. 371–385, 2018.
5. Drenowatz C, Eisenmann JC, Pivarnik JM, Pfeiffer KA, Carlson JJ. Differences in energy expenditure between high- and low-volume training. *Eur J Sport Sci.* 2013;13(4):422-430. doi:10.1080/17461391.2011.635707.
6. Liguori, G., Feito, Y., Fountaine, C. and Roy, B. (2021) ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Eleventh edition. American College of Sports Medicine. Wolters Kluwer, Philadelphia.
7. World Health Organization, (2020) Global physical activity recommendations. Available form URL: <https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/physical-activity>. Accessed 27 November 2021
8. Batrakoulis A, Jamurtas AZ, Tsimeas P, Poullos A, Perivoliotis K, Syrou N, Papanikolaou K, Draganidis D, Deli CK, Metsios GS, et al. Hybrid-type, multicomponent interval training upregulates musculoskeletal fitness of adults with overweight and obesity in a volume-dependent manner: A 1-year dose-response randomised controlled trial. *Eur J Sport Sci.* 2022a:
9. Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Masse LC, Tilert T, McDowell M. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(1):181–188.
10. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(2):459–471.
11. Ashton RE, Tew GA, Aning JJ, Gilbert SE, Lewis L, Saxton JM. Effects of short-term, medium-term and long-term resistance exercise training on cardiometabolic health outcomes in adults: systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2020;54:341–348.
12. Costello E, Kafchinski M, Vrazel J, Sullivan P. Motivators, barriers, and beliefs regarding physical activity in an older adult population. *J Geriatr Phys Ther.* 2011;34(3):138–147.

13. Centers for Disease Control and Prevention. Overcoming Barriers to Physical Activity. 2017; <https://www.cdc.gov/physicalactivity/basics/adding-pa/barriers.html>. Accessed July 30, 2018.
14. Burgess E, HassmeA P, Welvaert M, Pumpa KL. Behavioural treatment strategies improve adherence to lifestyle intervention programmes in adults with obesity: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Obesity* 2017; 7(2):105±114.
15. Batacan RB Jr, Duncan MJ, Dalbo VJ, Tucker PS, Fenning AS. Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of intervention studies. *Br J Sports Med*. 2017;51:494–503.
16. O'Donoghue G, Blake C, Cunningham C, Lennon O, Perrotta C. What exercise prescription is optimal to improve body composition and cardiorespiratory fitness in adults living with obesity? A network meta-analysis. *Obes Rev*. 2021;22:e13137
17. Batrakoulis A, Tsimeas P, Deli CK, Vlachopoulos D, Ubago-Guisado E, Poullos A, Chatzinikolaou A, Draganidis D, Papanikolaou K, Georgakouli K, et al. Hybrid neuromuscular training promotes musculoskeletal adaptations in inactive overweight and obese women: a training-detaining randomized controlled trial. *J Sports Sci*. 2021a;39:503–512.
18. Batrakoulis A, Jamurtas AZ, Fatouros IG. High-intensity interval training in metabolic diseases: physiological adaptations. *ACSM's Health Fitness J*. 2021b;25:54–59.
19. Batrakoulis A, Fatouros IG, Chatzinikolaou A, Draganidis D, Georgakouli K, Papanikolaou K, Deli CK, Tsimeas P, Avloniti A, Syrou N, et al. Dose-response effects of high-intensity interval neuromuscular exercise training on weight loss, performance, health and quality of life in inactive obese adults: study rationale, design and methods of the DoIT trial. *Contemp Clin Trials Commun*. 2019;15:100386.
20. Batrakoulis A, Jamurtas AZ, Georgakouli K, Draganidis D, Deli CK, Papanikolaou K, Avloniti A, Chatzinikolaou A, Leontsini D, Tsimeas P, et al. High intensity, circuit-type integrated neuromuscular training alters energy balance and reduces body mass and fat in obese women: a 10-month training-detaining randomized controlled trial. *PLoS One*. 2018;13:e0202390.
21. Batrakoulis A, Loules G, Georgakouli K, Tsimeas P, Draganidis D, Chatzinikolaou A, Papanikolaou K, Deli CK, Syrou N, Comoutos N, et al. High-intensity interval neuromuscular training promotes exercise behavioral regulation, adherence and weight loss in inactive obese women. *Eur J Sport Sci*. 2020;20:783–792.
22. Batrakoulis A, Jamurtas AZ, Draganidis D, Georgakouli K, Tsimeas P, Poullos A, Syrou N, Deli CK, Papanikolaou K, Tournis S, et al. Hybrid neuromuscular training improves cardiometabolic health and alters redox status in inactive overweight and obese women: a randomized controlled trial. *Antioxidants (Basel)*. 2021c;
23. Krstrup P, Mohr M., Nybo L., Draganidis D., Randers M B., Ermidis G., Orntoft C., Roddik L., Batsilas D., Pou;ios A., Ortenblad N., Loules G., Deli C K., Batrakoulis A., Nielsen J L., Jamurtas A Z., Fatouros I G. (2022). Muscle metabolism and impaired sprint performance in an elite women's football game. PMID: 34171140 DOI: 10.1111/sms.13970

24. Falcone P H., Tai C Y., Carson L R., Joy M J., Mosman M M. McCann T R., Crona K P., Kim M P., Moon J R. Caloric expenditure of aerobic, resistance, or combined high intensity interval training using a hydraulic resistance system in healthy men. (2015). PMID:25162652 DOI:10.1519/JSC.0000000000000661
25. Nakagata, T, Yamada, Y, and Naito, H. Estimating energy cost of body weight resistance exercise using a multistage exercise test. *J Strength Cond Res* 36(5): 1290–1296, 2022.
26. Maessen M F, Verbeek A L, Bakker E A, Thompson P D, Hopman M T, & Eijssvogels T M. (2016, June). Lifelong exercise patterns and cardiovascular health. In *Mayo Clinic Proceedings* (Vol. 91, No. 6, pp. 745-754). Elsevier.
27. Gustavo A João, Gustavo PL Almeida, Lucas D Tavares, Carlos Augusto Kalva-Filho, Nelson Carvas Junior, Francisco L Pontes, Julien S Baker, Danilo S Bocalini, Aylton J Figueira (2021) Acute Behavior of Oxygen Consumption, Lactate Concentrations and Energy Expenditure During Resistance Training: Comparisons Among Three Intensities. 797604
28. Haddcock B L., Wilkin L D. Resistance training volume and post exercise energy expenditure. (2006). PMID: 16475061 DOI: 10.1055/s-2005-865601
29. Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Jamurtas, A. Z., Carlos Barbero, J., Tsoukas, D., Theodorou, A. S., Fatouros, I. (2013). The time-frame of acute resistance exercise effects on football skill performance: the impact of exercise intensity. *J Sports Sci*, 31(7), 714-722.
30. Draganidis, D., Chondrogianni, N., Chatzinikolaou, A., Terzis, G., Karagounis, L. G., Sovatzidis, A., . . . Fatouros, I. G. (2017). Protein ingestion preserves proteasome activity during intense aseptic inflammation and facilitates skeletal muscle recovery in humans. *Br J Nutr*, 118(3), 189-200.
31. Wilmore JH, Parr RB, Ward P, et al. Energy cost of circuit weight training. *Med Sci Sports* 10: 75–78, 1978.
32. Cooper K H. Aerobics program for total well-being: Exercise, diet, and emotional balance. Bantam, 2013.
33. Berger B, Pargman D & Weinberg R. Foundations of exercise psychology. Morgantown: Fitness Information Technology, 2002.
34. Caspersen, C J, Powell K E, & Christenson G M. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public health reports*, 1985, 100(2), 126.
35. Pedersen B K.. Which type of exercise keeps you young? *Curr Opin Clin NutrMetab Care*, 2019, pp. 167–173.
36. Luke A & Schoeller D A. Basal metabolic rate, fat-free mass, and body cell mass during energy restriction. *Metabolism*, 1992, 41(4), 450-456.

37. McArdle W D, Katch F I & Katch VL. Φυσιολογία της θάσκησης, ΙατρικέςΕκδόσειςΠ. Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα, 2001.
38. Hower I M, Harper S A & Buford T W. Circadian rhythms, exercise, and cardiovascular health. *Journal of circadian rhythms*, 2018,16.
39. Γεροδήμος Β. (2012), Σωματικές και φυσιολογικές επιδράσεις της άσκησης, Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.diatrofi.gr/index.php/health/askisi/item/407>
40. Huovinen E, Kaprio J, Laitinen L A, & Koskenvuo M. Social predictors of adult asthma: a co-twin case-control study. *Thorax*, 2001, 56(3), 234-236.
41. Kraemer W J & Rogol A D (Eds.). *The endocrine system in sports and exercise*. John Wiley & Sons. 2008.
42. Balkau B, Mhamdi L, Oppert J M, Nolan J, Golay A, Porcellati F & Egir-Risc Study Group. Physical activity and insulin sensitivity: the RISC study. *Diabetes*, 2008, 57(10), 2613-2618.
43. Nasrulloh A, Prasetyo Y, Nugroho S, Yuniana R &Pratama K W. The effect of weight training with compound set method on strength and endurance among archery athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 2022, 22(6), 1457-1463.
44. Kang J, Ratamess N A, Kuper J, O’Grady E, Nicole E, Vought I. & Faigenbaum A D. Cardiometabolic responses of body-weight exercises with and without vibration. *Kinesiology*, 2019, 51(1), 83-91.
45. Westcott W L. Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Current sports medicine reports*, 2012, 11(4), 209-216.
46. Harrison J S. Bodyweight training: A return to basics. *Strength & Conditioning Journal*, 2010, 32(2), 52-55.
47. De Feo P. Is high-intensity exercise better than moderate-intensity exercise for weight loss?. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2013, 23(11), 1037-1042.
48. Nybo L, Sundstrup E, Jakobsen M D, Mohr M, Hornstrup T, Simonsen L & Krstrup, P. High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42(10), 1951-8.

49. Rabbani, A., Clemente, F. M., Kargarfard, M., & Jahangiri, S. Combined small-sided game and high-intensity interval training in soccer players: The effect of exercise order. *Journal of Human Kinetics*, 2019, 69(1), 249-257.
50. Kwon, Y. J., Park, S. J., Jefferson, J., & Kim, K. The effect of open and closed kinetic chain exercises on dynamic balance ability of normal healthy adults. *Journal of physical therapy science*, 2013, 25(6), 671-674.
51. Fitstream.com. Squat, διαθέσιμο στο: <http://www.fitstream.com/exercises/squat-a158>, (ημερομηνία πρόσβασης 23/12/2022)
52. Sedlock, D. A., Lee, M. G., Flynn, M. G., Park, K. S., & Kamimori, G. H. Excess postexercise oxygen consumption after aerobic exercise training. *International journal of sport nutrition*, 2010, 20(4), 336.
53. Adegoke, B. O., Sanya, A. O., Ogunlade, S. O., & Olagbegi, O. M. The effectiveness of open versus closed kinetic chain exercises on pain, function and range of motion in patients with knee osteoarthritis. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 2019, 11(3), 5.
54. Hill, J. O., Saris, W. H. M., & Levine, J. A. Energy expenditure in physical activity. In *Handbook of obesity*, 2003, (pp. 647-670). CRC Press.
55. Pontzer, H., Yamada, Y., Sagayama, H., Ainslie, P. N., Andersen, L. F., Anderson, L. J., & IAEA DLW Database Consortium §. Daily energy expenditure through the human life course. *Science*, 2021, 373(6556), 808-812.
56. Speakman, J. R., & Selman, C. Physical activity and resting metabolic rate. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2003, 62(3), 621-634.
57. Lemmer, J. T., Ivey, F. M., Ryan, A. S., Martel, G. F., Hurlbut, D. E., Metter, J. E., ... & Hurley, B. F. Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: age and gender comparisons. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2001, 33(4), 532-541.
58. Arciero, P. J., Goran, M. I., & Poehlman, E. T. Resting metabolic rate is lower in women than in men. *Journal of applied physiology*, 1993, 75(6), 2514-2520.
59. Aristizabal, J. C., Freidenreich, D. J., Volk, B. M., Kupchak, B. R., Saenz, C., Maresh, C. M., & Volek, J. S. Effect of resistance training on resting metabolic rate and its estimation by a dual-energy X-ray absorptiometry metabolic map. *European journal of clinical nutrition*, 2015, 69(7), 831-836.

60. MacKenzie-Shalders, K., Kelly, J. T., So, D., Coffey, V. G., & Byrne, N. M. The effect of exercise interventions on resting metabolic rate: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 20120, 38(14), 1635-1649.
61. Cabiddu R, Pantoni CB, Mendes RG, Trimer R, Catai AM , Borghi-Silva A. Inductive plethysmography potential as a surrogate for ventilatory measurements during rest and moderate physical exercise. *Braz J Phys Ther*. 2016; 20(2):184-8.
62. Adamska-Patruno, E., Ostrowska, L., Golonko, A., Pietraszewska, B., Goscik, J., Kretowski, A., & Gorska, M. Evaluation of energy expenditure and oxidation of energy substrates in adult males after intake of meals with varying fat and carbohydrate content. *Nutrients*, 2018, 10(5), 627.
63. Price, E. R., & Mager, E. M. Respiratory quotient: effects of fatty acid composition. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 2020, 333(9), 613-618.
64. Τοκμακίδης Σ, Αυλωνίτη Α. Εργαστηριακά Μαθήματα Εργοφυσιολογίας. Ενεργειακό Ισοζύγιο Θερμιδομετρία. Κομοτηνή, 2014: 4-10.
65. Bauman, A. E., Reis, R. S., Sallis, J. F., Wells, J. C., Loos, R. J., Martin, B. W., & Lancet Physical Activity Series Working Group. Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not?. *The lancet*, 2012, 380(9838), 258-271.
66. Scott, C. B., Croteau, A., & Ravlo, T. Energy expenditure before, during, and after the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2009, 23(2), 611-618.
67. Vezina, J. W., Der Ananian, C. A., Campbell, K. D., Meckes, N., & Ainsworth, B. E. An examination of the differences between two methods of estimating energy expenditure in resistance training activities. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2014, 28(4), 1026-1031.
68. Jetté, M., Sidney, K., & Blümchen, G. Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clinicalcardiology*, 1990, 13(8), 555-565.
69. Meirelles, C. D. M., & Gomes, P. S. C. Acute effects of resistance exercise on energy expenditure: revisiting the impact of the training variables. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 2004. 10, 122-130.
70. Vianna J M, Werneck F Z, Coelho E F, Damasceno V O & Reis V M. An examination of the differences between two methods of estimating energy expenditure in resistance training activities. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2014, 28(4), 1026- 1031.

71. Aniceto, R. R., Ritti-Dias, R. M., Scott, C. B., Lima, F. F. M. D., Prazeres, T. M. P. D., & Prado, W. L. D. Acute effects of different weight training methods on energy expenditure in trained men. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 2013, 19, 181-185.
72. Reis, V. M. Energy expenditure, aerobic energy cost and anaerobic energy cost. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 2011, 13, 484-487.
73. Farinatti, P. T., & Neto, A. G. C. The effect of between-set rest intervals on the oxygen uptake during and after resistance exercise sessions performed with large-and small-muscle mass. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2011, 25(11), 3181-3190.
74. Farinatti, P., Neto, A. G. C., & Amorim, P. R. Oxygen consumption and substrate utilization during and after resistance exercises performed with different muscle mass. *International journal of exercise science*, 2016, 9(1), 77.
75. Ratamess, N. A., Rosenberg, J. G., Klei, S., Dougherty, B. M., Kang, J., Smith, C. R., ... & Faigenbaum, A. D. Comparison of the acute metabolic responses to traditional resistance, body-weight, and battling rope exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2015, 29(1), 47-57.
76. Benite-Ribeiro, S. A., Santos, J. M. D., & Duarte, J. A. R. Moderate physical exercise attenuates the alterations of feeding behaviour induced by social stress in female rats. *Cell biochemistry and function*, 2014, 32(2), 142-149.
77. Mookerjee, S., Welikonich, M. J., & Ratamess, N. A. Comparison of energy expenditure during single-set vs. multiple-set resistance exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2016, 30(5), 1447-1452.
78. Mazzetti, S., Douglass, M., Yocum, A., & Harber, M. Effect of explosive versus slow contractions and exercise intensity on energy expenditure. *Medicine and science in sports and exercise*, 2007, 39(8), 1291.
79. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Sietsema KE, Sun XG et al. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications*. 5th Edition. China, Wolters Kluwer- Lippincott Williams & Wilkins, 2012; 30-33.
80. Poulos, 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).

81. Mohr, M., Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Barbero-Alvarez, J. C., Castagna, C., Douroudos, I., . . . Fatouros, I. G. (2016). Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. *Eur J Appl Physiol*, 116(1), 179-193.
82. Πασχάλης Β, Κουτελιδάκης Γ, Τζαμούρτας Ζ, Μούγιος Β, Μπαλτζόπουλος Β. Ίσοι όγκοι υψηλής και χαμηλής έντασης έκκεντρης άσκησης σε σχέση με τη μυϊκή βλάβη και απόδοση, 2005, PMIDq15705032 DOI:10.1519/R-14763.1
83. Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. Strength and hypertrophy adaptations between low-vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2017, 31(12), 3508-3523.
84. Κλεσούρας, Β., Γελαδάς Ν., Κοσκολού, Μ., (2015). Εργομετρία. 3η έκδοση 2015, Λευκωσία: Broken Hill Publishers Ltd
85. Panissa, V. L. G., Fukuda, D. H., Caldeira, R. S., Gerosa-Neto, J., Lira, F. S., Zagatto, A. M., & Franchini, E. (2018). Is Oxygen Uptake Measurement Enough to Estimate Energy Expenditure During High-Intensity Intermittent Exercise? Quantification of Anaerobic Contribution by Different Methods. *Front Physiol*, 9, 868.
86. 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.
87. Clemons, J. (2019). Construct Validity of Two Different Methods of Scoring and Performing Push-ups. *J Strength Cond Res*, 33(11), 2971-2980.
88. Moraes, A. C., Pinto, R. S., Valamatos, M. J., Valamatos, M. J., Pezarat-Correia, P. L., Okano, A. H., Cabri, J. M. (2009). EMG activation of abdominal muscles in the crunch exercise performed with different external loads. *Phys Ther Sport*, 10(2), 57-62.
89. Järvinen L, Lundin Petersdotter S, Chaillou T. High-intensity resistance exercise is not as effective as traditional high-intensity interval exercise for increasing the cardiorespiratory response and energy expenditure in recreationally active subjects. *Eur J Appl Physiol*. 2022;122(2):459-474. doi:10.1007/s00421-021-04849-4.
90. MacInnis MJ, Gibala MJ (2017) Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J Physiol* 595(9):2915–2930. <https://doi.org/10.1113/jp273196>.
91. Reis VM, Vianna JM, Barbosa TM, et al. Are wearable heart rate measurements accurate to estimate aerobic energy cost during low-intensity resistance exercise? [published correction appears in *PLoS One*. 2020 Mar 5;15(3):e0230323]. *PLoS One*. 2019;14(8):e0221284. Published 2019 Aug 22. doi:10.1371/journal.pone.0221284.

92. Gist NH, Freese EC, Cureton KJ. Comparison of responses to two high-intensity intermittent exercise protocols. *J Strength Cond Res.* 2014;28(11):3033-3040. doi:10.1519/JSC.0000000000000522.
93. Nakagata T, Yamada Y, Naito H. Estimating Energy Cost of Body Weight Resistance Exercise Using a Multistage Exercise Test. *J Strength Cond Res.* 2020 May 5. doi: 10.1519/JSC.0000000000003622. Epub ahead of print. PMID: 32379233.
94. Calatayud J, Escriche-Escuder A, Cruz-Montecinos C, Andersen LL, Perez- Alenda S, Aiguade R, et al. Tolerability and muscle activity of core muscle exercises in chronic low-back pain. *Int J Environ Res Public Health.* 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193509>
95. Paoli A, Gentil P, Moro T, Marcolin G, Bianco A. Resistance Training with Single vs. Multi-joint Exercises at Equal Total Load Volume: Effects on Body Composition, Cardiorespiratory Fitness, and Muscle Strength. *Front Physiol.* 2017;8:1105. Published 2017 Dec 22. doi:10.3389/fphys.2017.01105.
96. Wüst RC, Grassi B, Hogan MC, Howlett RA, Gladden LB, Rossiter HB. Kinetic control of oxygen consumption during contractions in self-perfused skeletal muscle. *J Physiol.* 2011;589(Pt 16):3995-4009. doi:10.1113/jphysiol.2010.203422.
97. Orr JL, Williamson P, Anderson W, Ross R, McCafferty S, Fettes P (2013) Cardiopulmonary exercise testing: arm crank vs cycle ergometry. *Anaesthesia* 68(5):497–501. <https://doi.org/10.1111/anae.12195>.
98. Huang Z, Wang B, Song K, et al. Metabolic and cardiovascular responses to continuous and intermittent plank exercises. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2023;15(1):1. Published 2023 Jan 2. doi:10.1186/s13102-022-00613-z.
99. Rawson ES, Walsh TM. Estimation of resistance exercise energy expenditure using accelerometry. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(3):622-628. doi:10.1249/MSS.0b013e3181b64ef3.
100. Cai Y, Wang Z, Zhang W, et al. Estimation of Heart Rate and Energy Expenditure Using a Smart Bracelet during Different Exercise Intensities: A Reliability and Validity Study. *Sensors (Basel).* 2022;22(13):4661. Published 2022 Jun 21. doi:10.3390/s22134661.
101. Reis VM, Vianna JM, Barbosa TM, et al. Are wearable heart rate measurements accurate to estimate aerobic energy cost during low-intensity resistance exercise? [published correction appears in PLoS One. 2020 Mar 5;15(3):e0230323]. *PLoS One.* 2019;14(8):e0221284. Published 2019 Aug 22. doi:10.1371/journal.pone.0221284
102. 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
103. 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.

104. Reis VM, Garrido ND, Vianna J, Sousa AC, Alves JV, Marques MC. Energy cost of isolated resistance exercises across low- to high-intensities. *PLoS One*. 2017;12(7):e0181311. Published 2017 Jul 24. doi:10.1371/journal.pone.0181311.
105. Hunter GR, Bickel CS, Fisher G, Neumeier WH, McCarthy JP. Combined aerobic and strength training and energy expenditure in older women. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(7):1386-1393. doi:10.1249/MSS.0b013e3182860099.
106. Drenowatz C, Hand G A., Sagner M., Shook R P., Burgess S., Blair S N., The prospective Association between Different Types of Exercise and Body Composition. (2015). *Medicine & Science in Sports & Exercise* 47(12):p 2535-2541 DOI: 10.1249/MSS0000000000000701
107. Jung WS, Hwang H, Kim J, Park HY, Lim K (2019) Effect of interval exercise versus continuous exercise on excess post-exercise oxygen consumption during energy-homogenized exercise on a cycle ergometer. *J Exerc Nutrition Biochem* 23(2):45–50. [https:// doi. org/ 10. 20463/ jenb. 2019. 0016](https://doi.org/10.20463/jenb.2019.0016).
108. Singh M, Dureha, D K, Yaduvanshi S, & Mishra, P. Effect of aerobic and anaerobic exercise on basal metabolic-rate. *British Journal of Sports Medicine*, 2010, 44(Suppl 1), i26-i26.
109. Koppo K, Bouckaert J, Jones AM. Oxygen uptake kinetics during high-intensity arm and leg exercise. *Respir Physiol Neurobiol*. 2002; 133: 241±250. PMID: [12425971](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12425971/).
110. Kounoupis A, Papadopoulos S, Galanis N, Dipla K, Zafeiridis A. Are Blood Pressure and Cardiovascular Stress Greater in Isometric or in Dynamic Resistance Exercise?. *Sports (Basel)*. 2020;8(4):41. Published 2020 Mar 28. doi:10.3390/sports8040041.
111. Pstras L, Thomaseth K, Waniewski J, Balzani I, Bellavere F. The Valsalva manoeuvre: physiology and clinical examples. *Acta Physiologica (Oxford England)*. 2016;217(2):103–19. DOI:[https:// doi. org/ 10. 1111/ apha. 12639](https://doi.org/10.1111/apha.12639).
112. Scott CB, Croteau A, Ravlo T. Energy expenditure before, during, and after the bench press. *J Strength Cond Res*. 2009;23(2):611-618. doi:10.1519/JSC.0b013e31818c2845.