



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
————— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —————

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΦΥΣΙΚΗ ΑΓΩΓΗ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ”

«Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΜΕΤΑΔΙΕΓΕΡΤΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΑ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΚΑΙ ΣΤΟ ΤΑΧΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ ΔΡΟΜΩΝ
ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ»

Ζήση Μαρία

Μεταπτυχιακή Διατριβή

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΕΛΙΟ: ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ ΑΘΛΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΚΛΑΣΙΚΟΣ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2022

© Copyright

Ζήση Μαρία

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εθνικής Αντίστασης 41, 172 37 Δάφνη

Σημείωμα Συγγραφέα

Το δοκίμιο αυτό αποτελεί Μεταπτυχιακή Διατριβή που συντάχθηκε για το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Φυσική Αγωγή και Αθλητισμός», της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του ΕΚΠΑ και υποβλήθηκε τον Ιούλιο του 2022.

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

Μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

Γ. Παραδείσης (Επιβλέπων Καθηγητής)

Καθηγητής Διδακτικής και Προπονητικής Αθλητικών Δρόμων

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Γ. Μπογδάνης

Καθηγητής Προπονητικής

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Γ. Τερζής

Καθηγητής Διδακτικής και Προπονητικής Αθλητικών Ρίψεων

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικών και Καποδιστριακών
Πανεπιστημίων Αθηνών

ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "ΦΥΣΙΚΗ ΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ"

ΠΡΑΚΤΙΚΟ
ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Της Μαρίας Ζήση

Η τριμελής εξεταστική επιτροπή, που ορίστηκε από τη Συνέλευση του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών στη συνεδρία της 24/2/2020 για την κρίση και αξιολόγηση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας της **κ. Μαρίας Ζήση** με τίτλο: «Η επίδραση ασκήσεων μεταδιεργετικής ενεργοποίησης στα κινηματικά χαρακτηριστικά και στο ταχοδυναμικό προφίλ των δρόμων ταχύτητας» αποτελούμενη από τους κ.κ. **Γ. Παραδείση**, Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπων), **Γ. Μπογδάνη**, Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, **Γ. Τερζή**, Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, εκλήθησαν σήμερα 15/7/2022 ημέρα Παρασκευή και ώρα 09:00 ύστερα από επίσημη έγγραφη πρόσκληση στο Αμφιθέατρο Ε. Παυλίνη της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, προκειμένου να κρίνουν και αξιολογήσουν την παραπάνω διατριβή.

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

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Γ. Παραδείσης, Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Μπογδάνης, Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Τερζής, Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΜΕΤΑΔΙΕΓΕΡΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΑ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΤΑΧΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ ΔΡΟΜΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Περίληψη

Σύμφωνα με το φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης, έντονη άσκηση που εκτελείται πριν από μία προσπάθεια μέγιστης ταχύτητας είναι ικανή να προκαλέσει άμεσα και βραχυπρόθεσμα βελτίωση της απόδοσης. Ο σκοπός της διατριβής ήταν η διερεύνηση της άμεσης επίδρασης των οριζόντιων αλματικών βημάτων και του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου στην επίδοση στα 30 m sprint και στις ενδιάμεσες αποστάσεις ανά 5 m, όπως και στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος (μήκος και συχνότητα βήματος, χρόνος πτήσης και επαφής με το έδαφος) και στο ατομικό προφίλ δύναμης – ταχύτητας. Για τον σκοπό αυτόν, πραγματοποιήθηκαν δύο μελέτες. Στην πρώτη μελέτη 14 δοκιμαζόμενοι – ες εκτέλεσαν δύο πειραματικές συνθήκες που περιελάμβαναν οριζόντια αλματικά βήματα με εναλλαγή ποδιών ή μονοποδικά και μία ελέγχου που περιελάμβανε περπάτημα. Η επίδοση στα 30 m, οι κινηματικές μεταβλητές και το προφίλ δύναμης – ταχύτητας των δοκιμαζομένων αξιολογήθηκαν πριν και 5 min ύστερα από κάθε πρωτόκολλο. Στη δεύτερη μελέτη 12 δοκιμαζόμενοι – ες εκτέλεσαν στην πειραματική συνθήκη έλξη έλκηθρου με το φορτίο που προκαλεί 50% μείωση της θεωρητικής μέγιστης ταχύτητας και στη συνθήκη ελέγχου περπάτημα. Η αξιολόγηση των μεταβλητών έγινε πριν και 8 min μετά από τα πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα της πρώτης μελέτης έδειξαν πως η εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων με εναλλαγή ποδιών προκάλεσε βελτίωση της επίδοσης στα 5 και 10 m του sprint και αύξηση της ταχύτητας και της συχνότητας βήματος στα 5 m. Στη δεύτερη μελέτη βρέθηκε βελτίωση της επίδοσης στα 25 και 30 m και αύξηση της ταχύτητας στις ενδιάμεσες αποστάσεις από τα 5 ως τα 30 m ύστερα από το τρέξιμο με έλξη έλκηθρου. Φαίνεται πως τα οριζόντια αλματικά βήματα που τονίζουν την οριζόντια ώθηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άμεση βελτίωση της απόδοσης στην πρώιμη φάση της επιτάχυνσης, ενώ το τρέξιμο με

έλξη έλκηθρου με βαρύ φορτίο είναι αποτελεσματικό για την ενίσχυση της απόδοσης στην ύστερη φάση της επιτάχυνσης του sprint.

Λέξεις κλειδιά: Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση, πλειομετρική άσκηση, έλξη έλκηθρου, τρέξιμο ταχύτητας, προφίλ δύναμης – ταχύτητας.

EFFECT OF POTENTIATING EXERCISES ON KINEMATIC CHARACTERISTICS AND FORCE – VELOCITY PROFILE OF SPRINT

Maria Zisi

National and Kapodestrian University of Athens, School of Physical Education and Sport Science

Abstract

According to the phenomenon of post – activation potentiation, an intense exercise performed before a sprint attempt can cause acute and short – term improvement of performance. The aim of this thesis was to investigate the acute effects of horizontal leg bounding and sled towing on subsequent 30 m sprint performance and the intermediate distances per 5 m, sprint kinematics (step length and rate, contact and flight time) and individual force – velocity profile. For this purpose, two studies were carried out. In the first study, 14 participants performed two experimental conditions which included alternate leg bounding or single leg bounding and one control condition which consisted of walking. Before and 5 min after each condition, 30 m sprint performance, kinematic characteristics and force – velocity profile were evaluated. In the second study, 12 participants performed one experimental condition which consisted of sled towing with the load causing a reduction of the theoretical maximum velocity by 50% and one control condition which consisted of walking. Measurement of sprint performance and calculation of kinematic characteristics and force–velocity profile were performed before and after 8 min of recovery in each condition. The results of the first study showed that performing alternate leg bounding improved the performance time to 5 and 10 m of sprint and increased the running velocity and step frequency to 5 m. The second study showed that sled towing resulted in improved performance at 25 and 30 m and an increase in running velocity at distances of 5 – 30 m. Alternate leg bounding that emphasizes horizontal impulse can be used to acutely improve performance in the early acceleration phase, while heavy sled towing seems to be effective in enhancing performance in the later acceleration phase.

Key words: Post-activation potentiation, plyometric exercise, sled towing, sprint running, force – velocity profile.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	v
Abstract.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	xvi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος.....	4
1.2. Σκοπός της έρευνας.....	4
1.3. Σημασία της έρευνας.....	5
1.4. Ερευνητικά ερωτήματα.....	5
1.5. Ερευνητικές υποθέσεις.....	5
1.6. Οριοθετήσεις και περιορισμοί.....	6
1.7. Περιγραφή των όρων.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	7
2.1. Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση.....	7
2.1.1. Τρόποι επίτευξης της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης.....	7
2.1.2. Πιθανοί μηχανισμοί πρόκλησης μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης.....	9
2.1.2.1. Η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης.....	9
2.1.2.2. Αλλαγές στη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών.....	11
2.1.2.3. Αύξηση της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο Διεγερσιμότητας.....	12
2.1.2.4. Συμπεράσματα.....	16
2.1.3. Αλληλεπίδραση κόπωσης και μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης.....	16
2.1.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την πρόκληση μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης.....	18
2.1.4.1. Χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης.....	19
2.1.4.1.1. Όγκος της άσκησης ενεργοποίησης.....	19
2.1.4.1.2. Ένταση της άσκησης ενεργοποίησης.....	19
2.1.4.1.3. Είδος μυϊκής σύσπασης.....	20
2.1.4.1.4. Χρόνος αποκατάστασης.....	22
2.1.4.2. Χαρακτηριστικά των δοκιμαζομένων.....	25
2.1.4.2.1. Επίπεδο μυϊκής δύναμης.....	25
2.1.4.2.2. Κατανομή των μυϊκών ινών.....	26
2.1.4.2.3. Προπονητικό επίπεδο.....	28
2.1.4.2.4. Φύλο.....	28
2.1.4.3. Συμπεράσματα.....	29
2.1.5. Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση και απόδοση.....	29
2.1.5.1. Η άμεση επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων στο τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας.....	30

2.1.5.2. Η άμεση επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στο τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας.....	41
2.1.5.3. Η άμεση επίδραση των ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος ταχύτητας.....	51
2.2. Μηχανική αποτελεσματικότητα κατά την επιτάχυνση στο τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας.....	56
2.2.1. Οριζόντιο προφίλ δύναμης – ταχύτητας.....	58
2.2.1.1. Μία απλή μέθοδος για τον καθορισμό του οριζόντιου προφίλ δύναμης – ταχύτητας.....	59
2.2.1.1.1. Βιομηχανικό μοντέλο της μεθόδου.....	61
2.2.1.1.2. Εγκυρότητα της μεθόδου.....	63
2.2.1.1.3. Αξιοπιστία της μεθόδου.....	65
2.2.1.2. Οριζόντιο προφίλ δύναμης – ταχύτητας και βέλτιστο φορτίο προπόνησης	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	69
3.1. Μεθοδολογία πρώτης μελέτης.....	69
3.1.1. Ερευνητικός σχεδιασμός.....	69
3.1.2. Συμμετέχοντες.....	69
3.1.3. Περιγραφή των διαδικασιών.....	70
3.1.3.1. Εξοικείωση με τις ασκήσεις ενεργοποίησης.....	70
3.1.3.2. Πειραματική διαδικασία.....	71
3.1.4. Περιγραφή των οργάνων μέτρησης.....	71
3.1.4.1. Μέτρηση ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών.....	71
3.1.4.2. Καταγραφή του τρεξίματος μέγιστης ταχύτητας.....	72
3.1.4.3. Υπολογισμός των κινηματικών χαρακτηριστικών του τρεξίματος.....	72
3.1.4.4. Υπολογισμός του οριζόντιου προφίλ δύναμης – ταχύτητας.....	73
3.1.5. Στατιστική ανάλυση.....	73
3.2. Μεθοδολογία δεύτερης μελέτης.....	74
3.2.1. Ερευνητικός σχεδιασμός.....	74
3.2.2. Συμμετέχοντες.....	74
3.2.3. Περιγραφή των διαδικασιών.....	75
3.2.3.1. Αρχικές μετρήσεις.....	75
3.2.3.2. Εξοικείωση με την άσκηση ενεργοποίησης.....	75
3.2.3.3. Πειραματική διαδικασία.....	76
3.2.4. Περιγραφή των οργάνων μέτρησης.....	76
3.2.4.1. Μέτρηση ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών.....	76
3.2.4.2. Καταγραφή του τρεξίματος μέγιστης ταχύτητας.....	76
3.2.4.3. Υπολογισμός των κινηματικών χαρακτηριστικών του τρεξίματος.....	77
3.2.4.4. Υπολογισμός του οριζόντιου προφίλ δύναμης – ταχύτητας.....	77
3.2.4.5. Υπολογισμός του βέλτιστου φορτίου.....	77
3.2.5. Στατιστική ανάλυση.....	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	79
4.1. Αποτελέσματα πρώτης μελέτης.....	79
4.1.1. Επίδοση στα 30 m τρεξίματος ταχύτητας.....	79
4.1.2. Κινηματικά χαρακτηριστικά.....	81
4.1.3. Μηχανικά χαρακτηριστικά.....	86
4.2. Αποτελέσματα δεύτερης μελέτης.....	88
4.2.1. Επίδοση στα 30 m τρεξίματος ταχύτητας.....	88
4.2.2. Κινηματικά χαρακτηριστικά.....	89
4.2.3. Μηχανικά χαρακτηριστικά.....	93
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	95
5.1. Συζήτηση πρώτης μελέτης.....	95
5.2. Συζήτηση δεύτερης μελέτης.....	98
5.3. Συμπεράσματα.....	101
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	103
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	113
Παράρτημα 1. Δήλωση συγκατάθεσης για την πρώτη μελέτη.....	113
Παράρτημα 2. Δήλωση συγκατάθεσης για τη δεύτερη μελέτη.....	116
Παράρτημα 3. Έντυπο καταγραφής δεδομένων.....	119

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Σύνοψη των βασικών χαρακτηριστικών των μελετών που εξέτασαν την άμεση επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων στη φάση επιτάχυνσης του τρεξίματος ταχύτητας.....	38
Πίνακας 2.2. Ατομικές επιδόσεις και μέσος όρος επιδόσεων στο αρχικό sprint και στο sprint μετά την παρέμβαση και διαφορά ανάμεσα στις επιδόσεις μετά – πριν (Williams et al., 2020).....	45
Πίνακας 2.3. Σύνοψη των βασικών χαρακτηριστικών των μελετών που εξέτασαν την άμεση επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στη φάση επιτάχυνσης του τρεξίματος ταχύτητας.....	48
Πίνακας 2.4. Σύνοψη των βασικών χαρακτηριστικών των μελετών που εξέτασαν την άμεση επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος.....	54
Πίνακας 2.5. Μέσος όρος \pm SD των μηχανικών μεταβλητών και σύγκριση μεταξύ των δεδομένων των δύο μεθόδων (Morin et al., 2019).....	65
Πίνακας 2.6. Μέσος όρος \pm SD του συντελεστή διακύμανσης, αλλαγές στον μέσο και στο τυπικό σφάλμα των μετρήσεων ανάμεσα σε 2 προσπάθειες (Samozino et al., 2016).....	66
Πίνακας 4.1. Μέσοι όροι \pm SD του χρόνου εκτέλεσης του sprint 30 m ανά 5 m και για τις τρεις συνθήκες.....	80
Πίνακας 4.2. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση στην συνθήκη ελέγχου.....	81
Πίνακας 4.3. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση στην συνθήκη OAB.....	82
Πίνακας 4.4. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση στην συνθήκη OMAB.....	83
Πίνακας 4.5. Μέσοι όροι \pm SD των μηχανικών μεταβλητών των sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση και για τις τρεις συνθήκες.....	87
Πίνακας 4.6. Μέσοι όροι \pm SD του χρόνου εκτέλεσης του sprint 30 m ανά 5 m και για τις δύο συνθήκες.....	88
Πίνακας 4.7. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση για τη συνθήκη ελέγχου.....	90
Πίνακας 4.8. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση στην πειραματική συνθήκη.....	91
Πίνακας 4.9. Μέσοι όροι \pm SD των μηχανικών μεταβλητών των sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση και για τις δύο συνθήκες.....	93

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Σύμφωνα με το φαινόμενο κλίμακας, οι χαμηλής έντασης διεγέρσεις του μυός οδηγούν σε προοδευτική ενίσχυση της παραγόμενης τάσης (προσαρμοσμένο από Macintosh & Rassier, 2002).....	8
Σχήμα 2.2. Παράδειγμα ΜΔΕ (Sale, 2002).....	9
Σχήμα 2.3. Γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών πριν, κατά τη διάρκεια, αμέσως μετά και μετά από 3 – 6 min από εκούσια μέγιστη ισομετρική σύσπαση (Mahlfeld et al., 2004).....	12
Σχήμα 2.4. Το αντανakλαστικό – Η και ο κυματισμός – Μ (προσαρμοσμένο από Mezzarane et al., 2013).....	13
Σχήμα 2.5. Η μέγιστη ηλεκτρικά προκλητή σύσπαση και το εύρος του κυματισμού – Μ 5 min ύστερα από 10 s μέγιστης ισομετρικής εκούσιας συστολής (Hamada et al., 2000).....	15
Σχήμα 2.6. Υποθετικό μοντέλο της σχέσης ανάμεσα στη ΜΔΕ και την κούραση ύστερα από ένα πρωτόκολλο ενεργοποίησης (Tillin & Bishop, 2009).....	17
Σχήμα 2.7. Ποσοστιαίες μεταβολές στο άλμα με προδιάταση στον χρόνο αποκατάστασης σε σχέση με τις αρχικές τιμές (Bogdanis et al., 2014).....	21
Σχήμα 2.8. Η μέγιστη παραγωγή ισχύος των κάτω άκρων και του άνω κορμού σε 7 χρονικά σημεία μετά από άσκηση ενεργοποίησης υψηλής έντασης (Kilduff et al., 2007).....	23
Σχήμα 2.9. Η ισχύς σε απροπόνητους, προπονημένους και αθλητές ύστερα από άμεση, μικρή, μέτρια και μεγάλη περίοδο αποκατάστασης από την άσκηση ενεργοποίησης (Wilson et al., 2013).....	24
Σχήμα 2.10. Ποσοστιαία μεταβολή της επίδοσης στο άλμα από κάθισμα σε σχέση με την αρχική μέτρηση στους δυνατότερους και πιο αδύναμους δοκιμαζόμενους (Seitz et al., 2014).....	26
Σχήμα 2.11. Α) συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού της περιοχής των μυϊκών ινών τύπου II και της ριπτικής απόδοσης, Β) ποσοστό αλλαγής στη ριπτική απόδοση στους δοκιμαζόμενους με ποσοστό περιοχής των μυϊκών ινών τύπου II < 55% και > 55% (Terzis et al., 2009).....	27
Σχήμα 2.12. Η μέση ± τυπική απόκλιση (SD) ταχύτητα του sprint σε διαφορετικές χρονικές στιγμές στα 10 και 20 m (Turner et al., 2015).....	32
Σχήμα 2.13. Ατομικές αποκρίσεις των δοκιμαζομένων στα 3 διαφορετικά πρωτόκολλα στα 20 m sprint (Byrne et al., 2014).....	33
Σχήμα 2.14. Ο χρόνος στα 0 – 20 και 20 – 40 m sprint σε αθλητές στίβου και σε ποδοσφαιριστές στις συνθήκες ελέγχου και παρέμβασης (Vanderka et al., 2016).....	35
Σχήμα 2.15. Ατομικές αλλαγές στην επίδοση σε σύγκριση με τις τιμές της συνθήκης ελέγχου (Till & Cooke, 2009).....	36
Σχήμα 2.16. Οι μεγαλύτερες αλλαγές στον χρόνο του sprint ύστερα από έλξη έλκηθρου με φορτίο 75 και 150% της ΣΜ (Winwood et al., 2016).....	43
Σχήμα 2.17. Ποσοστιαίες αλλαγές στον χρόνο του sprint ύστερα από ώθηση έλκηθρου με φορτίο 75 και 125% της ΣΜ (Seitz et al., 2017).....	44

Σχήμα 2.18. Οι σχέσεις δύναμης – ταχύτητας και ισχύος ταχύτητας (προσαρμοσμένο από Hicks et al., 2019).....	58
Σχήμα 2.19. Σχέσεις δύναμης – ταχύτητας, ισχύος – ταχύτητας και RF – ταχύτητας που παρατηρούνται και με τις δύο μεθόδους για έναν τυπικό δοκιμαζόμενο (Samozino et al., 2016).....	64
Σχήμα 2.20. Γραφική αναπαράσταση των σχέσεων δύναμης – ταχύτητας και ισχύος ταχύτητας κατά το τρέξιμο με έλξη έλκηθρου με αυξανόμενο φορτίο (Cross et al., 2017b).....	67
Σχήμα 3.1. Σχηματική απεικόνιση του πειραματικού σχεδιασμού της πρώτης μελέτης.....	71
Σχήμα 3.2. Σχηματική απεικόνιση της κινηματογράφησης των sprint.....	72
Σχήμα 3.3. Σχηματική απεικόνιση του πειραματικού σχεδιασμού της δεύτερης μελέτης.....	76
Σχήμα 3.4. Παράδειγμα υπολογισμού του βέλτιστου φορτίου για έναν δοκιμαζόμενο στην άσκηση της έλξης έλκηθρου.....	78
Σχήμα 4.1. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση για τη συνθήκη ΕΛ.....	84
Σχήμα 4.2. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση για τη συνθήκη ΟΑΒ.....	85
Σχήμα 4.3. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση για τη συνθήκη ΟΜΑΒ.....	85
Σχήμα 4.4. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση και για τη συνθήκη ΕΛ.....	92
Σχήμα 4.5. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση και για τη συνθήκη ΠΕ.....	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1. Το μόριο της μυοσίνης.....	10
Εικόνα 2.2. Εικόνα υπερήχου ενός πτεροειδούς μυός (Ema et al., 2016).....	11
Εικόνα 2.3. Σχηματική αναπαράσταση των εξωτερικών δυνάμεων που εφαρμόζονται σε έναν αθλητή κατά τη φάση επιτάχυνσης στο τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας (προσαρμοσμένο από Morin & Samozino, 2018).....	56
Εικόνα 3.1. Α) οριζόντια αλματικά βήματα με εναλλαγή ποδιών, Β) οριζόντια μονοποδικά αλματικά βήματα.....	70

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

kg:	Μονάδα μέτρησης μάζας, κιλό
cm, m, yd:	Μονάδα μέτρησης μήκους σε εκατοστά, μέτρα και γιάρδες
s, min:	Μονάδα μέτρησης χρόνου σε δευτερόλεπτα και λεπτά
m·s⁻¹:	Μονάδα μέτρησης ταχύτητας σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο
N:	Μονάδα μέτρησης δύναμης, Newton
ΣΜ:	Σωματική μάζα
ΜΔΕ:	Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση
MLC – 2:	Ρυθμιστική ελαφριά αλυσίδα μουσίνης
Ca²⁺:	Ιόντα ασβεστίου
ΜΙΣ:	Μέγιστη εκούσια ισομετρική σύσπαση
ΗΠΣ:	Ηλεκτρικά προκλητή σύσπαση
ΜΕ:	Μέγιστη επανάληψη
ΚΜΣ:	Κέντρο μάζας σώματος
ΔΑΕ:	Δύναμη αντίδρασης του εδάφους
F:	Δύναμη
v:	Ταχύτητα
P:	Ισχύς
F – v:	Σχέση δύναμης – ταχύτητας
P – v:	Σχέση ισχύος – ταχύτητας
F – v – P:	Σχέση δύναμης – ταχύτητας – ισχύος
F₀:	Θεωρητική μέγιστη δύναμη
v₀:	Θεωρητική μέγιστη ταχύτητα
S_{fv}:	Κλίση της σχέσης δύναμης – ταχύτητας
P_{max}:	Μέγιστη παραγωγή ισχύος
RF:	Μηχανική αποτελεσματικότητα

D_{RF}:	Ρυθμός μείωσης της μηχανικής αποτελεσματικότητας
F_{opt}:	Βέλτιστη δύναμη που εμφανίζεται η P _{max}
v_{opt}:	Βέλτιστη ταχύτητα που εμφανίζεται η P _{max}
OAB:	Οριζόντια αλματικά βήματα
OMAB:	Οριζόντια μονοποδικά αλματικά βήματα
ΕΛ:	Συνθήκη ελέγχου
ΠΕ:	Πειραματική συνθήκη
SD:	Τυπική απόκλιση
ES:	Μέγεθος επίδρασης
ICC:	Δείκτης ενδοταξικής συσχέτισης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με το φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (ΜΔΕ), η μυϊκή απόδοση σε εκρηκτικές κινήσεις μπορεί να ενισχυθεί άμεσα και βραχυπρόθεσμα λόγω της προηγηθείσας μυϊκής δραστηριότητας (Hodgson et al., 2005; Robbins, 2005). Η εκτέλεση μίας άσκησης ενεργοποίησης προκαλεί την εμφάνιση τόσο της κόπωσης, όσο και της ΜΔΕ (Rassier & Macintosh, 2000). Η επικράτηση της κόπωσης ή της ΜΔΕ έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση ή την ενίσχυση της απόδοσης, αντίστοιχα (Tillin & Bishop, 2009). Ως ασκήσεις ενεργοποίησης έχουν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρικά προκλητές συσπάσεις (Rassier & Macintosh, 2000) και εκούσιες ισομετρικές (Hamada et al., 2000) και δυναμικές μυϊκές συστολές, συμπεριλαμβανομένων των ασκήσεων με αντιστάσεις (Sotiropoulos et al., 2010) και των πλειομετρικών ασκήσεων (Turner et al., 2015).

Αρκετές μελέτες έχουν προτείνει πως υπάρχουν δύο βασικοί φυσιολογικοί μηχανισμοί που παρουσιάζονται είτε σε μυϊκό ή σε νευρικό επίπεδο για την εξήγηση του φαινομένου της ΜΔΕ. Σύμφωνα με τον μηχανισμό της φωσφορυλίωσης των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης, το σύμπλεγμα της μυοσίνης και της ακτίνης καθίσταται πιο ευαίσθητο στα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) που απελευθερώνονται από το σαρκοπλασματικό δίκτυο, αυξάνοντας τον ρυθμό της μυϊκής συστολής (Hodgson et al., 2008). Από την άλλη πλευρά, η εκτέλεση μίας άσκησης ενεργοποίησης είναι πιθανό να προκαλεί αύξηση της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας (Hodgson et al., 2005). Ωστόσο, υπάρχουν στοιχεία πως η ενίσχυση της μυϊκής απόδοσης ίσως οφείλεται και σε αλλαγές που προκαλούνται στη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών, ύστερα από την εκτέλεση μίας άσκησης ενεργοποίησης (Tillin & Bishop, 2009). Κατά την εμφάνιση της ΜΔΕ, υπάρχει άμεση βελτίωση των παραμέτρων που καθορίζουν την απόδοση σε εκρηκτικές κινήσεις, όπως η ισχύς, η δύναμη και η ταχύτητα (Chatzopoulos et al., 2007; Kilduff et al., 2007; Bullock & Comfort, 2011). Η ενίσχυση των παραμέτρων αυτών συμβάλλει στη βραχυπρόθεσμη βελτίωση των επιδόσεων σε εκρηκτικές αθλητικές δραστηριότητες, όπως τα άλματα, οι ρίψεις και τα sprint (Gourgoulis et al., 2003; Terzis et al., 2009; Turner et al., 2015).

Παρόλο που αρκετές μελέτες έχουν παρουσιάσει τη θετική επίδραση των ασκήσεων ενεργοποίησης στη μυϊκή απόδοση (Chen et al., 2013; Byrne et al., 2014; Seitz et al., 2014; Williams et al., 2020), άλλες μελέτες απέτυχαν να δείξουν αυτή τη σχέση (Till & Cooke, 2009; Whelan et al., 2014). Τα αντικρουόμενα αποτελέσματα μπορούν να αποδοθούν στις μεθοδολογικές διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στις έρευνες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης αλλά και των δοκιμαζομένων. Η άσκηση ενεργοποίησης χαρακτηρίζεται από τον συνολικό όγκο, την ένταση και το είδος της μυϊκής σύσπασης, αλλά και από τον χρόνο αποκατάστασης ανάμεσα στην άσκηση ενεργοποίησης και τη δοκιμασία αξιολόγησης της απόδοσης (Robbins, 2005; Tillin & Bishop, 2009). Ο όγκος, η ένταση και ο χρόνος αποκατάστασης για την εξασθένηση της κόπωσης επηρεάζονται από το επίπεδο των δοκιμαζομένων (Wilson et al., 2013; Seitz & Haff, 2015). Η μέγιστη ένταση στην άσκηση ενεργοποίησης ίσως είναι πιο αποτελεσματική στα άτομα με μεγαλύτερη

προπονητική εμπειρία και μυϊκή δύναμη, ενώ η ΜΔΕ μπορεί να εμφανιστεί με μεγαλύτερο όγκο και σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα σε αυτά τα άτομα σε σχέση με τους απροπόνητους (Wilson et al., 2013; Seitz & Haff, 2015). Επιπλέον, φαίνεται πως τα άτομα με μεγαλύτερο επίπεδο δύναμης και υψηλότερο ποσοστό μυϊκών ινών ταχείας συστολής είναι πιθανό να επωφεληθούν σε μεγαλύτερο βαθμό από τη ΜΔΕ (Sale, 2002; Seitz & Haff, 2015).

Σε πολλά ατομικά και ομαδικά αθλήματα η ικανότητα γρήγορης επιτάχυνσης αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την απόδοση. Αρκετές μελέτες έχουν παρουσιάσει τη θετική επίδραση της ΜΔΕ στη μυϊκή απόδοση κατά το sprint μικρής διάρκειας, χρησιμοποιώντας ως ασκήσεις ενεργοποίησης ασκήσεις αντιστάσεων (Chatzopoulos et al., 2007), τρέξιμο με αντίσταση (Winwood et al., 2016) και πλειομετρικές ασκήσεις (Turner et al., 2015). Τα καθίσματα, κυρίως με υψηλά φορτία, αποτελούν δημοφιλή άσκηση για τη βελτίωση της απόδοσης σε sprint 5 – 40 m (Healy & Comyns, 2017). Ωστόσο, είναι πιθανό πως οι αποκρίσεις στη ΜΔΕ μπορεί να εξαρτώνται από την ομοιότητα του βιομηχανικού μοντέλου της άσκησης ενεργοποίησης με αυτό του sprint (Ng et al., 2020). Επομένως, οι εξειδικευμένες πλειομετρικές ασκήσεις και το τρέξιμο με αντίσταση ίσως είναι πιο αποτελεσματικές για την ενίσχυση της μυϊκής απόδοσης κατά το sprint (Healy & Comyns, 2017).

Κατά την εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων παράγεται μέγιστη δύναμη στο συντομότερο χρόνο, ενώ με τον κύκλο διάτασης – βράχυνσης των πρωταγωνιστών μυών αξιοποιείται η αποθηκευμένη ελαστική ενέργεια, αυξάνοντας έτσι τη συνολική παραγωγή ισχύος (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974; Chu, 1998). Η μεγαλύτερη επιστράτευση των μυϊκών ινών τύπου II (ή ταχείας συστολής) και τα χαμηλότερα παραγόμενα επίπεδα κόπωσης, τις καθιστούν αποτελεσματικές για την άμεση βελτίωση της απόδοσης κατά το sprint (Seitz & Haff, 2015). Επιπλέον, οι εξειδικευμένες για το sprint πλειομετρικές ασκήσεις που τονίζουν την οριζόντια ώθηση κατά την εκτέλεση της άσκησης, ίσως επιφέρουν καλύτερα αποτελέσματα στην πρόκληση ΜΔΕ (Turner et al., 2015; Dello Iacono et al., 2016). Οι μελέτες δείχνουν πως η μεγαλύτερη θετική επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων εμφανίζεται κυρίως στα 0 – 20 m της φάσης επιτάχυνσης του sprint και σε σύντομο χρονικό διάστημα (Byrne et al., 2014; Turner et al., 2015; Vanderka et al., 2016; Abade et al., 2017; Creekmur et al., 2017; Piper et al., 2020).

Το τρέξιμο με αντίσταση, χρησιμοποιώντας συσκευές αντίστασης, αλεξίπτωτα, γιλέκα με πρόσθετο φορτίο και έλκηθρα, αποτελεί μία συνήθη μέθοδο προπόνησης για την ενίσχυση της απόδοσης κατά τη φάση επιτάχυνσης στο sprint (Cahill et al., 2019). Ως άσκηση ενεργοποίησης, το τρέξιμο με έλκηθρο προκαλεί μεγαλύτερη νευρική ενεργοποίηση των κινητικών μονάδων που απαιτούνται κατά την επιτάχυνση στο sprint, με αποτέλεσμα την άμεση βελτίωση της απόδοσης (Lockie et al., 2012; Winwood et al., 2016). Παλαιότερες μελέτες υποστήριζαν πως επιβαρύνσεις > 13% της σωματικής μάζας (ΣΜ) θα προκαλούσαν αρνητικές συνέπειες στην τεχνική του τρεξίματος (Cahill et al., 2019). Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες δείχνουν πως τα βαρύτερα φορτία προκαλούν μεγαλύτερη παραγωγή οριζόντιας δύναμης (Kawamori et al., 2014) με αποτέλεσμα την άμεση βελτίωση

της απόδοσης κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint (Winwood et al., 2016; Jarvis et al., 2017; Seitz et al., 2017).

Η απόδοση κατά τη φάση επιτάχυνσης στο sprint, εξαρτάται από μηχανικούς παράγοντες και τα κινητικά χαρακτηριστικά του τρέξιματος, όπως το μέγεθος, ο προσανατολισμός και η εφαρμογή των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους (Hicks et al., 2020). Η ικανότητα της αποτελεσματικής εφαρμογής της δύναμης των κάτω άκρων σε οριζόντια κατεύθυνση καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, αναφέρεται ως μηχανική αποτελεσματικότητα και σχετίζεται σημαντικά με την απόδοση στο sprint (Morin et al., 2011; Samozino et al., 2016). Η ικανότητα αυτή διαφέρει σε αθλητές διαφορετικών επιπέδων, καθώς οι πιο προπονημένοι αθλητές παράγουν μεγαλύτερη οριζόντια δύναμη και ώθηση σε ολόκληρη τη φάση επιτάχυνσης σε σύγκριση με τους αθλητές χαμηλότερου επιπέδου (Morin et al., 2015).

Η ικανότητα για αποτελεσματική παραγωγή οριζόντιας δύναμης μπορεί να προσδιοριστεί από τις σχέσεις δύναμης – ταχύτητας – ισχύος (Samozino et al., 2016; Hicks et al., 2020). Σύμφωνα με μία νέα έγκυρη και αξιόπιστη απλή μέθοδο, το οριζόντιο προφίλ δύναμης – ταχύτητας ($F - v$) ενός αθλητή μπορεί να υπολογιστεί μόνο από ανθρωπομετρικά και χωροχρονικά δεδομένα (Samozino et al., 2016). Η μέθοδος βασίζεται σε ένα μακροσκοπικό μοντέλο που εφαρμόζει τους θεμελιώδεις νόμους της κίνησης στο κέντρο μάζας σώματος (ΚΜΣ) του αθλητή κατά το τρέξιμο στη φάση επιτάχυνσης του sprint (Samozino et al., 2016; Morin & Samozino, 2018) και περιλαμβάνει τη θεωρητική μέγιστη δύναμη (F_0) και ταχύτητα (v_0), τη μέγιστη παραγωγή μηχανικής ισχύος (P_{max}), την αναλογία της οριζόντιας δύναμης της ΔΑΕ και της συνολικής ΔΑΕ (RF), δηλαδή τη μηχανική αποτελεσματικότητα και τον ρυθμό μείωσης του RF με την αύξηση της ταχύτητας κατά την επιτάχυνση στο sprint (D_{RF}) (Morin & Samozino, 2016; Morin & Samozino, 2018).

Η προπόνηση με χρήση έλκηθρου αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο για την ενίσχυση της μηχανικής αποτελεσματικότητας στη φάση επιτάχυνσης του sprint (Hicks et al., 2019). Η μηχανική αποτελεσματικότητα βελτιώνεται άμεσα κατά την έλξη έλκηθρου, ενώ όσο αυξάνεται το φορτίο αυξάνεται και η μηχανική αποτελεσματικότητα (Pantoja et al., 2018). Το φορτίο που χρησιμοποιείται συνήθως καθορίζεται ως ποσοστό της ΣΜ (Whelan et al., 2014; Winwood et al., 2016; Wong et al., 2017). Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη το συντελεστή τριβής που επηρεάζει την ταχύτητα του έλκηθρου (Linthorne & Cooper, 2013). Συνεπώς, ο καθορισμός του φορτίου ως ποσοστό μείωσης της ταχύτητας φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικός (Monaghan & Cochrane, 2020; Williams et al., 2020).

Σε μία πρόσφατη μελέτη, καθορίστηκε το φορτίο στην έλξη έλκηθρου που προκαλεί τη μέγιστη παραγωγή ισχύος, χρησιμοποιώντας το προφίλ $F - v$ και τη γραμμική μείωση της ταχύτητας καθώς το φορτίο αυξάνεται (Cross et al., 2017a). Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως το βέλτιστο φορτίο για την παραγωγή ισχύος αντιστοιχεί σε μείωση της v_0 κατά 50%, ανεξάρτητα από το επίπεδο των δοκιμαζομένων. Μελέτες που εξέτασαν τη μακροχρόνια επίδραση της έλξης έλκηθρου με το βέλτιστο ατομικό φορτίο έδειξαν βελτίωση στον χρόνο

εκτέλεσης στη φάση επιτάχυνσης του sprint (Escobar Álvarez et al., 2020; Morin et al., 2020).

Τα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος, που περιλαμβάνουν το μήκος και τη συχνότητα βήματος και τον χρόνο πτήσης και επαφής με το έδαφος, καθορίζουν την ανάπτυξη της ταχύτητας κατά το τρέξιμο (Lockie et al., 2012). Μελέτες έχουν δείξει πως κατά την έλξη έλκηθρου η ταχύτητα μειώνεται εξαιτίας της μείωσης του μήκους βήματος, της συχνότητας και του χρόνου πτήσης και της αύξησης του χρόνου επαφής με το έδαφος (Cronin et al., 2008; Cahill et al., 2019). Ωστόσο, η προπόνηση με έλξη έλκηθρου για 6 εβδομάδες προκάλεσε ενίσχυση της δρομικής ταχύτητας, κυρίως μέσω της αύξησης του μήκους βήματος (Lockie et al., 2012). Οι μελέτες που έχουν εξετάσει την άμεση επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στα κινηματικά χαρακτηριστικά είναι περιορισμένες και δεν έχουν καταφέρει να δείξουν σημαντικές μεταβολές στις κινηματικές παραμέτρους του επακόλουθου ελεύθερου sprint (Whelan et al., 2014; Jarvis et al., 2017; Van Den Tillaar & Von Heimburg, 2017; Mangine et al., 2019; Monaghan & Cochrane, 2020). Επιπλέον, καμία μελέτη δεν έχει εξετάσει την άμεση επίδραση του τρεξίματος με βαρύ φορτίο στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος σε ολόκληρη τη φάση επιτάχυνσης. Παρομοίως, προηγούμενη μελέτη δεν βρήκε άμεση αλλαγή στα κινηματικά χαρακτηριστικά κατά την φάση επιτάχυνσης ύστερα από πλειομετρικές ασκήσεις (Kümmel et al., 2016), ενώ μακροχρόνια έχει βρεθεί αύξηση του μήκους βήματος (Lockie et al., 2012).

1.1. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος

Η οριζόντια εφαρμογή της δύναμης κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint και οι αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την απόδοση κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint. Τα ερευνητικά δεδομένα σχετικά με την άμεση επίδραση εξειδικευμένων ασκήσεων για το sprint στην απόδοση κατά τη φάση επιτάχυνσης είναι περιορισμένα, ενώ δεν υπάρχουν στοιχεία για τις πιθανές αλλαγές στα μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος. Επιπλέον, είναι λιγοστές οι μελέτες που έχουν εξετάσει τις άμεσες αλλαγές στις κινηματικές μεταβλητές του τρεξίματος ύστερα από πρωτόκολλα ΜΔΕ. Τα οριζόντια αλματικά βήματα αποτελούν μία πλειομετρική άσκηση βιομηχανικά όμοια με το sprint, η οποία δίνει έμφαση στην οριζόντια ώθηση. Επιπλέον, το τρέξιμο με αντίσταση παρουσιάζει ομοιότητες με το sprint στο μοτίβο της κίνησης και προκαλεί αύξηση της οριζόντιας παραγωγής δύναμης. Μάλιστα, το ατομικό φορτίο που προκαλεί μείωση της v_0 κατά 50% φαίνεται πως μεγιστοποιεί τη παραγωγή ισχύος κατά την έλξη έλκηθρου.

1.2. Σκοπός της έρευνας

Ο σκοπός της μελέτης ήταν η διερεύνηση της άμεσης επίδρασης των οριζόντιων αλματικών βημάτων (με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά) και του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου με το βέλτιστο ατομικό φορτίο (50% μείωση της v_0) στην επίδοση στα 30 m επιτάχυνσης και τις ενδιάμεσες αποστάσεις ανά 5 m. Επίσης,

εξετάστηκαν οι άμεσες αλλαγές στα κινηματικά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint.

1.3. Σημασία της έρευνας

Η επίδοση στους δρόμους ταχύτητας εξαρτάται από την απόδοση κατά τη φάση επιτάχυνσης, όπου μικρές αλλαγές μπορούν να είναι κρίσιμες για το αποτέλεσμα ενός αγώνα. Τα ευρήματα της μελέτης θα συνεισφέρουν στο καθορισμό των πρωτοκόλλων ενεργοποίησης που μπορούν να προκαλέσουν άμεση θετική επίδραση στην απόδοση κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint. Επίσης, θα καθοριστεί αν η έλξη έλκηθρου με βαριά φορτία και οι πλειομετρικές ασκήσεις επιφέρουν άμεσες μεταβολές στα τεχνικά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος.

1.4. Ερευνητικά ερωτήματα

Πρώτο ερευνητικό ερώτημα: Η εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων (με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά) θα προκαλέσει αλλαγή στην επίδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint;

Δεύτερο ερευνητικό ερώτημα: Η εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων (με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά) θα προκαλέσει αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint;

Τρίτο ερευνητικό ερώτημα: Η εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων (με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά) θα προκαλέσει αλλαγές στο προφίλ $F - v$ των αθλητών κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint;

Τέταρτο ερευνητικό ερώτημα: Η εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου θα προκαλέσει αλλαγή στην επίδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint;

Πέμπτο ερευνητικό ερώτημα: Η εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου θα προκαλέσει αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint;

Έκτο ερευνητικό ερώτημα: Η εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου θα προκαλέσει αλλαγές στο προφίλ $F - v$ των αθλητών κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint;

1.5. Ερευνητικές υποθέσεις

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία διατυπώνονται οι εξής υποθέσεις:

Πρώτη ερευνητική υπόθεση: Η εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων (με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά) θα προκαλέσει βελτίωση στην επίδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint.

Δεύτερη ερευνητική υπόθεση: Η εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων (με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά) δεν θα προκαλέσει αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint.

Τρίτη ερευνητική υπόθεση: Η εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων (με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά) δεν θα προκαλέσει αλλαγές στο προφίλ $F - v$ των αθλητών κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint.

Τέταρτη ερευνητική υπόθεση: Η εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου θα προκαλέσει βελτίωση στην επίδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint.

Πέμπτη ερευνητική υπόθεση: Η εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου δεν θα προκαλέσει αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint.

Έκτη ερευνητική υπόθεση: Η εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου δεν θα προκαλέσει αλλαγές στο προφίλ $F - v$ των αθλητών κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint.

1.6. Οριοθετήσεις και περιορισμοί

Οι οριοθετήσεις της μελέτης είναι οι εξής:

- Στη μελέτη συμμετείχαν αθλητές και αθλήτριες των αγωνισμάτων ταχύτητας του κλασικού αθλητισμού.
- Οι δοκιμαζόμενοι δεν είχαν πρόσφατο τραυματισμό ή κάποιον ορθοπεδικό περιορισμό.
- Εξετάστηκε μόνο η άμεση επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων και του τρεξίματος με αντίσταση.

Οι περιορισμοί της μελέτης που προκύπτουν είναι:

- Τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευτούν σε πληθυσμιακές ομάδες με διαφορετικά χαρακτηριστικά (ηλικία, προπονητικό επίπεδο κλπ).
- Δεν ήταν δυνατό να ελεγχτεί ο τρόπος ζωής των δοκιμαζομένων (πχ φαγητό, ύπνος κλπ).
- Δεν μελετήθηκαν οι φυσιολογικοί μηχανισμοί που προκαλούν τη ΜΔΕ.
- Η μέθοδος των Samozino και συν. (2016) για τον καθορισμό του οριζόντιου προφίλ $F - v$ έχει περιορισμούς, όπως η εκτίμηση του οριζόντιου αεροδυναμικού συντελεστή τριβής μόνο από το σωματικό ανάστημα, τη ΣΜ και έναν σταθερό συντελεστή οπισθέλκουσας δύναμης και η παραδοχή της σχεδόν μηδενικής κατακόρυφης επιτάχυνσης στη φάση επιτάχυνσης του sprint.
- Για τον υπολογισμό των κινηματικών χαρακτηριστικών ήταν απαραίτητος ο καθορισμός του κατάλληλου χρονικού σημείου της αποκόλλησης και της πρώτης επαφής του κάτω άκρου με το έδαφος.

1.7. Περιγραφή των όρων

Άσκηση ενεργοποίησης: Η άσκηση που χρησιμοποιείται για την πρόκληση της ΜΔΕ.

Φάση επιτάχυνσης: Τα πρώτα 30 m ενός sprint.

Μηχανική αποτελεσματικότητα: Η αποτελεσματική εφαρμογή της δύναμης των κάτω άκρων σε οριζόντια κατεύθυνση.

Βέλτιστο φορτίο: Το ατομικό φορτίο στην έλξη έλκηθρου που προκαλεί μέγιστη παραγωγή ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση

Η παραγωγή δύναμης και ισχύος ενός σκελετικού μυός αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την αθλητική απόδοση, ιδιαίτερα σε κινητικές δραστηριότητες που απαιτούν μεγάλη ταχύτητα και εκρηκτικότητα (Newton & Kraemer, 1994). Οι ικανότητες αυτές εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά του ενεργοποιημένου μυός, π.χ. το μέγεθος της εγκάρσιας επιφάνειάς του και ο τύπος των μυϊκών ινών (Cormie et al., 2011). Ωστόσο, η απόδοση ενός μυός μπορεί να επηρεαστεί και από τη μυϊκή δραστηριότητα που έχει προηγηθεί (Hodgson et al., 2005). Μία έντονη μυϊκή δραστηριότητα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση ή βελτίωση της μυϊκής απόδοσης σε σχέση με το αρχικό επίπεδο πριν την εκτέλεση της δραστηριότητας (Tillin & Bishop, 2009). Στην πρώτη περίπτωση επικρατεί το φαινόμενο της μυϊκής κόπωσης, ενώ στη δεύτερη προκαλείται η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση.

Ως ΜΔΕ ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η μυϊκή απόδοση βελτιώνεται βραχυπρόθεσμα, ύστερα από έντονη εκούσια ή ηλεκτρικά προκλητή μυϊκή σύσπαση (Robbins, 2005). Η μυϊκή δραστηριότητα που χρησιμοποιείται για την πρόκληση της ΜΔΕ χαρακτηρίζεται ως άσκηση ενεργοποίησης και μπορεί να αφορά μέγιστη ισομετρική σύσπαση (Güllich & Schmidtbleicher, 1996) ή δυναμικές ασκήσεις διαφόρων μορφών, όπως πλειομετρικές (Turner et al., 2015) ή ασκήσεις με αντιστάσεις (Kilduff et al., 2007), αλλά και ποικίλων επιβαρύνσεων (Young et al., 1998; Sotiropoulos et al., 2010).

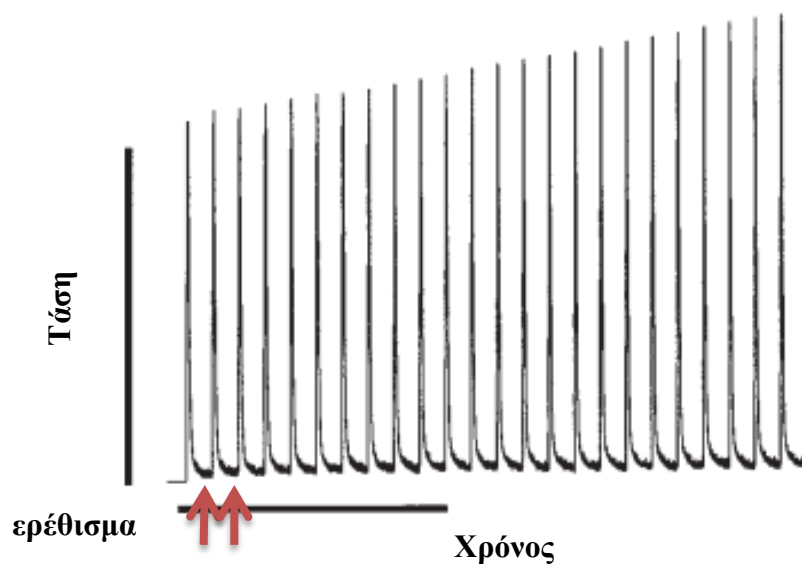
Η ΜΔΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροχρόνια αποτελέσματα. Στην πρώτη περίπτωση, η άσκηση ενεργοποίησης μπορεί να εκτελεστεί στη φάση της προθέρμανσης πριν από την προπόνηση ή την αγωνιστική δραστηριότητα για την παροδική ενίσχυση της μυϊκής απόδοσης (Docherty & Hodgson, 2007). Η μακροχρόνια επίδραση της ΜΔΕ παρουσιάζεται με την εφαρμογή σύνθετης προπόνησης, η οποία περιλαμβάνει μία άσκηση με υψηλή αντίσταση που ακολουθείται από μία πλειομετρική άσκηση με παρόμοιο βιομηχανικό μοντέλο (Robbins, 2005).

2.1.1. Τρόποι επίτευξης της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης

Το φαινόμενο της ΜΔΕ έχει μελετηθεί τόσο σε θηλαστικά ζώα, όσο και σε ανθρώπους (Grange et al., 1993; Güllich & Schmidtbleicher 1996). Επίσης, υπάρχουν διάφοροι τρόποι πρόκλησης ΜΔΕ, είτε σε συνθήκες εργαστηρίου ή σε πραγματικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, η ΜΔΕ μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

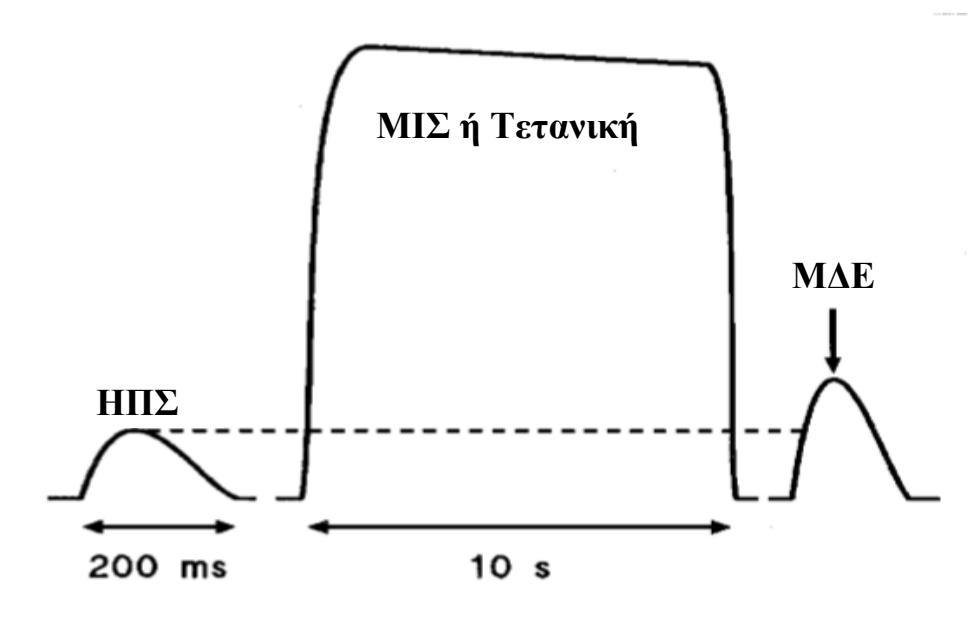
- Με επαναλαμβανόμενες ηλεκτρικά προκλητές μυϊκές συσπάσεις χαμηλής συχνότητας (Σχήμα 2.1), οι οποίες προκαλούν μια προοδευτική αύξηση στη συσταλτική απόκριση των μυών, γνωστή ως φαινόμενο κλίμακας ή staircase effect (MacIntosh & Rassier, 2002).

- Με ηλεκτρικά προκλητή τετανική σύσπαση (Σχήμα 2.2), η οποία προκαλεί βελτίωση της απόδοσης και ονομάζεται μετατετανική διευκόλυνση (Sale, 2002).
- Με μέγιστη εκούσια ισομετρική σύσπαση (ΜΙΣ) (Hamada et al., 2000) (Σχήμα 2.2).
- Με εκούσιες δυναμικές συσπάσεις με μέγιστη ή υπομέγιστη επιβάρυνση (Kilduff et al., 2007; Sotiropoulos et al., 2010).



Σχήμα 2.1. Σύμφωνα με το φαινόμενο κλίμακας, οι χαμηλής έντασης διεγέρσεις του μυός οδηγούν σε προοδευτική ενίσχυση της παραγόμενης τάσης (προσαρμοσμένο από Macintosh & Rassier, 2002).

Η μέτρηση της ΜΔΕ μπορεί να επιτευχθεί ακούσια, με μία ηλεκτρικά προκλητή σύσπαση (ΗΠΣ). Σε αυτή την περίπτωση, η τάση που παράγεται είναι αυξημένη σε σχέση με την τάση που προκύπτει από την ίδια ΗΠΣ που εφαρμόζεται πριν από τη μυϊκή σύσπαση ενεργοποίησης (Stuart et al., 1988). Επίσης, η ΜΔΕ μπορεί να εμφανιστεί σε εκούσιες μυϊκές συσπάσεις εκρηκτικής μορφής, όπως είναι τα άλματα και οι επιταχύνσεις στα sprint, όπου η απόδοση βελτιώνεται σε σχέση με το αρχικό επίπεδο πριν την άσκηση ενεργοποίησης (Chen et al., 2013; Byrne et al., 2014).



Σχήμα 2.2. Παράδειγμα μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (ΜΔΕ). Αρχικά προκαλείται μία ηλεκτρικά προκλητή σύσπαση (ΗΠΣ). Έπειτα, εφαρμόζεται μία δραστηριότητα ενεργοποίησης, όπως μία τετανική ΗΠΣ ή μέγιστη εκούσια ισομετρική σύσπαση (ΜΙΣ). Όταν επαναληφθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα η ΗΠΣ, παρουσιάζεται αύξηση της δύναμης σε σχέση με την αρχική μέτρηση, ως αποτέλεσμα της ΜΔΕ (Sale, 2002).

2.1.2. Πιθανοί μηχανισμοί πρόκλησης μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης

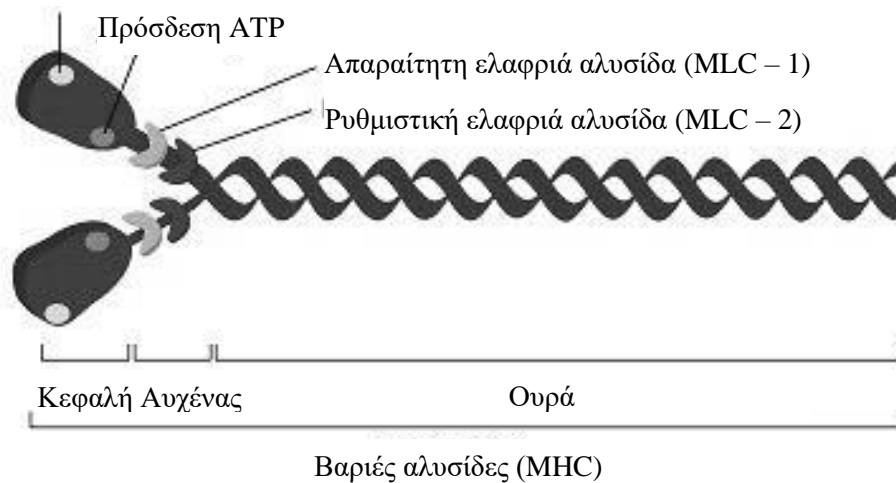
Οι μηχανισμοί που έχουν προταθεί για την πρόκληση της ΜΔΕ παρουσιάζονται είτε σε μυϊκό ή σε νευρικό επίπεδο. Στην πρώτη περίπτωση, η εμφάνιση της ΜΔΕ σχετίζεται με τη φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης και την πιθανή αλλαγή στη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών (Hodgson et al., 2005; Tillin & Bishop, 2009). Από την άλλη πλευρά, η άσκηση ενεργοποίησης μπορεί να προκαλέσει αύξηση της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης (Tillin & Bishop, 2009). Ωστόσο, είναι πιθανό η ΜΔΕ να προκύπτει από τον συνδυασμό μυϊκών και νευρικών μηχανισμών (Tubman et al., 1996).

2.1.2.1. Η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης

Η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης αποτελεί τον επικρατέστερο φυσιολογικό μηχανισμό που προκαλεί τη ΜΔΕ (Hodgson et al., 2008). Το μόριο της μυοσίνης αποτελείται από δύο βαριές αλυσίδες (Myosin Heavy Chains ή ΜΗC), οι οποίες αποτελούνται από την ουρά, τον αυχένα και την κεφαλή (Szczesna, 2003). Σε κάθε αυχένα υπάρχουν δύο ελαφριές αλυσίδες (Myosin Light Chains ή ΜΛC), η απαραίτητη (ΜΛC – 1) και η ρυθμιστική (ΜΛC – 2) ελαφριά αλυσίδα (Εικόνα 2.1). Η ΜΛC – 2 έχει την ικανότητα να φωσφορυλιώνεται μέσω του ενζύμου κινάση, το οποίο ενεργοποιείται όταν τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) που απελευθερώνονται από το σαρκοπλασματικό δίκτυο

κατά τη μυϊκή σύσπαση, δεσμεύονται από την πρωτεΐνη καλμοδουλίνη (Hodgson et al., 2005). Η διαδικασία αυτή προκαλεί δομικές αλλαγές στις κεφαλές της μυοσίνης, οδηγώντας σε αύξηση του ρυθμού σύνδεσης των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης με την ακτίνη (Szczena, 2003; Hodgson et al., 2005). Επιπλέον, η φωσφορυλίωση των MLC-2 έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ευαισθησίας του συμπλέγματος μυοσίνης – ακτίνης στα Ca^{2+} , ενισχύοντας τη μυϊκή απόδοση κατά τις συσπάσεις (Grange et al., 1993; Sweeney et al., 1993). Η μεγαλύτερη θετική επίδραση της φωσφορυλίωσης των MLC – 2 εμφανίζεται όταν τα επίπεδα Ca^{2+} στο μυϊκό κύτταρο είναι σχετικά χαμηλά, όπως σε υπομέγιστες μυϊκές συσπάσεις και σε χαμηλές συχνότητες ηλεκτρικής διέγερσης (Abbate et al., 2000).

Πρόσδεση ακτίνης



Εικόνα 2.1. Το μόριο της μυοσίνης, το οποίο αποτελείται από δύο βαριές αλυσίδες (MHC) καταλήγουν στις κεφαλές. Στον αυχένα βρίσκονται οι δύο ελαφριές αλυσίδες, η απαραίτητη (MLC – 1) και η ρυθμιστική (MLC – 2) ελαφριά αλυσίδα. Στις κεφαλές της μυοσίνης φαίνονται τα σημεία πρόσδεσης με την ακτίνη και το ATP.

Η ταυτόχρονη αύξηση της φωσφορυλίωσης των MLC – 2 και της τάσης της μυϊκής σύσπασης ύστερα από τετανική διέγερση έχει αναφερθεί σε αρκετές μελέτες με θηλαστικά ζώα (Grange et al., 1993; Szczena et al., 2002). Ωστόσο, παρόμοιες έρευνες σε ανθρώπινους σκελετικούς μύες είναι περιορισμένες. Οι Stuart και συν. (1988) μέτρησαν τον βαθμό φωσφορυλίωσης των MLC – 2 και την τάση της ΗΠΣ ύστερα από ΜΙΣ διάρκειας 10 s. Η μυϊκή βιοψία του έξω πλατύ μηριαίου μυός έδειξε σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας των MLC – 2 σε φώσφορο, η οποία συνοδεύτηκε από σημαντική ενίσχυση της μυϊκής τάσης των εκτεινόντων μυών του γόνατος κατά τη ΜΙΣ.

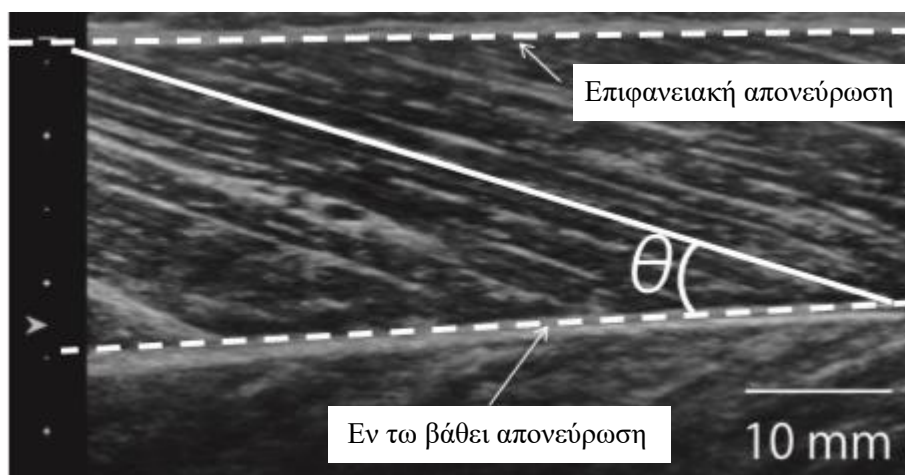
Σε παρόμοια έρευνα, οι Smith & Fry (2007) έλαβαν δείγμα μυϊκής βιοψίας από τον έξω πλατύ μηριαίο μυ και ανέλυσαν την απόδοση των εκτεινόντων μυών του γόνατος πριν και 7 min μετά από 10 s ΜΙΣ. Τα αποτελέσματα, ωστόσο, δεν έδειξαν σημαντικές αλλαγές στη φωσφορυλίωση των MLC – 2 ή στη μυϊκή απόδοση. Όταν εξετάστηκαν ατομικά οι μεταβολές κάθε δοκιμαζόμενου, φάνηκε πως επτά από τους έντεκα δοκιμαζόμενους παρουσίασαν αύξηση της

φωσφορυλίωσης των MLC – 2, ενώ οι υπόλοιποι τέσσερις παρουσίασαν μείωση, χωρίς σημαντικές διαφορές στη μυϊκή απόδοση ανάμεσα στις δύο ομάδες.

Συνεπώς, δεν ανταποκρίνονται όλοι οι δοκιμαζόμενοι με τον ίδιο τρόπο στο μηχανισμό της φωσφορυλίωσης των MLC – 2, καθώς φαίνεται πως το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου II μπορεί να επηρεάσει την ενεργοποίηση (Hamada et al., 2000). Παρόλα αυτά, η σημασία της φωσφορυλίωσης των MLC – 2 στους ανθρώπινους σκελετικούς μύες παραμένει ασαφής, υποδηλώνοντας πως και άλλοι παράγοντες μπορεί να συμβάλλουν σημαντικά στην εμφάνιση της ΜΔΕ.

2.1.2.2. Αλλαγές στη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών

Η γωνία πρόσφυσης αποτελεί χαρακτηριστικό των πτεροειδών μυών και ορίζεται ως η γωνία που δημιουργείται μεταξύ των μυϊκών δεματίων και της μυϊκής απονεύρωσης (Εικόνα 2.2), αντανακλώντας τον προσανατολισμό των μυϊκών ινών σε σχέση με τον τένοντα (Fukunaga et al., 2016). Η δύναμη που μεταφέρεται στους τένοντες από τη σύσπαση των μυϊκών ινών επηρεάζεται από τη γωνία πρόσφυσης, καθώς οι μικρότερες γωνίες παρουσιάζουν μηχανικό πλεονέκτημα (Folland & Williams, 2007).

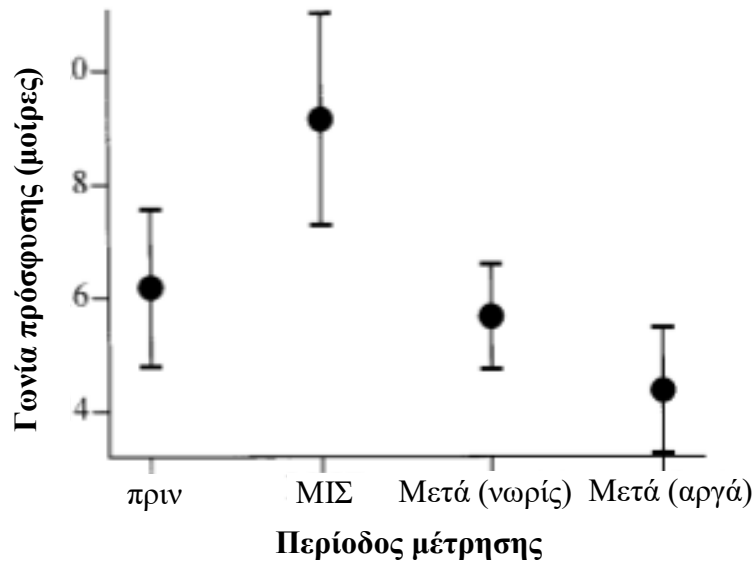


Εικόνα 2.2. Εικόνα υπερήχου ενός πτεροειδούς μύος. Η ευθεία γραμμή υποδηλώνει ένα μυϊκό δεμάτιο και το θ τη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών (Ema et al., 2016).

Στη μελέτη των Mahlfeld και συν. (2004) μετρήθηκε η γωνία πρόσφυσης του έξω πλατύ μηριαίου μύος μέσω υπερήχογραφίας πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από ΜΙΣ διάρκειας 3 s. Η γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών αμέσως μετά τη ΜΙΣ δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές με τη μέτρηση πριν από τη μυϊκή σύσπαση, ενώ 3 – 6 min αργότερα η γωνία μειώθηκε κατά 1.8° σε σχέση με την αρχική μέτρηση (Σχήμα 2.3). Η αλλαγή αυτή ισοδυναμεί με αύξηση της μεταφοράς της δύναμης στους τένοντες κατά 0.9%, η οποία αν και μικρή, είναι πιθανό να συνεισφέρει στην πρόκληση ΜΔΕ.

Σε άλλη έρευνα εξετάστηκε η επίδραση της εκτέλεσης καθισμάτων με διαφορετικές επιβαρύνσεις στη μυϊκή αρχιτεκτονική και την απόδοση ισχύος

(Reardon et al., 2014). Μετρήθηκαν οι γωνίες πρόσφυσης του έξω πλατύ και του ορθού μηριαίου μυός, ενώ για την αξιολόγηση της ισχύος εκτελέστηκε κάθετο άλμα. Κανένα πρωτόκολλο δεν κατάφερε να προκαλέσει βελτίωση στην επίδοση 8 και 20 min ύστερα από την παρέμβαση, όπως επίσης δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στις γωνίες πρόσφυσης των μυϊκών ινών. Συνεπώς, η πιθανότητα οι αλλαγές στη μυϊκή αρχιτεκτονική να συμβάλλουν στη ΜΔΕ χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

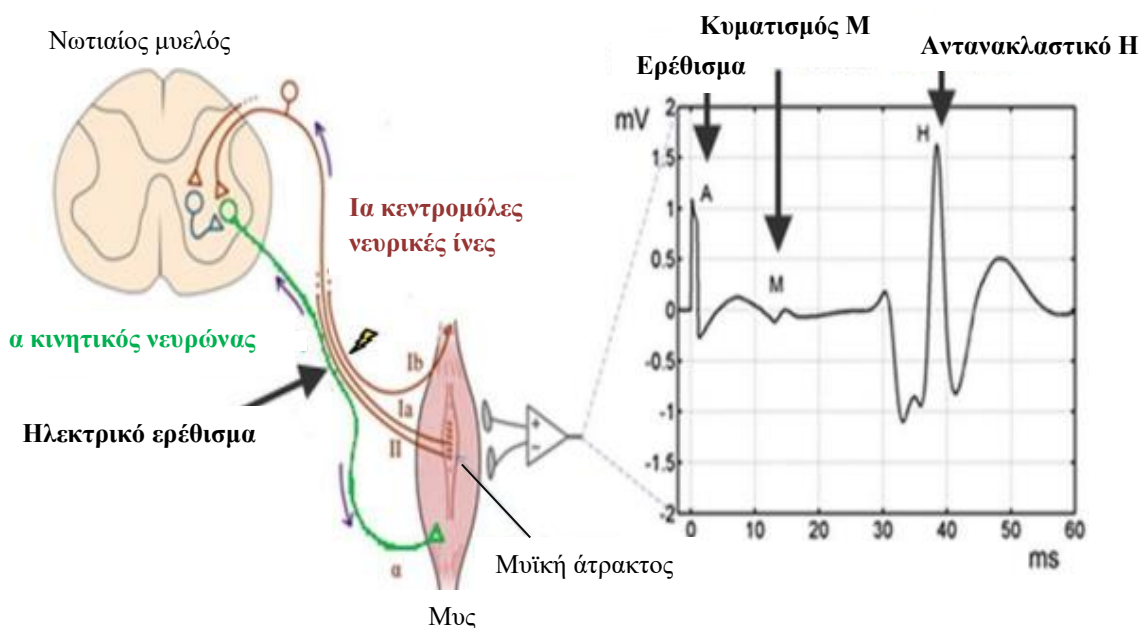


Σχήμα 2.3. Γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών πριν, κατά τη διάρκεια (ΜΙΣ), αμέσως μετά (νωρίς) και 3 – 6 min μετά (αργά) από εκούσια μέγιστη ισομετρική σύσπαση (ΜΙΣ) (Mahlfeld et al., 2004).

2.1.2.3. Αύξηση της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας

Ένας μυς αποτελείται από πολλές κινητικές μονάδες, οι οποίες έχουν διαφορετικό επίπεδο διεγερσιμότητας. Αυτό σημαίνει πως η επιστράτευση κάποιων κινητικών μονάδων απαιτεί πιο ισχυρό ερέθισμα σε σύγκριση με άλλες. Όταν ένα ερέθισμα ξεπεράσει το επίπεδο διεγερσιμότητας μίας κινητικής μονάδας, ανεξάρτητα αν είναι χαμηλό ή υψηλό, διεγείρονται όλες οι μυϊκές ίνες που ανήκουν σε αυτήν (Henneman et al., 1974). Η διέγερση των κινητικών μονάδων γίνεται σύμφωνα με τον νόμο «όλον ή ουδέν», που σημαίνει πως αν μία μυϊκή ίνα διεγερθεί, η ένταση της συστολής της είναι πάντα η ίδια. Επιπλέον, η επιστράτευση των κινητικών μονάδων χαρακτηρίζεται από την «αρχή του μεγέθους», δηλαδή η διέγερση τους γίνεται διαδοχικά, με τις μικρότερες (αργές) να διεγείρονται πρώτες και να ακολουθούν οι μεγαλύτερες (γρήγορες) κινητικές μονάδες (Henneman et al., 1965). Συνεπώς, για να στρατολογηθούν οι γρήγορες μυϊκές ίνες, η ένταση της σύσπασης θα πρέπει να είναι μέγιστη. Η αύξηση της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας, ύστερα από μία άσκηση ενεργοποίησης, μπορεί να επιφέρει αύξηση της μυϊκής δύναμης και ισχύος, και επομένως, βελτίωση της απόδοσης (Tillin & Bishop, 2009).

Για την αξιολόγηση της αύξησης ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας χρησιμοποιείται το αντανακλαστικό Hoffmann ή αντανακλαστικό – H (Palmieri et al., 2004). Το αντανακλαστικό – H καταγράφεται με ηλεκτρομυογράφημα και για την πρόκλησή του απαιτείται μία ΗΠΣ. Με την ηλεκτρική διέγερση το ερέθισμα μεταδίδεται στις κεντρομόλες νευρικές ίνες Ia που ξεκινούν από τη μυϊκή άτρακτο (Σχήμα 2.4). Μέσω των κεντρομόλων νευρικών ινών Ia το δυναμικό δράσης μεταφέρεται στον νωτιαίο μυελό. Εκεί, μέσω συνάψεων, μεταδίδεται στους α – κινητικούς νευρώνες που καταλήγουν στον μυ, με αποτέλεσμα να καταγράφεται το αντανακλαστικό – H ως ηλεκτρική δραστηριότητα (σχήμα 2.1.2.3.1).



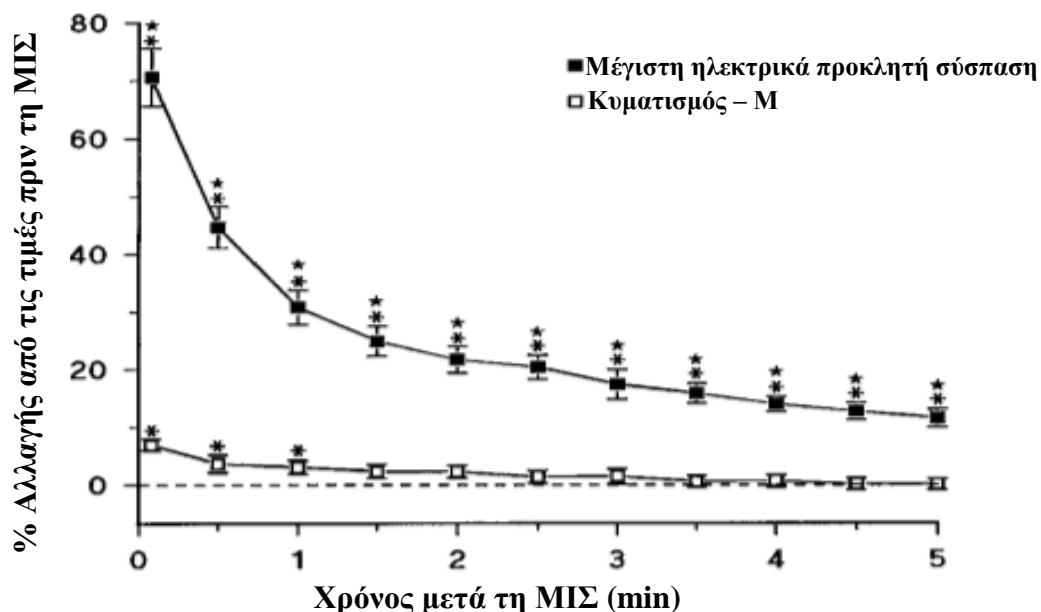
Σχήμα 2.4. Το αντανακλαστικό – H και ο κυματισμός – M. Με ηλεκτρικό ερέθισμα διεγείρονται οι α – κινητικοί νευρώνες, με αποτέλεσμα να καταγράφεται άμεσα ένα ηλεκτρικό δυναμικό στον μυ (κυματισμός – M). Ταυτόχρονα, διεγείρονται οι Ia κεντρομόλες νευρικές ίνες, μεταφέροντας το ερέθισμα στον νωτιαίο μυελό. Από εκεί μεταδίδεται μέσω συνάψεων στον α – κινητικό νευρώνα που καταλήγει στον μυ και καταγράφεται ως ηλεκτρική δραστηριότητα (αντανακλαστικό – H) μετά την ηλεκτρική διέγερση (προσαρμοσμένο από Mezzarane et al., 2013).

Το εύρος του αντανακλαστικού – H καθρεφτίζει τον αριθμό και το μέγεθος των ενεργοποιημένων κινητικών μονάδων (Hodgson et al., 2005). Συνεπώς, το αυξημένο αντανακλαστικό – H υποδηλώνει ότι έχουν επιστρατευτεί γρηγορότερες κινητικές μονάδες με υψηλότερο επίπεδο διεγερσιμότητας (Tillin & Bishop, 2009). Η αύξηση του εύρους του αντανακλαστικού – H ύστερα από μία μυϊκή σύσπαση ενεργοποίησης είναι αποτέλεσμα της βελτιωμένης αποτελεσματικότητας των συνάψεων μεταξύ των Ia κεντρομόλων νευρικών ινών και των α – κινητικών νευρώνων. Η βελτίωση αυτή μπορεί να είναι συνέπεια αυξημένης απελευθέρωσης ή αποτελεσματικότητας των νευροδιαβιβαστών ή αυξημένης μετάδοσης του δυναμικού δράσης στις διακλαδώσεις των κεντρομόλων νευρικών ινών (Misiąszek, 2003).

Στη μελέτη των Güllich & Schmidtbleicher (1996) χρησιμοποιήθηκε ΜΙΣ των καμπτήρων του πέλματος διάρκειας 5 s ως άσκηση ενεργοποίησης και μετρήθηκε το αντανακλαστικό – Η πριν και μετά από την εφαρμογή της άσκησης. Στα αποτελέσματα φάνηκε σημαντική μείωση του εύρους του αντανακλαστικού – Η 1 min μετά την άσκηση ενεργοποίησης κατά 24%, ενώ 5 - 13 min μετά παρουσιάστηκε βελτίωση 20%, η οποία συνοδεύτηκε από ταυτόχρονη αύξηση της ισχύος των κάτω άκρων. Οι ερευνητές, επίσης, παρατήρησαν πως η αύξηση του αντανακλαστικού – Η ήταν σημαντικά μεγαλύτερη και διήρκεσε περισσότερο στους αθλητές (42% και 8.1 min), σε σχέση με τους φοιτητές δοκιμαζομένους (11% και 5.9 min). Σε αντίθεση με αυτά τα αποτελέσματα, οι Hodgson και συν. (2008) παρατήρησαν αύξηση της μυϊκής απόδοσης μετά από ΜΙΣ των ίδιων μυών, χωρίς όμως σημαντικές αλλαγές στο εύρος του αντανακλαστικού – Η. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως σε αυτή την περίπτωση η ΜΔΕ προκλήθηκε από μυογενείς και όχι νευρογενείς μηχανισμούς.

Ένα άλλο στοιχείο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της διεγερσιμότητας των κινητικών μονάδων είναι ο κυματισμός – Μ. Κατά την ηλεκτρική διέγερση μπορούν να ενεργοποιηθούν τόσο κεντρομόλες νευρικές ίνες τύπου Ια, όσο και φυγόκεντρες νευρικές ίνες, που ανήκουν στους α – κινητικούς νευρώνες και προκαλούν την απευθείας διέγερση του μυός χωρίς μεσολάβηση της αντανακλαστικής οδού (Σχήμα 2.4). Σε αυτήν την περίπτωση το προκλητό δυναμικό που καταγράφεται καλείται κυματισμός – Μ (Zehr, 2002). Ο κυματισμός – Μ έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμό με το αντανακλαστικό – Η, ενώ άλλοι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τον λόγο του αντανακλαστικού – Η προς τον κυματισμό – Μ για τον καθορισμό του βαθμού ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων (Folland et al., 2008).

Στη μελέτη των Hamada και συν. (2000) εφαρμόστηκε ΜΙΣ διάρκειας 10 s στους εκτεινόντες μύες του γόνατος. Η μέγιστη ροπή στρέψης αυξήθηκε κατά 70.6% αμέσως (5 s) μετά την παρέμβαση, ενώ μειώθηκε γρήγορα αλλά παρέμεινε αυξημένη (12%) ύστερα από 5 min (Σχήμα 2.5). Επιπλέον, το εύρος του κυματισμού – Μ αυξήθηκε σημαντικά κατά 7% μέχρι το 1^ο min μετά τη ΜΙΣ. Οι διαφορές πριν και μετά ήταν μεγαλύτερες στους δοκιμαζόμενους με μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου ΙΙ. Σε άλλη έρευνα εκτελέστηκε πιο ήπιο πρωτόκολλο ΜΔΕ, εναλλάσσοντας υπομέγιστη ισομετρική σύσπαση 5 s με 5 s ανάπαυση στους εκτεινόντες μύες του γόνατος για 10 min (Morana & Perrey 2009). Οι ερευνητές παρατήρησαν αύξηση της μέγιστης ροπής στρέψης κατά 52% το 1^ο min της άσκησης, όμως το εύρος του κυματισμού – Μ αυξήθηκε ύστερα από 7 min άσκησης. Οι Folland και συν. (2008) βρήκαν τη μέγιστη αύξηση (42%) του λόγου αντανακλαστικό – Η / κυματισμό – Μ 5 min ύστερα από ΜΙΣ διάρκειας 10 s, ενώ η δύναμη κατά την ΗΠΣ του τετρακέφαλου μηριαίου μυός βελτιώθηκε κατά 16%.



Σχήμα 2.5. Η μέγιστη ηλεκτρικά προκλητή σύσπαση και το εύρος του κυματισμού – M 5 min ύστερα από 10 s μέγιστης ισομετρικής εκούσιας συστολής (ΜΙΣ) (Hamada et al., 2000).

Σε μία διαφορετική μελέτη, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν ως άσκηση ενεργοποίησης ημικαθίσματα με χαμηλή ή μέτρια επιβάρυνση, ενώ για την αξιολόγηση της μυϊκής απόδοσης εκτελέστηκε κάθετο άλμα με προδιάταση (Sotiropoulos et al., 2010). Κατά τη σύγκεντρη φάση του άλματος καταγράφηκε η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα του τετρακέφαλου μηριαίου μύος. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως και με τα δύο φορτία άσκησης το ύψος του άλματος και η μηχανική ισχύς βελτιώθηκαν κατά 3.5 και 6.1%, αντίστοιχα, 3 min ύστερα από την άσκηση ενεργοποίησης. Οι βελτιώσεις αυτές συνοδεύτηκαν από αύξηση της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας κατά 5.9%. Σε αντίθεση με αυτά τα αποτελέσματα, οι Jones & Lees (2003) δεν βρήκαν διαφορές στην ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα του ορθού, έξω πλατύ και δικέφαλου μηριαίου μύος και στο ύψος των κάθετων αλμάτων ύστερα από σύνθετη προπόνηση. Οι συγγραφείς εξήγησαν την τάση της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας να μειώνεται με το χρόνο, ως πιθανό αποτέλεσμα κόπωσης.

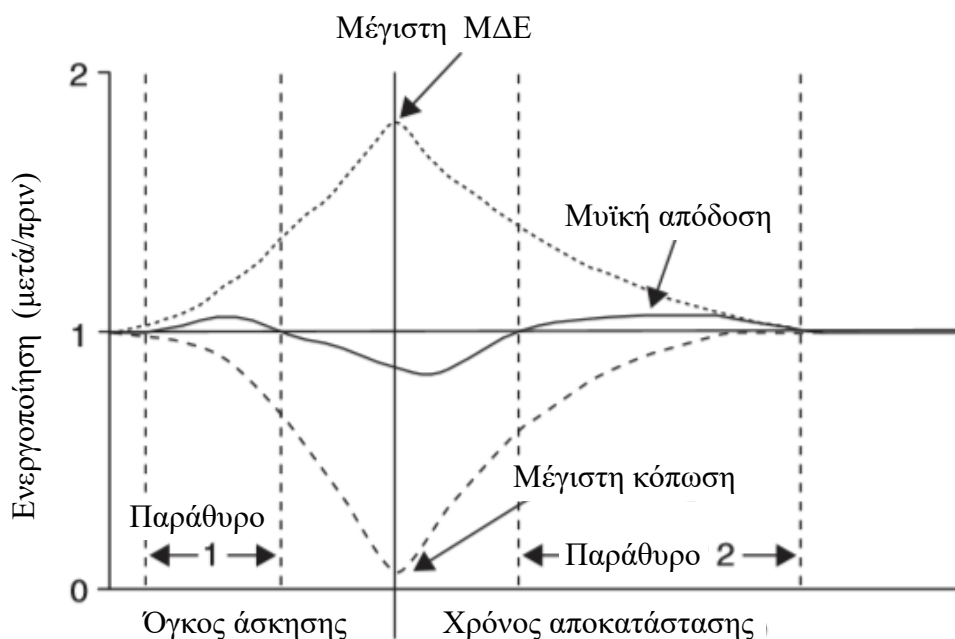
Οι Esformes και συν. (2011) διερεύνησαν τις διαφορές στην ισχύ του άνω κορμού και την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα του μείζονος θωρακικού και του τρικέφαλου βραχιόνιου μύος ύστερα από ισομετρική, μειομετρική, πλειομετρική και μειομετρική – πλειομετρική σύσπαση. Η μυϊκή ισχύς βελτιώθηκε μόνο ύστερα από την ισομετρική άσκηση, ενώ δεν παρουσιάστηκαν διαφορές στην ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα. Η βελτίωση της μυϊκής ισχύος που προκλήθηκε από την ισομετρική σύσπαση, σύμφωνα με τους συγγραφείς, πιθανότατα οφειλόταν σε μυϊκούς και όχι σε νευρικούς παράγοντες.

2.1.2.4. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το φαινόμενο της ΜΔΕ αποδίδεται σε φυσιολογικούς μηχανισμούς που εντοπίζονται μέσα στον μυ, όπως η φωσφορυλίωση των MLC – 2 και οι αλλαγές στη μυϊκή αρχιτεκτονική. Ωστόσο, άλλα ευρήματα δείχνουν πως η ΜΔΕ μπορεί να οφείλεται σε αλλαγές στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού, μέσω της αυξημένης συναπτικής αποτελεσματικότητας ανάμεσα στις Ια κεντρομόλες νευρικές ίνες και στους α – κινητικούς νευρώνες του μυός. Είναι πιθανό, επίσης, η ΜΔΕ να προκύπτει από συνδυασμό των υποκείμενων μηχανισμών. Τα αντικρουόμενα αποτελέσματα ανάμεσα στις μελέτες δείχνουν πως ο βαθμός που ο κάθε παράγοντας συμβάλλει στην πρόκληση της ΜΔΕ εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Μία τέτοια παράμετρος μπορεί να είναι τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης, π.χ. το είδος της μυϊκής σύσπασης, η ένταση, η διάρκεια κ.ά. (Τσούκος και συν. 2013).

2.1.3. Αλληλεπίδραση κόπωσης και μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης

Κατά τη διάρκεια και ύστερα από μία άσκηση ενεργοποίησης, η κόπωση και η ΜΔΕ συνυπάρχουν στον σκελετικό μυ, καθώς ενεργοποιούνται οι φυσιολογικοί μηχανισμοί τόσο της κόπωσης, όσο και της ΜΔΕ (Rassier & Macintosh, 2000). Η επικράτηση της κόπωσης ή της ΜΔΕ θα καθορίσει αν η μυϊκή απόδοση θα μειωθεί ή θα αυξηθεί, αντίστοιχα, ή αν θα παραμείνει αμετάβλητη σε σχέση με το αρχικό επίπεδο. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένα θεωρητικό μοντέλο της σχέσης ανάμεσα στην κόπωση και τη ΜΔΕ (Tillin & Bishop, 2009). Σύμφωνα με το μοντέλο, όταν ο όγκος της άσκησης ενεργοποίησης είναι μικρός επικρατεί η ΜΔΕ και η μυϊκή απόδοση βελτιώνεται άμεσα (πρώτο παράθυρο ευκαιρίας). Από την άλλη πλευρά, όταν ο όγκος της άσκησης αυξάνεται, υπερισχύει η κόπωση με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης. Κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης, η κόπωση μειώνεται με πιο γρήγορο ρυθμό σε σχέση με τη ΜΔΕ και, συνεπώς, σε κάποιο χρονικό σημείο της ξεκούρασης μπορεί να υπάρξει βελτίωση της μυϊκής απόδοσης (δεύτερο παράθυρο ευκαιρίας).



Σχήμα 2.6. Υποθετικό μοντέλο της σχέσης ανάμεσα στη ΜΔΕ και την κόπωση ύστερα από ένα πρωτόκολλο ενεργοποίησης. Όταν ο όγκος της άσκησης είναι χαμηλός, η ΜΔΕ υπερσχύει της κόπωσης και μπορεί να υπάρξει βελτίωση της απόδοσης άμεσα (παράθυρο 1). Αντιθέτως, όταν ο όγκος της άσκησης αυξάνεται, επικρατεί η κόπωση, επιδρώντας αρνητικά στη μυϊκή απόδοση. Η κόπωση μειώνεται με πιο γρήγορο ρυθμό σε σχέση με τη ΜΔΕ και η βελτίωση της απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί σε κάποιο σημείο της περιόδου αποκατάστασης (παράθυρο 2) (Tillin & Bishop, 2009).

Ως κόπωση ορίζεται η μειωμένη ικανότητα του νευρομυϊκού συστήματος να παράγει δύναμη (Bigland-Ritchie et al., 1983). Αποτελεί ένα σύνθετο φυσιολογικό φαινόμενο, καθώς εμπλέκονται πολλοί παράγοντες. Η συμβολή του καθενός από αυτούς τους παράγοντες στην εμφάνιση της μυϊκής κόπωσης εξαρτάται από τη σύνθεση των μυϊκών ινών των ενεργοποιημένων μυών και το είδος, την ένταση και τη διάρκεια της μυϊκής συστολής (Fitts, 1994).

Η κόπωση, ανάλογα με την περιοχή που εντοπίζεται, μπορεί να οφείλεται σε κεντρικούς και περιφερικούς μηχανισμούς και διακρίνεται, αντίστοιχα, σε κεντρική και περιφερική (Babault et al., 2006). Οι κεντρικοί μηχανισμοί εντοπίζονται στο επίπεδο του κεντρικού νευρικού συστήματος (Enoka, 1995; Taylor et al., 2016), ενώ οι περιφερικοί μηχανισμοί αφορούν αλλαγές στο μυϊκό περιβάλλον (Rassier & Macintosh, 2000; Allen et al., 2008). Κατά την κεντρική κόπωση προκαλείται μείωση της ικανότητας του νευρικού συστήματος να μεταδώσει τα νευρικά ερεθίσματα στον απαιτούμενο βαθμό (Bigland – Ritchie et al., 1983; Babault et al., 2006). Η αδυναμία αυτή μπορεί να εντοπιστεί στις κινητικές περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού, στον νωτιαίο μυελό, στους κινητικούς νευρώνες και στις νευρομυϊκές συνάψεις (Enoka, 1995; Taylor et al., 2016). Το αποτέλεσμα είναι η ανεπαρκής διέγερση των κινητικών μονάδων που οδηγεί στη μείωση της μυϊκής απόδοσης (Babault et al., 2006).

Η περιφερική κόπωση παρουσιάζεται στο επίπεδο των σκελετικών μυών και περιλαμβάνει αλλαγές σε μυϊκές ιδιότητες, όπως το δυναμικό δράσης,

τα εξωκυτταρικά και ενδοκυτταρικά ιόντα και οι ενδοκυτταρικοί μεταβολίτες (Fitts, 1994; Wan et al., 2017). Η επαναλαμβανόμενη ενεργοποίηση ενός μυός μπορεί να επιφέρει διαταραχές στη συγκέντρωση των ιόντων καλίου (K^+) και στην κινητικότητα των Ca^{2+} , επηρεάζοντας τη διεγερσιμότητα της κυτταροπλασματικής μεμβράνης και τους μηχανισμούς της μυϊκής σύσπασης (Fitts, 1994; Allen et al., 2008). Επιπλέον, η αύξηση των ενδοκυτταρικών μεταβολιτών όπως τα ιόντα υδρογόνου (H^+), το ανόργανο φωσφορικό (P_i) και οι δραστικές μορφές οξυγόνου (ROS) προκαλούν αλλαγές στη δραστηριότητα των εγκάρσιων γεφυρών (Fitts, 1994; Allen et al., 2008; Wan et al., 2017). Στη μυϊκή κόπωση μπορεί να συμβάλλουν, επίσης, τα μειωμένα επίπεδα φωσφοκρεατίνης που οδηγούν σε ανασύνθεση ATP με χαμηλότερο ρυθμό από αυτόν που απαιτείται για τη μυϊκή σύσπαση (Bogdanis, 2012).

Οι μηχανισμοί πρόκλησης της κόπωσης και της ΜΔΕ είναι αντίθετοι σε πολλά σημεία. Κατά την εμφάνιση της κόπωσης μειώνεται η συγκέντρωση Ca^{2+} στο μυόπλασμα, η οποία πιθανώς οφείλεται σε αναστολή της απελευθέρωσής τους από το σαρκοπλασματικό δίκτυο ή σε μειωμένη ευαισθησία στα Ca^{2+} λόγω διάφορων παραγόντων (Rassier & Macintosh, 2000). Από την άλλη πλευρά, η ΜΔΕ προκαλείται λόγω της αύξησης της ευαισθησίας των πρωτεϊνών σύσπασης στα Ca^{2+} που προκύπτει από τη φωσφορυλίωση των MLC – 2 (Grange et al., 1993; Sweeney et al., 1993). Για τον λόγο αυτόν, μπορεί να θεωρηθεί πως σε κάποιο βαθμό οι μηχανισμοί που προκαλούν τη ΜΔΕ μπορούν να εξουδετερώσουν τους μηχανισμούς εμφάνισης της κόπωσης (Rassier & Macintosh, 2000).

Η σχέση ανάμεσα στην κόπωση και τη ΜΔΕ, καθώς και η επίδραση της άσκησης ενεργοποίησης στην απόδοση, επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες που αφορούν τα χαρακτηριστικά της άσκησης και των δοκιμαζομένων (Robbins 2005; Tillin & Bishop, 2009). Το είδος της μυϊκής συστολής (ισομετρική ή δυναμική), η ένταση και ο συνολικός όγκος (σετ, επαναλήψεις, χρόνος ανάπαυσης) της μυϊκής σύσπασης συνθέτουν τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης. Στα χαρακτηριστικά των δοκιμαζομένων περιλαμβάνονται το προπονητικό επίπεδο, η κατανομή των τύπων των μυϊκών ινών, η μυϊκή δύναμη κ.ά.

2.1.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την πρόκληση μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης

Για την πρόκληση της ΜΔΕ θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Σημαντικό στοιχείο για την αποτελεσματικότητα της άσκησης ενεργοποίησης αποτελούν τα χαρακτηριστικά της. Αυτά είναι ο όγκος, η ένταση και το είδος της μυϊκής σύσπασης, αλλά και ο χρόνος αποκατάστασης ανάμεσα στην άσκηση ενεργοποίησης και τη δοκιμασία αξιολόγησης της απόδοσης. Επιπλέον, η απόκριση των δοκιμαζομένων στο πρωτόκολλο ενεργοποίησης εξαρτάται από τα φυσιολογικά τους χαρακτηριστικά, δηλαδή το επίπεδο μυϊκής δύναμης, τον τύπο των μυϊκών ινών, την προπονητική εμπειρία και το φύλο.

2.1.4.1. Χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης

2.1.4.1.1. Όγκος της άσκησης ενεργοποίησης

Ο όγκος της άσκησης ενεργοποίησης θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιτυχημένη πρόκληση ΜΔΕ. Σύμφωνα με τους Tillin & Bishop (2009), όταν ο όγκος είναι μικρός, η εμφάνιση της ΜΔΕ είναι άμεση, ενώ όταν αυξάνεται, απαιτείται μεγαλύτερη περίοδος αποκατάστασης ώστε να επικρατήσει η ΜΔΕ έναντι της μυϊκής κόπωσης (σχήμα 2.1.3.1).

Οι Vandervoort και συν. (1983) κατέγραψαν το μέγεθος της τάσης κατά την ΗΠΣ στους μύες που εκτελούν τη ραχιαία κάμψη της ποδοκνημικής, πριν και αμέσως μετά από 5 πρωτόκολλα ΜΙΣ που διέφεραν μεταξύ τους στη διάρκεια της μυϊκής σύσπασης. Όταν η διάρκεια της ΜΙΣ ήταν 10 s επέφερε τη μεγαλύτερη βελτίωση (142%), ενώ όταν η διάρκεια ήταν 1 s, 3 s, 30 s και 60 s βρέθηκε βελτίωση κατά 43, 130, 65 και 14%, αντίστοιχα. Σε άλλη μελέτη βρέθηκαν διαφορετικά αποτελέσματα, καθώς η εκτέλεση 3 ΜΙΣ διάρκειας 3 s του τετρακέφαλου μυός βελτίωσαν κατά 5.03% και 4.94% το ύψος του άλματος βάθους και τη μέγιστη ισχύ, αντίστοιχα (French et al., 2003). Ωστόσο, όταν η διάρκεια της άσκησης αυξήθηκε σε 5 s δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές. Στην περίπτωση αυτή, σύμφωνα με τους ερευνητές, προκλήθηκε μεγαλύτερη κόπωση και αντισταθμίστηκε με τη ΜΔΕ.

Στη μελέτη των Bullock & Comfort (2011) η εκτέλεση 2, 4 και 6 αλμάτων βάθους βελτίωσε τη μέγιστη δύναμη των κάτω άκρων κατά 6.26, 6.09 και 6.8%, αντίστοιχα. Σε άλλη έρευνα, 1 και 2 σετ των 5 αλμάτων πτώσης βελτίωσαν εξίσου το ύψος του άλματος με προδιάταση, όμως υπήρξε μία τάση μεγαλύτερης βελτίωσης με τα 2 σετ (Chen et al., 2013). Οι Jarvis και συν. (2017) εξέτασαν την επίδραση του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου με διαφορετικό όγκο άσκησης στο sprint 15 m. Πιο συγκεκριμένα, η άσκηση πραγματοποιήθηκε με αντίσταση 50% της ΣΜ και εκτελέστηκαν 1, 2 ή 3 επαναλήψεις. Η επίδοση του sprint βελτιώθηκε 8 min μετά από 3 επαναλήψεις της άσκησης ενεργοποίησης.

Μία πρόσφατη εργασία μετα – ανάλυσης έδειξε πως η εκτέλεση ενός σετ μίας άσκησης ενεργοποίησης επιφέρει μικρότερη ΜΔΕ σε σχέση με την εκτέλεση περισσότερων σετ (Seitz & Haff, 2015). Παρόλα αυτά, τα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν πως η αποτελεσματικότητα του όγκου της άσκησης επηρεάζεται από το προπονητικό επίπεδο των δοκιμαζομένων (Wilson et al., 2013). Πιο συγκεκριμένα, τα άτομα με χαμηλότερη προπονητική εμπειρία όταν εκτελέσουν περισσότερα από 1 σετ είναι πιθανό να εμφανίσουν μεγαλύτερη κόπωση, η οποία θα εμποδίσει την εμφάνιση της ΜΔΕ. Από την άλλη πλευρά, τα προπονημένα άτομα αναπτύσσουν αντίσταση στην κόπωση και, συνεπώς, η ΜΔΕ εμφανίζεται και με μεγαλύτερο όγκο άσκησης (Wilson et al., 2013).

2.1.4.1.2. Ένταση της άσκησης ενεργοποίησης

Για τη βελτίωση της μυϊκής απόδοσης με ασκήσεις αντιστάσεων έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως υψηλά (85 – 100% 1ΜΕ) και μέτρια (60 - 84% 1ΜΕ) φορτία (Young et al., 1998; Chiu et al., 2003; Kilduff et al., 2007;

Witmer et al., 2010; Seitz et al., 2014), αλλά και ελαφριές αντιστάσεις (Smilios et al., 2005; Sotiropoulos et al., 2010).

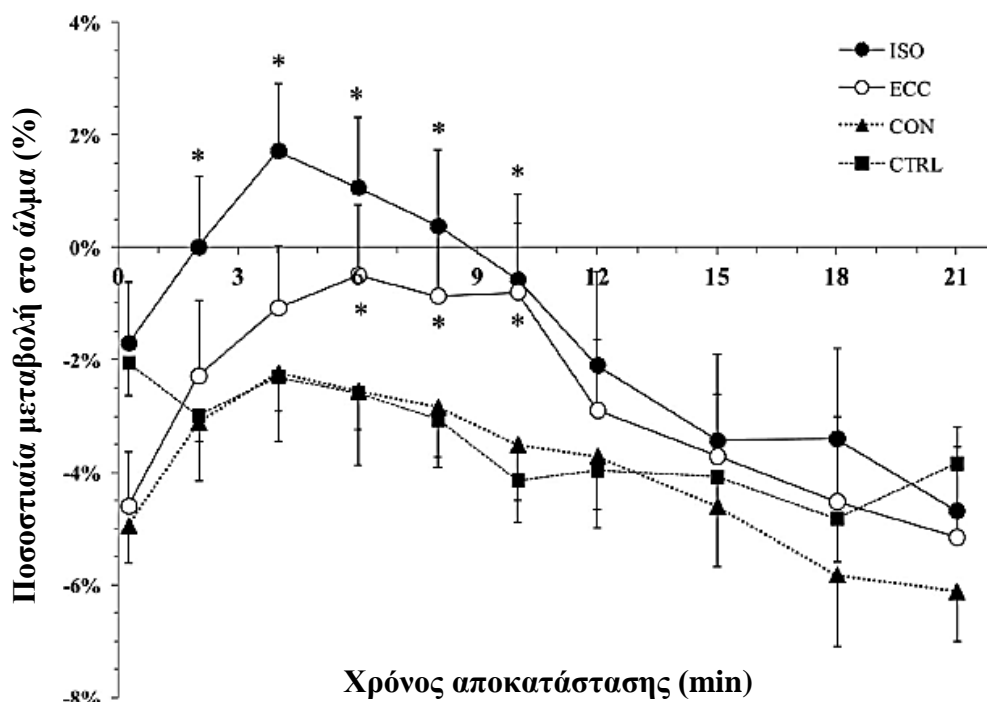
Σύμφωνα με τους Wilson και συν. (2013), η μέτρια ένταση της άσκησης ενεργοποίησης που αντιστοιχεί σε 60 – 84% της μίας μέγιστης επανάληψης (1ME), είναι πιο αποτελεσματική για την πρόκληση ΜΔΕ σε σχέση με την υψηλή ένταση (> 85% 1ME), ανεξάρτητα από την προπονητική εμπειρία. Ωστόσο, οι Seitz & Haff (2015) επισήμαναν πως τα υπομέγιστα φορτία είναι πιο αποδοτικά για τα πιο αδύναμα άτομα, ενώ οι δοκιμαζόμενοι με υψηλό επίπεδο δύναμης παρουσιάζουν μεγαλύτερη ΜΔΕ με μέγιστα φορτία. Η εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης με υψηλά φορτία μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη μυϊκή κόπωση στα άτομα με χαμηλότερο επίπεδο δύναμης, με αποτέλεσμα να μειωθεί η δυνατότητα πρόκλησης ΜΔΕ. Από την άλλη πλευρά, τα πιο δυνατά άτομα έχουν την ικανότητα να αντιστέκονται στην κόπωση ύστερα από άσκηση μέγιστης έντασης, όπως επίσης, τέτοια ένταση μπορεί να προκαλέσει αύξηση της επιστράτευσης των μυϊκών ινών τύπου II, προκαλώντας μεγαλύτερη ΜΔΕ (Seitz & Haff, 2015).

2.1.4.1.3. Είδος μυϊκής σύσπασης

Οι μελέτες που συγκρίνουν διαφορετικούς τύπους μυϊκής σύσπασης για την πρόκληση ΜΔΕ είναι σημαντικά λιγότερες από αυτές που εξετάζουν μόνο ισομετρική ή δυναμική άσκηση. Είναι πιθανό το μέγεθος της ΜΔΕ να συνδέεται με το είδος της άσκησης ενεργοποίησης και οι διαφορετικές μυϊκές συστολές να επιφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα.

Οι Rixon και συν. (2007) συγκρίναν την αποτελεσματικότητα της ισομετρικής και της δυναμικής άσκησης στην πρόκληση ΜΔΕ. Η ισομετρική άσκηση αφορούσε 3 επαναλήψεις μέγιστου ισομετρικού καθίσματος, ενώ ως δυναμική άσκηση εκτελέστηκαν 3 μέγιστα δυναμικά καθίσματα. Ύστερα από 3 min αποκατάστασης, το ύψος του άλματος με προδιάταση βελτιώθηκε κατά 2.9% και η μέγιστη ισχύς κατά 8.7% με την ισομετρική άσκηση, όμως τα δυναμικά καθίσματα επέφεραν βελτίωση κατά 8% μόνο στη μέγιστη ισχύ. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η ισομετρική άσκηση προκάλεσε μεγαλύτερη ΜΔΕ από τη δυναμική, όμως οι δύο συνθήκες δεν αντιστοιχήθηκαν ως προς τον όγκο ή τη συχνότητα και, ως εκ τούτου, δεν είναι εύκολη η άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο ασκήσεων.

Σε άλλη μελέτη, εκτελέστηκαν μειομετρικά, πλειομετρικά και ισομετρικά ημικαθίσματα και εξετάστηκε η επίδρασή τους στο άλμα με προδιάταση για 21 min (Bogdanis et al., 2014). Ο όγκος και η ένταση της μειομετρικής και της πλειομετρικής άσκησης προσαρμόστηκαν, ώστε η ώθηση της κάθετης αντίδρασης του εδάφους να είναι παρόμοια με την ισομετρική άσκηση. Έτσι, η μειομετρική άσκηση περιελάμβανε 7.5 ± 1.2 επαναλήψεις με ένταση 90% 1ME, η πλειομετρική 9.3 ± 1.5 επαναλήψεις με ένταση 70% 1ME και η ισομετρική 3 μέγιστα ισομετρικά ημικαθίσματα διάρκειας 3 s. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η επίδοση του άλματος με προδιάταση αυξήθηκε κατά 3% μόνο με την ισομετρική άσκηση (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7. Ποσοστιαίες μεταβολές στο άλμα με προδιάταση στον χρόνο αποκατάστασης σε σχέση με τις αρχικές τιμές. ISO = ισομετρική, ECC = έκκεντρη, CON = μειομετρική, CTRL = έλεγχο (Bogdanis et al., 2014).

Παρομοίως, οι Esformes και συν. (2011), εξέτασαν τις διαφορές στην παραγόμενη ισχύ του άνω κορμού κατά τη βαλλιστική εκτέλεση πίεσης στήθους ύστερα από ισομετρική, μειομετρική, πλειομετρική και μειομετρική – πλειομετρική άσκηση. Βελτίωση στην ισχύ παρουσιάστηκε μόνο μετά από 7 s ισομετρικής άσκησης κατά 2.8%. Στη μελέτη των Tsolakis και συν. (2011) διερευνήθηκε η επίδραση ισομετρικών και πλειομετρικών πιέσεων στήθους και ποδιών, στην εκρηκτική απόδοση του άνω κορμού και των κάτω άκρων, αντίστοιχα. Η μέγιστη ισχύς των κάτω άκρων μειώθηκε ύστερα από την ισομετρική άσκηση μόνο στους άνδρες δοκιμαζόμενους, ενώ η ισχύς του άνω κορμού δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές. Στην έρευνα των Till & Cooke (2009) ως ασκήσεις ενεργοποίησης χρησιμοποιήθηκαν μία άσκηση δύναμης (5 άρσεις θανάτου με ένταση 5ME), μια άσκηση ισχύος (5 κάθετα άλματα με τα γόνατα στο στήθος) και μια ισομετρική άσκηση (3 ΜΙΣ διάρκειας 3 s). Κανένα πρωτόκολλο δεν κατάφερε να προκαλέσει αλλαγές στον χρόνο εκτέλεσης sprint 10 και 20 m και στην επίδοση του κάθετου άλματος.

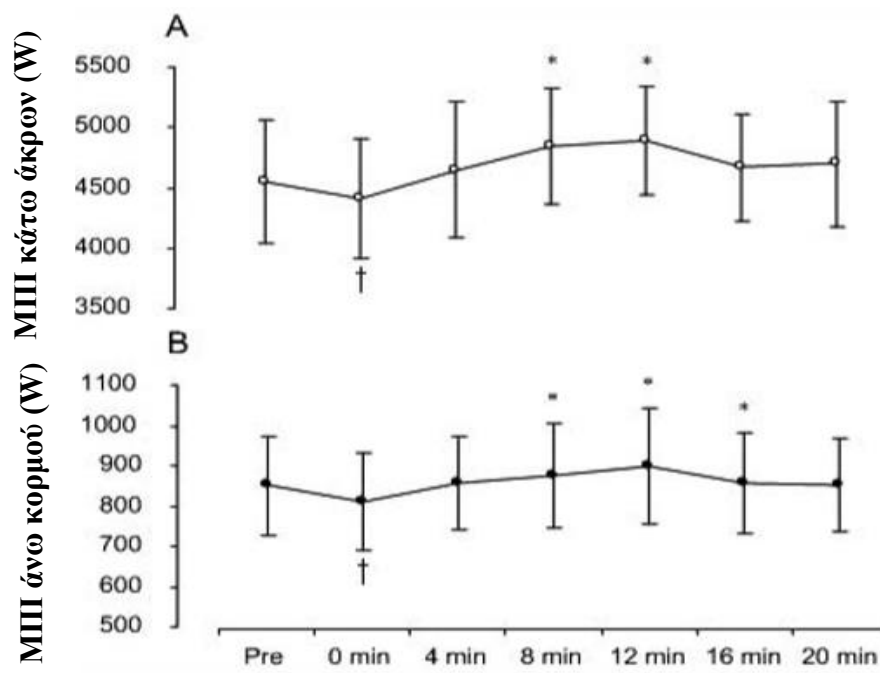
Σύμφωνα με τους Babault και συν. (2006), η ανάπτυξη της νευρομυϊκής κόπωσης διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο της άσκησης ενεργοποίησης. Φαίνεται πως η ισομετρική άσκηση προκαλεί αρχικά κεντρική κόπωση και ύστερα μπορεί να αναπτυχθεί και περιφερική κόπωση. Αντιθέτως, οι δυναμικές ασκήσεις ενεργοποιούν τους μηχανισμούς της περιφερικής κόπωσης, ενώ η κεντρική κόπωση μπορεί να εμφανιστεί προς το τέλος της άσκησης.

Εφόσον, λοιπόν, τα διαφορετικά είδη μυϊκών συστολών προκαλούν διαφορετικές αποκρίσεις κόπωσης, είναι λογικό να υποτεθεί πως θα επιφέρουν και διαφορετικά αποτελέσματα στους μηχανισμούς της ΜΔΕ (Tillin & Bishop, 2009). Οι Wilson και συν. (2013) στη μετα – ανάλυσής τους, ανέφεραν πως δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δυναμικές και τις στατικές ασκήσεις. Ωστόσο, τα περιορισμένα ερευνητικά δεδομένα δεν είναι αρκετά για ασφαλή συμπεράσματα, ενώ πρέπει στις μελέτες να ληφθούν υπόψη ο όγκος και η περίοδος αποκατάστασης που απαιτεί κάθε είδος μυϊκής συστολής για να προκαλέσει ΜΔΕ.

2.1.4.1.4. Χρόνος αποκατάστασης

Οι μελέτες που εξετάζουν την επίδραση του χρόνου αποκατάστασης στη ΜΔΕ συχνά παρουσιάζουν διαφορετικά και αντικρουόμενα αποτελέσματα. Έτσι, έρευνες έχουν προτείνει πως η εμφάνιση της ΜΔΕ μπορεί να γίνει αμέσως μετά την άσκηση ενεργοποίησης (Gourgoulis et al., 2003; Terzis et al., 2009) ή να διαρκέσει ακόμα και 20 min (Gilbert & Lees, 2005).

Οι Kilduff και συν. (2007) διερεύνησαν την απόδοση ισχύος του άνω κορμού και των κάτω άκρων 15 s και 4, 8, 12, 16 και 20 min μετά από πιέσεις στήθους και καθίσματα με μέγιστο φορτίο (3ME). Η ισχύς του άνω κορμού αξιολογήθηκε με βαλλιστική πίεση στήθους και η ισχύς των κάτω άκρων με άλμα με προδιάταση. Η μέγιστη ισχύς τόσο του άνω κορμού, όσο και των κάτω άκρων, μειώθηκε 15 s μετά την εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης (Σχήμα 2.8). Βελτίωση της ισχύος βρέθηκε στα 8 και 12 min αποκατάστασης, με την απόδοση στα 12 min να είναι η υψηλότερη και στις 2 ασκήσεις αξιολόγησης (5.3 και 8% για τη βαλλιστική πίεση στήθους και το άλμα με προδιάταση, αντίστοιχα).



Σχήμα 2.8. Η μέγιστη παραγωγή ισχύος (ΜΠΙ) των κάτω άκρων (Α) και του άνω κορμού (Β) σε 7 χρονικά σημεία μετά από άσκηση ενεργοποίησης υψηλής έντασης (Kilduff et al., 2007). * βελτίωση σε σχέση με το αρχικό επίπεδο.

Στην μελέτη των Turner και συν. (2015) εξετάστηκε η επίδραση των οριζόντιων αλματικών βημάτων χωρίς επιβάρυνση και με επιβάρυνση 10% της ΣΜ στο sprint 15 s, 2, 4, 8, 12 και 16 min μετά από κάθε συνθήκη. Η επίδοση στο sprint χειρότερη κατά 1.4% 15 s μετά από την άσκηση με επιβάρυνση, όμως 4 και 8 min μετά ο χρόνος βελτιώθηκε τόσο στα 10 m sprint (2.2 και 2.9%, αντίστοιχα), όσο και στα 20 m (2.3 και 2.6%, αντίστοιχα). Με την άσκηση χωρίς πρόσθετο βάρος βελτιώθηκε ο χρόνος των 10 m sprint μόνο μετά από 4 min (1.8%).

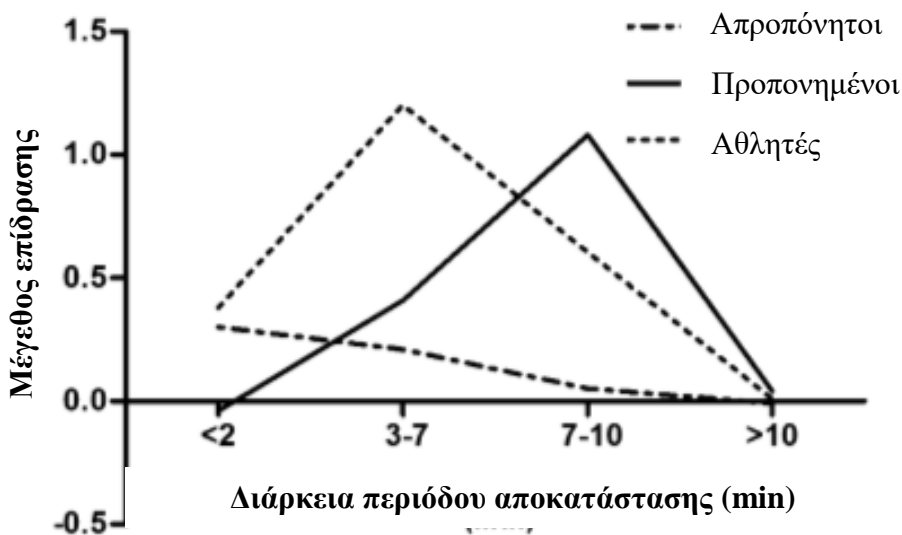
Οι Chiu και συν. (2003), βρήκαν πως 5 min μετά από την εκτέλεση καθισμάτων με υψηλό φορτίο (90% 1ME) δεν υπήρξε διαφορά στην παραγόμενη ισχύ κατά τα άλματα, όμως στα 18.5 min αποκατάστασης παρατηρήθηκε ενίσχυση της απόδοσης. Ωστόσο, καθώς οι μετρήσεις έγιναν μόνο σε αυτά τα 2 χρονικά σημεία, η βέλτιστη περίοδος ανάκαμψης της απόδοσης θα μπορούσε ενδεχομένως να βρίσκεται μεταξύ 5 και 18.5 min. Στη μελέτη των Chen και συν. (2013) εξετάστηκε η επίδοση στο άλμα με προδιάταση 2, 6 και 12 min μετά από πλειομετρική άσκηση. Η επίδοση βελτιώθηκε και στα 3 χρονικά σημεία σε σχέση με την αρχική μέτρηση πριν την εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης, όμως η καλύτερη επίδοση παρουσιάστηκε στα 2 min.

Από τη μελέτη των Seitz και συν. (2014) φάνηκε πως το επίπεδο δύναμης των δοκιμαζομένων μπορεί να επηρεάσει τον απαιτούμενο χρόνο αποκατάστασης. Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν στους πιο δυνατούς και στους πιο αδύναμους σύμφωνα με τη 1ME στο κάθισμα. Κάθε δοκιμαζόμενος εκτέλεσε ως άσκηση ενεργοποίησης καθίσματα με 90% της 1ME και ακολούθησε άλμα από κάθισμα 15 s και 3, 6, 9 και 12 min μετά. Τα πιο δυνατά άτομα εμφάνισαν ΜΔΕ ανάμεσα

στα 3 με 12 min, ενώ στα 6 min παρουσιάστηκε η μεγαλύτερη βελτίωση στην απόδοση. Η απόδοση των πιο αδύναμων συμμετεχόντων βελτιώθηκε στα 6 με 12 min και η κορύφωση της ΜΔΕ εμφανίστηκε στα 9 min.

Η μελέτη των Wilson και συν. (2013) έδειξε πως η πιο αποτελεσματική διάρκεια αποκατάστασης για τη βελτίωση της ισχύος μετά από μία άσκηση ενεργοποίησης είναι 7 – 10 min. Ωστόσο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9, το προπονητικό επίπεδο μπορεί να επηρεάσει τον απαραίτητο χρόνο για την απομάκρυνση της κόπωσης και την εμφάνιση της ΜΔΕ. Έτσι, οι αθλητές παρουσιάζουν τη μέγιστη βελτίωση της απόδοσης 3 – 7 min ύστερα από την άσκηση ενεργοποίησης, ενώ οι προπονημένοι σε 7 – 10 min. Τα μη προπονημένα άτομα εμφανίζουν χαμηλότερη βελτίωση σε όλες τις χρονικές περιόδους αποκατάστασης σε σύγκριση με τους πιο προπονημένους δοκιμαζόμενους. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τη μεγαλύτερη ικανότητα των προπονημένων ατόμων να αντιστέκονται στην κόπωση και, συνεπώς, μπορούν να πετύχουν τη μεγαλύτερη βελτίωση της απόδοσης σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα από τους απροπόνητους (Seitz & Haff, 2015).

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τον απαιτούμενο χρόνο αποκατάστασης είναι το είδος της άσκησης ενεργοποίησης. Σύμφωνα με τους Seitz και Haff (2015), η μεγαλύτερη εμφάνιση της ΜΔΕ ύστερα από πλειομετρική άσκηση συμβαίνει 0.3 – 4 min μετά την εκτέλεση της άσκησης, ενώ όταν εφαρμόζεται άσκηση υψηλής ή μέτριας αντίστασης χρειάζονται τουλάχιστον 5 min αποκατάστασης.



Σχήμα 2.9. Η ισχύς σε απροπόνητους, προπονημένους και αθλητές ύστερα από άμεση (< 2 min), μικρή (3 – 7 min), μέτρια (7 – 10 min) και μεγάλη (> 10 min) περίοδο αποκατάστασης από την άσκηση ενεργοποίησης (Wilson et al., 2013).

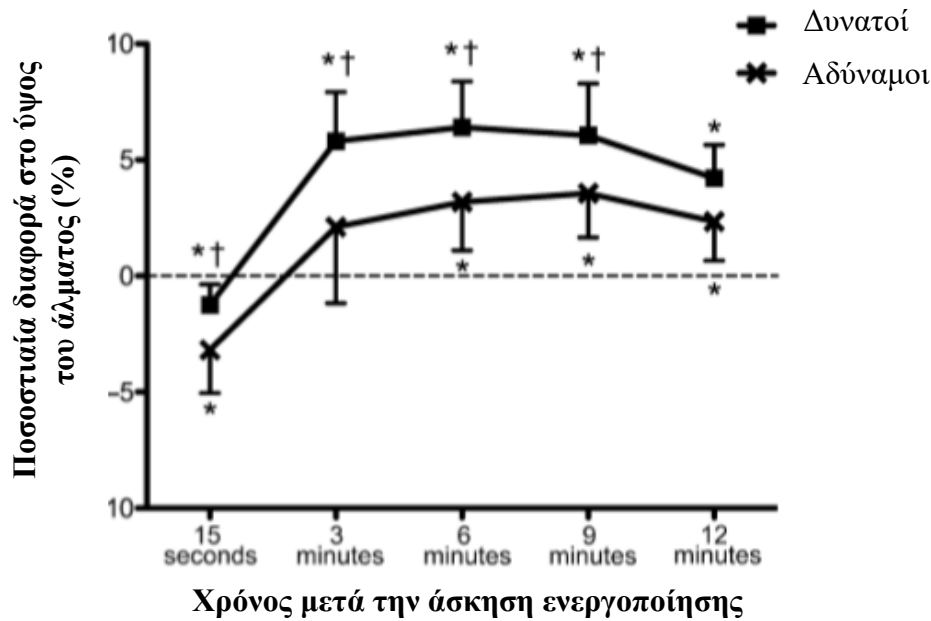
2.1.4.2. Χαρακτηριστικά των δοκιμαζομένων

2.1.4.2.1. Επίπεδο μυϊκής δύναμης

Σύμφωνα με τα ερευνητικά δεδομένα, το επίπεδο μυϊκής δύναμης ενός ατόμου θα μπορούσε να καθορίσει την απόκρισή του στη ΜΔΕ (Tillin & Bishop, 2009). Στη μελέτη των Gourgoulis και συν. (2003) εκτελέστηκαν ως άσκηση ενεργοποίησης 5 σετ των 2 επαναλήψεων ημικαθίσματα με αυξανόμενη ένταση (20, 40, 60, 80, & 90% 1ME) και βρέθηκε βελτίωση κατά 2.39% στο ύψος του άλματος με προδιάταση. Ωστόσο, φάνηκε πως οι δοκιμαζόμενοι με τη μεγαλύτερη δύναμη παρουσίασαν βελτίωση κατά 4.01%, ενώ οι πιο αδύναμοι βελτιώθηκαν μόνο κατά 0.42%. Οι Seitz και συν. (2014) εξέτασαν την επίδραση ενός σετ καθισμάτων με φορτίο 90% 1ME στο άλμα από κάθισμα. Οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν στους πιο δυνατούς ($1ME \geq 2$ φορές η ΣΜ) και στους πιο αδύναμους ($1ME < 2$ φορές η ΣΜ). Το ύψος του άλματος παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση στους δυνατότερους δοκιμαζόμενους 3, 6 και 9 min μετά από την άσκηση ενεργοποίησης (Σχήμα 2.10).

Τα ευρήματα αυτά ενισχύονται και από άλλη έρευνα, όπου φάνηκε θετική συσχέτιση ($r = 0.63$; $p < 0.01$) ανάμεσα στη μυϊκή δύναμη (απόλυτη και σχετική) και στην απόδοση στο κατακόρυφο άλμα με προδιάταση, 12 min μετά από εκτέλεση καθισμάτων (Kilduff et al., 2007). Επίσης, οι Young και συν. (1998) βρήκαν σημαντική συσχέτιση μεταξύ του φορτίου των 5ME στο ημικάθισμα και του ποσοστού βελτίωσης στο άλμα με προδιάταση με φορτίο ($r = 0.73$; $p = 0.02$), καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως οι δυνατότεροι δοκιμαζόμενοι βελτιώθηκαν περισσότερο μετά από την άσκηση ενεργοποίησης σε σχέση με τους πιο αδύναμους.

Φαίνεται πως η επίδραση της ΜΔΕ είναι μεγαλύτερη στα πιο δυνατά άτομα σε σχέση με αυτούς που έχουν χαμηλότερο επίπεδο μυϊκής δύναμης (Seitz & Haff, 2015). Μία πιθανή εξήγηση για αυτό το φαινόμενο είναι το μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II που διαθέτουν αυτά τα άτομα (Maughan et al., 1983). Αυτός ο τύπος μυϊκών ινών σχετίζεται με μεγαλύτερη φωσφορυλίωση των MLC – 2, που αποτελεί τον κύριο μηχανισμό πρόκλησης της ΜΔΕ (Hamada et al., 2000). Κατά συνέπεια, μπορεί να υποστηριχτεί πως η μυϊκή δύναμη των δοκιμαζομένων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη βελτίωση της απόδοσης μετά από μία άσκηση ενεργοποίησης.



Σχήμα 2.10. Ποσοστιαία μεταβολή της επίδοσης στο άλμα από κάθισμα σε σχέση με την αρχική μέτρηση στους δυνατούτερους και πιο αδύναμους δοκιμαζόμενους (Seitz et al., 2014).

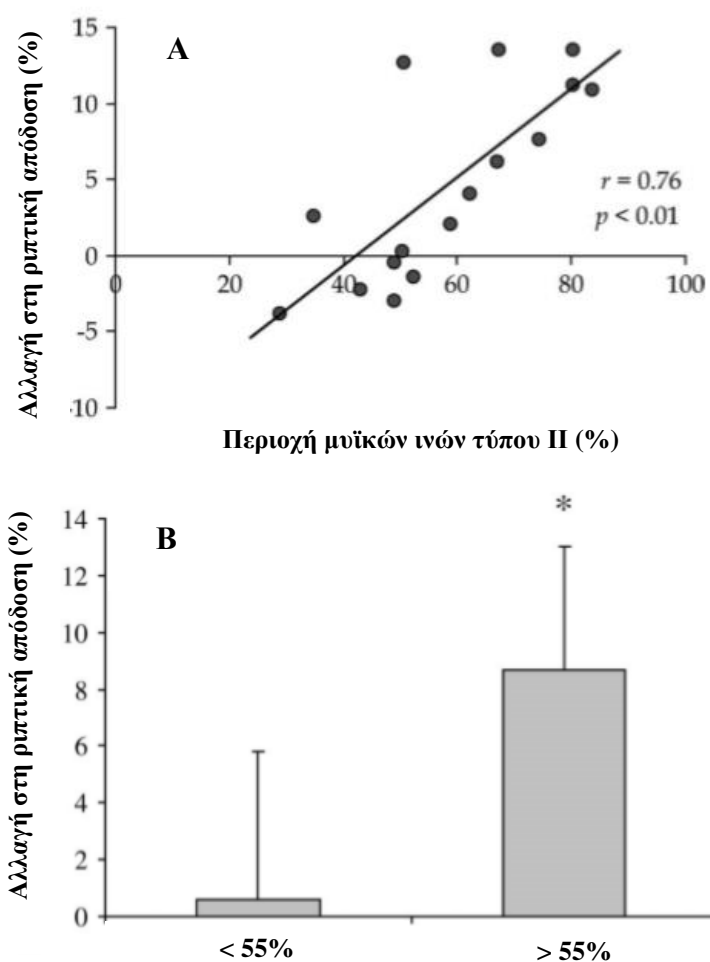
2.1.4.2.2. Κατανομή των μυϊκών ινών

Η κατανομή των μυϊκών ινών μπορεί να εξηγήσει το διαφορετικό βαθμό ΜΔΕ που παρουσιάζεται σε δοκιμαζόμενους διαφορετικού επιπέδου μυϊκής δύναμης. Η άσκηση ενεργοποίησης προκαλεί μεγαλύτερη φωσφορυλίωση των MLC – 2 στις μυϊκές ίνες ταχείας συστολής και αυξημένη επιστράτευση των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας (Tillin & Bishop, 2009). Συνεπώς, όταν ένα άτομο διαθέτει μεγάλο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II, ενδεχομένως θα εμφανίσει μεγαλύτερη ΜΔΕ.

Οι Güllich και Schmidtbleicher (1996) διαπίστωσαν ότι η απόκριση στην άσκηση ενεργοποίησης διέφερε ανάμεσα σε μύες με διαφορετική κατανομή μυϊκών ινών. Έτσι, η ΜΔΕ ήταν μεγαλύτερη και διήρκεσε περισσότερο στους γαστροκνήμιους μύες που έχουν μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II, σε σύγκριση με τους υποκνημίδιους μύες, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου I (ή βραδείας συστολής). Παρομοίως, η μελέτη των Hamada και συν. (2000) έδειξε πως οι δοκιμαζόμενοι που παρουσίασαν μεγαλύτερη ΜΔΕ είχαν και μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II στον έξω πλατύ μηριαίο μυ.

Οι Terzis και συν. (2009) βρήκαν σημαντική βελτίωση της ριπτικής απόδοσης ύστερα από εκτέλεση αλμάτων πτώσης, η οποία συσχετίστηκε θετικά ($r = 0.69$, $p < 0.01$) με το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου II. Ωστόσο, η συσχέτιση μεταξύ της βελτίωσης της απόδοσης και της εγκάρσιας διατομής των μυϊκών ινών τύπου II ήταν μεγαλύτερη ($r = 0.76$, $p < 0.01$). Επιπλέον, οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε 2 ισάριθμες ομάδες ανάλογα με το ποσοστό της περιοχής των μυϊκών ινών τύπου II ($>$ ή $<$ 55% περιοχή μυϊκών ινών τύπου II). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.11, το ποσοστό βελτίωσης της απόδοσης με την άσκηση ενεργοποίησης ήταν μεγαλύτερο στην ομάδα με το υψηλότερο ποσοστό περιοχής των μυϊκών

ινών τύπου II (8.7% και 0.6% για την ομάδα με υψηλότερο και το χαμηλότερο ποσοστό, αντίστοιχα). Σύμφωνα με τους ερευνητές, μπορεί να υποθεθεί πως ο αριθμός των μορίων της μυοσίνης τύπου II αποτελεί πιο σημαντικό στοιχείο από τον αριθμό των κυττάρων τύπου II για την πρόκληση της ΜΔΕ. Τα περισσότερα μόρια μυοσίνης θα προκαλέσουν μεγαλύτερη φωσφορυλίωση των MLC – 2 και, επομένως, η απόδοση θα ενισχυθεί σε μεγαλύτερο βαθμό. Συνεπώς, η αύξηση της εγκάρσιας διατομής των μυϊκών ινών τύπου II που προκαλείται από την προπόνηση με αντιστάσεις μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα των δοκιμαζόμενων να ανταποκρίνονται στη ΜΔΕ (Sale, 2002).



Σχήμα 2.11. Α) συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού της περιοχής των μυϊκών ινών τύπου II και της ριπτικής απόδοσης. Β) ποσοστό αλλαγής στη ριπτική απόδοση στους δοκιμαζόμενους με ποσοστό περιοχής των μυϊκών ινών τύπου II < 55% και > 55% (Terzis et al., 2009).

2.1.4.2.3. Προπονητικό επίπεδο

Το προπονητικό επίπεδο ενός ατόμου μπορεί να επηρεάσει την εμφάνιση της κόπωσης και της ΜΔΕ μετά από μία άσκηση ενεργοποίησης. Στη μελέτη των Chiu και συν. (2003), ύστερα από καθίσματα με υψηλό φορτίο (90% 1ΜΕ), βρέθηκε βελτίωση 1 – 3% στο ύψος των αλμάτων, ενώ οι αθλούμενοι αναψυχής παρουσίασαν μείωση της απόδοσης κατά 1 – 4%. Οι συγγραφείς πρότειναν πως η προπόνηση των αθλητών με υψηλά φορτία θα μπορούσε να προκαλέσει ως προσαρμογή αντίσταση στην κόπωση και, επομένως, οι αθλητές είναι πιο πιθανό να εμφανίσουν ΜΔΕ. Επίσης, άλλη μελέτη έδειξε πως η εκτέλεση ισομετρικού καθίσματος ενίσχυσε την απόδοση στο άλμα με προδιάταση, όμως η βελτίωση αυτή ήταν υψηλότερη στους δοκιμαζόμενους με μεγαλύτερη εμπειρία στην άρση βαρών σε σχέση με τους λιγότερο έμπειρους (Rixon et al., 2007).

Φαίνεται ότι τα έμπειρα άτομα στην προπόνηση αντιστάσεων παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερη ΜΔΕ σε σύγκριση με εκείνα που δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία (Seitz & Haff, 2015). Σύμφωνα με τους Wilson και συν. (2013), η αύξηση της ισχύος μετά από μία άσκηση ενεργοποίησης είναι ασήμαντη σε απορόνητους (effect size [ES] = 0.14), μικρή για τους προπονημένους (ES = 0.29) και μέτρια για τους αθλητές (ES = 0.89). Επιπλέον, οι αθλητές με περισσότερα από 3 χρόνια εμπειρίας σε προπόνηση αντιστάσεων φαίνεται να ανταποκρίνονται καλύτερα στη ΜΔΕ (Wilson et al., 2013).

2.1.4.2.4. Φύλο

Το φύλο είναι ένας παράγοντας που ενδεχομένως να επηρεάσει την απόκριση ενός ατόμου στην άσκηση ενεργοποίησης, καθώς είναι πιθανό να υπάρχουν διαφορές στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά ανάμεσα στους άνδρες και τις γυναίκες, όπως το επίπεδο μυϊκής δύναμης και η κατανομή των μυϊκών ινών. Ωστόσο, οι μελέτες παρουσιάζουν αντικρουόμενα αποτελέσματα.

Στη μελέτη των Terzis και συν. (2009) βρέθηκε σημαντική βελτίωση της ριπτικής απόδοσης ύστερα από εκτέλεση αλμάτων πτώσης σε 16 μέτρια προπονημένους δοκιμαζόμενους, 8 γυναίκες και 8 άνδρες. Ωστόσο, όταν τα αποτελέσματα εξετάστηκαν με βάση το φύλο, η επίδοση στη ρίψη σφαίρας αυξήθηκε σημαντικά μόνο στους άνδρες. Οι συγγραφείς απέδωσαν τις διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα στο γεγονός πως οι γυναίκες είχαν μικρότερο ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου II σε σχέση με τους άνδρες (49.1 και 60.5, αντίστοιχα). Επίσης, οι Rixon και συν. (2007) διαπίστωσαν πως η ισχύς των κάτω άκρων βελτιώθηκε μετά από ισομετρικά και δυναμικά καθίσματα, όμως η βελτίωση ήταν μεγαλύτερη στους άνδρες δοκιμαζόμενους σε σχέση με τις γυναίκες.

Οι Tsolakis και συν. (2011) παρατήρησαν πως η εκτέλεση ισομετρικών πιέσεων ποδιών διάρκειας 3 s επέφερε μείωση στην εκρηκτική απόδοση των κάτω άκρων στους άνδρες δοκιμαζόμενους, χωρίς σημαντικές διαφορές στις γυναίκες. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, οι άνδρες που συμμετείχαν στη μελέτη είχαν σχεδόν διπλάσιο επίπεδο δύναμης από τις γυναίκες και ενδεχομένως μπορεί να υποστηριχθεί ότι τα πιο δυνατά άτομα μπορούν να παρουσιάσουν μείωση της ισχύος των κάτω άκρων ύστερα από την εφαρμογή τέτοιου πρωτοκόλλου.

Σε άλλη μελέτη, εξετάστηκε η επίδραση 3 καθισμάτων με φορτίο 70% της 1ΜΕ στην ισχύ των κάτω άκρων σε άνδρες και γυναίκες δοκιμαζόμενους (Witmer et al., 2010). Το ύψος του άλματος με προδιάταση μετρήθηκε για 30 min μετά από την άσκηση ενεργοποίησης, όμως δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ούτε στους άνδρες, ούτε στις γυναίκες. Παρόλα αυτά, εξετάζοντας ατομικά τις καλύτερες επιδόσεις των συμμετεχόντων, φάνηκε πως κάποιοι δοκιμαζόμενοι, άνδρες και γυναίκες, όντως βελτιώθηκαν μετά την παρέμβαση. Επομένως, φαίνεται πως και τα δύο φύλα έχουν παρόμοια απόκριση στα πρωτόκολλα ΜΔΕ. Επιπλέον, οι Wilson και συν. (2013), στη μετα – ανάλυσή τους αναφέρουν ότι τα αποτελέσματα της ΜΔΕ δε διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στα δυο φύλα.

2.1.4.3. Συμπεράσματα

Η άσκηση ενεργοποίησης προκαλεί την εμφάνιση μυϊκής κόπωσης και ΜΔΕ. Η υπερίσχυση ενός από τα δύο φαινόμενα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της άσκησης και των δοκιμαζομένων. Το είδος της μυϊκής συστολής ενδέχεται να επηρεάσει τη σχέση κόπωσης – ΜΔΕ, καθώς η ισομετρική άσκηση προκαλεί κυρίως κεντρική κόπωση, ενώ με τις δυναμικές ασκήσεις ενεργοποιείται περισσότερο η περιφερική κόπωση. Συνεπώς, αυτά τα στοιχεία θα καθορίσουν τον βέλτιστο όγκο άσκησης και τον απαραίτητο χρόνο αποκατάστασης. Όταν η άσκηση είναι ισομετρική, δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 10 s, ενώ σε δυναμικές ασκήσεις τα περισσότερα σετ φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικά για την πρόκληση ΜΔΕ, κυρίως στα πιο προπονημένα άτομα.

Γενικά, η πιο αποτελεσματική ένταση φαίνεται να είναι 60 – 85% 1ΜΕ και ο χρόνος αποκατάστασης για την εξασθένηση της κόπωσης κυμαίνεται στα 7 – 10 min. Ωστόσο, οι παράγοντες αυτοί επηρεάζονται από το επίπεδο των δοκιμαζομένων. Έτσι, τα άτομα με μεγαλύτερη προπονητική εμπειρία και, συνεπώς, μυϊκή δύναμη, μπορούν να επωφεληθούν και με μέγιστες εντάσεις, ενώ είναι πιθανό να εμφανίσουν βελτίωση της απόδοσής τους σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των δοκιμαζομένων, τα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν πως τα άτομα με μεγαλύτερο επίπεδο δύναμης, υψηλότερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II (ή / και εγκάρσια επιφάνεια διατομής) και περισσότερα χρόνια εμπειρίας στην προπόνηση αντιστάσεων είναι πιθανό να επωφεληθούν σε μεγαλύτερο βαθμό από τη ΜΔΕ.

2.1.5. Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση και απόδοση

Κατά το φαινόμενο της ΜΔΕ παρατηρείται ενίσχυση της νευρομυϊκής απόδοσης ύστερα από μια έντονη άσκηση, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την άμεση βελτίωση παραμέτρων που καθορίζουν την επίδοση σε εκρηκτικές κινήσεις, όπως η δύναμη, η ισχύς, η ταχύτητα κ.ά. (Chatzopoulos et al., 2007; Kilduff et al., 2007; Bullock & Comfort, 2011). Η αύξηση της παραγόμενης ισχύος που προκύπτει από τη ΜΔΕ συμβάλλει στη βραχυπρόθεσμη βελτιστοποίηση των επιδόσεων σε συγκεκριμένες αθλητικές δραστηριότητες, όπως τα sprint, τα άλματα και οι ρίψεις (Gourgoulis et al., 2003; Terzis et al., 2009; Turner et al., 2015).

Η ικανότητα γρήγορης επιτάχυνσης και επίτευξης υψηλής ταχύτητας αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο για κάποια ατομικά αλλά και ομαδικά αθλήματα. Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά και διαφορετικά πρωτόκολλα ΜΔΕ με σκοπό να αυξήσουν τη μυϊκή απόδοση στο sprint, συμπεριλαμβανομένων των ασκήσεων με αντιστάσεις (Chatzopoulos et al., 2007), του τρεξίματος με αντιστάσεις (Winwood et al., 2016) και των πλειομετρικών ασκήσεων (Turner et al., 2015). Η πιο δημοφιλής άσκηση με αντιστάσεις για την βελτίωση της απόδοσης στο sprint είναι τα καθίσματα, κυρίως με υψηλά φορτία (Chatzopoulos et al., 2007). Φαίνεται πως όταν η συγκεκριμένη άσκηση εκτελείται με φορτίο > 90% της 1ΜΕ και παρέχεται ικανοποιητική περίοδος αποκατάστασης (4 – 8 min) υπάρχει βελτίωση στον χρόνο εκτέλεσης sprint 5 – 40 m (Healy & Comyns, 2017).

Παρόλα αυτά, δεν είναι απαραίτητη η χρήση τόσο μεγάλου πρόσθετου βάρους για να επιτευχθεί βελτίωση της απόδοσης. Στην πραγματικότητα, φαίνεται πως πιο συγκεκριμένες για το άθλημα ασκήσεις, όπως οι πλειομετρικές, μπορούν επίσης να αυξήσουν την παραγωγή ισχύος (Byrne et al., 2014; Turner et al., 2015). Επιπλέον, το τρέξιμο με αντιστάσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ως άσκηση ενεργοποίησης, καθώς υπάρχει ομοιότητα στο βιομηχανικό μοντέλο της συγκεκριμένης δραστηριότητας και του τρεξίματος ταχύτητας (Winwood et al., 2016; Jarvis et al., 2017).

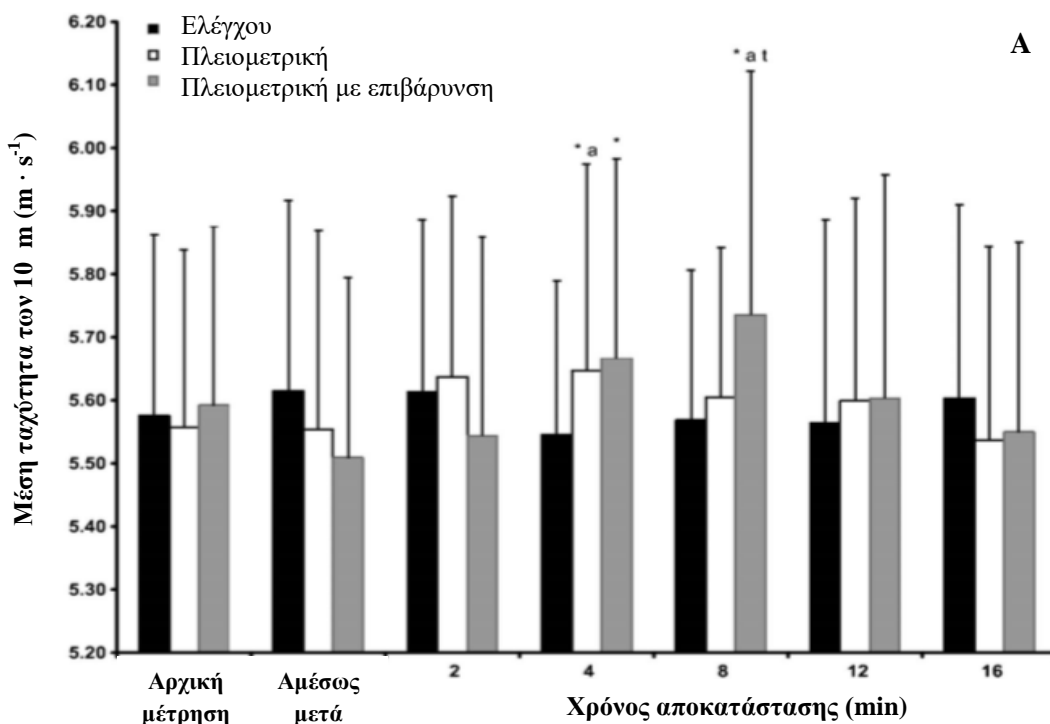
2.1.5.1. Η άμεση επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων στο τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας

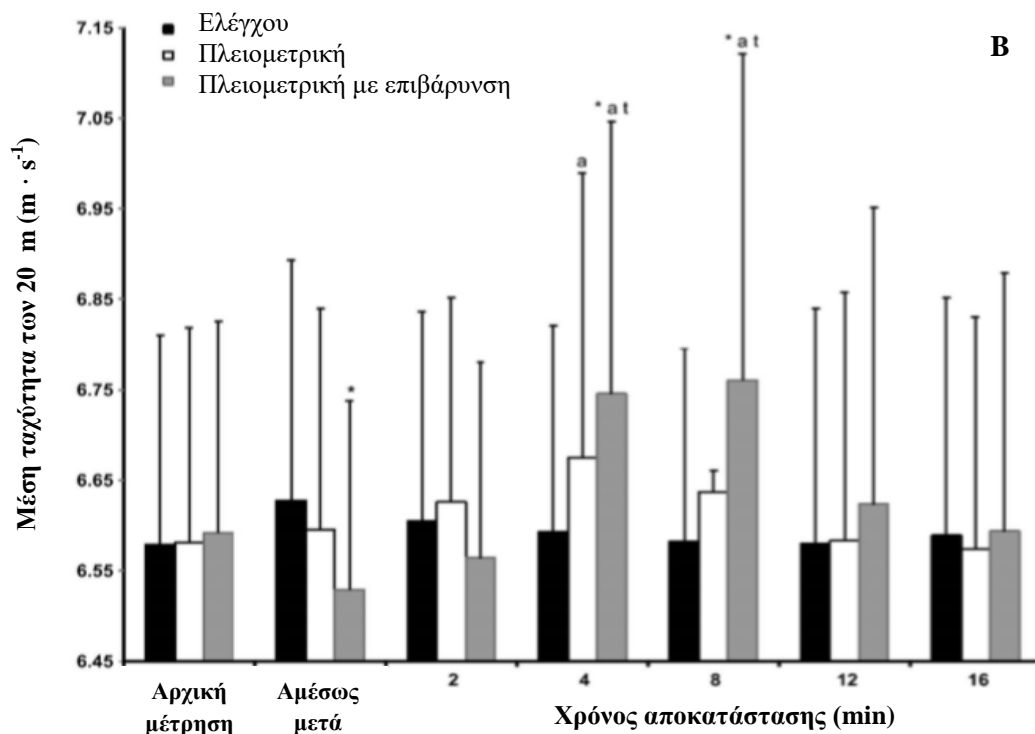
Ως πλειομετρικές ορίζονται οι ασκήσεις κατά τις οποίες ένας μυς μπορεί να παράγει μέγιστη δύναμη σε όσο το δυνατόν συντομότερο χρόνο (Chu, 1998). Χαρακτηριστικό αυτών των ασκήσεων είναι πως περιλαμβάνουν τον κύκλο διάτασης – βράχυνσης των πρωταγωνιστών μυών (Strech – Shortening Cycle, SSC), δηλαδή η μυοτενόντια μονάδα διατείνεται πριν από τη συστολή της (Chu, 1998). Αυτή η διαδικασία της ταχείας επιμήκυνσης της μυοτενόντιας μονάδας ύστερα από μία γρήγορη σύγκεντρη συστολή των μυϊκών ινών επιτρέπει την αξιοποίηση της αποθηκευμένης ελαστικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι τη συνολική παραγωγή δύναμης (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974).

Η χρήση των πλειομετρικών ασκήσεων ως ασκήσεις ενεργοποίησης έχει μελετηθεί αρκετά και οι έρευνες έχουν δείξει πως είναι ικανές να προκαλέσουν ΜΔΕ, οδηγώντας σε βελτίωση της απόδοσης σε διάφορες δραστηριότητες, όπως τα sprint, τα άλματα και οι ρίψεις (Terzis et al., 2009; Chen et al., 2013; Byrne et al., 2014). Οι πλειομετρικές ασκήσεις σχετίζονται με μεγαλύτερη επιστράτευση των μυϊκών ινών τύπου II, ενώ προκαλούν χαμηλότερα επίπεδα κόπωσης σε σχέση με τις ασκήσεις αντιστάσεων (Seitz & Haff, 2015). Συνεπώς, επιτρέπουν την εμφάνιση μεγαλύτερης ΜΔΕ σε συντομότερο χρόνο. Επιπλέον, έχει προταθεί πως οι αποκρίσεις στη ΜΔΕ εξαρτώνται από τις βιομηχανικές ομοιότητες της άσκησης ενεργοποίησης και της δραστηριότητας που ακολουθεί (Ng et al., 2020). Φαίνεται πως το βιομηχανικό μοντέλο των πλειομετρικών ασκήσεων παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με αυτό του sprint, π.χ. παρόμοιους χρόνους επαφής με το έδαφος στη φάση της επιτάχυνσης (Healy & Comyns,

2017). Παρόλα αυτά, κάποιες μελέτες δεν κατάφεραν να δείξουν αλλαγές στον χρόνο εκτέλεσης σε sprint ύστερα από εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων (Till & Cooke, 2009; Kümmel et al., 2016; Tomlinson et al., 2020).

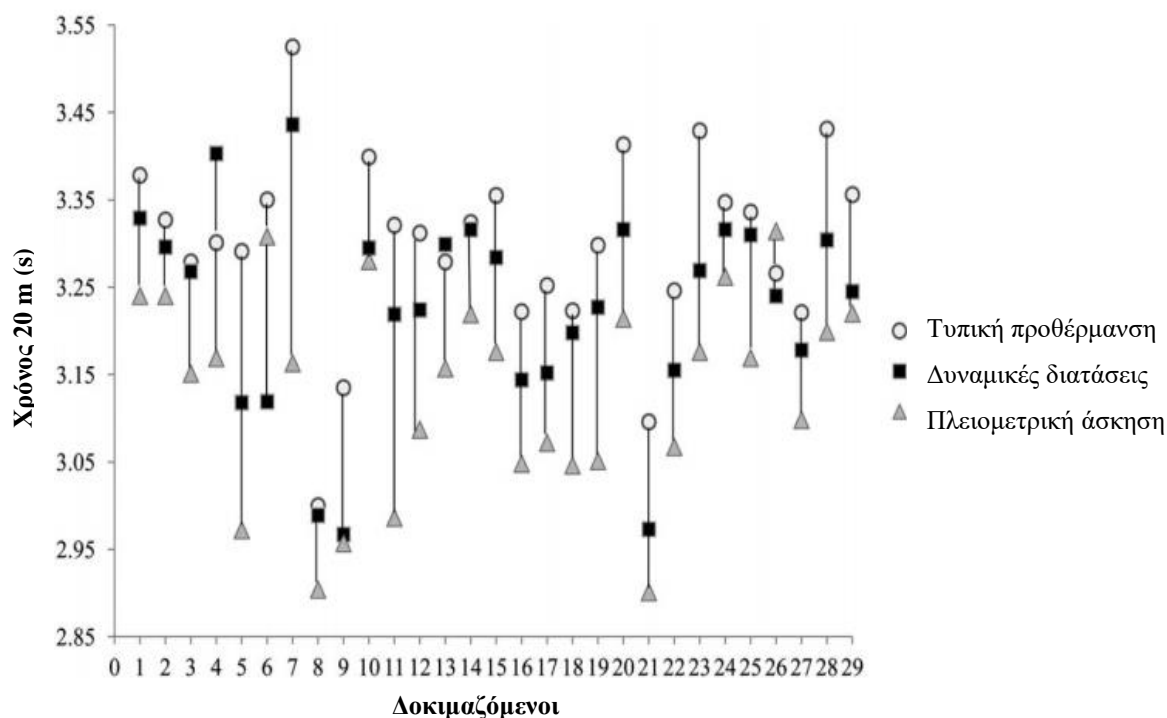
Στην μελέτη των Turner και συν. (2015) διερευνήθηκε η επίδραση των οριζόντιων αλματικών βημάτων (3 σετ των 10 επαναλήψεων) χωρίς επιβάρυνση και με επιβάρυνση 10% της ΣΜ στην επίδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint. Οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 20 m sprint πριν και 15 s, 2, 4, 8, 12 και 16 min μετά από κάθε συνθήκη. Από τα αποτελέσματα προέκυψε πως 15 s μετά από την άσκηση ενεργοποίησης με επιβάρυνση, η επίδοση στο sprint χειροτέρευε κατά 1.4% (Σχήμα 2.12). Παρόλα αυτά, 4 και 8 min μετά ο χρόνος βελτιώθηκε τόσο στα 10 m sprint (2.2 και 2.9%, αντίστοιχα), όσο και στα 20 m (2.3 και 2.6%, αντίστοιχα). Η εκτέλεση της άσκησης χωρίς πρόσθετο βάρος προκάλεσε βελτίωση στα 10 m sprint μόνο μετά από 4 min. Φάνηκε λοιπόν, πως όταν υπάρχει επαρκής χρόνος αποκατάστασης η εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων ενισχύει την απόδοση κατά την επιτάχυνση στο sprint.





Σχήμα 2.12. Η μέση \pm τυπική απόκλιση (SD) ταχύτητα του sprint σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. A) στα 10 m, B) στα 20 m. *σημαντική διαφορά σε σχέση με τη συνθήκη ελέγχου την ίδια χρονική στιγμή, t = σημαντική διαφορά σε σχέση με τη συνθήκη πλειομετρικής άσκησης την ίδια χρονική στιγμή, a = σημαντική διαφορά στην ίδια συνθήκη σε σχέση με την αρχική μέτρηση (Turner et al., 2015).

Οι Byrne και συν. (2014) εξέτασαν αν η προσθήκη 3 αλμάτων βάθους σε ένα πρωτόκολλο προθέρμανσης με δυναμικές διατάσεις θα βελτίωνε σημαντικά τον χρόνο επίδοσης σε 20 m επιτάχυνσης, σε σχέση με τις ίδιες δυναμικές διατάσεις μόνες τους ή με μία τυπική προθέρμανση. Το sprint εκτελέστηκε 1 min μετά από κάθε συνθήκη και τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση της επίδοσης με τα άλματα βάθους κατά 5.01% και 2.93% σε σχέση με την τυπική προθέρμανση και τις δυναμικές διατάσεις, αντίστοιχα (Σχήμα 2.13).



Σχήμα 2.13. Ατομικές αποκρίσεις των δοκιμαζόμενων στα 3 διαφορετικά πρωτόκολλα στα 20 m sprint (Byrne et al., 2014).

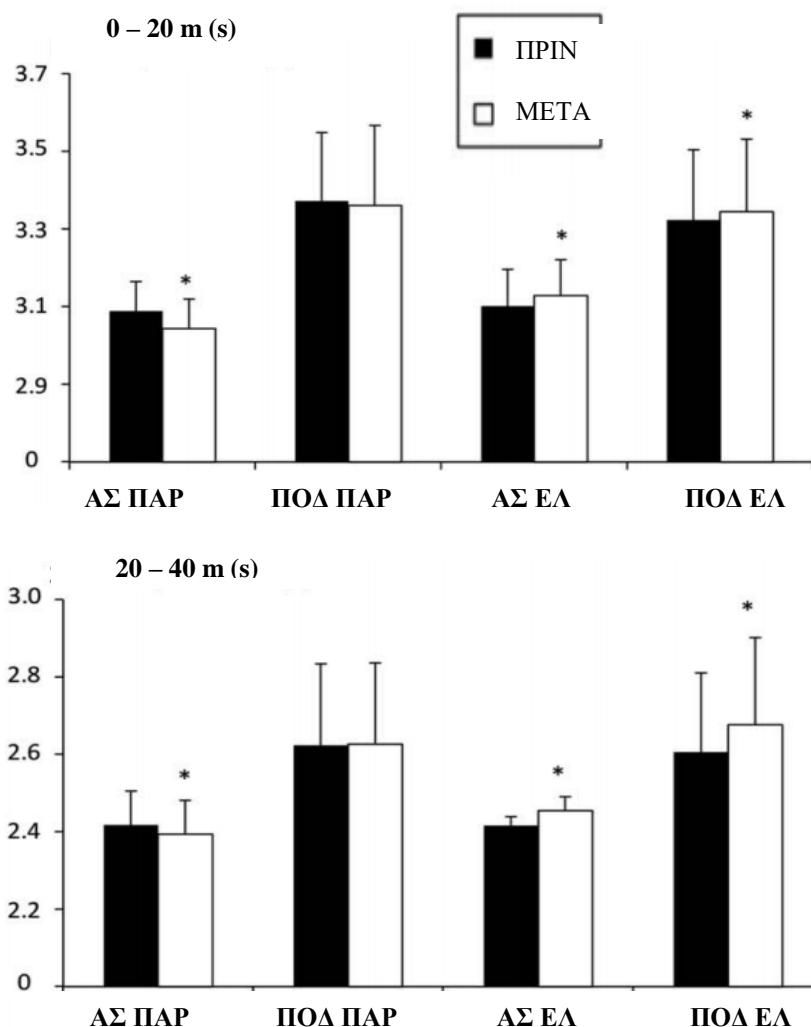
Σε πρόσφατη μελέτη του Byrne και συν. (2020) διερευνήθηκε αν ο όγκος της άσκησης ενεργοποίησης, όπως επίσης και ο χρόνος αποκατάστασης ανάμεσα στις επαναλήψεις, επιδρούν στην εμφάνιση της ΜΔΕ. Για τον σκοπό αυτό, στο πρώτο μέρος της μελέτης οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 1 x 3, 2 x 3 και 3 x 3 άλματα πτώσης με εξατομικευμένο ύψος για κάθε δοκιμαζόμενο. Η επίδοση στα 5, 10 και 20 m sprint εξετάστηκε 15 s και 4, 8 και 12 min ύστερα από την εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης. Σημαντική μείωση του χρόνου εκτέλεσης στα 5 και 10 m εμφανίστηκε μόνο ύστερα από την εκτέλεση ενός σετ αλμάτων πτώσης στα 4 (5 m: 2.34%; 10 m: 1.42%) και στα 12 min (5 m: 3.33%; 10 m: 2.13%) αποκατάστασης. Στο δεύτερο μέρος της μελέτης οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν την ίδια άσκηση (1 x 3 άλματα πτώσης) με ανάπαυση ανάμεσα στις επαναλήψεις 15 και 60 s. Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση στην επίδοση στα 5 και στα 10 m sprint 15 s μετά την εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης (5 m: 3.38%; 10 m: 2.07%). Οι ερευνητές υπέθεσαν πως τα περισσότερα σετ της άσκησης, καθώς επίσης και τα 60 s ανάπαυσης ανάμεσα στις επαναλήψεις, επέδρασαν αρνητικά στην σκληρότητα των κάτω άκρων με αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή ισχύος. Οι Sharma και συν. (2018) χρησιμοποίησαν για την επίτευξη ΜΔΕ τα άλματα πτώσης σε συνδυασμό με αναπηδήσεις και άλματα πάνω από εμπόδια. Ο χρόνος εκτέλεσης 20 m sprint αυξήθηκε κατά 2.4% 1 min ύστερα από την εκτέλεση των αλμάτων, όμως στα 10 min αποκατάστασης παρουσιάστηκε βελτίωση της επίδοσης κατά 8.9%.

Σε ένα διαφορετικό πρωτόκολλο, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν μονοποδικά άλματα πτώσης από ύψος 0.25 m (3 σετ των 5 επαναλήψεων για κάθε πόδι), ενώ

ύστερα από την επαφή με το έδαφος το άλμα είχε κάθετη ή οριζόντια κατεύθυνση (Dello Iacono et al., 2016). Για την αξιολόγηση της ΜΔΕ πραγματοποιήθηκε 8 min μετά την άσκηση ενεργοποίησης παλίνδρομο τρέξιμο 25 m (12.5 + 12.5 m με στροφή 180°), με τα πρώτα 10 m να αποτελούν μέτρηση του χρόνου του sprint σε ευθεία. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως ο χρόνος του παλίνδρομου τρεξίματος μειώθηκε σημαντικά περισσότερο ύστερα από τα οριζόντια άλματα πτώσης σε σύγκριση με τα κάθετα (6.8 και 1.3%, αντίστοιχα), όμως δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στα 10 m sprint.

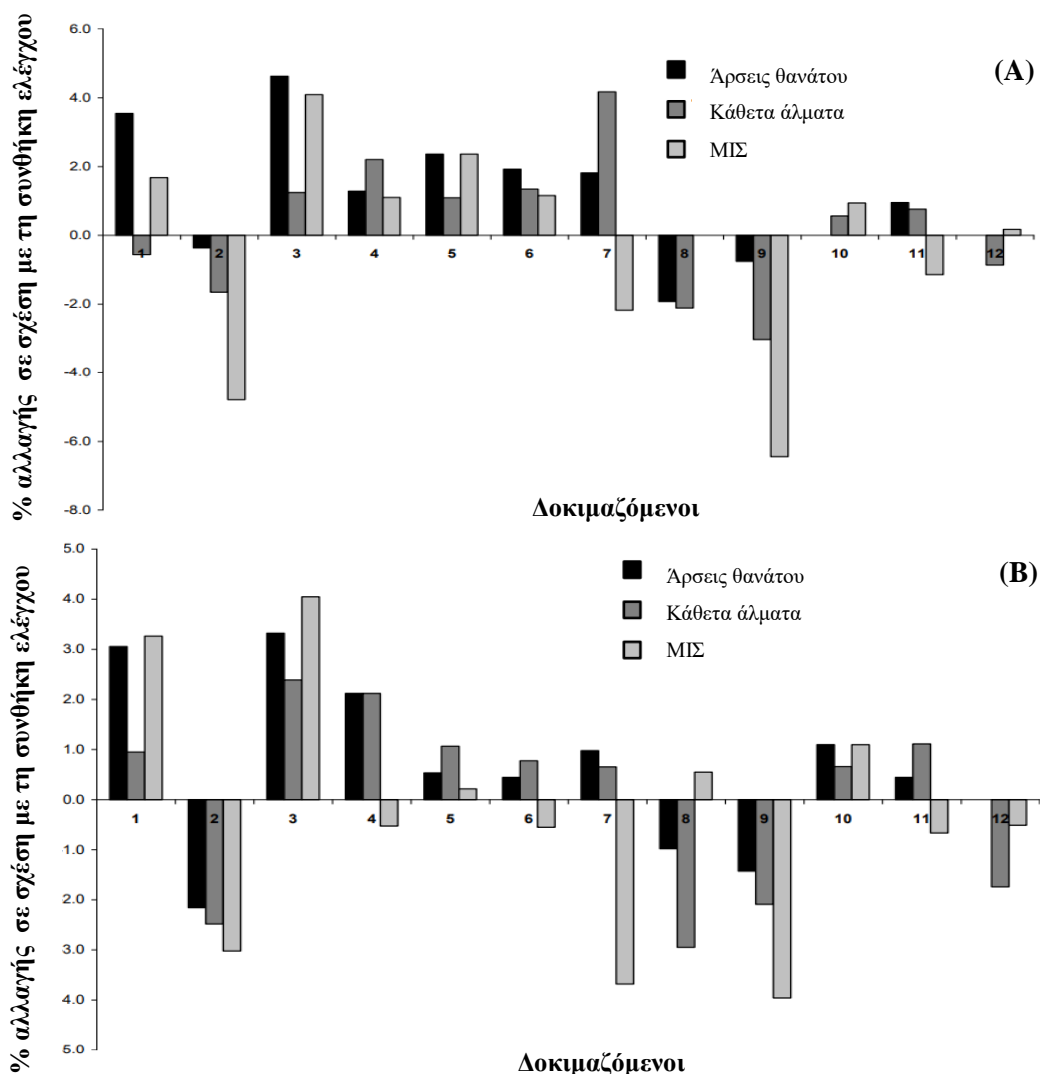
Ορισμένοι ερευνητές για να προκαλέσουν ένα αποτελεσματικό ερέθισμα που θα επιφέρει την εμφάνιση της ΜΔΕ έχουν εφαρμόσει ως ασκήσεις ενεργοποίησης πλειομετρικές ασκήσεις με χρήση επιπλέον φορτίου. Οι Piper και συν. (2020) εξέτασαν την επίδραση 3 x 5 αλμάτων από κάθισμα με φορτίο 10% της ΣΜ στα 20 m sprint. Η επίδοση του sprint αξιολογήθηκε στα 20 s και στα 4, 8, 12, 16 και 20 min ύστερα από το πρωτόκολλο παρέμβασης. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική βελτίωση στον χρόνο εκτέλεσης του sprint σε σχέση με την συνθήκη ελέγχου σε όλες τις χρονικές περιόδους εκτός από τα 20 s. Σε άλλη μελέτη εκτελέστηκαν άλματα από κάθισμα (2 x 8 άλματα) με φορτίο 11.3 kg (12.8 – 16.6% της ΣΜ) για όλους τους δοκιμαζόμενους (Creekmur et al., 2017). Για την αξιολόγηση της απόδοσης εκτελέστηκε sprint 40 m 5, 10 και 15 min ύστερα από την εκτέλεση της άσκησης και ως επίδοση ορίστηκε ο μέσος όρος των τριών προσπαθειών. Ο χρόνος εκτέλεσης του sprint μειώθηκε σημαντικά τόσο στα 20, όσο και στα 40 m (-0.038 ± 0.039 και -0.068 ± 0.067 , αντίστοιχα). Από την άλλη πλευρά, οι Tomlinson και συν. (2020) χρησιμοποιώντας τον ίδιο όγκο άσκησης (2 x 8 άλματα από κάθισμα) με φορτίο 13% της ΣΜ δεν κατάφεραν να δείξουν σημαντικές διαφορές στα 10, 20 και 30 m sprint. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, τα διαφορετικά ευρήματα σε σχέση με την προηγούμενη έρευνα ίσως οφείλονται στην ανομοιογένεια του δείγματος της μελέτης όσον αφορά το φύλο (συμμετοχή και γυναικών) και το επίπεδο των δοκιμαζομένων.

Οι Vanderka και συν. (2016) διερεύνησαν αν 2 σετ των 6 αλμάτων από κάθισμα με το φορτίο που προκαλεί την μέγιστη παραγωγή ισχύος είναι ικανά προκαλέσουν βελτίωση στην επιτάχυνση 20 m και στη μεγαλύτερη απόσταση των 20 – 40 m sprint σε ποδοσφαιριστές και αθλητές στίβου. Η εκτέλεση των αλμάτων 3 min πριν το sprint προκάλεσε βελτίωση στην επίδοση κατά 1.5 και 1% στα 0 – 20 και 20 – 40 m, αντίστοιχα, στους αθλητές στίβου (Σχήμα 2.14). Επιπλέον, παρουσιάστηκε σημαντικά αρνητική σχέση της επίδοσης στο sprint με την παραγόμενη ισχύ κατά το άλμα (0 – 20 m: $r = -0.75$; 20 – 40 m: $r = -0.76$) και το φορτίο (0 – 20 m: $r = -0.45$) που χρησιμοποιήθηκε. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η βελτίωση της επίδοσης μόνο των αθλητών στίβου οφείλεται στο γεγονός πως αυτοί οι δοκιμαζόμενοι ήταν πιο δυνατοί και είχαν καλύτερους χρόνους επίδοσης σε σχέση με τους ποδοσφαιριστές. Σε άλλη μελέτη, 3 άλματα με προδιάταση με επιβάρυνση 30% της 1ΜΕ δεν ήταν ικανά να προκαλέσουν ενίσχυση της απόδοσης στα 10 και 30 m sprint, όμως υπήρξε βελτίωση του χρόνου εκτέλεσης των 40 m (McBride et al., 2005).



Σχήμα 2.14. Ο χρόνος στα 0 – 20 και 20 – 40 m sprint σε αθλητές στίβου (ΑΣ) και σε ποδοσφαιριστές (ΠΟΔ) στις συνθήκες ελέγχου (ΕΛ) και παρέμβασης (ΠΑΡ). * $p \leq 0.05$ (Vanderka et al., 2016).

Οι Till & Cooke (2009) εφάρμοσαν 3 διαφορετικά πρωτόκολλα ΜΔΕ πριν από την εκτέλεση 20 m sprint. Τα 3 πρωτόκολλα παρέμβασης περιελάμβαναν 5 μέγιστες επαναλήψεις άρσεων θανάτου, 5 κάθετα άλματα και 3 ΜΙΣ με εκτάσεις γόνατος διάρκειας 3 s. Τα sprint εκτελέστηκαν 4, 5 και 6 min μετά από κάθε πρωτόκολλο, όμως δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στον χρόνο εκτέλεσης των 10 και των 20 m, τόσο ανάμεσα στις συνθήκες, όσο και μεταξύ των διαφορετικών χρονικών στιγμών. Παρόλα αυτά, η μεγάλη διακύμανση που παρουσιάστηκε στις αποκρίσεις των δοκιμαζομένων (-7.1% ως +8.2%) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.15, οδήγησε τους συγγραφείς στο συμπέρασμα πως η ΜΔΕ θα πρέπει να εξετάζεται σε ατομικό επίπεδο.



Σχήμα 2.15. Ατομικές αλλαγές στην επίδοση σε σύγκριση με τις τιμές της συνθήκης ελέγχου. Α) στα 10 m, Β) στα 20 m (Till & Cooke, 2009).

Στη μελέτη των Abade και συν. (2017) εξετάστηκε η επίδραση αλμάτων πάνω από εμπόδια ακολουθούμενα από τρέξιμο σε σκάλα ευκινησίας. Έξι λεπτά μετά από την άσκηση ενεργοποίησης παρατηρήθηκε μείωση στον χρόνο εκτέλεσης στα 10 και 20 m sprint κατά 1.6%. Στη πιλοτική μελέτη των Kümmel και συν. (2016) φάνηκε πως η εκτέλεση 10 μέγιστων αναπηδήσεων 10 s πριν από sprint 30 m δεν επέδρασε θετικά στην επίδοση 5 αθλητών υψηλού επιπέδου. Οι συγγραφείς υπέθεσαν πως η συγκεκριμένη άσκηση που εφαρμόστηκε για την πρόκληση ΜΔΕ δεν κατάφερε να ενεργοποιήσει σε ικανοποιητικό βαθμό τις μυϊκές ομάδες που καθορίζουν την απόδοση στο sprint.

Οι μελέτες που εξετάζουν την επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων στην επίδοση στο sprint παρουσιάζουν σημαντικές μεθοδολογικές διαφορές ως προς το είδος της πλειομετρικής άσκησης που εκτελείται, την επιβάρυνση και τον συνολικό όγκο της άσκησης, τον χρόνο ανάπαυσης ανάμεσα στην άσκηση ενεργοποίησης και στο τεστ αξιολόγησης καθώς και στο προπονητικό επίπεδο

των δοκιμαζομένων. Η απόκριση σε ένα πρωτόκολλο ΜΔΕ φαίνεται να είναι ιδιαίτερα εξατομικευμένη, και επομένως δεν υπάρχει πάντα εμφάνιση της ΜΔΕ ύστερα από την εκτέλεση μίας άσκησης ενεργοποίησης (Seitz & Haff, 2015). Παρόλα αυτά, αρκετές μελέτες έχουν δείξει βελτίωση της απόδοσης στο sprint μετά την εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων και ιδιαίτερα στη φάση επιτάχυνσης (Turner et al., 2015; Abade et al., 2017; Sharma et al., 2018). Από τις προηγούμενες μελέτες προκύπτει πως στα πρώτα 10 m ενός sprint μπορεί να παρουσιαστεί βελτίωση στον χρόνο επίδοσης κατά 1.9% ύστερα από την εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων (Turner et al., 2015; Abade et al., 2017; Byrne et al., 2020). Όταν η απόσταση αυξάνεται στα 20 m, παρατηρείται και μεγαλύτερη βελτίωση στην απόδοση, η οποία είναι κατά μέσο όρο 3.3% (Byrne et al., 2014; Turner et al., 2015; Vanderka et al., 2016; Abade et al., 2017; Creekmur et al., 2017; Sharma et al., 2018; Piper et al., 2020). Στην απόσταση των 30 m δεν έχει βρεθεί άμεση βελτίωση της απόδοσης με πλειομετρικές ασκήσεις (Kümmel et al., 2016; Tomlinson et al., 2020).

Για την εμφάνιση της ΜΔΕ φαίνεται πως χρειάζεται σύντομος χρόνος ανάπαυσης (3 – 6 min) ανάμεσα στην άσκηση ενεργοποίησης και στο τεστ αξιολόγησης (Turner et al., 2015; Vanderka et al., 2016; Abade et al., 2017; Byrne et al., 2020). Οι πλειομετρικές ασκήσεις πιθανώς προκαλούν χαμηλότερα επίπεδα κόπωσης, και συνεπώς, η ΜΔΕ παρουσιάζεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα (Seitz & Haff, 2015). Παρόλα αυτά, βελτίωση της απόδοσης παρατηρείται και στα 10 min αποκατάστασης (Sharma et al., 2018). Για τον καθορισμό της βέλτιστης διάρκειας ανάπαυσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ο όγκος και η επιβάρυνση της άσκησης, καθώς και το επίπεδο των δοκιμαζομένων. Παρόλο που η ΜΔΕ μπορεί να εμφανιστεί και αμέσως μετά την άσκηση ενεργοποίησης (20 s – 1 min), όταν χρησιμοποιείται μεγαλύτερος όγκος άσκησης, πχ περισσότερες επαναλήψεις ή σετ, τότε προτείνεται η ανάπαυση να έχει μεγαλύτερη διάρκεια (2 – 7 min) (Yeow et al., 2020). Επιπλέον, η μεγαλύτερη επίδραση της ΜΔΕ στα πιο προπονημένα άτομα εμφανίζεται 5 – 7 min μετά την άσκηση ενεργοποίησης, ενώ τα πιο αδύναμα άτομα χρειάζονται > 8 min ξεκούρασης (Seitz & Haff, 2015). Όσον αφορά τις πλειομετρικές ασκήσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί ως ασκήσεις ενεργοποίησης, τα οριζόντια αλματικά βήματα, τα άλματα πτώσης και βάθους, τα άλματα από κάθισμα με φορτίο και τα άλματα πάνω εμπόδια μπορούν να παρέχουν το απαραίτητο ερέθισμα για την άμεση ενίσχυση της απόδοσης του sprint (Byrne et al., 2014; Turner et al., 2015; Abade et al., 2017; Creekmur et al., 2017). Συνοψίζοντας, οι πλειομετρικές ασκήσεις μπορούν να συμπεριληφθούν στην προθέρμανση των αθλητών και να οδηγήσουν στην άμεση βελτίωση της απόδοσης στο sprint. Η μεγαλύτερη θετική επίδραση φαίνεται να παρουσιάζεται στα πρώτα 0 – 20 m σε σύντομο χρονικό διάστημα (3 – 6 min).

Πίνακας 2.1. Σύνοψη των βασικών χαρακτηριστικών των μελετών που εξέτασαν την άμεση επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων στη φάση επιτάχυνσης του τρεξίματος μέγιστης ταχύτητας.

Μελέτη	Δείγμα	Πρωτόκολλο ΜΔΕ		Αποτελέσματα
		Άσκηση	Διάλειμμα (min)	
Turner et al. (2015)	23 προπονημένοι άνδρες	3 x 10 πολλαπλά άλματα με επιβάρυνση 0 & 10% της ΣΜ	15 (s), 2, 4, 8, 12, 16	βελτίωση με 10% της ΣΜ στα 10 m (8 min) & 20 m (4 & 8 min), με 0% στα 10 m και 20m (4 min)
Dello Iacono et al. (2016)	18 χειροσφαιριστές υψηλού επιπέδου	3 x 5 μονοποδικά οριζόντια ή κάθετα άλματα πτώσης (ύψος 0.25 m)	8	όχι διαφορές στα 10 m
Byrne et al. (2020)	14 (a) & 15 (b) παίχτες χάρλινγκ	(a) 1 x 3, 2 x 3 ή 3 x 3 άλματα πτώσης (ατομικό βέλτιστο ύψος) (b) 3 άλματα πτώσης με 15 ή 60 s διάλειμμα ανάμεσα στις επαναλήψεις	15 (s), 4, 8, 12	(a) βελτίωση με 1 x 3 άλματα πτώσης στα 5 & 10 m (4 & 12 min) , όχι διαφορές στα 20 m (b) βελτίωση με 15 s διάλειμμα στα 5 & 10 m (15 s), όχι διαφορές στα 20 m

«Η επίδραση ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά χαρακτηριστικά και στο ταχοδυναμικό προφίλ των δρόμων ταχύτητας»

Abade et al. (2017)	22 ελίτ ποδοσφαιριστές	4 x 5 άλματα πάνω από εμπόδια (40 cm) ακολουθούμενα από τρέξιμο σε σκάλα ευκινησίας	6	βελτίωση στα 10 και 20 m sprint
Byrne et al. (2014)	29 σωματικά δραστήριοι άνδρες	1 x 3 άλματα βάθους (ατομικό βέλτιστο ύψος)	1	βελτίωση στα 20 m
Sharma et al. (2018)	14 ποδοσφαιριστές	2 x 10 αναπηδήσεις, 3 x 5 άλματα με εμπόδια, 1 x 5 άλματα πτώσης (ύψος 0.50 m)	1, 10	βελτίωση στα 20 m (10 min)
Piper et al. (2020)	13 προπονημένοι – ες με αντιστάσεις άνδρες & γυναίκες	3 x 5 άλματα από κάθισμα με φορτίο 10% της ΣΜ	20 (s), 4, 8, 12, 16, 20	βελτίωση στα 20 m (4, 8, 12, 16, 20 min)
Till & Cooke (2009)	12 επαγγελματίες ποδοσφαιριστές	1 x 5 κάθετα άλματα	4, 5, 6	όχι διαφορές στα 10 και 20 m
Vanderka et al. (2016)	25 ποδοσφαιριστές & αθλητές στίβου	2 x 6 άλματα από κάθισμα (φορτίο μέγιστης ισχύος)	3	βελτίωση στα 0 - 20 & 20 - 40 m μόνο στους αθλητές στίβου
Creekmur et al. (2017)	10 αθλητές στίβου	2 x 8 άλματα από κάθισμα με φορτίο 11.3 kg	5, 10, 15	βελτίωση στα 20 & 40 m (μ.ο. των τριών προσπαθειών)

Tomlinson et al. (2020)	22 αθλητές - τρεις στίβου	2 x 8 άλματα από κάθισμα με φορτίο 13% της ΣΜ	~ 5, 8 min	όχι διαφορές στα 10, 20 & 30 m
Kümmel et al. (2016)	5 αθλητές υψηλού επιπέδου	10 μέγιστες αναπηδήσεις	10 (s)	όχι διαφορές στα 30 m
McBride et al. (2005)	15 ποδοσφαιριστές	1 x 3 άλματα με προδιάταση με φορτίο (30% 1ME)	4	όχι διαφορές στα 10 & 30 m, βελτίωση στα 40 m

2.1.5.2. Η άμεση επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στο τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας

Το τρέξιμο με αντίσταση αποτελεί μία συνήθη μέθοδο προπόνησης για την ενίσχυση της απόδοσης κατά τη φάση επιτάχυνσης στο sprint. Μορφές τρεξίματος με αντίσταση αποτελούν οι συσκευές αντίστασης, τα αλεξίπτωτα και τα γιλέκα με πρόσθετο φορτίο, ενώ η πιο συνηθισμένη μορφή είναι η χρήση έλκηθρου (έλξη ή ώθηση). Στο τρέξιμο με χρήση έλκηθρου το μέγεθος του ερεθίσματος καθορίζεται από το μέγεθος του φορτίου που εφαρμόζεται στο έλκηθρο και από το μέγεθος της τριβής μεταξύ του έλκηθρου και του εδάφους κατά το τρέξιμο (Cahill et al., 2019).

Κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης, η οριζόντια παραγωγή δύναμης και ο προσανατολισμός του διανύσματος της δύναμης αποτελούν ισχυρούς παράγοντες για την απόδοση ενός αθλητή (Cahill et al., 2019). Κατά το τρέξιμο με αντίσταση φαίνεται πως προκαλείται άμεση αύξηση της οριζόντιας εφαρμογής της δύναμης και ίσως αυτό να επιφέρει οφέλη στο sprint χωρίς αντίσταση (Kawamori et al., 2014).

Το τρέξιμο με αντίσταση έχει ως στόχο την αύξηση της επιστράτευσης των μυϊκών ινών ταχείας συστολής και την πρόκληση μεγαλύτερης νευρικής ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων που απαιτούνται κατά την επιτάχυνση στο sprint, με αποτέλεσμα την μακροχρόνια (Lockie et al., 2012) ή την άμεση (Winwood et al., 2016) βελτίωση της απόδοσης. Επιπλέον, λόγω της ομοιότητας του βιομηχανικού μοντέλου αυτών των δραστηριοτήτων με το τρέξιμο ταχύτητας, ίσως είναι πιο αποτελεσματικές για την πρόκληση ΜΔΕ (Healy & Comyns, 2017). Επομένως, η προσθήκη τρεξίματος με έλκηθρο στην προθέρμανση είναι πιθανό να επιφέρει άμεση ενίσχυση της απόδοσης.

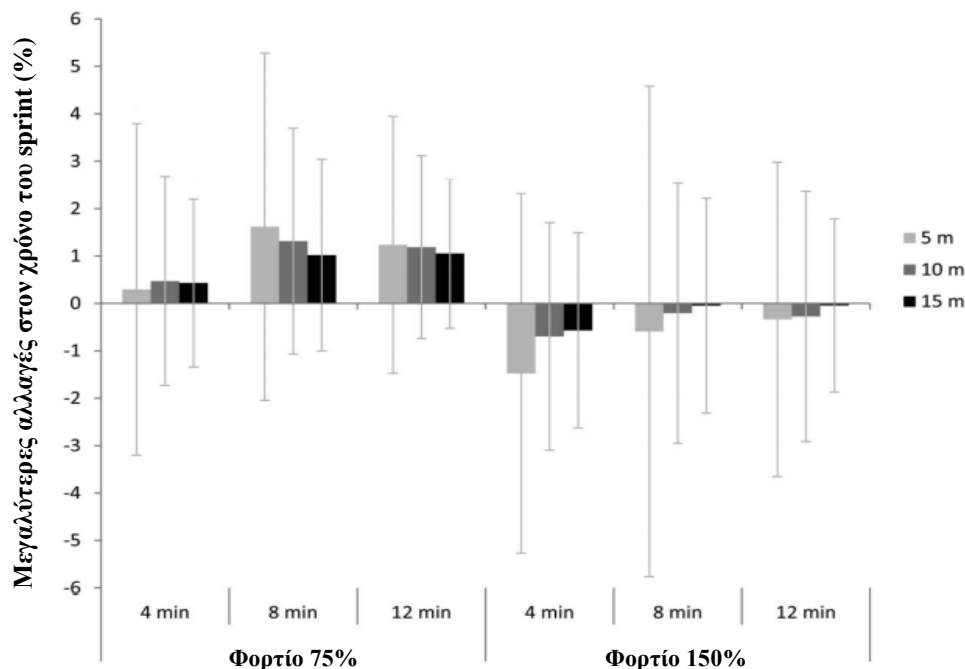
Ορισμένες έρευνες έχουν ελέγξει την πιθανή άμεση θετική επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στην απόδοση με ελαφριά φορτία. Στη μελέτη των Mangine και συν. (2018) οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 3 sprint των 20 m χρησιμοποιώντας μία συσκευή αντίστασης. Στο πρώτο και στο τρίτο sprint η αντίσταση ήταν η μικρότερη δυνατή (1 kg), ενώ στο δεύτερο sprint η αντίσταση ήταν ίση περίπου με το 5% της ΣΜ. Η επίδοση στα 20 m δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές 4 – 9 min μετά την παρέμβαση. Οι Van Den Tillaar & Von Heimburg (2017) εξέτασαν την άμεση επίδραση των sprint με αντίσταση στην απόδοση με την εκτέλεση 7 x 20 m sprint (ανάπαυση ανάμεσα στα sprint 5 – 6 min), εναλλάσσοντας ελεύθερο sprint και sprint με αντίσταση 5 kg (7.4% της ΣΜ κατά μέσο όρο). Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση κατά 2% μόνο στο ελεύθερο sprint που εκτελέστηκε μετά το 1^ο sprint με αντίσταση. Η εκτέλεση περισσότερων sprint με αντίσταση δεν παρουσίασε καμία θετική επίδραση στην απόδοση, καθώς φαίνεται πως προκάλεσε κόπωση. Πάντως, σύμφωνα με τους συγγραφείς, ένας περιορισμός της μελέτης είναι πως χρησιμοποιήθηκε η ίδια αντίσταση για όλες τις δοκιμαζόμενες, και επομένως, η επίδραση της αντίστασης ήταν διαφορετική ανάμεσα στις πιο δυνατές και στις πιο αδύναμες αθλήτριες. Σε συμφωνία με τα παραπάνω αποτελέσματα, οι Starker και συν. (2019) έδειξαν πως 36.6 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 10 – 15% της ΣΜ προκάλεσε 3 – 4 min

μετά την εφαρμογή της άσκησης βελτίωση στα 36.6 m sprint σε σχέση με την συνθήκη ελέγχου (4.2 και 3% για τις αθλήτριες και για τους αθλητές, αντίστοιχα).

Σε άλλες μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερες επιβαρύνσεις στην έλξη έλκηθρου. Οι Smith και συν. (2014) διερεύνησαν την επίδραση 20 yd sprint χωρίς αντίσταση και με έλξη έλκηθρου με φορτίο 10, 20 και 30% της ΣΜ στην επίδοση στις 40 yd. Βελτίωση στον χρόνο εκτέλεσης του sprint βρέθηκε σε όλες τις συνθήκες σε σχέση με την αρχική μέτρηση (ελέγχου: 2.14%; φορτίο 10%: 1.21%; φορτίο 20%: 2.11%; φορτίο 30%: 2.24%) χωρίς όμως σημαντική διαφορά ανάμεσα στις συνθήκες. Φαίνεται πως υπήρξε μία τάση για μεγαλύτερη ενίσχυση της απόδοσης με τα φορτία 10 και 30%, όμως η παρόμοια βελτίωση της επίδοσης και στη συνθήκη ελέγχου δείχνει πως τα πρωτόκολλα παρέμβασης δεν αποτέλεσαν ικανά ερεθίσματα για την πρόκληση ΜΔΕ. Σε άλλη έρευνα εξετάστηκε αν η εκτέλεση 3 x 10 m έλξης έλκηθρου με επιβάρυνση 25 – 30% της ΣΜ θα επέφερε βελτίωση της απόδοσης στην επιτάχυνση 10 m (Whelan et al., 2014). Η επίδοση στο sprint αξιολογήθηκε 1, 2, 4, 6, 8 και 10 min ύστερα από την άσκηση ενεργοποίησης, όμως δεν υπήρξαν διαφορές στα 5 και 10 m. Οι συγγραφείς υπέθεσαν πως το φορτίο που χρησιμοποιήθηκε δεν προκάλεσε επαρκή κόπωση, και, επομένως, ήταν απίθανο να εμφανιστεί ΜΔΕ. Σε άλλη μελέτη, παρόμοιο φορτίο (30% της ΣΜ) δεν προκάλεσε βελτίωση του χρόνου σε sprint 30 m (Wong et al., 2017). Ωστόσο, στην απόσταση των 5 m, ο χρόνος του sprint ήταν καλύτερος κατά 4.6% με εξατομικευμένη διάρκεια ανάπαυσης, η οποία διακυμάνθηκε από 2 ως 12 min.

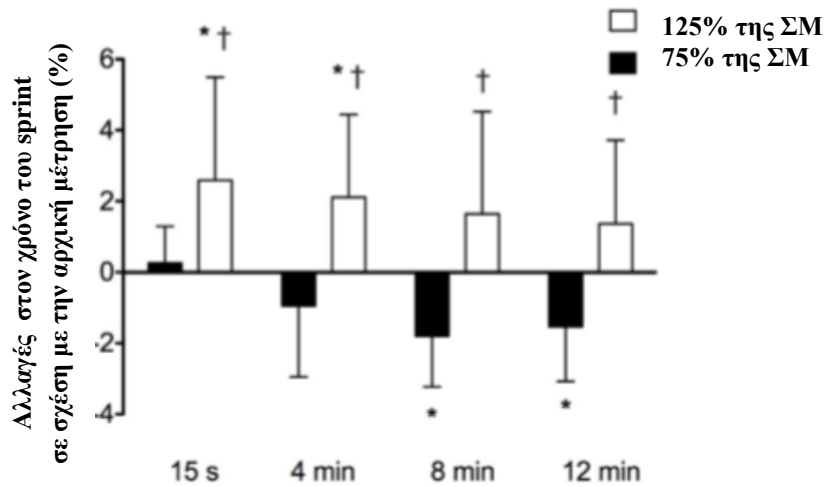
Τα τελευταία χρόνια στις μελέτες τείνουν να χρησιμοποιούνται υψηλά φορτία στην έλξη έλκηθρου που ξεπερνούν το 50% της ΣΜ για την επίτευξη ΜΔΕ. Οι Jarvis και συν. (2017) εξέτασαν αν η έλξη έλκηθρου με φορτίο 50% της ΣΜ (40 – 44% μείωση της μέσης ταχύτητας του sprint) και με διαφορετικό όγκο άσκησης (1, 2 και 3 επαναλήψεις) θα επηρέαζε την επίδοση στο sprint 15 m. Ο χρόνος εκτέλεσης του sprint μειώθηκε σημαντικά με 8 min αποκατάστασης κατά 2.7% όταν η άσκηση ενεργοποίησης είχε τον μεγαλύτερο όγκο (3 επαναλήψεις). Όταν εξετάστηκαν ατομικά οι καλύτερες επιδόσεις σε όλες τις χρονικές στιγμές και στις 3 συνθήκες παρέμβασης, φάνηκε πως με την μία επανάληψη τα πιο γρήγορα sprint σε σχέση με την αρχική μέτρηση εμφανίστηκαν στα 4, 8 και 12 min αποκατάστασης (37.5, 37.5 και 12.5% των δοκιμαζομένων, αντίστοιχα), ενώ με τις 3 επαναλήψεις στα 8 και 12 min (75 και 25% των δοκιμαζομένων, αντίστοιχα). Στη μελέτη των Winwood και συν. (2016) διερευνήθηκαν οι διαφορές στην επίδοση σε 15 m sprint ύστερα από 15 και 7.5 m έλξης έλκηθρου με φορτίο 75 και 150% της ΣΜ, αντίστοιχα. Οι μετρήσεις της επίδοσης στο sprint πραγματοποιήθηκαν 4, 8 και 12 min μετά την άσκηση ενεργοποίησης (Σχήμα 2.16). Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική βελτίωση της απόδοσης κατά 0.8% στα 12 min αποκατάστασης με φορτίο 75% της ΣΜ (34 – 37% μείωση της ταχύτητας). Το φορτίο 150% δεν προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στην επίδοση. Επιπλέον, βρέθηκε μεταβλητότητα στον χρόνο αποκατάστασης όπου οι δοκιμαζόμενοι παρουσίασαν την καλύτερη ατομική τους επίδοση. Σύμφωνα με τις δύο παραπάνω έρευνες, τα φορτία που προκαλούν μείωση της ταχύτητας των δοκιμαζομένων κατά 40 – 44 και 34 – 37%, όπως και

η εξατομικευμένη διάρκεια αποκατάστασης μπορεί να είναι αποτελεσματικά ερεθίσματα για τη βελτίωση του χρόνου του sprint.



Σχήμα 2.16. Οι μεγαλύτερες αλλαγές στον χρόνο του sprint (εκφραζόμενες ως ποσοστά) ύστερα από έλξη έλκηθρου με φορτίο 75 και 150% της ΣΜ. Οι θετικές τιμές αντιπροσωπεύουν θετικές αλλαγές στον χρόνο του sprint (π.χ. πιο γρήγορο sprint) σε σχέση με τις αρχικές τιμές (Winwood et al., 2016).

Τα αποτελέσματα της μελέτης των Seitz και συν. (2017) συμφωνούν με τα προηγούμενα ευρήματα. Η μελέτη έδειξε πως η ώθηση έλκηθρου με φορτίο 75% της ΣΜ προκάλεσε σημαντική μείωση στα 20 m sprint ύστερα από 8 και 12 min αποκατάστασης κατά 1.8 και 1.5%, αντίστοιχα (Σχήμα 2.17). Αντιθέτως, όταν χρησιμοποιήθηκε φορτίο 125% της ΣΜ η επίδοση στο sprint ήταν χειρότερη σε όλες τις χρονικές στιγμές. Μία πιθανή εξήγηση για την αναποτελεσματικότητα των φορτίων > 125% της ΣΜ στην πρόκληση ΜΔΕ είναι η κυριαρχία της κόπωσης μετά από τόσο υψηλά ερεθίσματα. Επιπλέον, σύμφωνα με τους συγγραφείς, τέτοια φορτία είναι πιθανό να προκαλέσουν επιζήμιες αλλαγές στην τεχνική του τρεξίματος, όπως αύξηση της γωνίας του κορμού ή της άρθρωσης του ισχίου με αποτέλεσμα την άμεση επιδείνωση της επίδοσης σε sprint χωρίς αντίσταση.



Σχήμα 2.17. Ποσοστιαίες αλλαγές στον χρόνο του sprint ύστερα από ώθηση έλκηθρου με φορτίο 75 και 125% της ΣΜ. Οι αρνητικές τιμές δηλώνουν βελτίωση της απόδοσης, ενώ οι θετικές αύξηση του χρόνου του sprint. * σημαντική διαφορά από την αρχική μέτρηση; † σημαντική διαφορά από το 75% (Seitz et al., 2017).

Σε ένα διαφορετικό πρωτόκολλο παρέμβασης οι Monaghan & Cochrane (2020) όρισαν το φορτίο του έλκηθρου ως ποσοστό μείωσης της μέγιστης ταχύτητας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο ποσοστά, 35 και 55% μείωση ταχύτητας και δύο είδη τρεξίματος με έλξη έλκηθρου, προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Η απόσταση που χρησιμοποιήθηκε για την άσκηση ενεργοποίησης ήταν 5 και 3.2 m για τα βαριά και τα πιο ελαφριά φορτία, αντίστοιχα. Το φορτίο ως ποσοστό της ΣΜ με 35% μείωση ταχύτητας αντιστοιχούσε σε 88.9 και 75.8% για το τρέξιμο προς τα πίσω και προς τα εμπρός, αντίστοιχα, και σε 141.1 και 132.8% για το τρέξιμο προς τα πίσω και προς τα εμπρός με 55% μείωση ταχύτητας, αντίστοιχα. Ως τεστ αξιολόγησης ορίστηκαν τα 5 m επιτάχυνσης και η επίδοση μετρήθηκε στα 6 και στα 12 min αποκατάστασης. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως καμία συνθήκη δεν κατάφερε να προκαλέσει ενίσχυση της επίδοσης. Από την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα μυών του κάτω άκρου (δικέφαλος και έξω πλατύς μηριαίος μυς, μέσος γαστροκνήμιος και πρόσθιος κνημιαίος μυς) φάνηκε πως οι ασκήσεις ενεργοποίησης δεν προκάλεσαν κόπωση. Επομένως, οι αποστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στις παρεμβάσεις ίσως δεν αποτέλεσαν ικανά ερεθίσματα για την παραγωγή κόπωσης. Συνεπώς, χωρίς επαρκή κόπωση δεν μπορεί να υπάρξει εμφάνιση της ΜΔΕ.

Σε πρόσφατη μελέτη, οι Williams και συν. (2020) εξέτασαν την επίδραση της έλξης έλκηθρου με το φορτίο που προκαλεί μείωση της μέγιστης ταχύτητας κατά 40 – 50% (66 – 70% της ΣΜ). Το πρωτόκολλο περιελάμβανε 3 x 15 m έλξη έλκηθρου (90 s διάλειμμα ανάμεσα στις επαναλήψεις) ύστερα από μία τυπική προθέρμανση. Για την αξιολόγηση της απόδοσης εκτελέστηκε sprint 15 m πριν και 2, 4 και 6 min μετά από την άσκηση ενεργοποίησης. Η καλύτερη επίδοση από τις 3 προσπάθειες μετά την παρέμβαση χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση με την αρχική μέτρηση (πίνακας 2.2). Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση του χρόνου εκτέλεσης του sprint ύστερα από το τρέξιμο με έλξη έλκηθρου κατά 3.8%.

Πίνακας 2.2. Ατομικές επιδόσεις και μέσος όρος επιδόσεων στο αρχικό sprint και στο sprint μετά την παρέμβαση και διαφορά ανάμεσα στις επιδόσεις μετά – πριν (Williams et al., 2020).

Subject's identifier	Baseline sprint time (s)	Post sprint time (s)	Delta (post – base)
1	2.79	2.67	-0.12
2	2.71	2.54	-0.17
3	2.74	2.54	-0.2
4	2.72	2.73	0.01
5	2.71	2.75	0.04
6	2.69	2.63	-0.06
7	2.63	2.56	-0.07
8	2.59	2.49	-0.1
9	2.9	2.82	-0.08
10	2.75	2.61	-0.14
11	2.74	2.61	-0.13
12	2.54	2.52	-0.02
13	2.58	2.45	-0.13
14	2.68	2.56	-0.12
15	2.76	2.56	-0.2
Mean	2.70	2.60	-0.10
SD	0.09	0.10	0.07

Οι μελέτες που διερευνούν την επίδραση του τρεξίματος με χρήση έλκηθρου στην απόδοση είναι περιορισμένες και παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς την άσκηση ενεργοποίησης, δηλαδή στο φορτίο που χρησιμοποιείται, στην απόσταση και τις επαναλήψεις που εκτελείται το τρέξιμο με αντίσταση, στο διάλειμμα ανάμεσα στην άσκηση ενεργοποίησης και την αξιολόγηση της επίδοσης αλλά και στην απόσταση που αξιολογείται η απόδοση μετά την εφαρμογή της άσκησης. Επίσης, διαφορές υπάρχουν και στα χαρακτηριστικά των δοκιμαζομένων, όπως το φύλο και το προπονητικό επίπεδο.

Όσον αφορά το φορτίο της αντίστασης, οι ελαφριές επιβαρύνσεις (< 15% της ΣΜ) παρουσιάζουν αντικρουόμενα αποτελέσματα. Δύο μελέτες έδειξαν βελτίωση κατά 2% και 3.6% σε 20 και 36.6 m sprint (Van Den Tillaar & Von Heimburg, 2017; Starker et al., 2019), ενώ άλλες δεν κατάφεραν να προκαλέσουν εμφάνιση ΜΔΕ (Smith et al., 2014; Mangine et al., 2018). Παρομοίως, με φορτίο 30% της ΣΜ βρέθηκε βελτίωση 4.6% στα 5 m επιτάχυνσης (Wong et al., 2017), παρόλο που σε άλλες μελέτες δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην επίδοση (Smith et al., 2014; Whelan et al., 2014).

Σε μεγαλύτερες επιβαρύνσεις, οι έρευνες παρουσιάζουν ενίσχυση της απόδοσης μετά το πρωτόκολλο παρέμβασης. Φορτία 50 – 75 της ΣΜ προκάλεσαν βελτίωση στον χρόνο εκτέλεσης 15 m sprint κατά 0.8 – 2.7% (Winwood et al., 2016; Jarvis et al., 2017; Seitz et al., 2017). Στις παλαιότερες μελέτες που εξετάζουν τα μακροχρόνια και τα άμεσα αποτελέσματα της χρήσης του έλκηθρου χρησιμοποιούνταν πιο ελαφριά φορτία (< 30% της ΣΜ), καθώς θεωρούταν πως επιβαρύνσεις > 13% της ΣΜ θα προκαλούσαν αρνητικές συνέπειες στην τεχνική του τρεξίματος (Cahill et al., 2019). Παρόλα αυτά, πιο πρόσφατες μελέτες δείχνουν πως τα βαρύτερα φορτία προκαλούν μεγαλύτερη παραγωγή δύναμης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της φάσης ώθησης και μεγαλύτερη οριζόντια κατεύθυνση της εφαρμογής της

δύναμης, με αποτέλεσμα την άμεση αύξηση της οριζόντιας παραγωγής δύναμης (Kawamori et al., 2014). Επομένως, τα βαρύτερα φορτία ίσως αποτελούν πιο αποτελεσματικό ερέθισμα για την πρόκληση ΜΔΕ σε σχέση με τις ελαφρύτερες επιβαρύνσεις.

Για τον καθορισμό της επιβάρυνσης κατά το τρέξιμο με χρήση έλκηθρου το ποσοστό της ΣΜ είναι η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος παρουσιάζει τον περιορισμό πως δεν λαμβάνει υπόψη την επίδραση της τριβής, καθώς διαφορετικές επιφάνειες και μοντέλα έλκηθρου θα προκαλέσουν διαφορετικούς βαθμούς του συντελεστή τριβής και θα επηρεάσουν την ταχύτητα του έλκηθρου (Linthorne & Cooper, 2013). Για παράδειγμα, η έλξη έλκηθρου με το ίδιο απόλυτο φορτίο σε γρασίδι ή συνθετικό έδαφος θα παρέχει διαφορετικό προπονητικό ερέθισμα. Επομένως, μία πιο αποτελεσματική μέθοδος είναι ο υπολογισμός του φορτίου ως ποσοστό μείωσης της μέγιστης ταχύτητας. Σε πρόσφατη μελέτη, οι Cross και συν. (2017a) αξιολόγησαν την έλξη έλκηθρου με φορτία 20 – 120% της ΣΜ. Οι ερευνητές βρήκαν πως το φορτίο που προκαλεί τη μέγιστη παραγωγή ισχύος κυμαινόταν μεταξύ 69 και 96% της ΣΜ σε αθλούμενους αναψυχής και σε sprinters υψηλού επιπέδου. Το πιο σημαντικό εύρημα όμως, ήταν πως το βέλτιστο φορτίο προκάλεσε μείωση της μέγιστης ταχύτητας κατά 48 – 52% σε όλους τους αθλητές. Οι Monaghan & Cochrane (2020) χρησιμοποιώντας φορτίο που προκαλεί 35 και 55% μείωση ταχύτητας δεν βρήκαν διαφορές στην επίδοση, όμως το προπονητικό ερέθισμα πιθανώς δεν ήταν αρκετό για να προκαλέσει την εμφάνιση ΜΔΕ. Από την άλλη πλευρά, οι Williams και συν. (2020) με φορτίο που προκαλεί μείωση της μέγιστης ταχύτητας 40 – 50% έδειξαν βελτίωση στα 15 m sprint κατά 3.8%.

Η απόσταση που έχει χρησιμοποιηθεί κατά την άσκηση ενεργοποίησης κυμαίνεται από 3.2 m ως 36.6 m, ενώ φαίνεται πως αποστάσεις > 15 m είναι πιο αποτελεσματικές (Winwood et al., 2016; Monaghan & Cochrane, 2020; Starker et al., 2019; Williams et al., 2020). Επιπλέον, ΜΔΕ έχει προκληθεί με μία επανάληψη της έλξης έλκηθρου (Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; Wong et al., 2017; Starker et al., 2019), αλλά και με 3 επαναλήψεις (Jarvis et al., 2017; Williams et al., 2020). Παρόλα αυτά, για τον κατάλληλο όγκο της άσκησης ενεργοποίησης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του φορτίου που χρησιμοποιείται και το επίπεδο των δοκιμαζομένων. Επιπλέον, βελτίωση της επίδοσης έχει βρεθεί σε αποστάσεις από 5 ως 36.6 m sprint (Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; Wong et al., 2017; Starker et al., 2019).

Ο χρόνος ανάπαυσης που απαιτείται ανάμεσα στην άσκηση ενεργοποίησης και της αξιολόγησης της απόδοσης πιθανώς είναι > 6 min (Winwood et al., 2016; Jarvis et al., 2017; Seitz et al., 2017; Van Den Tillaar & Von Heimburg, 2017). Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τους Seitz & Haff (2015), οι οποίοι έδειξαν πως ύστερα από ασκήσεις αντιστάσεων με μέτρια και υψηλή ένταση χρειάζονται > 5 min ξεκούρασης για να επέλθει βελτίωση της απόδοσης. Ωστόσο, το επίπεδο των δοκιμαζομένων διαμορφώνει την κατάλληλη διάρκεια της ξεκούρασης, καθώς τα πιο προπονημένα άτομα εμφανίζουν ΜΔΕ στα 5 – 7 min μετά την άσκηση ενεργοποίησης, ενώ τα πιο αδύναμα άτομα χρειάζονται > 8 min ανάπαυσης (Seitz & Haff, 2015). Πάντως, οι μελέτες υποδεικνύουν πως ένας εξατομικευμένος χρόνος ανάπαυσης που κυμαίνεται από 2 ως 12 min είναι πιο

αποτελεσματικός για την πρόκληση ΜΔΕ ύστερα από τρέξιμο με αντίσταση (Wong et al., 2017; Williams et al., 2020).

Συνοψίζοντας, η χρήση έλκηθρου φαίνεται να αποτελεί αποτελεσματική μέθοδο για την άμεση ενίσχυση της απόδοσης στη φάση επιτάχυνσης του sprint. Τα βαριά φορτία είναι μάλλον πιο αποτελεσματικά, ενώ μία επανάληψη της άσκησης ενεργοποίησης μπορεί να είναι αρκετό ερέθισμα για την εμφάνιση ΜΔΕ. Βελτίωση της επίδοσης παρουσιάζεται σε 5 – 36.6 m sprint με χρόνο ανάπαυσης > 6 min, ενώ ίσως να είναι πιο αποδοτική η εξατομικευμένη διάρκεια ξεκούρασης.

Πίνακας 2.3. Σύνοψη των βασικών χαρακτηριστικών των μελετών που εξέτασαν την άμεση επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στη φάση επιτάχυνσης του τρεξίματος μέγιστης ταχύτητας.

Μελέτη	Δείγμα	Πρωτόκολλο ΜΔΕ		Αποτελέσματα
		Άσκηση	Διάλειμμα (min)	
Monaghan & Cochrane (2020)	18 προπονημένοι άνδρες	3 x 5 m και 3 x 3.2 m έλξη έλκηθρου προς τα εμπρός και προς τα πίσω με φορτίο που προκαλεί 35% και 55% μείωση της μέγιστης ταχύτητας, αντίστοιχα	6, 12	όχι διαφορές στα 5 m sprint
Wong et al. (2017)	20 σωματικά δραστήριοι άνδρες	30 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 30% της ΣΜ	2, 4, 6, 8, 12	βελτίωση στα 5 m (εξατομικευμένη διάρκεια αποκατάστασης)
Whelan et al. (2014)	12 σωματικά δραστήριοι άνδρες	3 x 10 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 25-30% της ΣΜ	1, 2, 4, 6, 8, 10	όχι διαφορές στα 5 και 10 m

«Η επίδραση ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά χαρακτηριστικά και στο ταχοδυναμικό προφίλ των δρόμων ταχύτητας»

Winwood et al. (2016)	22 αθλητές ράγκμπι	15 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 75% της ΣΜ 7.5 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 150% της ΣΜ	4, 8, 12	βελτίωση στα 15 m με φορτίο 75% της ΣΜ (12 min)
Williams et al. (2020)	15 παίκτες – τρεις ποδοσφαιρού	3 x 15 m έλξη έλκηθρου που προκαλεί 40 - 50% μείωση της μέγιστης ταχύτητας	2, 4, 6	βελτίωση στα 15 m (εξατομικευμένη διάρκεια αποκατάστασης)
Jarvis et al. (2017)	8 αθλητές ομαδικών αθλημάτων	1, 2 και 3 x 15 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 50% της ΣΜ	4, 8, 12	βελτίωση στα 15 m με 3 x 15 m έλξη έλκηθρου (8 min)
Van Den Tillaar & Von Heimburg (2017)	15 παίκτριες χειροσφαίρισης	7 x 20 m εναλλάσσοντας ελεύθερο sprint και sprint με έλξη φορτίου 5 kg	5 - 6	βελτίωση στα 20 m μετά το 1ο sprint με φορτίο
Mangine et al. (2018)	23 παίκτες – τρεις καλαθοσφαίρισης	20 m sprint με αντίσταση ίση με φορτίο 5% της ΣΜ	4 - 9	όχι διαφορές στα 20 m sprint

Seitz et al. (2017)	20 αθλητές ράγκμπι	15 και 9 m ώθηση έλκηθρου με φορτίο 75% και 125% της ΣΜ, αντίστοιχα	15 (s), 4, 8, 12	βελτίωση στα 20 m με φορτίο 75% της ΣΜ (4, 8 & 12 min). Αύξηση του χρόνου επίδοσης με φορτίο 125% της ΣΜ (15 s, 4, 8 & 12 min)
Starker et al. (2019)	15 αθλητές – τριες στίβου	36.6 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 10 - 15% της ΣΜ	3 - 4	βελτίωση στα 36.6 m
Smith et al. (2014)	24 προπονημένοι – ες άνδρες & γυναίκες	20 yd έλξη έλκηθρου με φορτίο 10, 20 ή 30% της ΣΜ	4	όχι διαφορές στις 40 yd

2.1.5.3. Η άμεση επίδραση των ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος ταχύτητας

Τα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος καθορίζουν την ανάπτυξη της ταχύτητας κατά το sprint και περιλαμβάνουν το μήκος και τη συχνότητα βήματος, τον χρόνο πτήσης και τον χρόνο επαφής με το έδαφος (Lockie et al., 2012). Η δρομική ταχύτητα αποτελεί το παράγωγο της συχνότητας και του μήκους βήματος, όπου ως βήμα ορίζεται η απόσταση από την επαφή ενός ποδιού με το έδαφος ως την επόμενη επαφή του ετερόπλευρου ποδιού με το έδαφος (Hunter et al., 2004). Επομένως, η βελτίωση μίας από αυτές τις μεταβλητές θα οδηγήσει σε αύξηση της ταχύτητας, και συνεπώς σε ενίσχυση της επίδοσης στο sprint (Behrens & Simonson, 2011).

Για τη βελτίωση των κινηματικών χαρακτηριστικών εφαρμόζονται διάφορες προπονητικές τεχνικές. Το τρέξιμο με αντίσταση αποτελεί μία συνηθισμένη μέθοδος προπόνησης. Οι μελέτες δείχνουν πως κατά το τρέξιμο με αντίσταση υπάρχει μείωση της ταχύτητας, η οποία οφείλεται σε μείωση του μήκους και της συχνότητας του βήματος και του χρόνου πτήσης και σε αύξηση του χρόνου επαφής με το έδαφος (Cahill et al., 2019). Κατά το τρέξιμο με έλκηθρο, το μήκος και η συχνότητα βήματος μειώνονται όσο αυξάνεται το φορτίο που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, φορτίο 12.6% της ΣΜ προκάλεσε μείωση του μήκους βήματος κατά 10%, ενώ με φορτίο 32.2% της ΣΜ η απώλεια στο μήκος βήματος ήταν 24% (Lockie et al., 2003). Παρόλα αυτά, η χρήση του τρεξίματος με αντίσταση μακροχρόνια προκαλεί ενίσχυση της απόδοσης, αφού αυξάνεται η δρομική ταχύτητα, κυρίως μέσω της αύξησης του μήκους βήματος (Lockie et al., 2012). Επιπλέον, οι πλειομετρικές ασκήσεις χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της ικανότητας της ταχύτητας, καθώς βελτιώνουν την παραγωγή ισχύος και κατά επέκταση το μήκος του βήματος (Behrens & Simonson, 2011).

Ενώ για τις μακροχρόνιες αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία, οι άμεσες μεταβολές ύστερα από την εφαρμογή ασκήσεων ενεργοποίησης δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς. Ερευνητές που έχουν χρησιμοποιήσει για την πρόκληση ΜΔΕ τρέξιμο με έλξη έλκηθρου εξέτασαν και τις άμεσες αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά μετά την εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης (Whelan et al., 2014; Jarvis et al., 2017; Van Den Tillaar & Von Heimburg, 2017; Mangine et al., 2018; Monaghan & Cochrane, 2020). Οι Jarvis και συν. (2017) διερεύνησαν την επίδραση 1, 2 και 3 επαναλήψεων έλξης έλκηθρου με φορτίο 50% της ΣΜ στα 15 m επιτάχυνσης και στα κινηματικά χαρακτηριστικά σε αθλητές ομαδικών αθλημάτων. Τα πρώτα 5 m του sprint κινηματογραφήθηκαν και αναλύθηκαν το μήκος και η συχνότητα του 3^{ου} βήματος κατά το sprint. Ο χρόνος εκτέλεσης του sprint μειώθηκε σημαντικά, όμως δεν βρέθηκαν διαφορές στα κινηματικά χαρακτηριστικά. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η μη εμφάνιση διαφορών στα κινηματικά χαρακτηριστικά ίσως οφείλεται στο επίπεδο των δοκιμαζομένων, καθώς είναι πιθανό τα αποτελέσματα να ήταν διαφορετικά σε προπονημένους sprinters.

Σε άλλη μελέτη, εξετάστηκαν οι διαφορές στα 20 m sprint και στα κινηματικά χαρακτηριστικά ύστερα από τρέξιμο με αντίσταση με φορτίο 5kg (Van Den Tillaar & Von Heimburg, 2017). Για κάθε βήμα μετρήθηκαν το μήκος

βήματος και ο χρόνος πτήσης και επαφής με το έδαφος, χρησιμοποιώντας έναν υπέρυθρο τάπητα και μία συσκευή λείζερ. Για την ανάλυση των δεδομένων δημιουργήθηκαν 6 κύκλοι βημάτων, όπου ο καθένας περιελάμβανε 2 βήματα, ένα με το δεξί και ένα με το αριστερό άκρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση στην επίδοση του sprint, χωρίς όμως διαφορές στα κινηματικά χαρακτηριστικά. Σε διαφορετική έρευνα, έλξη έλκηθρου με φορτίο 5% δεν κατάφερε να προκαλέσει διαφορές στο μήκος και τη συχνότητα βήματος αλλά ούτε και στον χρόνο εκτέλεσης των 20 m sprint (Mangine et al., 2018). Παρομοίως, οι Whelan και συν. (2014), με μεγαλύτερη αντίσταση κατά την έλξη έλκηθρου (25 – 30% της ΣΜ), δεν βρήκαν διαφορές στο μήκος και τη συχνότητα βήματος, στον χρόνο επαφής με το έδαφος και στην επίδοση στα 10 m επιτάχυνσης. Για την μέτρηση των κινηματικών χαρακτηριστικών στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα οπτικό σύστημα ανάλυσης (Optojump Next, Microgate, Bolzano, Italy). Επιπλέον, ο χρόνος επαφής με το έδαφος στο 1^ο βήμα κατά την επιτάχυνση 5 m δεν μεταβλήθηκε με έλξη έλκηθρου προς τα εμπρός και προς τα πίσω με τα φορτία που προκαλούν μείωση της ταχύτητας κατά 35 και 55% (Monaghan & Cochrane, 2020).

Ορισμένες μελέτες έχουν διερευνήσει τις άμεσες αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά ύστερα από πλειομετρικές ασκήσεις. Οι Yoshimoto και συν. (2016) εξέτασαν την επίδραση των πολλαπλών αλμάτων και των περασμάτων εμποδίων με τρέξιμο (3 x 10 περάσματα) στον χρόνο εκτέλεσης 60 m sprint και στο μήκος και τη συχνότητα βήματος. Για τον υπολογισμό των μεταβλητών τα sprint καταγράφηκαν με κάμερα υψηλής ταχύτητας. Η απόσταση των 60 m διαιρέθηκε ανά 10 m σχεδιάζοντας γραμμές στον διάδρομο τρεξίματος, ώστε να υπολογιστούν οι μεταβλητές ως μέσος όρος ανά 10 m. Επιπλέον, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των μεταβλητών στα 60 m από τους μέσους όρους στις φάσεις των 10 m. Το μήκος βήματος υπολογίστηκε διαιρώντας τη δρομική ταχύτητα με τη συχνότητα βήματος. Η συχνότητα βήματος ορίστηκε ως ο αριθμός των βημάτων ανά s. Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση του χρόνου εκτέλεσης του sprint κατά 3.2%, η οποία συνοδεύτηκε από αύξηση στη συχνότητα βήματος κατά 3.3% ύστερα από τα περάσματα εμποδίων. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η εκτέλεση ασκήσεων που απαιτούν υψηλή συχνότητα, όπως τα περάσματα εμποδίων τρέχοντας, οδηγούν σε άμεση αύξηση της συχνότητας του βήματος κατά το sprint. Ωστόσο, άλλη μελέτη απέτυχε να δείξει αλλαγή στον χρόνο εκτέλεσης 30 m sprint, όσο και στο μήκος βήματος και τον χρόνο επαφής με το έδαφος στα 10 m (Kümmel et al., 2016).

Ο πολύ μικρός αριθμός των μελετών που διερευνούν τις αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά ύστερα από την εκτέλεση ασκήσεων ενεργοποίησης δεν επιτρέπει τον σχηματισμό ασφαλών συμπερασμάτων. Επιπλέον, οι μελέτες παρουσιάζουν διαφορές τόσο στα πρωτόκολλα παρέμβασης, όσο και στην μέθοδο ανάλυσης των κινηματικών χαρακτηριστικών. Σε κάποιες έρευνες τα κινηματικά χαρακτηριστικά αναλύθηκαν μέσω κινηματογράφησης των sprint, ενώ σε άλλες χρησιμοποιήθηκαν οπτικά συστήματα ή υπέρυθρος τάπητας (Jarvis et al., 2017; Van Den Tillaar & Von Heimburg, 2017; Whelan et al., 2017). Διαφορά υπάρχει, επίσης, στην απόσταση ή τα βήματα που αναλύθηκαν, αφού μελέτες εξέτασαν ένα μόνο βήμα ή τον μέσο όρο των τιμών των μεταβλητών σε 5 – 60 m sprint

(Whelan et al., 2014; Yoshimoto et al., 2016; Mangine et al., 2018; Monaghan & Cochrane, 2020).

Ορισμένες μελέτες δεν κατάφεραν να δείξουν ενίσχυση της απόδοσης με την εφαρμογή ασκήσεων ενεργοποίησης και συνεπώς δεν παρουσιάστηκαν μεταβολές στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος (Kummel et al., 2016; Mangine et al., 2018; Monaghan & Cochrane, 2020). Ωστόσο, σε άλλες έρευνες υπήρξε βελτίωση των επιδόσεων σε sprint 15 και 20 m, οι οποίες όμως δεν συνοδεύτηκαν από σημαντικές αλλαγές στο μήκος και τη συχνότητα βήματος και τον χρόνο πτήσης και επαφής με το έδαφος (Jarvis et al., 2017; Van Den Tillaar & Von Heimburg, 2017). Μία μόνο μελέτη κατάφερε να δείξει πως η αύξηση στην ταχύτητα σε 60 m sprint προκλήθηκε από αύξηση της συχνότητας βήματος, οδηγώντας τους συγγραφείς στο συμπέρασμα πως ασκήσεις με υψηλή συχνότητα εκτέλεσης επηρεάζουν τη συχνότητα βήματος στο sprint που ακολουθεί (Yoshimoto et al., 2016).

Συνεπώς, είναι φανερό πως χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση για να καθοριστεί αν τελικά η βελτίωση της απόδοσης προέρχεται από συγκεκριμένες άμεσες αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά και αν το είδος της άσκησης ενεργοποίησης επηρεάζει τις αλλαγές αυτές.

Πίνακας 2.4. Σύνοψη των βασικών χαρακτηριστικών των μελετών που εξέτασαν την άμεση επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος.

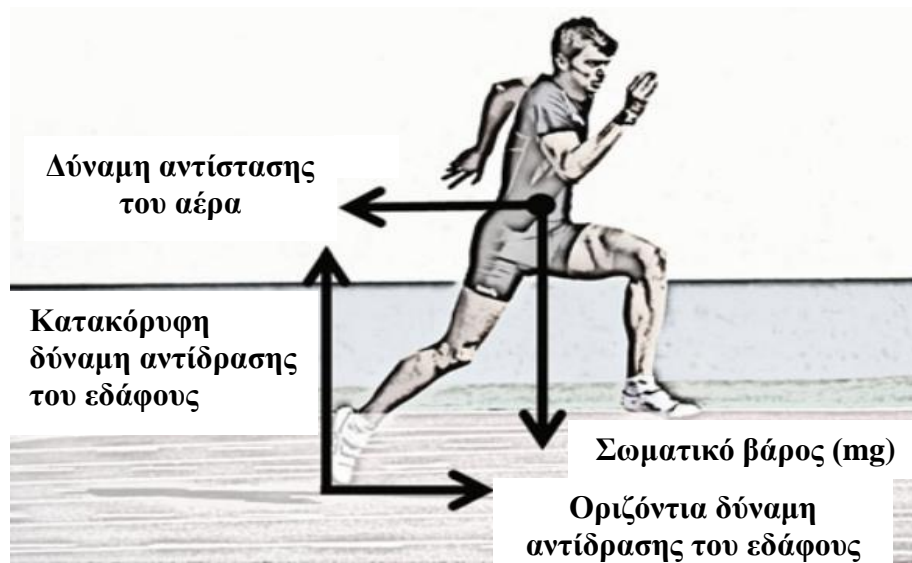
Μελέτη	Δείγμα	Πρωτόκολλο ΜΔΕ		Αποτελέσματα
		Άσκηση	Διάλειμμα (min)	
Monaghan & Cochrane (2020)	18 προπονημένοι άνδρες	3 x 5 m και 3 x 3.2 m έλξη έλκηθρου προς τα εμπρός και προς τα πίσω με φορτίο που προκαλεί 35% και 55% μείωση της μέγιστης ταχύτητας, αντίστοιχα	6, 12	όχι διαφορές στον χρόνο επαφής του 1 ^{ου} βήματος
Whelan et al. (2014)	12 σωματικά δραστήριοι άνδρες	3 x 10 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 25 – 30% της ΣΜ	1, 2, 4, 6, 8, 10	όχι διαφορές στα 6 πρώτα βήματα του sprint
Jarvis et al. (2017)	8 αθλητές ομαδικών αθλημάτων	1, 2 και 3 x 15 m έλξη έλκηθρου με φορτίο 50% της ΣΜ	4, 8, 12	όχι διαφορές στο μήκος & τη συχνότητα του 3 ^{ου} βήματος

«Η επίδραση ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά χαρακτηριστικά και στο ταχοδυναμικό προφίλ των δρόμων ταχύτητας»

Van Den Tillaar & Von Heimburg (2017)	15 παίκτριες χειροσφαίρισης	7 x 20 m εναλλάσσοντας ελεύθερο sprint και sprint με έλξη φορτίου 5 kg	5 – 6	όχι διαφορές στον χρόνο πτήσης, στον χρόνο επαφής με το έδαφος, στο μήκος & τη συχνότητα βήματος στα 20 m
Mangine et al. (2018)	23 παίκτες – τριες καλαθοσφαίρισης	20 m sprint με αντίσταση ίση με φορτίο 5% της ΣΜ	4 – 9	όχι διαφορές στο μήκος & τη συχνότητα βήματος στα 5, 10, 15 & 20 m
Yoshimoto et al. (2016)	10 άνδρες sprinters	3 x 60 m πολλαπλά άλματα 3 x 10 περάσματα εμποδίων (ύψος 22 cm)	10	αύξηση της συχνότητας βήματος στα 60 m με τα περάσματα εμποδίων. Όχι διαφορές στο μήκος βήματος
Kümmel et al. (2016)	5 αθλητές υψηλού επιπέδου	10 μέγιστες αναπηδήσεις	10 (s)	όχι διαφορές στο μήκος βήματος & στον χρόνο επαφής στα 10 m

2.2. Μηχανική αποτελεσματικότητα κατά την επιτάχυνση στο τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας

Η απόδοση κατά τη φάση επιτάχυνσης στο sprint εξαρτάται από μηχανικούς παράγοντες, όπως το μέγεθος, ο προσανατολισμός και η εφαρμογή των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους (ΔΑΕ) (Hicks et al., 2020). Σύμφωνα με τον νόμο του Νεύτωνα, κατά τη φάση επαφής (ή στήριξης) με το έδαφος στο sprint, παράγεται μία ΔΑΕ, η οποία περιλαμβάνει οριζόντια και κατακόρυφη δύναμη (Εικόνα 2.3). Για να μπορέσει ένας αθλητής να επιταχύνει σε οριζόντια κατεύθυνση στον πιο σύντομο χρόνο, θα πρέπει να αναπτύξει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη οριζόντια δύναμη σε κάθε βήμα κατά το τρέξιμο (Hicks et al., 2020). Η αποτελεσματική εφαρμογή της δύναμης των κάτω άκρων σε οριζόντια κατεύθυνση καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, αναφέρεται ως μηχανική αποτελεσματικότητα και περιγράφει την αναλογία της οριζόντιας συνιστώσας της ΔΑΕ και της συνολικής προκύπτουσας ΔΑΕ κατά την επιτάχυνση (Morin et al., 2011; Samozino et al., 2016). Η ικανότητα της αποτελεσματικής οριζόντιας κατεύθυνσης της δύναμης χαρακτηρίζεται από το μηχανικό και το νευρομυϊκό σύστημα του ατόμου, αλλά επηρεάζεται και από την τεχνική ικανότητα του αθλητή στην εφαρμογή της δύναμης και της οριζόντιας ώθησης (Hicks et al., 2020).



Εικόνα 2.3. Σχηματική αναπαράσταση των εξωτερικών δυνάμεων που εφαρμόζονται σε έναν αθλητή κατά τη φάση επιτάχυνσης στο τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας (προσαρμοσμένο από Morin & Samozino, 2018).

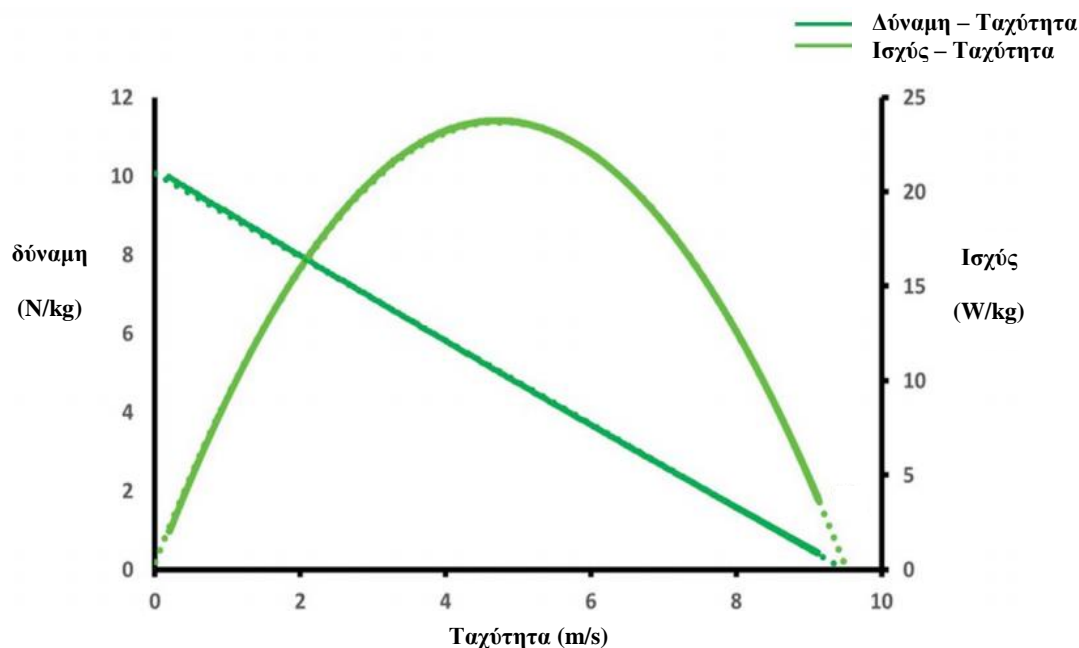
Μελέτες έχουν δείξει πως η οριζόντια συνιστώσα της προκύπτουσας ΔΑΕ που παράγεται τόσο σε τρέξιμο σε δαπεδοεργόμετρο, όσο και σε έδαφος, σχετίζεται σημαντικά με την απόδοση στο sprint σε αθλητές στίβου υψηλού επιπέδου αλλά και σε μη εξειδικευμένους αθλητές (Kugler, & Janshen, 2010; Morin, Bourdin et al., 2012; Rabita et al., 2015). Οι Morin και συν. (2012) έδειξαν πως η ικανότητα εφαρμογής οριζόντιας δύναμης κατά την επιτάχυνση αποτελεί

καθοριστικό παράγοντα για την επίδοση στα 100 m sprint. Από την άλλη πλευρά, η κατακόρυφη δύναμη που παράγεται κατά το τρέξιμο στη φάση επιτάχυνσης δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση (Kugler, & Janshen, 2010; Morin et al., 2011).

Η οριζόντια ώθηση επηρεάζει την απόδοση, καθώς όσο ο αθλητής κινείται κατά την επιτάχυνση, η εφαρμογή της δύναμης περιορίζεται σε μικρότερες περιόδους επαφής με το έδαφος. Επομένως, η εφαρμογή δύναμης προς την αντίθετη κατεύθυνση από τη μετατόπιση του κέντρου μάζας σώματος (ΚΜΣ), όσο αυξάνεται η ταχύτητα και μειώνεται ο χρόνος επαφής με το έδαφος, αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την απόδοση (Hicks et al., 2019). Οι Morin και συν. (2015) έδειξαν πως η σχετική κατακόρυφη ώθηση σε sprint 40 m δεν συσχετίστηκε με την απόδοση σε sprinters, όμως η οριζόντια συνιστώσα της ώθησης παρουσίασε σημαντική συσχέτιση ($r = 0.87$) με τη μέση ταχύτητα του sprint. Επιπλέον, οι πιο γρήγοροι sprinters ήταν ικανοί να παράγουν μεγαλύτερη οριζόντια ώθηση σε σύγκριση με τους αθλητές χαμηλότερου επιπέδου, ενώ διατήρησαν αυτήν την ώθηση σε ολόκληρη τη φάση επιτάχυνσης, παρόλο που υπήρχε αύξηση της δρομικής ταχύτητας και μείωση του χρόνου επαφής με το έδαφος (Morin et al., 2015).

Συνεπώς, η αξιολόγηση της μηχανικής αποτελεσματικότητας κατά την επιτάχυνση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την προπονητική. Η ικανότητα για παραγωγή οριζόντιας δύναμης μπορεί να περιγραφεί από την αντίστροφη γραμμική σχέση δύναμης – ταχύτητας ($F - v$) και την παραβολική σχέση ισχύος – ταχύτητας ($P - v$) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.18 (Rabita et al., 2015; Samozino et al., 2016). Αυτές οι σχέσεις καθορίζουν τις αλλαγές στην προωθητική δύναμη και την οριζόντια παραγωγή δύναμης καθώς αυξάνεται η δρομική ταχύτητα (Morin & Samozino, 2016).

Μία μέθοδος προπόνησης για την ενίσχυση της μηχανικής αποτελεσματικότητας είναι το τρέξιμο με έλξη έλκηθρου (Hicks et al., 2019). Κατά το τρέξιμο με έλκηθρο υπάρχει άμεση βελτίωση της μηχανικής αποτελεσματικότητας, ενώ όσο αυξάνεται το φορτίο αυξάνεται και η μηχανική αποτελεσματικότητα (Pantoja et al., 2018). Σύμφωνα με μία πρόσφατη συστηματική ανάλυση, η έλξη έλκηθρου με βαρύτερα φορτία ($> 20\%$ της ΣΜ), τα οποία προκαλούν μικρότερη ταχύτητα αλλά μεγαλύτερη παραγωγή δύναμης, ίσως να παρέχουν ένα πιο αποτελεσματικό ερέθισμα για τη βελτίωση της απόδοσης στη φάση επιτάχυνσης στο sprint (Petraikos et al., 2016). Οι Morin και συν. (2017) έδειξαν πως 8 εβδομάδες προπόνησης με φορτίο 80% της ΣΜ είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της μηχανικής αποτελεσματικότητας κατά 4.7%. Παρομοίως, η προπόνηση με το φορτίο που προκαλεί μείωση της θεωρητικής μέγιστης ταχύτητας κατά 50% προκάλεσε ενίσχυση της μηχανικής αποτελεσματικότητας ύστερα από 8 – 10 εβδομάδες (Escobar Alvarez et al., 2020; Morin et al., 2020).



Σχήμα 2.18. Οι σχέσεις δύναμης – ταχύτητας και ισχύος – ταχύτητας (Προσαρμοσμένο από Hicks et al., 2019).

2.2.1. Οριζόντιο προφίλ δύναμης – ταχύτητας

Το οριζόντιο προφίλ $F - v$ αποτελεί ένα εργαλείο αξιολόγησης και διάγνωσης που εξετάζει τα βασικά χαρακτηριστικά των σχέσεων $F - v$ και $P - v$ κατά την επιτάχυνση στο sprint (Samozino et al., 2016). Η σχέση $F - v$ (Σχήμα 2.18), υποδηλώνει πως σε ένα σταθερό επίπεδο μυϊκής ενεργοποίησης, η αύξηση της ταχύτητας προοδευτικά προκαλεί μείωση της παραγόμενης δύναμης από το νευρομυϊκό σύστημα (Hicks et al., 2019). Η μέγιστη θεωρητική δύναμη και ταχύτητα που μπορούν να παραχθούν, όπως και η σχετική μέγιστη παραγωγή ισχύος, χαρακτηρίζουν τις μηχανικές δυνατότητες ολόκληρου του νευρομυϊκού συστήματος (Samozino et al., 2016). Επιπλέον, η κλίση της σχέσης $F - v$ (S_{fv}) καθορίζει το μηχανικό προφίλ $F - v$ ενός αθλητή, δηλαδή την ατομική αναλογία μεταξύ των ικανοτήτων δύναμης και ταχύτητας (Samozino et al., 2016). Η μηχανική αποτελεσματικότητα κατά το sprint έχει ποσοτικοποιηθεί σε κάθε βήμα από την αναλογία της οριζόντιας συνιστώσας της ΔAE και της συνολικής προκύπτουσας ΔAE και σε ολόκληρη τη φάση επιτάχυνσης από τον ρυθμό της μείωσης αυτής της αναλογίας καθώς αυξάνεται η ταχύτητα (Morin et al., 2012; Rabita et al., 2015).

Συνεπώς, το οριζόντιο προφίλ $F - v$ παρέχει ατομικές πληροφορίες για τις σχέσεις δύναμης – ταχύτητας – ισχύος ($F - v - P$) και τη μηχανική αποτελεσματικότητα, φανερώνοντας τα δυνατά και τα αδύναμα σημεία ενός αθλητή κατά την επιτάχυνση (Morin & Samozino, 2016). Για τον λόγο αυτόν, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι και τεχνολογίες για την αξιολόγηση αυτών των μεταβλητών.

Για τον καθορισμό του προφίλ $F - v$ κατά το sprint αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δαπεδοεργόμετρα (Jaskolski et al., 1996; Jaskolska et al., 1998). Στη μελέτη των

Jaskolska και συν. (1998) χρησιμοποιήθηκε μηχανοκίνητο δαπεδοεργόμετρο, του οποίου η ζώνη επιταχυνόταν από την κίνηση των δοκιμαζομένων, ενώ τους κρατούσε σε ένα σταθερό σημείο. Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν έξι μέγιστες προσπάθειες των 5 s με διάφορα φορτία, τα οποία αντιστοιχούσαν στο 5, 8, 10, 13, 15 και 20% της μέγιστης αντίστασης του δαπεδοεργόμετρου (1350 N). Η οριζόντια δύναμη υπολογίστηκε από έναν μετασχηματιστή δύναμης και ένα γωνιόμετρο, ενώ η ταχύτητα από ένα σύστημα αισθητήρων που ήταν συνδεδεμένο με τη ζώνη του δαπεδοεργόμετρου. Η στιγμιαία ισχύς υπολογίστηκε από τον συνδυασμό της οριζόντιας δύναμης και της ταχύτητας της ζώνης. Σε πιο πρόσφατη μελέτη, ελέγχθηκε η αξιοπιστία ενός δαπεδοεργόμετρου με ενσωματωμένο δυναμόμετρο για τον υπολογισμό των ΔΑΕ κατά το sprint (Morin et al., 2010). Οι μηχανικές μεταβλητές υπολογίστηκαν από τις μέσες τιμές των επαφών των κάτω άκρων με το έδαφος ύστερα από την εκτέλεση μίας μόνο προσπάθειας.

Καθώς η αξιολόγηση των μηχανικών χαρακτηριστικών με τη χρήση δαπεδοεργόμετρου παρουσιάζουν προβληματισμούς, πχ μη φυσική κίνηση λόγω της ζώνης, με μία διαφορετική μέθοδο αξιολογήθηκαν οι ΔΑΕ σε sprint 40 m (Rabita et al., 2015). Χρησιμοποιώντας μία δυναμοπλατφόρμα μήκους 6.6 m, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 7 sprint ώστε να δημιουργηθεί ένα ενιαίο sprint 40 m. Οι μηχανικές παράμετροι υπολογίστηκαν για κάθε βήμα. Ωστόσο, τα πολλαπλά sprint ίσως να προκαλέσουν κόπωση και σφάλμα στα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό, σε πρόσφατη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν συγχρονισμένες δυναμοπλατφόρμες στη σειρά σε απόσταση 50 m. Έτσι, οι μεταβλητές των σχέσεων $F - v - P$ υπολογίστηκαν με μία προσπάθεια από τους αθλητές.

Αυτές οι μέθοδοι, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχει η κάθε μία, παρέχουν ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις των μηχανικών μεταβλητών κατά το sprint. Ωστόσο, ο ακριβός εξοπλισμός και οι τεχνικές γνώσεις που απαιτούνται για την εφαρμογή τους, δυσκολεύουν τη χρήση τους από τους προπονητές. Για τον λόγο αυτό, πρόσφατα δημιουργήθηκε μία νέα απλή μέθοδος πεδίου που μπορεί να καθορίσει τις σχέσεις $F - v - P$ και τη μηχανική αποτελεσματικότητα κατά την φάση επιτάχυνσης στο sprint (Samozino et al., 2016).

2.2.1.1. Μία απλή μέθοδος για τον καθορισμό του οριζόντιου προφίλ δύναμης – ταχύτητας

Οι Samozino και συν. (2016) ανέπτυξαν μία μέθοδο για τον προσδιορισμό των μηχανικών δυνατοτήτων του νευρομυϊκού συστήματος, βασισμένη σε ένα μακροσκοπικό μοντέλο που εφαρμόζει τους θεμελιώδεις νόμους της κίνησης στο ΚΜΣ του αθλητή κατά το τρέξιμο στη φάση επιτάχυνσης του sprint. Αυτή η προσέγγιση μοντελοποιεί την οριζόντια και την κατακόρυφη συνιστώσα της ΔΑΕ που εφαρμόζεται στο ΚΜΣ του αθλητή και τη δύναμη που αναπτύσσει ο αθλητής στο έδαφος στο οβελιαίο επίπεδο σε όλη τη διάρκεια της φάσης επιτάχυνσης του sprint.

Η εκτίμηση των ΔΑΕ, σύμφωνα με τη μέθοδο, μπορεί να γίνει μόνο από ανθρωπομετρικά και χωροχρονικά δεδομένα. Έτσι, θα πρέπει να είναι γνωστά η ΣΜ και το σωματικό ανάστημα του αθλητή και τα δεδομένα απόστασης – χρόνου ή ταχύτητας – χρόνου ανά 5 m. Το τελευταίο μπορεί να μετρηθεί με συσκευές λέιζερ και ραντάρ ή φωτοκύτταρα ή με κινηματογράφιση και ανάλυση των βίντεο. Επίσης, για την ακριβή εκτίμηση της δύναμης τριβής του αέρα χρειάζονται η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η ατμοσφαιρική πίεση. Έπειτα, το προφίλ $F - v - P$ μπορεί να υπολογιστεί από την απλή μοντελοποίηση της παραγωγής της καμπύλης ταχύτητας – χρόνου που οδηγεί στα δεδομένα της οριζόντιας επιτάχυνσης. Αξίζει να σημειωθεί πως για τον υπολογισμό των τιμών των μεταβλητών δεν λαμβάνονται υπόψη οι διαφορές ανάμεσα στα βήματα και επομένως, αντιστοιχούν σε τιμές μέσου όρου των βημάτων, δηλαδή του χρόνου επαφής με το έδαφος και του χρόνου πτήσης μαζί.

Οι περιορισμοί της μεθόδου είναι: (1) η μετατόπιση του ΚΜΣ αντιπροσωπεύει ολόκληρο το σώμα, (2) το βιομηχανικό μοντέλο επικεντρώνεται στις συνιστώσες της ΔΑΕ στο οβελιαίο επίπεδο της κίνησης και δεν λαμβάνεται υπόψη το μεσο-πλάγιο επίπεδο, (3) ο οριζόντιος αεροδυναμικός συντελεστής τριβής εκτιμάται μόνο από το σωματικό ανάστημα, τη ΣΜ και έναν σταθερό συντελεστή οπισθέλκουσας δύναμης, (4) οι τιμές των μεταβλητών μοντελοποιούνται σε ολόκληρα βήματα (χρόνος επαφής και πτήσης μαζί), υποτιμώντας τις τιμές της δύναμης και της παραγωγής ισχύος και (5) δεν παρουσιάζεται καθόλου κατακόρυφη επιτάχυνση στη φάση επιτάχυνσης του sprint (Morin & Samozino, 2018).

Οι μεταβλητές που υπολογίζονται με την απλή μέθοδο είναι οι εξής (Morin & Samozino, 2016):

F_0 (N/kg): Η μέγιστη (θεωρητικά) δύναμη που μπορεί να αναπτύξει ο αθλητής στην οριζόντια κατεύθυνση. Εξάγεται από το σημείο τομής στον άξονα y της γραμμικής σχέσης $F - v$. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι η οριζόντια παραγωγή δύναμης.

v_0 (m/s): Η μέγιστη (θεωρητικά) ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει ο αθλητής στην οριζόντια κατεύθυνση όταν οι αντιστάσεις είναι μηδενικές. Εξάγεται από το σημείο τομής στον άξονα x της γραμμικής σχέσης $F - v$. Επιπλέον, αντιπροσωπεύει την ικανότητα για παραγωγή οριζόντιας δύναμης σε υψηλές ταχύτητες.

P_{max} (W/kg): Η μέγιστη παραγωγή μηχανικής ισχύος στην οριζόντια κατεύθυνση. Υπολογίζεται ως $P_{max} = F_0 \times v_0 / 4$.

RF (%): Η αναλογία της οριζόντιας δύναμης της ΔΑΕ και της συνολικής ΔΑΕ, δηλαδή η μηχανική αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της δύναμης του αθλητή. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι η οριζόντια παραγωγή δύναμης.

RF_{max} (%): Η μέγιστη τιμή του RF για sprint > 0.3 s. Η μέγιστη (θεωρητικά) αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της δύναμης.

D_{RF} : Ο ρυθμός μείωσης του RF με την αύξηση της ταχύτητας κατά την επιτάχυνση στο sprint. Υπολογίζεται ως η κλίση της σχέσης $RF - v$. Περιγράφει την ικανότητα του αθλητή να περιορίσει τη μείωση της μηχανικής αποτελεσματικότητας. Όσο πιο αρνητική είναι η τιμή, τόσο πιο γρήγορη είναι η απώλεια της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής της δύναμης και αντίστροφα.

2.2.1.1.1. Βιομηχανικό μοντέλο της μεθόδου

Η απλή μέθοδος για τον καθορισμό του οριζόντιου προφίλ $F - v$ κατά το sprint, βασίζεται στις θεμελιώδεις αρχές της δυναμικής που εφαρμόζονται στο ΚΜΣ του αθλητή (Samozino et al., 2016). Όλες οι μεταβλητές που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα είναι μοντελοποιημένες, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις αλλαγές μεταξύ των βημάτων και αντιστοιχούν σε τιμές μέσου όρου για κάθε βήμα (χρόνοι επαφής και πτήσης μαζί).

Κατά το τρέξιμο στη φάση επιτάχυνσης του sprint, οι εξωτερικές δυνάμεις που εφαρμόζονται στο ΚΜΣ του αθλητή είναι το σωματικό βάρος, η δύναμη αντίστασης του αέρα και η ΔAE με την οριζόντια και την κατακόρυφη συνιστώσα (εικόνα 2.2.1). Εφαρμόζοντας τους θεμελιώδεις νόμους της δυναμικής στην οριζόντια κατεύθυνση, η οριζόντια συνιστώσα της ΔAE που εφαρμόζεται στο ΚΜΣ μπορεί να μοντελοποιηθεί με την πάροδο του χρόνου ως:

$$F_H(t) = m * a_H(t) + F_{aero}(t)$$

Όπου:

m = η σωματική μάζα (kg), $a_H(t)$ = η οριζόντια επιτάχυνση του ΚΜΣ και $F_{aero}(t)$ = η αεροδυναμική αντίσταση που πρέπει να ξεπεράσει ο αθλητής.

Η $F_{aero}(t)$ υπολογίζεται ως:

$$F_{aero}(t) = k * (v_H(t) - v_w)^2$$

Όπου:

v_w = η ταχύτητα του αέρα (αν υπάρχει) και k = ο συντελεστής αεροδυναμικής τριβής του αθλητή.

Ο k μπορεί να εκτιμηθεί από την πυκνότητα του αέρα (ρ , σε kg / m³), τη μετωπιαία περιοχή του αθλητή (Af , σε m²) και τον συντελεστή τριβής ($Cd = 0.9$):

$$k = 0.5 * \rho * Af * Cd$$

Με:

$$\rho = \rho_0 * \frac{Pb}{760} * \frac{273}{273 + T^o}$$
$$Af = (0.2025 * h^{0.725} * m^{0.425}) * 0.266$$

Όπου:

$\rho_0 = 1293 \text{ kg/m}$ είναι το ρ σε 760 Torr και 273K, $Pb =$ η βαρομετρική πίεση (σε Torr), $T^o =$ η θερμοκρασία (σε $^{\circ}\text{C}$) και $h =$ το σωματικό ανάστημα του αθλητή (σε m).

Κατά το τρέξιμο στην επιτάχυνση, η οριζόντια ταχύτητα (v_H) υπολογίζεται ως:

$$v_H(t) = v_{H_{max}} * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Όπου:

$v_{H_{max}} =$ η μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνεται στο τέλος της επιτάχυνσης και $\tau =$ η σταθερά του χρόνου επιτάχυνσης.

Η οριζόντια θέση (x_H) και η επιτάχυνση (α_H) του ΚΜΣ ως μία συνάρτηση του χρόνου κατά τη φάση της επιτάχυνσης μπορούν να εκφραστούν μετά την ολοκλήρωση και την παραγωγή του $v_H(t)$ με την πάροδο του χρόνου, αντίστοιχα, ως:

$$x_H(t) = \int v_H(t) dt = \int v_{H_{max}} * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) dt$$

$$x(t) = v_{H_{max}} \left(t + \tau * e^{-\frac{t}{\tau}} \right) - v_{H_{max}} * \tau$$

$$\alpha_H(t) = \frac{dv_H(t)}{dt} = \frac{v_{H_{max}} * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}{dt}$$

$$a_H(t) = \left(\frac{v_{max}}{\tau} \right) * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Όσον αφορά την κατακόρυφη κατεύθυνση, το ΚΜΣ κατευθύνεται προς τα επάνω κατά την εκκίνηση στην όρθια θέση τρεξίματος και ύστερα δεν αλλάζει από το ένα βήμα στο άλλο. Επειδή η αρχική ανοδική κίνηση του ΚΜΣ εξομαλύνεται συνολικά μέσω ενός σχετικού μεγάλου χρόνου και μεγάλης απόστασης (30 – 40 m), μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν απαιτείται μεγάλη κάθετη επιτάχυνση. Επομένως, η κατακόρυφη επιτάχυνση του ΚΜΣ σε κάθε βήμα είναι σχεδόν μηδενική κατά τη φάση επιτάχυνσης. Εφαρμόζοντας τους θεμελιώδεις νόμους της δυναμικής στην κατακόρυφη κατεύθυνση, η μέση κατακόρυφη ΔAE που εφαρμόζεται στο ΚΜΣ σε κάθε βήμα μπορεί να μοντελοποιηθεί με την πάροδο του χρόνου ως ίση με το σωματικό βάρος:

$$F_v(t) = m * g$$

Όπου:

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s^2).

Η μηχανική αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της δύναμης κατά το τρέξιμο μπορεί να ποσοτικοποιηθεί σε κάθε βήμα από την αναλογία (RF σε %) της F_H και της συνολικής προκύπτουσας ΔAE (F_{Res} σε N) και σε ολόκληρη τη φάση της επιτάχυνσης από την κλίση της γραμμικής μείωσης του RF όσο αυξάνεται η ταχύτητα (D_{RF} , σε % s/m):

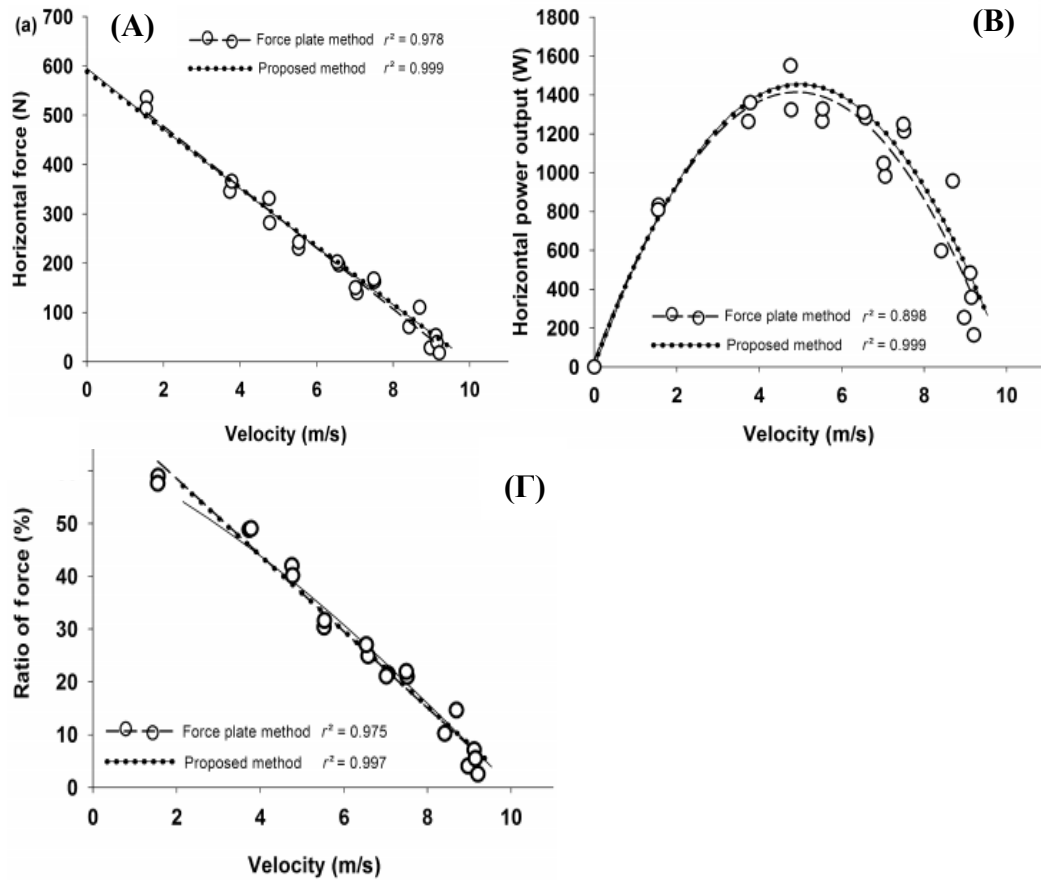
$$RF = \frac{F_H}{F_{Res}} * 100 = \frac{F_H}{\sqrt{F_H^2 + F_v^2}} * 100$$

2.2.1.1.2. Εγκυρότητα της μεθόδου

Για την εξέταση της εγκυρότητας της μεθόδου συγκρίθηκαν οι τιμές των μεταβλητών που υπολογίστηκαν με την απλή μέθοδο με τις τιμές που μετρήθηκαν από δυναμοπλατόρμα στη φάση επιτάχυνσης του sprint (Samozino et al., 2016). Καθορίστηκαν και με τις δύο μεθόδους τα μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος, δηλαδή η κατακόρυφη και η οριζόντια ΔAE , οι σχέσεις $F - v$, $P - v$ και $RF - v$ και οι σχετικές μεταβλητές F_0 , v_0 , P_{max} , D_{RF} , και S_{fv} .

Στη μελέτη συμμετείχαν 9 sprinters υψηλού επιπέδου, οι οποίοι ύστερα από μία τυπική προθέρμανση εκτέλεσαν 7 sprint (2 x 10, 2 x 15, 20, 30 και 40 m) με ανάπαυση ανάμεσα στις προσπάθειες 4 min. Κατά την εκτέλεση των sprint, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα δυναμοπλατόρμας μήκους 6.60 m για τη μέτρηση των ΔAE κατά το τρέξιμο. Για να κατασκευαστεί ένα ολοκληρωμένο sprint 40 m για κάθε δοκιμαζόμενο, το σημείο εκκίνησης τοποθετήθηκε σε διαφορετική απόσταση από τη δυναμοπλατόρμα σε κάθε προσπάθεια. Τα στιγμιαία δεδομένα της κατακόρυφης και της οριζόντιας ΔAE υπολογίστηκαν ως μέσος όρος για κάθε βήμα (φάση επαφής με το έδαφος και φάση πτήσης μαζί). Για τον υπολογισμό των μεταβλητών με την απλή μέθοδο, παράλληλα με τις μετρήσεις της δυναμοπλατόρμας, οι χρόνοι των sprint μετρήθηκαν με φωτοκύτταρα, τα οποία ήταν τοποθετημένα στον τερματισμό των sprint.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι μοντελοποιημένες τιμές της δύναμης, της ισχύος και του RF ήταν πολύ κοντά στις τιμές που μετρήθηκαν από τη δυναμοπλατόρμα με χαμηλά τυπικά σφάλματα εκτίμησης (30 – 50 N, 230 W και 3.7%, αντίστοιχα). Οι σχέσεις $F - v$, $P - v$ και $RF - v$ για έναν τυπικό δοκιμαζόμενο παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.19. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μεροληψία < 5% για τον καθορισμό των F_0 , v_0 , P_{max} και < 8% για τις μεταβλητές D_{RF} , και S_{fv} . Τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζουν την υψηλή ακρίβεια και την εγκυρότητα της απλής μεθόδου για τον προσδιορισμό των σχέσεων $F - v$, $P - v$ και $RF - v$ και των μηχανικών μεταβλητών F_0 , v_0 , P_{max} , D_{RF} , και S_{fv} κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint.



Σχήμα 2.19. Σχέσεις δύναμης – ταχύτητας (A), ισχύος – ταχύτητας (B) και RF – ταχύτητας (Γ) που παρατηρούνται και με τις δύο μεθόδους για έναν τυπικό δοκιμαζόμενο. Οι ανοιχτοί κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις τιμές που παρατηρήθηκαν από τη δυναμοπλατφόρμα, οι διακεκομμένες γραμμές τις σχετικές παλινδρομήσεις και οι λεπτές γραμμές τις μοντελοποιημένες τιμές που υπολογίστηκαν από την απλή μέθοδο μαζί με τις σχετικές παλινδρομήσεις που αντιπροσωπεύονται από τις γραμμές με τις κουκίδες (Samozino et al., 2016).

Παρόλα αυτά, λόγω των πολλαπλών sprint που απαιτήθηκαν για τη δημιουργία μίας ολοκληρωμένης προσπάθειας στη μέθοδο με τη χρήση της δυναμοπλατφόρμας, είναι πιθανό να προκλήθηκε κόπωση και μεταβλητότητα στα δεδομένα που μπορεί να επηρέασαν τα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτόν, σε πρόσφατη μελέτη διερευνήθηκε ξανά η εγκυρότητα της απλής μεθόδου χρησιμοποιώντας ως μέθοδο αναφοράς το τρέξιμο σε ένα σύστημα δυναμοπλατφόρμας μήκους 50 m, ενώ οι χρόνοι του sprint μετρήθηκαν και με ένα σύστημα λέιζερ (Morin et al., 2019). Οι 16 δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 2 sprint των 60 m (>10 min ανάπαυση ανάμεσα στις προσπάθειες) μετά από μία τυπική προθέρμανση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η οριζόντια, η κατακόρυφη και η προκύπτουσα ΔΑΕ παρουσίασαν χαμηλά τυπικά σφάλματα εκτίμησης, τα οποία ήταν 25.8 ± 6.3 N, 37.6 ± 13.7 N, 45.3 ± 11.5 N και 2.23 ± 0.41 %, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.5, οι υπόλοιπες μεταβλητές (F_0 , v_0 , P_{max} , D_{RF} , και S_{Rf}) παρουσίασαν χαμηλή μεροληψία (-0.885 – 0.137). Επομένως, η μελέτη επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα των Samozino και συν. (2016), δηλαδή η απλή

μέθοδος εκτιμά με ακρίβεια τα μηχανικά χαρακτηριστικά κατά την επιτάχυνση στο sprint.

Πίνακας 2.5. Μέσος όρος \pm SD των μηχανικών μεταβλητών και σύγκριση μεταξύ των δεδομένων των δύο μεθόδων (Morin et al., 2019).

	μέθοδος δυναμοπλατφόρμας	απλή μέθοδος	μεροληψία
F_0 (N/kg)	8.59 \pm 0.57	8.15 \pm 0.48	0.447 \pm 0.368
v_0 (m/s)	9.89 \pm 0.37	9.98 \pm 0.38	0.091 \pm 0.103
S_{Fv} (N/kg/s/m)	0.870 \pm 0.066	0.818 \pm 0.052	0.052 \pm 0.040
P_{max} (W/kg)	21.2 \pm 1.65	20.4 \pm 1.47	0.885 \pm 0.900
RF (%)	44.2 \pm 2.9	43.4 \pm 2.0	0.873 \pm 2.84
D_{RF} (%/s/m)	7.33 \pm 0.57	7.20 \pm 0.45	0.137 \pm 0.351

2.2.1.1.3. Αξιοπιστία της μεθόδου

Η αξιοπιστία της μεθόδου ελέγχθηκε με ένα δεύτερο πρωτόκολλο στη μελέτη των Samozino και συν. (2016). Έξι sprinter υψηλού επιπέδου εκτέλεσαν 3 μέγιστα sprint 50 m με 10 min ξεκούρασης ανάμεσα στις προσπάθειες. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο υπολογίστηκαν οι μηχανικές μεταβλητές F_0 , v_0 , P_{max} , D_{RF} , και S_{fv} . Για όλες τις μεταβλητές παρατηρήθηκαν χαμηλοί συντελεστές διακύμανσης ανάμεσα στις δύο καλύτερες προσπάθειες και χαμηλά τυπικά σφάλματα ανάμεσα στις μετρήσεις (< 5%, Πίνακας 2.6).

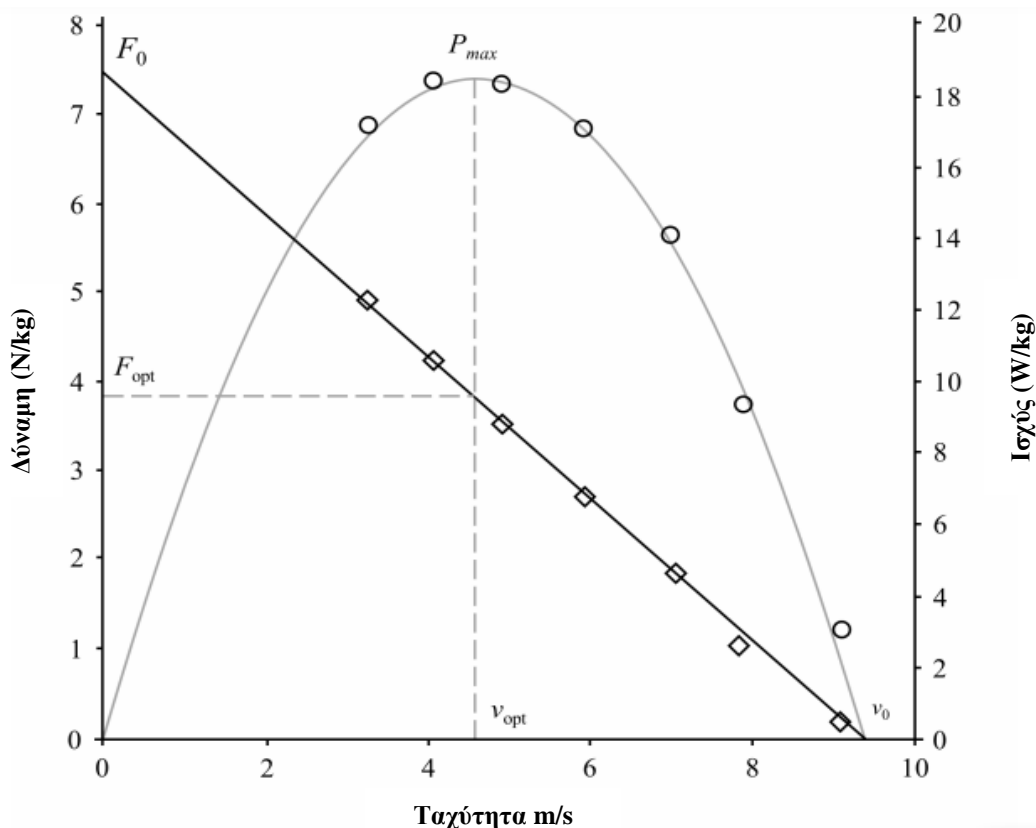
Στην πρόσφατη μελέτη των Morin και συν. (2019) διερευνήθηκε η αξιοπιστία ανάμεσα σε 2 sprint 60 m (ανάπαυση > 10 m μεταξύ των sprint) που εκτέλεσαν 16 δοκιμαζόμενοι. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι συντελεστές διακύμανσης μεταξύ των sprint για τις μεταβλητές F_0 , v_0 , P_{max} , D_{RF} , και S_{fv} ήταν < 3.56. Επομένως, από τις 2 έρευνες φαίνεται πως η μέθοδος χαρακτηρίζεται από υψηλή αξιοπιστία από τεστ σε τεστ.

Πίνακας 2.6. Μέσος όρος \pm SD του συντελεστή διακύμανσης, αλλαγές στον μέσο και στο τυπικό σφάλμα των μετρήσεων ανάμεσα σε 2 προσπάθειες (Samozino et al., 2016).

	συντελεστής διακύμανσης (%)	αλλαγές στον μέσο	τυπικό σφάλμα μέτρησης (%)
F_0 (N/g)	2.93 \pm 2.00	1.53 \pm 32.2	3.57
v_0 (m/s)	1.11 \pm 0.86	0.171 \pm 0.776	1.40
S_{Fv} (N/s/m)	4.04 \pm 2.72	0.20 \pm 4.18	4.94
P_{max} (W/kg)	1.87 \pm 1.36	0.167 \pm 0.66	2.33
D_{RF} (%/s/m)	3.99 \pm 2.80	0.110 \pm 0.45	4.86

2.2.1.2. Οριζόντιο προφίλ δύναμης – ταχύτητας και βέλτιστο φορτίο προπόνησης

Η ικανότητα παραγωγής μέγιστης ισχύος αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την απόδοση στις αθλητικές δραστηριότητες (Cormie et al., 2011). Παραδοσιακά, η αξιολόγηση της ικανότητας παραγωγής ισχύος γίνεται με ασκήσεις όπως άλματα, ποδηλάτηση, sprint κ.ά., όπου οι αθλητές εκτελούν πολλές επαναλήψεις με προοδευτικά αυξανόμενο φορτίο. Σύμφωνα με τη γραμμική σχέση $F - v$, καθώς αυξάνεται το φορτίο και, επομένως, η παραγωγή δύναμης, μειώνεται η ταχύτητα εκτέλεσης της άσκησης (Σχήμα 2.20). Από την προέκταση της γραμμικής σχέσης $F - v$ σε μηδενική δύναμη και ταχύτητα μπορούν να υπολογιστούν η F_0 και η v_0 . Η ισχύς μπορεί να υπολογιστεί ως το παράγωγο της δύναμης και της ταχύτητας. Η μέγιστη ισχύς εκφράζεται ως η κορυφή της καμπύλης της σχέσης ισχύος – ταχύτητας (Σχήμα 2.20) ή μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση $(F_0 \times v_0) / 4$ (Morin & Samozino, 2016). Το εξωτερικό φορτίο που προκαλεί τη μέγιστη παραγωγή ισχύος χαρακτηρίζεται ως το βέλτιστο φορτίο (Cross et al., 2017b). Η προπόνηση με φορτία που μεγιστοποιούν την παραγωγή ισχύος φαίνεται να προκαλεί τη μεγαλύτερη ενίσχυση της απόδοσης σε δυναμικές αθλητικές δραστηριότητες (Wilson et al., 1993).



Σχήμα 2.20. Γραφική αναπαράσταση των σχέσεων δύναμης – ταχύτητας και ισχύος – ταχύτητας κατά το τρέξιμο με έλξη έλκηθρου με αυξανόμενο φορτίο. Τα σημεία των δεδομένων αντιπροσωπεύουν τις τιμές που προέρχονται από το τρέξιμο με διαφορετικά φορτία. F_0 : η μέγιστη θεωρητική δύναμη με μηδενική ταχύτητα, v_0 : η μέγιστη θεωρητική ταχύτητα με μηδενική δύναμη, P_{max} : η μέγιστη παραγόμενη ισχύς, F_{opt} : η βέλτιστη δύναμη που εμφανίζεται η P_{max} , v_{opt} : η βέλτιστη ταχύτητα που εμφανίζεται η P_{max} (Cross et al., 2017b).

Μέχρι πρόσφατα, η αξιολόγηση των σχέσεων $F - v - P$ κατά το sprint είχε πραγματοποιηθεί μόνο σε ειδικά σχεδιασμένα δαπεδοεργόμετρα (Jaskolska et al., 1998). Μελέτες έχουν προσπαθήσει να καθορίσουν το βέλτιστο φορτίο για την παραγωγή μέγιστης ισχύος με πολλαπλά sprint σε δαπεδοεργόμετρα με αυξανόμενη αντίσταση (Jaskolski et al., 1996; Andre et al., 2013). Ωστόσο, σε αυτές τις μελέτες δεν εξετάστηκε η μέγιστη παραγωγή ισχύος σε σχέση με την γραφική αναπαράσταση της σχέσης $F - v$ και $P - v$.

Οι Cross και συν. (2017a) προσπάθησαν να καθορίσουν το βέλτιστο φορτίο σε sprint στο έδαφος με τη χρήση έλκηθρου χρησιμοποιώντας τις σχέσεις $F - v - P$. Στη μελέτη συμμετείχαν 12 αθλητές αναψυχής διαφόρων αθλημάτων και 15 sprinters υψηλού επιπέδου. Οι δοκιμαζόμενοι ύστερα από μία τυπική προθέρμανση ~ 30 min εκτέλεσαν 7 sprint έλκοντας έλκηθρο με αυξανόμενο φορτίο (ανάπαυση 5 min ανάμεσα στις προσπάθειες). Συγκεκριμένα, εκτέλεσαν 45 m χωρίς αντίσταση, 40 m με φορτίο 20, 30 και 40% της ΣΜ, 30 m με φορτίο 60 και 80% της ΣΜ και 20 m με φορτίο 100 και 120% της ΣΜ. Ο χρόνος εκτέλεσης των sprint μετρήθηκε με μία συσκευή ραντάρ. Ο καθορισμός του βέλτιστου φορτίου βασίστηκε στη γραμμική μείωση της μέγιστης ταχύτητας

καθώς αυξάνεται το φορτίο. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η μέγιστη παραγωγή ισχύος εμφανίστηκε με φορτίο 78% και 82% της ΣΜ στους αθλούμενους αναψυχής και στους sprinters, αντίστοιχα. Το πιο σημαντικό εύρημα όμως το φορτίο που προκαλεί μεγιστοποίηση της παραγωγής ισχύος προκάλεσε μείωση της v_0 κατά 48 – 52% σε όλους τους δοκιμαζόμενους.

Ορισμένες μελέτες έχουν εξετάσει τις μακροχρόνιες επιδράσεις της προπόνησης με έλξη έλκηθρου χρησιμοποιώντας το βέλτιστο φορτίο (μείωση της θεωρητικής μέγιστης ταχύτητας κατά 50%). Ύστερα από 10 – 16 προπονητικές συνεδρίες με το βέλτιστο φορτίο υπήρξε βελτίωση των μηχανικών μεταβλητών (F_0 , v_0 , P_{max} , RF_{max}) που σχετίζονται με το οριζόντιο προφίλ $F - v$ και στην απόδοση σε sprint 5 – 30 m (Escobar Álvarez et al., 2020; Morin et al., 2020). Ωστόσο, χρειάζονται περισσότερες μελέτες για να επιβεβαιώσουν τα ευρήματα αυτά, όπως και να εξετάσουν την άμεση και μακροχρόνια επίδραση του βέλτιστου φορτίου και σε άλλες μεταβλητές που καθορίζουν την απόδοση, όπως τα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επιτυχημένη πρόκληση της ΜΔΕ έχουν χρησιμοποιηθεί ως ασκήσεις ενεργοποίησης τόσο πλειομετρικές ασκήσεις, όσο και ασκήσεις αντιστάσεων (Chatzopoulos et al., 2007; Byrne et al., 2014; Turner et al., 2015; Winwood et al., 2016). Οι πλειομετρικές ασκήσεις και το τρέξιμο με αντίσταση παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες στο βιομηχανικό μοντέλο με το sprint και, συνεπώς, θεωρείται πως είναι πιο αποτελεσματικές για την άμεση ενίσχυση της απόδοσης (Healy, & Comyns, 2017).

Για τη διερεύνηση των άμεσων αλλαγών στην επίδοση και τα κινηματικά και μηχανικά χαρακτηριστικά στη φάση επιτάχυνσης του sprint ύστερα από εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων και τρεξίματος με αντίσταση, πραγματοποιήθηκαν δύο διαφορετικές μελέτες. Στη πρώτη μελέτη η άσκηση ενεργοποίησης ήταν τα αλματικά οριζόντια βήματα με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά. Στη δεύτερη μελέτη ως άσκηση ενεργοποίησης εκτελέστηκε τρέξιμο με έλξη έλκθηρου.

3.1. Μεθοδολογία πρώτης μελέτης

3.1.1. Ερευνητικός σχεδιασμός

Ο σκοπός της μελέτης ήταν η εξέταση της άμεσης επίδρασης των πλειομετρικών ασκήσεων στην επίδοση σε 30 m sprint και τις ενδιάμεσες αποστάσεις ανά 5 m στα κινηματικά και στα μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος. Οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 3 διαφορετικές συνθήκες:

- α) συνθήκη ελέγχου (ΕΛ)
- β) οριζόντια αλματικά βήματα (ΟΑΒ)
- γ) οριζόντια μονοποδικά αλματικά βήματα (ΟΜΑΒ)

Η εκτέλεση των συνθηκών πραγματοποιήθηκε από τους δοκιμαζόμενους με τυχαία, διασταυρούμενη και αντισταθμισμένη σειρά σε διαφορετικές ημέρες. Για τη διερεύνηση της επίδρασης των συνθηκών στις εξαρτημένες μεταβλητές, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν sprint 30 m πριν και μετά από κάθε πρωτόκολλο.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 4 συναντήσεις, οι οποίες απείχαν μεταξύ τους τουλάχιστον 48 ώρες. Στην πρώτη συνάντηση πραγματοποιήθηκε μέτρηση των σωματομετρικών χαρακτηριστικών των δοκιμαζομένων και εξοικείωση με τις πειραματικές διαδικασίες και τις ασκήσεις ενεργοποίησης. Στις επόμενες 3 συναντήσεις πραγματοποιήθηκαν οι 3 συνθήκες και η συλλογή των δεδομένων. Οι συναντήσεις έγιναν την ίδια ώρα της ημέρας. Οι δοκιμαζόμενοι φορούσαν παρόμοιο ρουχισμό και τα ίδια υποδήματα σε όλες τις μετρήσεις. Όλες οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε προπονητήριο κλασικού αθλητισμού.

3.1.2. Συμμετέχοντες

Στη μελέτη συμμετείχαν 14 νεαροί – ες αθλητές – τρεις στίβου, 5 άνδρες και 9 γυναίκες (ηλικία: 15.6 ± 2.3 χρόνια; σωματική μάζα: 57.7 ± 7.3 kg; σωματικό ανάστημα: 1.66 ± 0.06 m) με προπονητική εμπειρία τουλάχιστον δύο ετών. Η συμμετοχή τους στη μελέτη προϋπέθετε να είναι απόλυτα υγιείς χωρίς

πρόσφατο τραυματισμό ή κάποιον ορθοπεδικό περιορισμό. Επίσης, ήταν εξοικειωμένοι με τις πλειομετρικές ασκήσεις που εκτελέστηκαν στις πειραματικές συνθήκες. Ζητήθηκε από τους δοκιμαζόμενους να διατηρήσουν τη συνηθισμένη διατροφική τους ρουτίνα και να μην εκτελέσουν έντονη φυσική δραστηριότητα τις ημέρες πριν τις μετρήσεις, ώστε να μην επηρεαστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Η συμμετοχή τους στη μελέτη ήταν εθελοντική και πριν τη συλλογή των δεδομένων ενημερώθηκαν σχετικά με τον σκοπό και τις διαδικασίες της μελέτης και δόθηκε γραπτή συγκατάθεση από τους ίδιους και από τους γονείς / κηδεμόνες για τους συμμετέχοντες κάτω των 18 ετών. Για το πρωτόκολλο της έρευνας λήφθηκε έγκριση από την επιτροπή Βιοηθικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (αριθμός πρωτοκόλλου 1169/12-02-2020) και η διαδικασία ήταν σύμφωνη με τους κώδικες ηθικής και δεοντολογίας της αναθεωρημένης διακήρυξης του Ελσίνκι.

3.1.3. Περιγραφή των διαδικασιών

3.1.3.1. Εξοικείωση με τις ασκήσεις ενεργοποίησης

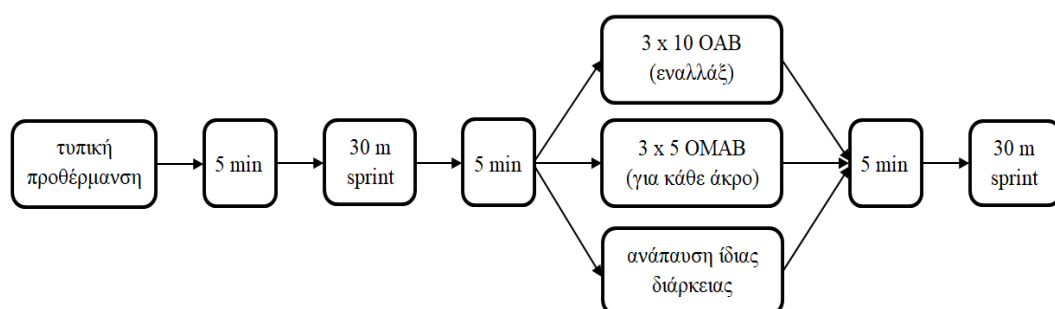
Κατά την πρώτη συνάντηση με τους δοκιμαζόμενους έγινε καταγραφή των σωματομετρικών χαρακτηριστικών τους (σωματική μάζα και σωματικό ανάστημα). Έπειτα, πραγματοποιήθηκε εξοικείωση με τις διαδικασίες των συνθηκών και με τις δύο ασκήσεις ενεργοποίησης, αφού προηγήθηκε μία τυπική προθέρμανση, η οποία περιλάμβανε τζόκινγκ, δυναμικές διατάσεις και υπομέγιστα sprint 30 m. Οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 2 επαναλήψεις των 10 οριζόντιων αλματικών βημάτων με εναλλαγή ποδιών και 2 επαναλήψεις των 5 οριζόντιων μονοποδικών αλματικών βημάτων με κάθε πόδι (Εικόνα 3.1). Ανάμεσα στις επαναλήψεις υπήρχε ξεκούραση 5 min. Πριν την εκτέλεση δόθηκαν οδηγίες σχετικά με την τεχνική εκτέλεση των ασκήσεων. Πιο συγκεκριμένα, επισημάνθηκε ο χρόνος επαφής με το έδαφος να είναι ο μικρότερος δυνατός και η ώθηση να είναι όσο το δυνατόν πιο οριζόντια. Επιπλέον, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 2 x 30 m sprint μέγιστης προσπάθειας, ώστε να εξοικειωθούν με τη διαδικασία των μετρήσεων.



Εικόνα 3.1. Α) οριζόντια αλματικά βήματα με εναλλαγή ποδιών, Β) οριζόντια μονοποδικά αλματικά βήματα.

3.1.3.2. Πειραματική διαδικασία

Στις επόμενες 3 συναντήσεις πραγματοποιήθηκαν οι 3 συνθήκες (ΕΛ, ΟΑΒ και ΟΜΑΒ). Αρχικά, εκτελέστηκε μία τυπική προθέρμανση που περιλάμβανε τζόκινγκ διάρκειας 5 min, δυναμικές διατάσεις των μυϊκών ομάδων που συμμετέχουν στο sprint, δρομικές ασκήσεις και 3 υπομέγιστα sprint 30 m (70, 80 και 90% της ατομικής μέγιστης προσπάθειας). Έπειτα, ακολούθησε ξεκούραση διάρκειας 5 min και στη συνέχεια εκτελέστηκε η αρχική μέτρηση των 30 m. Στη συνθήκη ΟΑΒ, 5 min μετά από την αρχική μέτρηση, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 3 x 10 οριζόντια αλματικά βήματα με εναλλαγή ποδιών (5 επαφές με το έδαφος για κάθε πόδι σε κάθε σετ). Η ανάπαυση ανάμεσα στις επαναλήψεις ήταν 60 sec. Στη συνθήκη ΟΜΑΒ εκτελέστηκαν 2 x 5 μονοποδικά αλματικά βήματα για κάθε πόδι με ξεκούραση 60 sec μεταξύ των επαναλήψεων. Κατά την εκτέλεση των πρωτοκόλλων οι δοκιμαζόμενοι ενθαρρύνονταν λεκτικά, ώστε η προσπάθειά τους να είναι η μέγιστη δυνατή. Στη συνθήκη ΕΛ οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν ενεργητική ανάπαυση ίδιας διάρκειας (περπάτημα) με τις ασκήσεις ενεργοποίησης. Η μέτρηση του sprint των 30 m επαναλήφθηκε 5 min μετά από την εκτέλεση των πρωτοκόλλων. Για την εκκίνηση των sprint οι αθλητές έλαβαν θέση με τρία σημεία στήριξης και ξεκίνησαν την προσπάθειά τους όταν ήταν έτοιμοι. Σε κάθε sprint οι δοκιμαζόμενοι ενθαρρύνονταν προφορικά για να καταβάλλουν μέγιστη προσπάθεια.



Σχήμα 3.1. Σχηματική απεικόνιση του πειραματικού σχεδιασμού της πρώτης μελέτης. ΟΑΒ: οριζόντια αλματικά βήματα, ΟΜΑΒ: οριζόντια μονοποδικά αλματικά βήματα.

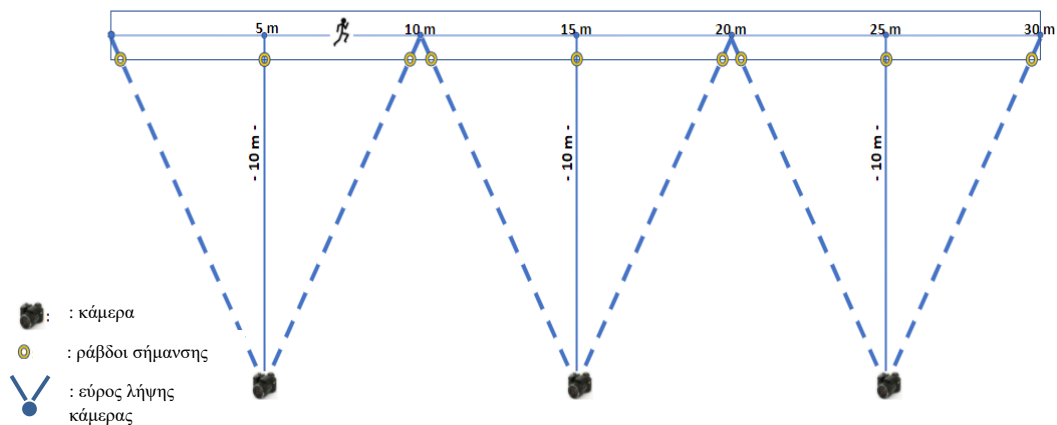
3.1.4. Περιγραφή των οργάνων μέτρησης

3.1.4.1. Μέτρηση ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών

Η σωματική μάζα των δοκιμαζόμενων μετρήθηκε με ζυγαριά Seca 714 (Mechanical Column Scale) στο πλησιέστερο 0.1 kg. Το όργανο εξετάστηκε για την εγκυρότητα και την αξιοπιστία του χρησιμοποιώντας ολυμπιακούς δίσκους πριν τη διεξαγωγή της μελέτης. Το σωματικό ανάστημα μετρήθηκε με αναστημόμετρο τύπου Seca 714 στο πλησιέστερο 0.1 cm.

3.1.4.2. Καταγραφή του τρεξίματος μέγιστης ταχύτητας

Οι προσπάθειες των 30 m sprint που εκτελέστηκαν στις τρεις συνθήκες καταγράφηκαν με τρεις κάμερες (Casio EX-F1, Tokyo, Japan) υψηλής ταχύτητας (300 frames / s). Οι κάμερες τοποθετήθηκαν σε τρίποδα στο οβελιαίο επίπεδο της κίνησης των αθλητών και σε απόσταση 10 m από το μέσο του διαδρόμου όπου έτρεχαν οι δοκιμαζόμενοι (Σχήμα 3.2). Οι τρεις κάμερες βρίσκονταν στα 5, 15 και 25 m της απόστασης των 30 m και κατέγραψαν με πανοραμική κίνηση τα 0 – 10 , 10 – 20 και 20 – 30 m του sprint, αντίστοιχα (Cronin et al., 2008). Επιπλέον, για τον καθορισμό 6 διαφορετικών χρονικών σημείων (5, 10, 15, 20, 25 και 30 m) τοποθετήθηκαν κοντάρια κατά μήκος της απόστασης των 30 m, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Για να διασφαλιστεί πως οι ενδιάμεσοι χρόνοι θα μετρηθούν σωστά, πραγματοποιήθηκε διόρθωση του σφάλματος παράλλαξης του βίντεο. Για να γίνει η διόρθωση, τα κοντάρια δεν τοποθετήθηκαν ακριβώς στο σημείο των αποστάσεων, αλλά σε προσαρμοσμένες θέσεις, ώστε όταν ο δοκιμαζόμενος βρισκόταν στη συγκεκριμένη απόσταση να φαίνεται από την κάμερα πως το ισχίο του διασχίζει το κοντάρι (Romero – Franco et al., 2017). Επιπλέον, για τη μέτρηση του μήκους βήματος τοποθετήθηκαν και στις δύο πλευρές του διαδρόμου ανά 1 m προσαρμοσμένοι δείκτες, διαστάσεων 0.05 x 0.05 m (Economou et al., 2021). Η πρώτη προωθητική κίνηση του πίσω ποδιού καθορίστηκε ως το σημείο εκκίνησης του sprint. Οι ενδιάμεσοι χρόνοι των 5, 10, 15, 20, 25 και 30 m ορίστηκαν ως το καρέ όπου το ισχίο του αθλητή διασχίζει τα κοντάρια (Romero – Franco et al., 2017).



Σχήμα 3.2. Σχηματική απεικόνιση της κινηματογράφησης των sprint.

3.1.4.3. Υπολογισμός των κινηματικών χαρακτηριστικών του τρεξίματος

Πραγματοποιήθηκε κινηματική ανάλυση για κάθε βήμα του sprint των 30 m χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Quintic Biomechanics software (v31) (Quintic Consultancy Ltd, Birmingham, UK). Καθορίστηκε το καρέ της πρώτης επαφής του άκρου του ποδιού με το έδαφος και της αποκόλλησης από αυτό για κάθε βήμα. Ως χρόνος επαφής καθορίστηκε ο χρόνος που το κάτω άκρο του αθλητή βρισκόταν σε επαφή με το έδαφος. Ως χρόνος πτήσης υπολογίστηκε ο χρόνος μεταξύ της στιγμής της αποκόλλησης της άκρης του ενός ποδιού από το

έδαφος και της στιγμής της πρώτης επαφής της άκρης του άλλου ποδιού με το έδαφος. Για κάθε βήμα μετρήθηκε η απόσταση μεταξύ της άκρης του ενός ποδιού του αθλητή και των προσαρμοσμένων δεικτών, προεκτείνοντας μία γραμμή μεταξύ του σημείου της άκρης του ποδιού κατά την επαφή με το έδαφος και της απόστασης μεταξύ των δύο κοντινότερων δεικτών (Chow, 1993). Το μήκος βήματος καθορίστηκε ως η απόσταση μεταξύ των άκρων των ποδιών δύο διαδοχικών βημάτων. Η συχνότητα βήματος υπολογίστηκε ως δρομική ταχύτητα / μήκος βήματος. Όλες οι κινηματικές μεταβλητές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά 5 m.

3.1.4.4. Υπολογισμός του οριζόντιου προφίλ δύναμης – ταχύτητας

Για τον υπολογισμό του οριζόντιου προφίλ $F - v$ εφαρμόστηκε η μέθοδος των Samozino και συν. (2016). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζομένων (σωματική μάζα και ανάστημα), η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η ατμοσφαιρική πίεση και ο χρόνος / 5 m που προέκυψε από την ανάλυση των βίντεο.

Το πλήρες βιομηχανικό μοντέλο της μεθόδου έχει περιγραφεί σε άλλο κεφάλαιο (2.2.1.1.1). Εν συντομία, η οριζόντια συνιστώσα της ΔΑΕ (F_H) που εφαρμόζεται στο ΚΜΣ μπορεί να μοντελοποιηθεί με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιώντας τη ΣΜ (m), την οριζόντια επιτάχυνση του ΚΜΣ (a_H) και την αεροδυναμική αντίσταση (F_{aero}), ως:

$$F_H(t) = m * a_H(t) + F_{aero}(t)$$

Η οριζόντια ταχύτητα (v_H) μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνεται στο τέλος της επιτάχυνσης (v_{Hmax}) και τη σταθερά του χρόνου επιτάχυνσης (τ), ως:

$$v_H(t) = v_{Hmax} * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Η F_0 και η v_0 μπορούν να προσδιοριστούν από τις τομές στον άξονα y και x της γραμμικής σχέσης $F - v$, αντίστοιχα. Η S_{Fv} καθορίζεται ως η κλίση της σχέσης $F - v$. Η P_{max} υπολογίστηκε ως $P_{max} = F_0 \times v_0 / 4$. Η RF υπολογίζεται ως την αναλογία της F_H και της συνολικής προκύπτουσας ΔΑΕ. Ο D_{RF} υπολογίζεται ως η κλίση της σχέσης $RF - v_H$.

3.1.5. Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι \pm SD). Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS (v26). Η κανονικότητα της κατανομής των δεδομένων ελέγχθηκε με το test Shapiro – Wilks σύμφωνα με το μέγεθος του δείγματος. Πραγματοποιήθηκε δίπλευρη ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) επαναλαμβανόμενων μετρήσεων 2 παραγόντων (συνθήκη [ΕΛ, ΟΑΒ, ΟΜΑΒ] x χρόνος [πριν, μετά]). Εξετάστηκε η ύπαρξη σημαντικής

αλληλεπίδρασης και οι κύριες επιδράσεις με τη χρήση της διόρθωσης Bonferonni. Επίσης, πραγματοποιήθηκε έλεγχος σφαιρικότητας με το Mauchly's test, και έγινε, όπου απαιτήθηκε, η απαραίτητη διόρθωση στους βαθμούς ελευθερίας κατά Greenhouse – Geisser. Ο δείκτης Cohen's d χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του μεγέθους του επίδρασης (ES) εντός των υποκειμένων. Το μέγεθος επίδρασης ορίστηκε ως: ασήμαντο (< 0.20), μικρό (0.2 έως 0.49), μεσαίο (0.50 έως 0.79) ή μεγάλο (≥ 0.80) (Cohen, 1992). Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p \leq 0.05$.

3.2. Μεθοδολογία δεύτερης μελέτης

3.2.1. Ερευνητικός σχεδιασμός

Ο σκοπός της μελέτης ήταν η διερεύνηση της άμεσης επίδρασης του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου στην επίδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint και στα κινηματικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος. Το φορτίο που χρησιμοποιήθηκε στην άσκηση ενεργοποίησης προκάλεσε μείωση της v_0 κατά 50% για κάθε δοκιμαζόμενο, καθώς θεωρείται ως το βέλτιστο φορτίο που προκαλεί τη μέγιστη παραγωγή ισχύος (Cross et al., 2017a). Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν δύο διαφορετικές συνθήκες, μία πειραματική (ΠΕ) και μία ελέγχου (ΕΛ). Η συνθήκη ΠΕ αφορούσε την εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου, ενώ στη συνθήκη ΕΛ δεν υπήρξε προπονητική παρέμβαση. Τα πρωτόκολλα εκτελέστηκαν με τυχαία, διασταυρούμενη και αντισταθμισμένη σειρά από τους δοκιμαζόμενους σε διαφορετικές ημέρες. Για την εξέταση της επίδρασης των συνθηκών, οι εξαρτημένες μεταβλητές αξιολογήθηκαν πριν και μετά την εκτέλεση των πρωτοκόλλων.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις συναντήσεις για την ολοκλήρωση της μελέτης, οι οποίες απείχαν μεταξύ τουλάχιστον 48 ώρες. Στην πρώτη συνάντηση καθορίστηκε το φορτίο του έλκηθρου που προκαλεί μείωση της v_0 κατά 50% για κάθε δοκιμαζόμενο. Στη δεύτερη συνάντηση οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώθηκαν με την εκτέλεση της άσκησης με το ατομικό φορτίο. Στις δύο επόμενες συναντήσεις πραγματοποιήθηκαν οι δύο συνθήκες και έγινε η συλλογή των δεδομένων. Όλες οι συναντήσεις έγιναν την ίδια ώρα της ημέρας. Οι δοκιμαζόμενοι φορούσαν παρόμοιο ρουχισμό και τα ίδια υποδήματα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Όλες οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε προπονητήριο κλασικού αθλητισμού.

3.2.2. Συμμετέχοντες

Στη μελέτη συμμετείχαν 12 αθλητές και αθλήτριες αγωνισμάτων ταχύτητας, 5 άνδρες και 7 γυναίκες (ηλικία: 17.2 ± 1.6 χρόνια; σωματική μάζα: 65.4 ± 8.8 kg; σωματικό ανάστημα: 1.75 ± 0.07 m) με προπονητική εμπειρία τουλάχιστον 3 ετών. Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν απόλυτα υγιείς, χωρίς πρόσφατο τραυματισμό ή κάποιον ορθοπεδικό περιορισμό. Επιπλέον, βασική προϋπόθεση για τη συμμετοχή τους στη μελέτη ήταν η εμπειρία στην προπόνηση με χρήση έλκηθρου. Ζητήθηκε από τους δοκιμαζόμενους τις ημέρες πριν τις μετρήσεις να διατηρήσουν τη συνηθισμένη διατροφική τους ρουτίνα και να απέχουν από οποιαδήποτε μορφή προπονητικής επιβάρυνσης που θα μπορούσε να επηρεάσει

την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Η συμμετοχή τους ήταν εθελοντική και πριν τη συλλογή των δεδομένων ενημερώθηκαν σχετικά με τις πειραματικές διαδικασίες, τους πιθανούς κινδύνους και τα οφέλη της συμμετοχής τους στη μελέτη. Επίσης, δόθηκε η γραπτή συγκατάθεσή τους για την συμμετοχή τους στη μελέτη, ενώ για τους αθλητές και τις αθλήτριες κάτω των 18 ετών ήταν απαραίτητη και η γραπτή συγκατάθεση των γονέων / κηδεμόνων. Για το πρωτόκολλο της έρευνας λήφθηκε έγκριση από την επιτροπή Βιοηθικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (αριθμός πρωτοκόλλου 1169/12-02-2020) και η διαδικασία ήταν σύμφωνη με τους κώδικες ηθικής και δεοντολογίας της αναθεωρημένης διακήρυξης του Ελσίνκι.

3.2.3. Περιγραφή των διαδικασιών

3.2.3.1. Αρχικές μετρήσεις

Κατά την πρώτη συνάντηση, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις για τον καθορισμό του ατομικού βέλτιστου φορτίου στην έλξη έλκηθρου. Πριν την έναρξη των διαδικασιών, έγινε καταγραφή της σωματικής μάζας και του σωματικού αναστήματος των δοκιμαζομένων. Ακολούθησε τυπική προθέρμανση που περιλάμβανε τζόκινγκ διάρκειας 5 min, δυναμικές διατάσεις των μυϊκών ομάδων που συμμετέχουν στο sprint, δρομικές ασκήσεις και 3 υπομέγιστα sprint 30 m (70, 80 και 90% της ατομικής μέγιστης προσπάθειας). Ακολούθησε ανάπαυση 5 min. Έπειτα, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 4 μέγιστα sprint με αυξανόμενο φορτίο, φτάνοντας στη μέγιστη ταχύτητα σε κάθε προσπάθεια. Συγκεκριμένα, εκτελέστηκαν 30 m sprint χωρίς φορτίο και με φορτίο 25, 50 και 75% της ΣΜ (Cross et al., 2018). Ανάμεσα στις προσπάθειες υπήρχε ανάπαυση 5 min.

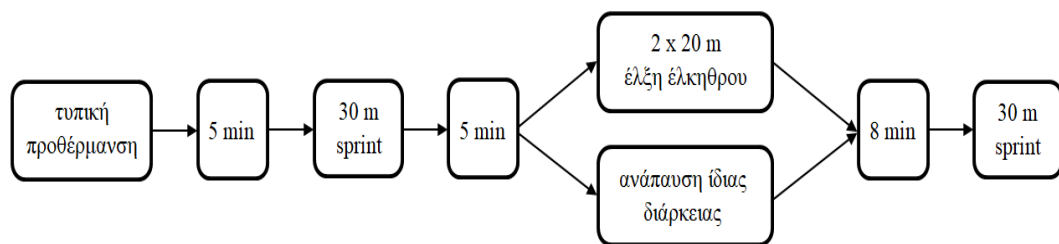
Σε κάθε sprint, ο δοκιμαζόμενος ξεκινούσε το τρέξιμο από όρθια θέση πίσω από τη γραμμή εκκίνησης. Δόθηκε η οδηγία στους δοκιμαζόμενους να επιταχύνουν όσο το δυνατόν γρηγορότερα προς τα εμπρός, χωρίς να υπάρξει καμία κίνηση προς τα πίσω κατά την εκκίνηση του sprint. Επίσης, κατά την εκκίνηση διασφαλίστηκε πως δεν υπήρξε σπασμωδική κίνηση ή αναπήδηση του έλκηθρου. Οι δοκιμαζόμενοι ενθαρρύνονταν λεκτικά σε κάθε sprint, ώστε να διασφαλιστεί η μέγιστη προσπάθεια σε ολόκληρη την απόσταση των sprint.

3.2.3.2. Εξοικείωση με την άσκηση ενεργοποίησης

Στη δεύτερη συνάντηση οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώθηκαν με το ατομικό φορτίο που εκτελέστηκε η άσκηση ενεργοποίησης. Προηγήθηκε μία τυπική προθέρμανση που περιελάμβανε τζόκινγκ, δυναμικές διατάσεις και υπομέγιστα sprint 30 m. Έπειτα, ο κάθε δοκιμαζόμενος εκτέλεσε 3 sprint των 20 m με ανάπαυση 5 min ανάμεσα στις προσπάθειες. Το φορτίο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ατομικό φορτίο που προκαλεί μείωση της v_0 κατά 50%, το οποίο προέκυψε από την ανάλυση των αρχικών μετρήσεων.

3.2.3.3. Πειραματική διαδικασία

Στην τρίτη και την τέταρτη συνάντηση πραγματοποιήθηκαν οι δύο συνθήκες (ΕΛ και ΠΕ), όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.3. Πριν από την εκτέλεση της προθέρμανσης καταγράφηκε η σωματική μάζα των δοκιμαζομένων. Στη συνέχεια εκτελέστηκε η τυπική προθέρμανση όπως περιγράφηκε παραπάνω (3.2.3.2). Ακολούθησε ξεκούραση διάρκειας 5 min και εκτελέστηκε η αρχική μέτρηση των 30 m. Στη συνθήκη ΠΕ, 5 min μετά την αρχική μέτρηση, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 2 επαναλήψεις των 20 m με έλξη έλκηθρου με το ατομικό βέλτιστο φορτίο. Η ανάπαυση ανάμεσα στις επαναλήψεις ήταν 2 min. Στη συνθήκη ΕΛ οι δοκιμαζόμενοι αντί για την άσκηση ενεργοποίησης εκτέλεσαν ενεργητική ανάπαυση (περπάτημα) ίδιας διάρκειας. Ύστερα από 8 min από την άσκηση ενεργοποίησης ή την ξεκούραση πραγματοποιήθηκε ξανά μέτρηση των 30 m sprint (Jarvis et al., 2017). Για την εκκίνηση των sprint οι αθλητές έλαβαν θέση με τρία σημεία στήριξης και ξεκινούσαν την προσπάθεια όταν ήταν έτοιμοι. Σε κάθε sprint οι δοκιμαζόμενοι ενθαρρύνονταν προφορικά για να καταβάλλουν μέγιστη προσπάθεια.



Σχήμα 3.3. Σχηματική απεικόνιση του πειραματικού σχεδιασμού της δεύτερης μελέτης.

3.2.4. Περιγραφή των οργάνων μέτρησης

3.2.4.1. Μέτρηση ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών

Η σωματική μάζα των δοκιμαζομένων μετρήθηκε με ζυγαριά Seca 714 (Mechanical Column Scale) στο πλησιέστερο 0,1 kg. Το όργανο εξετάστηκε για την εγκυρότητα και την αξιοπιστία του χρησιμοποιώντας ολυμπιακούς δίσκους πριν τη διεξαγωγή της μελέτης. Το σωματικό αναστήμα μετρήθηκε με αναστημόμετρο τύπου Seca 714 στο πλησιέστερο 0.1 cm. Η μέτρηση της σωματικής μάζας πραγματοποιήθηκε στην πρώτη, την τρίτη και την τέταρτη συνάντηση, ενώ η μέτρηση του σωματικού αναστήματος μόνο στην πρώτη συνάντηση.

3.2.4.2. Καταγραφή του τρεξίματος μέγιστης ταχύτητας

Για τον καθορισμό της επίδοσης στα 30 m sprint πραγματοποιήθηκε κινηματογράφηση των προσπαθειών. Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας παρουσιάζεται στη μεθοδολογία της πρώτης μελέτης.

3.1.4.3. Υπολογισμός των κινηματικών χαρακτηριστικών του τρεξίματος

Η διαδικασία υπολογισμού του μήκους και της συχνότητας βήματος και του χρόνου πτήσης και επαφής με το έδαφος περιγράφεται στη μεθοδολογία της πρώτης μελέτης.

3.2.4.4. Υπολογισμός του οριζόντιου προφίλ δύναμης – ταχύτητας

Για τον υπολογισμό του οριζόντιου προφίλ $F - v$ εφαρμόστηκε η μέθοδος των Samozino και συν. (2016). Η διαδικασία έχει περιγραφεί στη μεθοδολογία της πρώτης μελέτης.

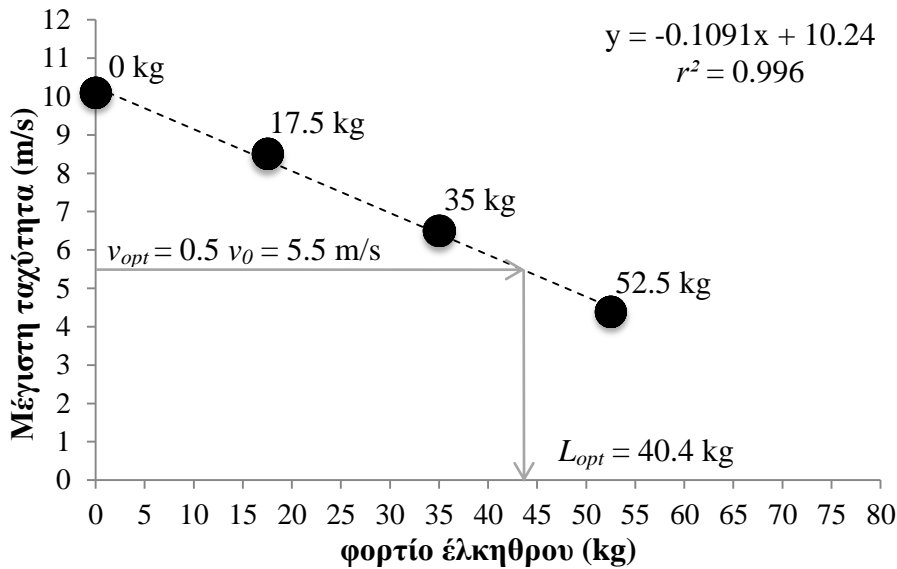
3.2.4.5. Υπολογισμός του βέλτιστου φορτίου

Στην πρώτη συνάντηση, οι προσπάθειες των sprint καταγράφηκαν με μία κάμερα (Casio EX-F1, Tokyo, Japan) υψηλής ταχύτητας (300 frames / s). Η κάμερα τοποθετήθηκε στα 15 m της απόστασης των 30 m σε τρίποδο στο οβελιαίο επίπεδο της κίνησης και σε απόσταση 10 m από το κέντρο της διαδρομής όπου έτρεχαν οι δοκιμαζόμενοι.

Για το τρέξιμο με αντίσταση χρησιμοποιήθηκε έλκηθρο (Amila 48555) μάζας 9 kg και βαθμονομημένοι ολυμπιακοί δίσκοι. Το έλκηθρο περιλάμβανε ζώνη μέσης και οι ιμάντες του είχαν μήκος 3 m. Το φορτίο του έλκηθρου που χρησιμοποιήθηκε ώστε να αντιστοιχεί στο 25, 50 και 75% της ΣΜ των δοκιμαζομένων βρισκόταν στο πλησιέστερο 0.5 kg.

Ο υπολογισμός του φορτίου που μεγιστοποιεί την παραγωγή ισχύος βασίζεται στη γραμμική μείωση της ταχύτητας καθώς το φορτίο αυξάνεται (Cross et al., 2017a). Η μέγιστη ταχύτητα που επιτεύχθηκε σε κάθε προσπάθεια με την έλξη έλκηθρου (25, 50 και 75% της ΣΜ) αντιστοιχήθηκε με το ακριβές φορτίο όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4, δημιουργώντας μία γραμμική σχέση φορτίου – v για κάθε δοκιμαζόμενο (Cross et al., 2018). Το sprint χωρίς φορτίο συμπεριλήφθηκε ως συνθήκη με μηδενικό φορτίο.

Για το sprint χωρίς φορτίο υπολογίστηκε το προφίλ $F - v$. Από τις σχέσεις $F - v - P$ καθορίστηκαν οι βέλτιστες τιμές των F_0 και v_0 (F_{opt} και v_{opt}) όπου εμφανίζεται η P_{max} . Έπειτα, μέσω της γραμμικής παλινδρόμησης της σχέσης φορτίου – v καθορίστηκε το φορτίο που αντιστοιχεί στη v_{opt} (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4. Παράδειγμα υπολογισμού του βέλτιστου φορτίου (L_{opt}) για έναν δοκιμαζόμενο στην άσκηση της έλξης έλκηθρου. Στο παράδειγμα ο δοκιμαζόμενος έχει σωματική μάζα 70 kg και μέγιστη θεωρητική ταχύτητα (v_0) 11 m/s. v_{opt} = η βέλτιστη ταχύτητα όπου εμφανίζεται η μέγιστη παραγόμενη ισχύς (P_{max}).

3.2.5. Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι \pm SD. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS (version 26). Η κανονικότητα της κατανομής των δεδομένων ελέγχθηκε με το test Shapiro-Wilks σύμφωνα με το μέγεθος του δείγματος. Πραγματοποιήθηκε δίπλευρη ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) επαναλαμβανόμενων μετρήσεων 2 παραγόντων (συνθήκη [ΕΛ, ΠΕ] x χρόνος [πριν, μετά]). Εξετάστηκε η ύπαρξη σημαντικής αλληλεπίδρασης και οι κύριες επιδράσεις με τη χρήση της διόρθωσης Bonferonni. Ο δείκτης Cohen's d χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του μεγέθους του επίδρασης (ES) εντός των υποκειμένων. Το μέγεθος επίδρασης ορίστηκε ως: ασήμαντο (< 0.20), μικρό (0.2 έως 0.49), μεσαίο (0.50 έως 0.79) ή μεγάλο (≥ 0.80) (Cohen, 1992). Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p \leq 0.05$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Αποτελέσματα πρώτης μελέτης

Σκοπός της πρώτης μελέτης ήταν η διερεύνηση της άμεσης επίδρασης των οριζόντιων αλματικών βημάτων (με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά) στην επίδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint και στα κινηματικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης.

4.1.1. Επίδοση στα 30 m τρεξίματος ταχύτητας

Η στατιστική ανάλυση έδειξε σημαντική κύρια επίδραση του χρόνου στα 5 m ($F = 9.600$, $p = 0.008$, $\eta^2 = 0.43$, observed power (OP) = 0.82) και στα 10 m ($F = 5.828$, $p = 0.031$, $\eta^2 = 0.0.31$, OP = 0.0.61) του sprint των 30 m (Πίνακας 4.1), ενώ δε βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση συνθήκης και χρόνου. Από τη post hoc ανάλυση φανερώθηκε πως στη συνθήκη OAB ο χρόνος επίδοσης στα 5 και στα 10 m ήταν σημαντικά μικρότερος ύστερα από την άσκηση ενεργοποίησης σε σχέση με την αρχική μέτρηση (5 m: διαφορά μέσων = -0.025 ± 0.009 s, $p = 0.014$, ES = 0.03; 10 m: διαφορά μέσων = -0.023 ± 0.010 s, $p = 0.041$, ES = 0.04). Στις υπόλοιπες ενδιάμεσες αποστάσεις του sprint των 30 m, καθώς και στην τελική επίδοση δεν παρουσιάστηκε καμία σημαντική αλληλεπίδραση ή κύρια επίδραση. Ο δείκτης ενδοταξικής συσχέτισης (ICC) μεταξύ των αρχικών sprint των 30 m των τριών συνθηκών ΕΛ, OAB και OMAB ήταν πολύ υψηλός (0.994, 95% διάστημα εμπιστοσύνης από 0.987 έως 0.998).

Πίνακας 4.1. Μέσοι όροι \pm SD του χρόνου εκτέλεσης του sprint 30 m ανά 5 m και για τις τρεις συνθήκες.

	Συνθήκη Ελέγχου			Συνθήκη OAB			Συνθήκη OMAB		
	Πριν	Μετά	ES (95%CI)	Πριν	Μετά	ES (95%CI)	Πριν	Μετά	ES (95%CI)
5 m	1.41 \pm 0.07	1.40 \pm 0.08	0.04 (-0.78-0.29)	1.42 \pm 0.08	1.40 \pm 0.09 *	0.03 (-1.35-0.15)	1.40 \pm 0.08	1.39 \pm 0.08	0.02 (-1.12-0.02)
10 m	2.20 \pm 0.09	2.19 \pm 0.10	0.03 (-0.63-0.42)	2.20 \pm 0.11	2.18 \pm 0.12 *	0.04 (-1.17-0.02)	2.19 \pm 0.11	2.18 \pm 0.10	0.02 (-0.95-0.14)
15 m	2.89 \pm 0.13	2.89 \pm 0.13	0.02 (-0.45-0.60)	2.90 \pm 0.14	2.88 \pm 0.15	0.05 (-0.98-0.11)	2.89 \pm 0.13	2.88 \pm 0.13	0.02 (-0.80-0.27)
20 m	3.56 \pm 0.17	3.57 \pm 0.17	0.02 (-0.19-0.90)	3.57 \pm 0.17	3.55 \pm 0.19	0.05 (-0.92-0.17)	3.56 \pm 0.16	3.56 \pm 0.16	0.03 (-0.61-0.44)
25 m	4.21 \pm 0.21	4.23 \pm 0.20	0.02 (-0.04-1.08)	4.22 \pm 0.21	4.20 \pm 0.22	0.05 (-0.94-0.15)	4.22 \pm 0.20	4.22 \pm 0.20	0.03 (-0.42-0.64)
30 m	4.86 \pm 0.25	4.87 \pm 0.25	0.03 (-0.03-1.10)	4.86 \pm 0.25	4.84 \pm 0.26	0.06 (-0.99-0.11)	4.86 \pm 0.23	4.87 \pm 0.23	0.03 (-0.23-0.84)

* $p < 0.05$ διαφέρει σημαντικά από το αρχικό sprint.

4.1.2. Κινηματικά χαρακτηριστικά

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.2, 4.3 και 4.4 για τις συνθήκες ΕΛ, ΟΑΒ και ΟΜΑΒ, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.2. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση στην συνθήκη ελέγχου.

Συνθήκη Ελέγχου	Ταχύτητα (m/s)	Μήκος Βήματος (m)	Συχνότητα Βήματος (Hz)	Χρόνος Επαφής (s)	Χρόνος Πτήσης (s)	
0-5 m	Πριν	3.55 \pm 0.17	1.09 \pm 0.09	3.30 \pm 0.35	0.163 \pm 0.013	0.079 \pm 0.017
	Μετά	3.58 \pm 0.20	1.08 \pm 0.09	3.35 \pm 0.38	0.168 \pm 0.010	0.077 \pm 0.016
	ES	0.09	0.04	0.14	0.01	0.01
	(95% CI)	(-0.26-0.81)	(-0.71-0.35)	(-0.21-0.86)	(-0.11-0.99)	(-0.79-0.28)
5-10 m	Πριν	6.38 \pm 0.35	1.45 \pm 0.11	4.42 \pm 0.33	0.134 \pm 0.008	0.099 \pm 0.015
	Μετά	6.33 \pm 0.34	1.46 \pm 0.10	4.35 \pm 0.28	0.136 \pm 0.008	0.097 \pm 0.013
	ES	0.09	0.03	0.10	0.00	0.00
	(95% CI)	(-1.10-0.03)	(-0.15-0.95)	(-1.27-0.10)	(-0.10-1.00)	(-0.88-0.20)
10-15 m	Πριν	7.22 \pm 0.45	1.62 \pm 0.09	4.47 \pm 0.27	0.125 \pm 0.008	0.104 \pm 0.012
	Μετά	7.16 \pm 0.41	1.63 \pm 0.09	4.41 \pm 0.29	0.127 \pm 0.009	0.103 \pm 0.013
	ES	0.13	0.06	0.16	0.00	0.01
	(95% CI)	(-0.95-0.15)	(-0.31-0.74)	(-0.94-0.15)	(-0.00-1.13)	(-0.58-0.47)
15-20 m	Πριν	7.52 \pm 0.52	1.71 \pm 0.11	4.39 \pm 0.31	0.123 \pm 0.007	0.107 \pm 0.013
	Μετά	7.45 \pm 0.47	1.72 \pm 0.11	4.35 \pm 0.27	0.124 \pm 0.008	0.107 \pm 0.011
	ES	0.14	0.03	0.10	0.00	0.01
	(95% CI)	(-1.05-0.07)	(-0.47-0.58)	(-0.98-0.12)	(-0.02-1.11)	(-0.49-0.56)
20-25 m	Πριν	7.69 \pm 0.57	1.77 \pm 0.10	4.35 \pm 0.31	0.121 \pm 0.008	0.110 \pm 0.012
	Μετά	7.63 \pm 0.54	1.76 \pm 0.10	4.33 \pm 0.27	0.123 \pm 0.008	0.112 \pm 0.010
	ES	0.13	0.04	0.13	0.00	0.00
	(95% CI)	(-1.07-0.05)	(-0.72-0.34)	(-0.67-0.39)	(-0.05-1.07)	(-0.29-0.78)
25-30 m	Πριν	7.80 \pm 0.60	1.82 \pm 0.10	4.29 \pm 0.27	0.119 \pm 0.007	0.117 \pm 0.010
	Μετά	7.75 \pm 0.59	1.82 \pm 0.09	4.27 \pm 0.27	0.120 \pm 0.009	0.116 \pm 0.008
	ES	0.15	0.03	0.13	0.00	0.00
	(95% CI)	(-0.80-0.21)	(-0.62-0.43)	(-0.68-0.37)	(-0.11-1.00)	(-0.71-0.35)

Πίνακας 4.3. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση στην συνθήκη OAB.

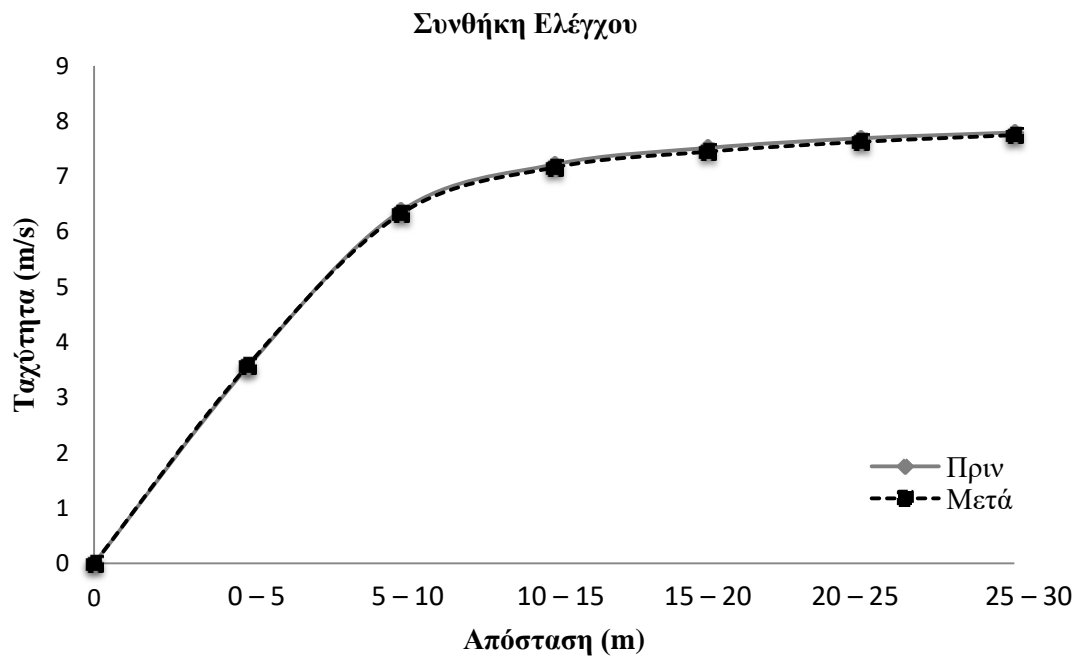
	Συνθήκη OAB	Ταχύτητα (m/s)	Μήκος Βήματος (m)	Συχνότητα Βήματος (Hz)	Χρόνος Επαφής (s)	Χρόνος Πτήσης (s)
0-5 m	Πριν	3.53 \pm 0.21	1.08 \pm 0.09	3.30 \pm 0.36	0.163 \pm 0.009	0.080 \pm 0.013
	Μετά	3.60 \pm 0.24 *	1.08 \pm 0.08	3.36 \pm 0.32 *	0.165 \pm 0.010	0.078 \pm 0.014
	ES	0.09	0.04	0.09	0.01	0.01
	(95% CI)	(-0.13-1.31)	(-0.59-0.46)	(-0.07-1.23)	(-0.17-0.92)	(-0.67-0.38)
5-10 m	Πριν	6.40 \pm 0.35	1.46 \pm 0.10	4.38 \pm 0.29	0.136 \pm 0.009	0.097 \pm 0.014
	Μετά	6.39 \pm 0.35	1.46 \pm 0.11	4.39 \pm 0.29	0.136 \pm 0.009	0.096 \pm 0.012
	ES	0.13	0.04	0.11	0.00	0.01
	(95% CI)	(-0.61-0.44)	(-0.64-0.41)	(-0.44-0.62)	(-0.60-0.45)	(-0.68-0.38)
10-15 m	Πριν	7.21 \pm 0.40	1.62 \pm 0.11	4.47 \pm 0.31	0.127 \pm 0.009	0.103 \pm 0.012
	Μετά	7.18 \pm 0.41	1.62 \pm 0.11	4.45 \pm 0.27	0.127 \pm 0.008	0.105 \pm 0.012
	ES	0.14	0.038	0.15	0.00	0.01
	(95% CI)	(-0.74-0.32)	(-0.55-0.49)	(-0.06-0.41)	(-0.67-0.38)	(-0.15-0.94)
15-20 m	Πριν	7.51 \pm 0.45	1.73 \pm 0.10	4.35 \pm 0.28	0.125 \pm 0.009	0.107 \pm 0.011
	Μετά	7.50 \pm 0.47	1.71 \pm 0.12	4.41 \pm 0.32	0.123 \pm 0.008	0.109 \pm 0.011
	ES	0.13	0.04	0.11	0.00	0.01
	(95% CI)	(-0.55-0.50)	(-0.99-0.12)	(-0.09-1.01)	(-0.99-0.11)	(-0.27-0.80)
20-25 m	Πριν	7.68 \pm 0.51	1.77 \pm 0.11	4.35 \pm 0.30	0.123 \pm 0.008	0.110 \pm 0.011
	Μετά	7.71 \pm 0.52	1.77 \pm 0.11	4.35 \pm 0.31	0.121 \pm 0.008	0.111 \pm 0.011
	ES	0.12	0.04	0.09	0.00	0.00
	(95% CI)	(-0.31-0.75)	(-0.42-0.63)	(-0.47-0.58)	(-0.95-0.14)	(-0.15-0.95)
25-30 m	Πριν	7.81 \pm 0.56	1.83 \pm 0.08	4.26 \pm 0.27	0.121 \pm 0.009	0.116 \pm 0.008
	Μετά	7.86 \pm 0.59	1.82 \pm 0.11	4.32 \pm 0.29	0.120 \pm 0.008	0.117 \pm 0.010
	ES	0.14	0.05	0.11	0.00	0.00
	(95% CI)	(-0.17-0.92)	(-0.68-0.38)	(-0.10-1.01)	(-0.85-0.22)	(-0.37-0.69)

* $p < 0.05$ διαφέρει σημαντικά από το αρχικό sprint.

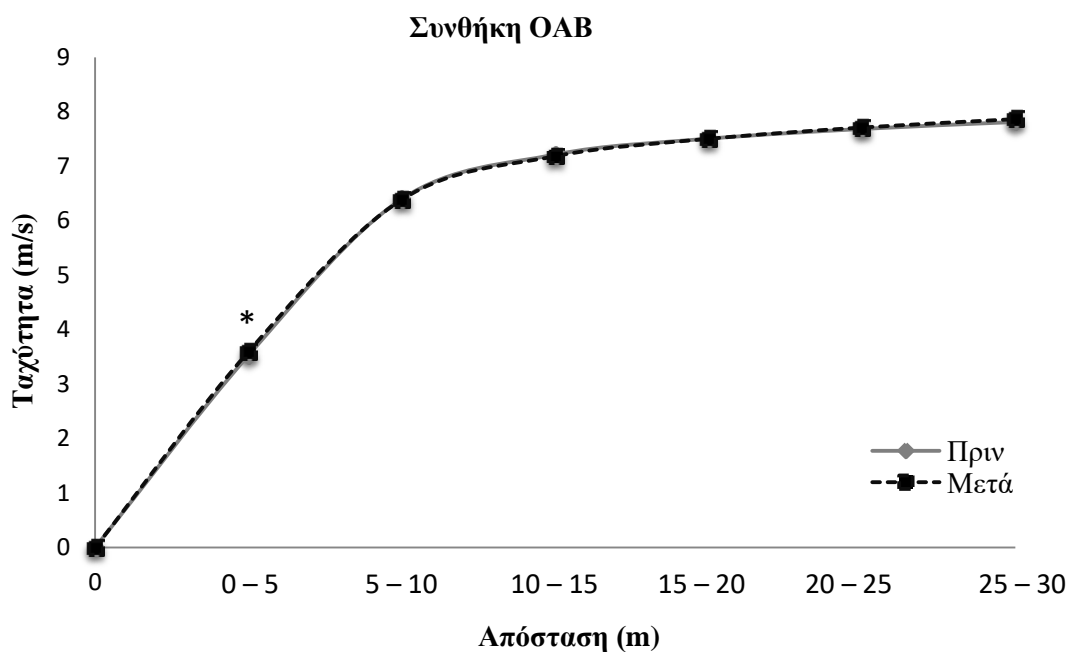
Πίνακας 4.4. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση στην συνθήκη OMAB.

	Συνθήκη OMAB	Ταχύτητα (m/s)	Μήκος Βήματος (m)	Συχνότητα Βήματος (Hz)	Χρόνος Επαφής (s)	Χρόνος Πτήσης (s)
0-5 m	Πριν	3.58 \pm 0.23	1.07 \pm 0.09	3.36 \pm 0.35	0.165 \pm 0.011	0.076 \pm 0.013
	Μετά	3.61 \pm 0.22	1.07 \pm 0.08	3.40 \pm 0.34	0.168 \pm 0.010	0.073 \pm 0.013
	ES	0.05	0.02	0.08	0.01	0.01
	(95% CI)	(-0.04-1.09)	(-0.77-0.29)	(-0.04-1.09)	(-0.31-0.75)	(-1.11-0.02)
5-10 m	Πριν	6.35 \pm 0.25	1.45 \pm 0.09	4.40 \pm 0.22	0.133 \pm 0.006	0.097 \pm 0.010
	Μετά	6.33 \pm 0.30	1.43 \pm 0.10	4.42 \pm 0.26	0.136 \pm 0.008	0.094 \pm 0.012
	ES	0.11	0.04	0.11	0.00	0.01
	(95% CI)	(-0.72-0.34)	(-0.81-0.26)	(-0.33-0.73)	(-0.06-1.06)	(-1.08-0.04)
10-15 m	Πριν	7.18 \pm 0.36	1.62 \pm 0.09	4.43 \pm 0.24	0.125 \pm 0.006	0.105 \pm 0.008
	Μετά	7.16 \pm 0.38	1.60 \pm 0.11	4.48 \pm 0.30	0.128 \pm 0.008	0.102 \pm 0.013
	ES	0.05	0.06	0.16	0.01	0.01
	(95% CI)	(-0.98-0.12)	(-0.95-0.15)	(-0.20-0.88)	(-0.03-1.10)	(-1.11-0.02)
15-20 m	Πριν	7.48 \pm 0.40	1.71 \pm 0.09	4.39 \pm 0.21	0.122 \pm 0.006	0.107 \pm 0.008
	Μετά	7.44 \pm 0.41	1.69 \pm 0.10	4.41 \pm 0.28	0.123 \pm 0.008	0.105 \pm 0.112
	ES	0.08	0.04	0.12	0.00	0.01
	(95% CI)	(-1.12-0.02)	(-1.00-0.10)	(-0.35-0.71)	(-0.26-0.82)	(-0.87-0.21)
20-25 m	Πριν	7.65 \pm 0.43	1.76 \pm 0.09	4.35 \pm 0.22	0.120 \pm 0.007	0.112 \pm 0.007
	Μετά	7.59 \pm 0.42	1.74 \pm 0.11	4.37 \pm 0.28	0.121 \pm 0.007	0.111 \pm 0.010
	ES	0.12	0.05	0.15	0.00	0.00
	(95% CI)	(-1.01-0.05)	(-0.92-0.17)	(-0.45-0.60)	(-0.36-0.70)	(-0.71-0.35)
25-30 m	Πριν	7.76 \pm 0.46	1.80 \pm 0.10	4.32 \pm 0.20	0.119 \pm 0.007	0.115 \pm 0.008
	Μετά	7.68 \pm 0.44	1.78 \pm 0.09	4.31 \pm 0.27	0.119 \pm 0.007	0.115 \pm 0.011
	ES	0.16	0.04	0.12	0.00	0.00
	(95% CI)	(-1.07-0.05)	(-0.92-0.17)	(-0.60-0.45)	(-0.42-0.64)	(-0.47-0.58)

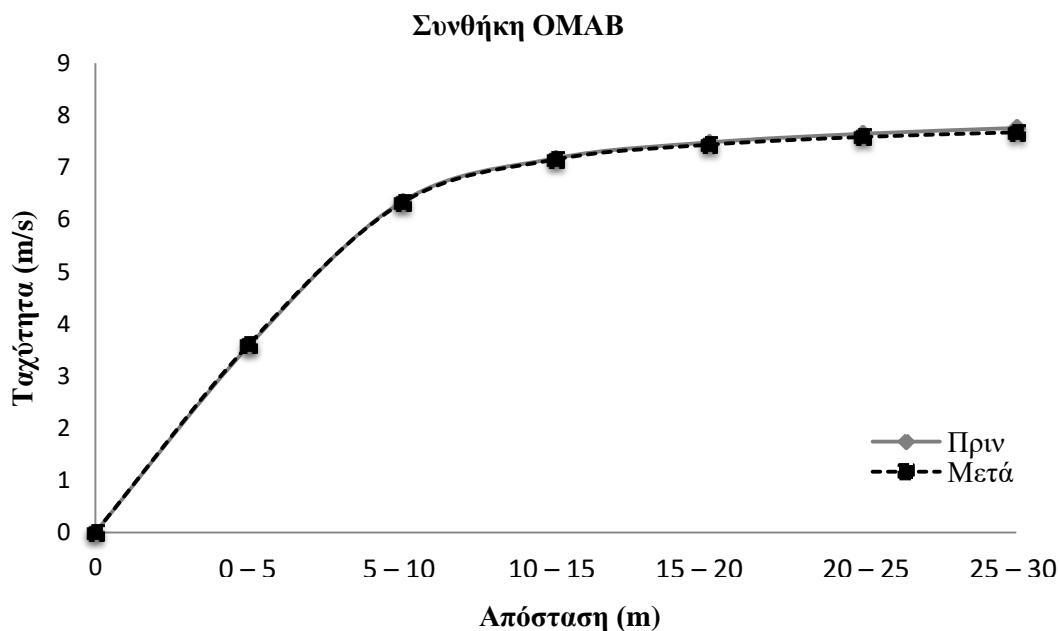
Η ANOVA έδειξε σημαντική κύρια επίδραση του χρόνου για τη δρομική ταχύτητα στην απόσταση των 0 – 5 m ($F = 8.996$, $p = 0.010$, $\eta^2 = 0.41$, $OP = 0.79$). Η post hoc ανάλυση φανέρωσε πως στη συνθήκη OAB η δρομική ταχύτητα των δοκιμαζομένων ήταν σημαντικά υψηλότερη ύστερα από την παρέμβαση στα 0 – 5 m (διαφορά μέσων = $0.065 \pm 0.024 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $p = 0.017$, $ES = 0.09$). Στις υπόλοιπες ενδιάμεσες αποστάσεις δεν υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση ή κύρια επίδραση συνθήκης και χρόνου για τη δρομική ταχύτητα (Σχήματα 4.1, 4.2, 4.3).



Σχήμα 4.1. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση για τη συνθήκη ΕΛ.



Σχήμα 4.2. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση για τη συνθήκη ΟΑΒ. * σημαντική διαφορά σε σχέση με την αρχική μέτρηση ($p < 0.05$).



Σχήμα 4.3. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση για τη συνθήκη ΟΜΑΒ.

Η στατιστική ανάλυση έδειξε σημαντική κύρια επίδραση του χρόνου στη συχνότητα βήματος στα 0 – 5 m ($F = 15.768$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.55$, $OP = 0.0.96$). Από τη post hoc ανάλυση φάνηκε πως η συχνότητα βήματος ήταν σημαντικά υψηλότερη στη συνθήκη OAB ύστερα από την εκτέλεση των οριζόντιων αλματικών βημάτων στα 0 – 5 m του sprint (διαφορά μέσων = 0.060 ± 0.024 Hz, $p = 0.028$, $ES = 0.09$) (Πίνακας 4.3). Στις υπόλοιπες μεταβλητές, δηλαδή στο μήκος βήματος και στον χρόνο πτήσης και επαφής με το έδαφος δεν βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση ή κύρια επίδραση σε καμία ενδιάμεση απόσταση του sprint των 30 m.

4.1.3. Μηχανικά χαρακτηριστικά

Τα αποτελέσματα της ANOVA έδειξαν πως δεν υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση ή / και κύρια επίδραση συνθήκης και χρόνου στις μηχανικές μεταβλητές F_0 , v_0 , P_{max} , S_{Fv} , RF_{max} και D_{RF} (Πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.5. Μέσοι όροι \pm SD των μηχανικών μεταβλητών των sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση και για τις τρεις συνθήκες.

Μηχανικές Μεταβλητές	Συνθήκη Ελέγχου			Συνθήκη OAB			Συνθήκη OMAB		
	Πριν	Μετά	ES (95%CI)	Πριν	Μετά	ES (95%CI)	Πριν	Μετά	ES (95%CI)
F_0 (N·kg ⁻¹)	7.37 \pm 0.90	7.22 \pm 0.62	0.54 (-0.82-0.25)	7.42 \pm 0.83	7.13 \pm 0.79	0.90 (-0.85-0.22)	7.26 \pm 0.45	7.42 \pm 0.87	0.65 (-0.32-0.74)
v_0 (m·s ⁻¹)	8.32 \pm 0.77	8.25 \pm 0.72	0.20 (-0.89-0.20)	8.31 \pm 0.67	8.38 \pm 0.71	0.23 (-0.23-0.84)	8.24 \pm 0.56	8.14 \pm 0.53	0.23 (-0.99-0.11)
P_{max} (W·kg ⁻¹)	15.37 \pm 2.56	14.91 \pm 2.02	1.08 (-0.97-0.13)	15.42 \pm 2.26	14.98 \pm 2.36	1.61 (-0.80-0.26)	14.97 \pm 1.66	15.12 \pm 2.28	0.19 (-0.40-0.65)
S_{Fv} (N/kg/s/m)	0.89 \pm 0.12	0.88 \pm 0.10	0.08 (-0.36-0.69)	0.90 \pm 0.12	0.88 \pm 0.10	0.10 (-0.32-0.74)	0.88 \pm 0.07	0.91 \pm 0.10	0.11 (-0.79-0.28)
Rfmax (%)	42.9 \pm 2.8	42.4 \pm 2.4	0.01 (-0.97-0.13)	42.9 \pm 2.7	42.4 \pm 2.6	0.02 (-0.75-0.32)	42.6 \pm 1.9	42.6 \pm 2.5	0.02 (-0.48-0.57)
D_{RF} (%·s·m)	8.3 \pm 1.3	8.3 \pm 1.0	0.01 (-0.45-0.60)	8.6 \pm 1.2	8.0 \pm 1.0	0.01 (-0.13-0.97)	8.2 \pm 0.7	8.5 \pm 1.0	0.01 (-0.80-0.27)

F_0 = θεωρητική μέγιστη δύναμη, v_0 = θεωρητική μέγιστη ταχύτητα, P_{max} = θεωρητική μέγιστη οριζόντια ισχύς, S_{Fv} = η κλίση της γραμμικής σχέσης $F - v$, RF_{max} = μέγιστη τιμή του λόγου της οριζόντιας δύναμης προς τη συνολική δύναμη αντίδρασης του εδάφους, D_{RF} = η μείωση στο RF καθώς αυξάνεται η ταχύτητα.

4.2. Αποτελέσματα δεύτερης μελέτης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δεύτερης μελέτης, όπου εξετάστηκε η άμεση επίδραση του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου με το φορτίο που προκαλεί μείωση της v_0 κατά 50% στην επίδοση στα 30 m sprint και τις ενδιάμεσες αποστάσεις ανά 5 m, καθώς και στα κινηματικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος.

4.2.1. Επίδοση στα 30 m τρεξίματος ταχύτητας

Τα αποτελέσματα της ANOVA έδειξαν σημαντική αλληλεπίδραση (συνθήκη x χρόνος) για τον χρόνο επίδοσης στα 25 m ($F = 4.98$, $p = 0.047$, $\eta^2 = 0.31$, $OP = 0.53$) και στα 30 m sprint ($F = 5.85$, $p = 0.034$, $\eta^2 = 0.35$, $OP = 0.60$). Η post hoc ανάλυση φανέρωσε ότι η ΠΕ ήταν σημαντικά πιο γρήγορη στα 25 m (διαφορά μέσων = -0.041 ± 0.013 s, $p = 0.009$, $ES = 0.45$) και στα 30 m sprint (διαφορά μέσων = -0.047 ± 0.013 s, $p = 0.005$, $ES = 0.48$) μετά την παρέμβαση σε σχέση με την αρχική προσπάθεια (Πίνακας 4.6). Ο ICC μεταξύ των αρχικών sprint των 30 m των δύο συνθηκών ΕΛ και ΠΕ ήταν πολύ υψηλός (0.994, 95% διάστημα εμπιστοσύνης από 0.978 έως 0.998).

Πίνακας 4.6. Μέσοι όροι \pm SD του χρόνου εκτέλεσης του sprint 30 m ανά 5 m και για τις δύο συνθήκες.

	Συνθήκη Ελέγχου			Πειραματική Συνθήκη		
	Πριν	Μετά	ES (95%CI)	Πριν	Μετά	ES (95%CI)
5 m	1.41 \pm 0.08	1.41 \pm 0.09	0.38 (-0.60-0.53)	1.42 \pm 0.10	1.40 \pm 0.09	0.44 (-0.96-0.22)
10 m	2.16 \pm 0.13	2.16 \pm 0.14	0.40 (-0.50-0.63)	2.17 \pm 0.15	2.14 \pm 0.13	0.42 (-1.13-0.84)
15 m	2.82 \pm 0.18	2.82 \pm 0.19	0.43 (-0.44-0.69)	2.83 \pm 0.20	2.80 \pm 0.19	0.43 (-1.27- -0.17)
20 m	3.44 \pm 0.23	3.45 \pm 0.25	0.46 (-0.41-0.73)	3.46 \pm 0.25	3.43 \pm 0.24	0.45 (-1.41- -0.11)
25 m	4.05 \pm 0.29	4.06 \pm 0.31	0.51 (-0.37-0.77)	4.08 \pm 0.31	4.04 \pm 0.30 *	0.45 (-1.58- -0.22)
30 m	4.65 \pm 0.35	4.66 \pm 0.37	0.57 (-0.35-0.80)	4.68 \pm 0.38	4.64 \pm 0.37 *	0.46 (-1.71- -0.30)

* $p < 0.05$ διαφέρει σημαντικά από το αρχικό sprint.

4.2.2. Κινηματικά χαρακτηριστικά

Η στατιστική ανάλυση έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση (συνθήκη x χρόνος) για τη δρομική ταχύτητα στις αποστάσεις 5 – 10 ($F = 5.46$, $p = 0.039$, $\eta^2 = 0.33$, $OP = 0.57$), 10 – 15 ($F = 5.07$, $p = 0.046$, $\eta^2 = 0.32$, $OP = 0.54$), 15 – 20 ($F = 5.62$, $p = 0.037$, $\eta^2 = 0.34$, $OP = 0.58$), 20 – 25 ($F = 5.86$, $p = 0.034$, $\eta^2 = 0.40$, $OP = 0.68$) και 25 – 30 m ($F = 7.15$, $p = 0.022$, $\eta^2 = 0.40$, $OP = 0.75$). Η post hoc ανάλυση έδειξε πως στη συνθήκη ΠΕ οι δοκιμαζόμενοι πέτυχαν σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες ύστερα από την εκτέλεση του τρεξίματος με έλκηθρο στα 5 – 10 (διαφορά μέσων = $0.06 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $p = 0.032$, $ES = 0.71$), 10 – 15 (διαφορά μέσων = $0.08 \pm 0.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $p = 0.006$, $ES = 0.98$), 15 – 20 (διαφορά μέσων = $0.08 \pm 0.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $p = 0.004$, $ES = 1.06$), 20 – 25 (διαφορά μέσων = $0.10 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $p = 0.015$, $ES = 0.83$) και 25 – 30 m (διαφορά μέσων = $0.09 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $p = 0.014$, $ES = 0.84$) (Πίνακας 4.8, Σχήμα 4.5). Στη συνθήκη ΕΛ δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική αλλαγή στη δρομική ταχύτητα (Πίνακας 4.7, Σχήμα 4.4). Στην απόσταση των 0 – 5 m δεν βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση ή κύρια επίδραση.

Πίνακας 4.7. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση για τη συνθήκη ελέγχου.

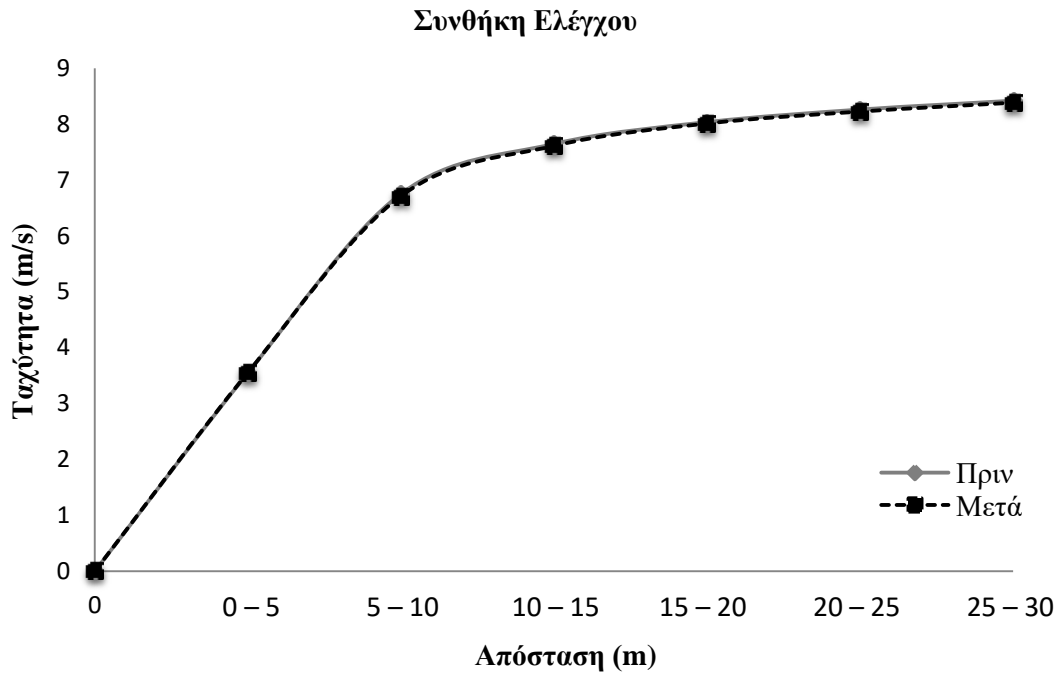
	Συνθήκη Ελέγχου	Ταχύτητα (m/s)	Μήκος Βήματος (m)	Συχνότητα Βήματος (Hz)	Χρόνος Επαφής (s)	Χρόνος Πτήσης (s)
0-5 m	Πριν	3.55 \pm 0.20	1.16 \pm 0.08	3.08 \pm 0.30	0.175 \pm 0.022	0.082 \pm 0.010
	Μετά	3.56 \pm 0.24	1.15 \pm 0.09	3.12 \pm 0.35	0.175 \pm 0.019	0.081 \pm 0.011
	ES	0.09	0.17	0.26	-0.10	-0.20
	(95% CI)	(-0.48-0.65)	(-0.73-0.41)	(-0.32-0.83)	(-0.47-0.67)	(-0.77-0.38)
5-10 m	Πριν	6.75 \pm 0.50	1.58 \pm 0.09	4.27 \pm 0.32	0.144 \pm 0.013	0.101 \pm 0.011
	Μετά	6.71 \pm 0.49	1.58 \pm 0.09	4.25 \pm 0.31	0.144 \pm 0.013	0.103 \pm 0.011
	ES	-0.31	0.02	-0.23	0.09	0.30
	(95% CI)	(-0.88-0.28)	(-0.55-0.58)	(-0.80-0.35)	(-0.48-0.65)	(-0.29-0.87)
10-15 m	Πριν	7.65 \pm 0.64	1.77 \pm 0.10	4.32 \pm 0.27	0.132 \pm 0.011	0.107 \pm 0.007
	Μετά	7.61 \pm 0.61	1.77 \pm 0.09	4.29 \pm 0.29	0.131 \pm 0.012	0.110 \pm 0.007
	ES	-0.28	0.11	-0.55	-0.13	0.59
	(95% CI)	(-0.86-0.30)	(-0.47-0.67)	(-1.15-0.69)	(-0.70-0.44)	(-0.04-1.11)
15-20 m	Πριν	8.04 \pm 0.73	1.88 \pm 0.11	4.27 \pm 0.27	0.125 \pm 0.011	0.113 \pm 0.005
	Μετά	8.01 \pm 0.73	1.88 \pm 0.12	4.25 \pm 0.28	0.126 \pm 0.012	0.114 \pm 0.007
	ES	-0.22	0.08	-0.19	0.10	0.25
	(95% CI)	(-0.79-0.28)	(-0.49-0.65)	(-0.75-0.39)	(-0.47-0.66)	(-0.33-0.82)
20-25 m	Πριν	8.26 \pm 0.79	1.95 \pm 0.11	4.24 \pm 0.27	0.123 \pm 0.011	0.117 \pm 0.005
	Μετά	8.23 \pm 0.79	1.94 \pm 0.11	4.24 \pm 0.27	0.121 \pm 0.012	0.118 \pm 0.006
	ES	-0.34	-0.20	0.02	-0.46	0.03
	(95% CI)	(-0.91-0.25)	(-0.77-0.37)	(-0.59-0.55)	(-1.05-0.14)	(-0.54-0.59)
25-30 m	Πριν	8.42 \pm 0.83	2.00 \pm 0.10	4.20 \pm 0.26	0.119 \pm 0.014	0.122 \pm 0.006
	Μετά	8.39 \pm 0.84	2.01 \pm 0.13	4.17 \pm 0.29	0.120 \pm 0.011	0.122 \pm 0.007
	ES	-0.32	0.05	-0.39	0.23	0.24
	(95% CI)	(-0.89-0.27)	(-0.52-0.62)	(-0.97-0.21)	(-0.35-0.80)	(-0.34-0.81)

Πίνακας 4.8. Μέσοι όροι \pm SD των κινηματικών μεταβλητών ανά 5 m στα sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση στην πειραματική συνθήκη.

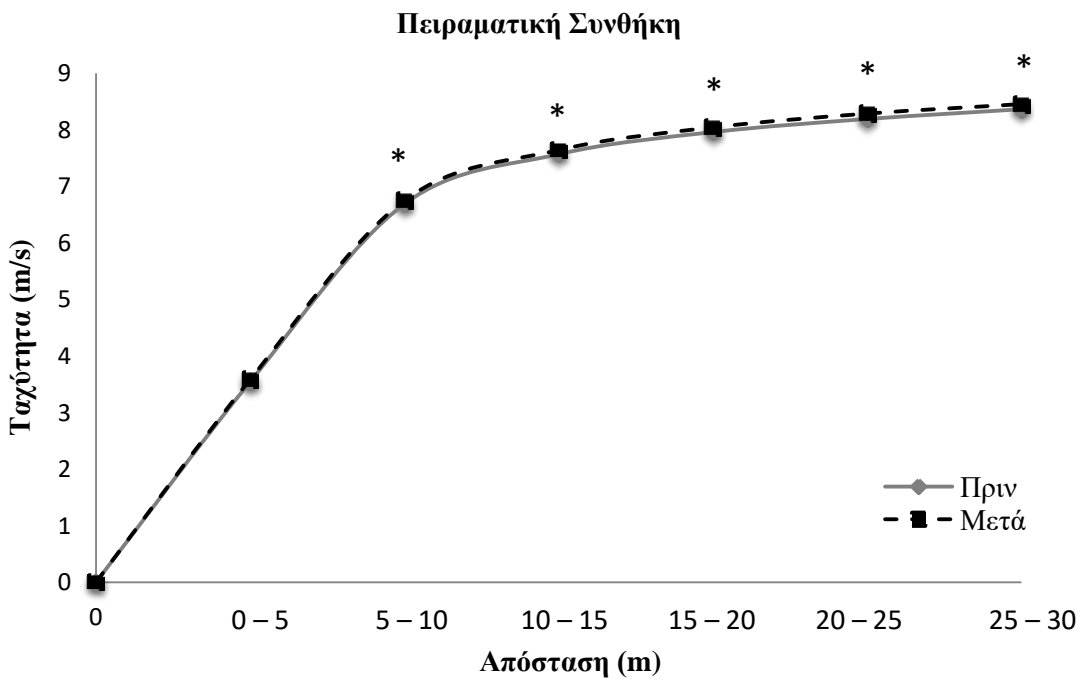
Πειραματική Συνθήκη	Ταχύτητα (m/s)	Μήκος Βήματος (m)	Συχνότητα Βήματος (Hz)	Χρόνος Επαφής (s)	Χρόνος Πτήσης (s)	
0-5 m	Πριν	3.55 \pm 0.26	1.15 \pm 0.08	3.11 \pm 0.36	0.175 \pm 0.018	0.079 \pm 0.010
	Μετά	3.59 \pm 0.24	1.14 \pm 0.07	3.15 \pm 0.34	0.180 \pm 0.023	0.077 \pm 0.011
	ES	0.38	-0.06	0.35	0.38	-0.30
	(95% CI)	(-0.22-0.96)	(-0.63-0.50)	(-0.25-0.92)	(-0.22-0.96)	(-0.87-0.29)
5-10 m	Πριν	6.69 \pm 0.48	1.57 \pm 0.08	4.28 \pm 0.31	0.143 \pm 0.013	0.101 \pm 0.009
	Μετά	6.75 \pm 0.53 *	1.57 \pm 0.08	4.30 \pm 0.34	0.146 \pm 0.015	0.102 \pm 0.010
	ES	0.71	0.18	0.21	0.45	0.09
	(95% CI)	(0.58-1.33)	(-0.40-0.75)	(-0.37-0.77)	(-0.16-1.03)	(-0.48-0.66)
10-15 m	Πριν	7.57 \pm 0.61	1.76 \pm 0.09	4.31 \pm 0.30	0.133 \pm 0.012	0.108 \pm 0.006
	Μετά	7.64 \pm 0.66 *	1.77 \pm 0.09	4.33 \pm 0.30	0.133 \pm 0.013	0.108 \pm 0.007
	ES	0.98	0.19	0.18	0.07	-0.03
	(95% CI)	(0.27-1.65)	(-0.39-0.75)	(-0.39-0.75)	(-0.50-0.64)	(-0.59-0.54)
15-20 m	Πριν	7.96 \pm 0.72	1.87 \pm 0.10	4.27 \pm 0.28	0.126 \pm 0.012	0.112 \pm 0.006
	Μετά	8.05 \pm 0.77 *	1.87 \pm 0.10	4.30 \pm 0.34	0.126 \pm 0.013	0.113 \pm 0.006
	ES	1.06	0.17	0.19	-0.17	0.18
	(95% CI)	(0.33-1.76)	(-0.41-0.73)	(-0.38-0.76)	(-0.74-0.40)	(-0.40-0.74)
20-25 m	Πριν	8.19 \pm 0.79	1.93 \pm 0.11	4.25 \pm 0.29	0.121 \pm 0.012	0.117 \pm 0.006
	Μετά	8.29 \pm 0.85 *	1.94 \pm 0.12	4.27 \pm 0.25	0.121 \pm 0.013	0.117 \pm 0.005
	ES	0.83	0.30	0.24	0.03	-0.02
	(95% CI)	(0.16-1.48)	(-0.29-0.81)	(-0.34-0.81)	(-0.54-0.60)	(-0.55-0.58)
25-30 m	Πριν	8.37 \pm 0.87	1.98 \pm 0.12	4.20 \pm 0.30	0.120 \pm 0.011	0.122 \pm 0.007
	Μετά	8.46 \pm 0.92 *	2.00 \pm 0.11	4.21 \pm 0.29	0.120 \pm 0.014	0.122 \pm 0.006
	ES	0.84	0.43	0.11	-0.15	-0.11
	(95% CI)	(0.16-1.49)	(-0.18-1.01)	(-0.46-0.67)	(-0.72-0.42)	(-0.67-0.46)

* $p < 0.05$ διαφέρει σημαντικά από το αρχικό sprint.

Οι κινηματικές μεταβλητές για τις συνθήκες ΕΛ και ΠΕ παρουσιάζονται στους πίνακες 4.7 και 4.8, αντίστοιχα. Δεν βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση ή κύρια επίδραση συνθήκης και χρόνου στο μήκος και τη συχνότητα βήματος και στον χρόνο πτήσης και επαφής με το έδαφος ($p > 0.05$).



Σχήμα 4.4. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση και για τη συνθήκη ΕΛ.



Σχήμα 4.5. Η δρομική ταχύτητα του αρχικού sprint και του sprint μετά την παρέμβαση και για τη συνθήκη ΠΕ. * σημαντική διαφορά σε σχέση με την αρχική μέτρηση ($p < 0.05$).

4.2.3. Μηχανικά χαρακτηριστικά

Στις μηχανικές μεταβλητές F_0 , v_0 , P_{max} , S_{Fv} , RF_{max} και D_{RF} δεν βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση ούτε κύρια επίδραση συνθήκης και χρόνου (πίνακας 4.9). Ωστόσο, φάνηκε πως υπήρξαν τάσεις για αύξηση στη v_0 (ES = 0.43) και στη P_{max} (ES = 0.47) στην συνθήκη ΠΕ.

Πίνακας 4.9. Μέσοι όροι \pm SD των μηχανικών μεταβλητών των sprint 30 m πριν και μετά την παρέμβαση και για τις δύο συνθήκες.

Μηχανικές Μεταβλητές	Συνθήκη Ελέγχου			Πειραματική Συνθήκη		
	Πριν	Μετά	ES (95%CI)	Πριν	Μετά	ES (95%CI)
F_0 (N·kg ⁻¹)	7.72 \pm 0.84	7.61 \pm 0.60	-0.19 (-0.76–0.38)	7.51 \pm 0.63	7.60 \pm 0.66	0.16 (-0.41–0.73)
v_0 (m·s ⁻¹)	9.07 \pm 1.03	9.03 \pm 1.05	-0.30 (-0.87–0.29)	9.02 \pm 1.11	9.13 \pm 1.15	0.43 (-0.17–1.01)
P_{max} (W·kg ⁻¹)	17.62 \pm 3.51	17.30 \pm 3.15	-0.25 (-0.82–0.33)	17.02 \pm 3.01	17.47 \pm 3.46	0.47 (-0.14–1.06)
S_{Fv} (N/kg/s/m)	-0.86 \pm 0.09	-0.85 \pm 0.06	0.13 (-0.44–0.70)	-0.84 \pm 0.09	-0.84 \pm 0.07	0.29 (-0.54–0.59)
RF_{max} (%)	45.1 \pm 3.6	44.8 \pm 3.2	-0.23 (-0.80–0.35)	44.4 \pm 3.0	44.9 \pm 3.6	0.43 (-0.17–1.01)
D_{RF} (%·s·m)	-7.9 \pm 0.9	-7.8 \pm 0.7	0.15 (-0.42–0.72)	-7.8 \pm 0.9	-7.8 \pm 0.7	0.09 (-0.48–0.65)

F_0 = θεωρητική μέγιστη δύναμη, v_0 = θεωρητική μέγιστη ταχύτητα, P_{max} = θεωρητική μέγιστη οριζόντια ισχύς, S_{Fv} = η κλίση της γραμμικής σχέσης $F - v$, RF_{max} = μέγιστη τιμή του λόγου της οριζόντιας δύναμης προς τη συνολική δύναμη αντίδρασης του εδάφους, D_{RF} = η μείωση στο RF καθώς αυξάνεται η ταχύτητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Συζήτηση πρώτης μελέτης

Ο σκοπός της πρώτης μελέτης ήταν η εξέταση της άμεσης επίδρασης των πλειομετρικών ασκήσεων στην επίδοση στα 30 m sprint και τις ενδιάμεσες αποστάσεις ανά 5 m, καθώς και στα κινηματικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος. Ως ασκήσεις ενεργοποίησης εκτελέστηκαν οριζόντια αλματικά βήματα με εναλλαγή ποδιών και μονοποδικά. Η αρχική υπόθεση πως η εκτέλεση των πλειομετρικών ασκήσεων θα προκαλούσε βελτίωση της επίδοσης κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint επιβεβαιώνεται εν μέρη. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν μείωση στον χρόνο εκτέλεσης στα 5 και 10 m του sprint κατά 1.7 και 1.1%, αντίστοιχα, ύστερα από την εκτέλεση των οριζόντιων αλματικών βημάτων με εναλλαγή ποδιών. Επιπλέον, η δρομική ταχύτητα των δοκιμαζομένων αυξήθηκε κατά 1.9% στην απόσταση των 0 – 5 m στη συνθήκη OAB. Ωστόσο, στη συνθήκη OMAB δεν παρουσιάστηκε καμία σημαντική μεταβολή στην απόδοση των αθλητών.

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες. Οι Byrne και συν. (2020) διερεύνησαν την άμεση επίδραση των αλμάτων πτώσης στα 5, 10 και 20 m sprint σε άνδρες παίκτες χέρλινγκ. Σημαντική βελτίωση της επίδοσης σε σχέση με την αρχική μέτρηση βρέθηκε μόνο στα 5 και 10 m του sprint στα 4 και στα 12 min αποκατάστασης. Οι Turner και συν. (2015) χρησιμοποιώντας τα οριζόντια αλματικά βήματα με εναλλαγή ποδιών χωρίς επιβάρυνση και με επιβάρυνση 10% της ΣΜ βρήκαν σημαντική αύξηση της δρομικής ταχύτητας τόσο στα 10 m, όσο και στα 20 m sprint σε προπονημένους άνδρες. Το ποσοστό βελτίωσης της ταχύτητας ύστερα από την άσκηση χωρίς επιβάρυνση στα 10 m ήταν παρόμοια με τη παρούσα μελέτη (1.6%), ενώ η εκτέλεση της άσκησης με επιβάρυνση επέφερε μεγαλύτερη βελτίωση (2.5%). Ωστόσο, άλλες μελέτες απέτυχαν να δείξουν σημαντική ενίσχυση της απόδοσης στα πρώτα 10 m της φάσης επιτάχυνσης του sprint ύστερα από κάθετα άλματα και άλματα από κάθισμα με εξωτερική επιβάρυνση (Till & Cooke, 2009; Tomlinson et al., 2020). Μία πιθανή αιτία για αυτά τα ευρήματα θα μπορούσε να είναι η έλλειψη της βιομηχανικής ομοιότητας αυτών των ασκήσεων με το sprint, καθώς οι συγκεκριμένες πλειομετρικές ασκήσεις περιλαμβάνουν κάθετη ώθηση, ενώ κατά το sprint απαιτείται όσο το δυνατόν οριζόντια ώθηση για να επιτευχθεί γρήγορη επιτάχυνση (Turner et al., 2015; Ng et al., 2020). Έτσι, ίσως θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη προς ποια κατεύθυνση εφαρμόζεται η δύναμη όταν χρησιμοποιούνται οι πλειομετρικές ασκήσεις ως ασκήσεις ενεργοποίησης για την ενίσχυση της απόδοσης κατά το sprint. Προηγούμενες μελέτες έχουν αναφέρει πως τα οριζόντια αλματικά βήματα έχουν παρόμοιο βιομηχανικό μοτίβο με το sprint και παρουσιάζουν παρόμοιους χρόνους επαφής με το έδαφος στα πρώτα μέτρα της επιτάχυνσης (Young, 1992; Rimmer & Sleivert, 2000). Επομένως, η μεγαλύτερη επίδραση αυτής της πλειομετρικής άσκησης στην απόδοση εμφανίζεται πιθανότητα στην πρώιμη φάση της επιτάχυνσης, η οποία περιλαμβάνει την εκκίνηση και τα πρώτα βήματα του αθλητή κατά το sprint (Nagahara et al., 2014).

Η βελτίωση της απόδοσης στην παρούσα μελέτη παρουσιάστηκε μόνο στα πρώτα 5 και 10 m του sprint, ενώ δεν υπήρξε σημαντική αλλαγή στον τελικό χρόνο επίδοσης των 30 m. Τα ευρήματα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία για την άμεση επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων στην απόσταση των 20 m είναι αντικρουόμενα. Μελέτες έχουν δείξει βελτίωση της επίδοσης στα 20 m sprint χρησιμοποιώντας ως ασκήσεις ενεργοποίησης άλματα πάνω από εμπόδια, άλματα βάθους και άλματα από κάθισμα με επιβάρυνση (Byrne et al., 2014; Abade et al., 2017; Creekmur et al., 2017; Piper et al., 2020). Ωστόσο, άλλες έρευνες δεν κατάφεραν να βρουν άμεση βελτίωση της απόδοσης στις αποστάσεις των 20 και 30 m με πλειομετρικές ασκήσεις (Till & Cooke, 2009; Kümmel et al., 2016; Tomlinson et al., 2020). Οι διαφορές στα ευρήματα των μελετών μπορούν να αποδοθούν σε μεθοδολογικά ζητήματα, όπως το είδος της πλειομετρικής άσκησης, ο όγκος και η επιβάρυνση της άσκησης ενεργοποίησης, ο χρόνος αποκατάστασης και το επίπεδο των δοκιμαζόμενων (Wilson et al., 2013; Sheitz & Haff, 2015). Επιπλέον, είναι σημαντικό πως η απόκριση σε ένα πρωτόκολλο ΜΔΕ φαίνεται να είναι ιδιαίτερα εξατομικευμένη και δεν είναι η ίδια για όλους τους δοκιμαζόμενους (Seitz & Haff, 2015). Συνεπώς, κάποιοι δοκιμαζόμενοι ανταποκρίνονται στην άσκηση ενεργοποίησης και παρουσιάζουν ενίσχυση της απόδοσης, ενώ σε άλλους δοκιμαζόμενους η απόδοση δεν επηρεάζεται από την άσκηση ενεργοποίησης (Healy & Comyns, 2017; Tomlinson et al., 2020). Το φαινόμενο της ανταπόκρισης ή μη ανταπόκρισης στη ΜΔΕ εντοπίζεται και στην παρούσα μελέτη, καθώς η βελτίωση της επίδοσης παρουσιάστηκε σε 11 και 10 δοκιμαζόμενους από τους 14 συνολικά στα 5 και στα 10 m, αντίστοιχα.

Οι μηχανισμοί πρόκλησης της ΜΔΕ που είχαν ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της απόδοσης στη συνθήκη OAB είναι ασαφείς λόγω της έλλειψης ηλεκτρομυογραφίας στη παρούσα μελέτη. Ωστόσο, η εμφάνιση της ΜΔΕ έχει αποδοθεί στην αυξημένη νευρική ενεργοποίηση και την επιστράτευση των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας (Hodgson et al., 2005; Tillin & Bishop, 2009). Καθώς τα οριζόντια αλματικά βήματα είναι μία εκρηκτική άσκηση, η επιστράτευση των μυϊκών ινών τύπου II των μυών που συμμετέχουν στο sprint (Desmedt et al., 1977) θα μπορούσε να εξηγήσει την βελτίωση του χρόνου εκτέλεσης που παρουσιάστηκε στα 5 και στα 10 m. Επιπλέον, στην πρόκληση της ΜΔΕ θα μπορούσε να συμβάλει η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης, η οποία αυξάνει τον ρυθμό της μυϊκής συστολής (Hodgson et al., 2008).

Ύστερα από την εκτέλεση μίας άσκησης ενεργοποίησης η μυϊκή κόπωση και η ΜΔΕ συνυπάρχουν μέσα στον μυ (Rassier & Macintosh, 2000). Για την ελαχιστοποίηση της κόπωσης και την επικράτηση της ΜΔΕ απαιτείται επαρκής περίοδος αποκατάστασης. Σύμφωνα με τους Sheitz and Haff (2015) η μεγαλύτερη βελτίωση της απόδοσης εμφανίζεται ύστερα από 5 – 7 min αποκατάστασης, ενώ το είδος της άσκησης ενεργοποίησης επηρεάζει τον απαιτούμενο χρόνο ξεκούρασης. Έτσι, η επίδραση της ΜΔΕ φαίνεται να είναι μεγαλύτερη 0.30 – 4 min ύστερα από την εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων (Rassier & Macintosh, 2000). Η ανάπαυση 5 min ανάμεσα στην άσκηση ενεργοποίησης και το επακόλουθο sprint που εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη

ήταν επαρκής ώστε να υπάρξει σημαντική ενίσχυση της απόδοσης στα 5 και στα 10 m του sprint ύστερα από την εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων με εναλλαγή ποδιών. Ωστόσο, η εκτέλεση των οριζόντιων αλματικών βημάτων μονοποδικά δεν προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στην απόδοση. Για τον καθορισμό της βέλτιστης διάρκειας ανάπαυσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ο όγκος και η επιβάρυνση της άσκησης, καθώς και το επίπεδο των δοκιμαζομένων (Wilson et al., 2013). Είναι πιθανό, λόγω της μεγαλύτερης επιβάρυνσης στη συνθήκη OMAB στα κάτω άκρα και το χαμηλό επίπεδο των αθλητών, τα 5 min αποκατάστασης να μην ήταν αρκετά και να επικράτησε η κόπωση έναντι της ΜΔΕ.

Από την αξιολόγηση των κινηματικών χαρακτηριστικών των sprint που εκτελέστηκαν πριν και μετά τα πρωτόκολλα φάνηκε σημαντική αύξηση της μέσης συχνότητας βήματος των αθλητών στα 0 – 5 m ύστερα από την εκτέλεση των οριζόντιων αλματικών βημάτων με εναλλαγή ποδιών. Το ποσοστό της αύξησης της συχνότητας (1.8%) ήταν αντίστοιχο με το ποσοστό αύξησης της δρομικής ταχύτητας (1.9%), υποδεικνύοντας πως η αύξηση της ταχύτητας που παρουσιάστηκε στα 5 m του sprint οφειλόταν σε σημαντική αύξηση της συχνότητας βήματος των αθλητών. Στο μέσο μήκος βήματος και τους μέσους χρόνους πτήσης και επαφής με το έδαφος δεν φάνηκαν σημαντικές συστηματικές αλλαγές πριν και μετά την εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με προηγούμενη μελέτη, στην οποία βρέθηκε πως το πέρασμα εμποδίων οδήγησε σε βελτίωση του χρόνου σε 60 m sprint και στις ενδιάμεσες αποστάσεις ανά 10 m και αυτή η βελτίωση συνοδεύτηκε από αύξηση της συχνότητας βήματος (Yoshimoto et al., 2016). Ωστόσο, στη συγκεκριμένη μελέτη ως συχνότητα βήματος υπολογίστηκε ο αριθμός των βημάτων / sec. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η εκτέλεση ασκήσεων που απαιτούν υψηλή συχνότητα, όπως τα περάσματα εμποδίων τρέχοντας, οδηγούν σε άμεση αύξηση της συχνότητας του βήματος κατά το sprint. Σε άλλη μελέτη δεν βρέθηκε άμεση επίδραση των μέγιστων αναπηδήσεων στην απόδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint και στο μήκος βήματος και τον χρόνο επαφής με το έδαφος στα πρώτα 10 m του sprint σε 5 sprinters (Kümmel et al., 2016). Στην παρούσα μελέτη, η εμφάνιση υψηλότερης συχνότητας βήματος στο αρχικό στάδιο της φάσης επιτάχυνσης κατά το sprint, υποδηλώνει πως ύστερα από την εκτέλεση των οριζόντιων αλματικών βημάτων με εναλλαγή ποδιών η ικανότητα της νευρικής ενεργοποίησης των δοκιμαζομένων ήταν υψηλότερη, με αποτέλεσμα την εκτέλεση περισσότερων βημάτων στη μονάδα του χρόνου (Salo et al., 2011). Επιπλέον, οι Hunter και συν. (2004) εξέτασαν τη σχέση του μήκους και της συχνότητας βήματος σε επαναλαμβανόμενα sprint 25 m σε αθλητές και διαπίστωσαν πως έτειναν να εκτελούν το ταχύτερο sprint τους με υψηλότερη συχνότητα και όχι με μεγαλύτερο μήκος βήματος. Σύμφωνα με τους ερευνητές, η επίτευξη υψηλότερης δρομικής ταχύτητας μέσω της αύξησης του μήκους βήματος απαιτεί μακροπρόθεσμη βελτίωση της μυϊκής δύναμης και της ισχύος, ενώ η συχνότητα βήματος μπορεί να επηρεάζει την απόδοση βραχυπρόθεσμα.

Κατά την αρχική φάση της επιτάχυνσης στο sprint απαιτείται μεγαλύτερη οριζόντια ώθηση και ελαχιστοποίηση της κάθετης ώθησης (Hunter et al., 2004). Τα οριζόντια αλματικά βήματα που χρησιμοποιήθηκαν ως άσκηση ενεργοποίησης

στη παρούσα μελέτη είναι εξειδικευμένη άσκηση για το sprint που ενισχύει την οριζόντια ώθηση και μακροχρόνια προκαλούν βελτίωση της απόδοσης στα 10 και στα 40 m (Rimmer & Sleivert, 2000). Η μεγιστοποίηση της οριζόντιας ώθησης κατά την εκτέλεση της άσκησης συμβάλλει στην εξήγηση της βελτίωσης της απόδοσης που παρουσιάστηκε στη παρούσα μελέτη στην αρχική επιτάχυνση. Ωστόσο, η εξέταση των μηχανικών χαρακτηριστικών του τρεξίματος δεν έδειξαν σημαντικές αλλαγές στις μεταβλητές F_0 , v_0 , P_{max} , S_{Fv} , RF_{max} και D_{RF} ύστερα από την εκτέλεση των πλειομετρικών ασκήσεων. Προηγούμενη μελέτη έδειξε πως προπόνηση 6 εβδομάδων με πλειομετρικές ασκήσεις προκάλεσε βελτίωση στην επίδοση στα 30 m sprint και στις μηχανικές μεταβλητές F_0 και v_0 σε άνδρες παίχτες ράγκμπι, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη ικανότητα για παραγωγή δύναμης, και ιδιαίτερα σε μεγάλες ταχύτητες (Watkins et al., 2021). Είναι, επομένως, πιθανό αλλαγές στην εφαρμογή της δύναμης να μην μπορούν να εμφανιστούν άμεσα από την εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων και να απαιτείται μακροχρόνια προπόνηση. Επιπλέον, το επίπεδο των δοκιμαζομένων θα μπορούσε να επηρεάσει τα αποτελέσματα της μελέτης. Αθλητές υψηλότερου επιπέδου με μεγαλύτερη τεχνική ικανότητα στην εφαρμογή της δύναμης κατά την επιτάχυνση ενδεχομένως να μπορούσαν να επωφεληθούν περισσότερο από την εφαρμογή οριζόντιας ώθησης κατά την εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης. Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

5.2. Συζήτηση δεύτερης μελέτης

Σκοπός της δεύτερης μελέτης ήταν η διερεύνηση της άμεσης επίδρασης του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου στην επίδοση στη φάση επιτάχυνσης του sprint και στα μηχανικά και κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος. Το φορτίο που χρησιμοποιήθηκε στο έλκηθρο καθορίστηκε έτσι ώστε να προκαλεί 50% μείωση της v_0 , το οποίο έχει προταθεί ως το βέλτιστο φορτίο για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ισχύος κατά την έλξη έλκηθρου (Cross et al., 2017a) και κυμάνθηκε από 57 ως 73% της ΣΜ των δοκιμαζομένων. Σε συμφωνία με την αρχική υπόθεση, το κύριο εύρημα της μελέτης ήταν πως η επίδοση στα 25 και στα 30 m sprint βελτιώθηκε άμεσα κατά 1.1% και 1%, αντίστοιχα, ύστερα από δύο επαναλήψεις τρεξίματος με έλξη έλκηθρου. Μάλιστα στην πειραματική συνθήκη όλοι οι δοκιμαζόμενοι, εκτός από έναν αθλητή, παρουσίασαν καλύτερους χρόνους στα 25 και 30 m σε σχέση με το αρχικό sprint. Επιπλέον, η δρομική ταχύτητα των αθλητών αυξήθηκε κατά 0.92, 0.98, 1.05, 1.17 και 1.07% στις αποστάσεις 5 – 10 m, 10 – 15 m, 15 – 20 m, 20 – 25 m και 25 – 30 m, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα της μελέτης υποστηρίζουν τα ευρήματα της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Οι Winwood και συν. (2016) βρήκαν βελτίωση στην επίδοση σε 15 m sprint ύστερα από έλξη έλκηθρου με φορτίο 75% της ΣΜ (προκαλώντας μείωση της ταχύτητας κατά 23 – 37%) σε προπονημένους παίχτες ράγκμπι. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης διακύμανσης στο ποσοστό μείωσης της δρομικής ταχύτητας των δοκιμαζομένων που προκάλεσε το φορτίο, οι συγγραφείς πρότειναν τον καθορισμό του φορτίου ως ποσοστό μείωσης της μέγιστης ταχύτητας ως καλύτερη μέθοδο. Οι Williams και συν. (2020) επίσης έδειξαν ότι η έλξη έλκηθρου με βαριά φορτία βελτιώνει άμεσα τον χρόνο εκτέλεσης 15 m sprint σε νεαρούς – ες παίχτες – τριες ποδοσφαιρού. Το φορτίο που

χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη αντιστοιχίσει σε 40 – 50% μείωση της μέγιστης ταχύτητας (κυμαινόμενο από 66 ως 70% της ΣΜ) και προκάλεσε βελτίωση στον χρόνο εκτέλεσης του sprint κατά 0.1 s κατά μέσο όρο. Άλλοι ερευνητές αναζήτησαν αν η έλξη έλκηθρου προς τα εμπρός και προς τα πίσω με τα φορτία που προκαλούν 35 και 55% μείωση της ταχύτητας θα επηρέαζε την επίδοση σε 5 m sprint σε προπονημένους παίκτες ράγκμπι (Monaghan & Cochrane, 2020). Σε αντίθεση με τα προηγούμενα ευρήματα, δεν βρέθηκαν σημαντικές αλλαγές στην δρομική ταχύτητα. Παρομοίως, οι Whelan και συν. (2014) δεν έδειξαν σημαντική επίδραση της έλξης έλκηθρου με φορτίο 25 – 30% της ΣΜ στην δρομική ταχύτητα σε sprint 5 και 10 m σε σωματικά δραστήριους άνδρες. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, καθώς δεν βρέθηκε σημαντική αλλαγή στη δρομική ταχύτητα στην απόσταση των 5 m. Συνεπώς, μπορεί να διατυπωθεί η υπόθεση πως τόσο μικρή απόσταση δεν είναι επαρκής για να εμφανιστεί η ΜΔΕ ύστερα από τρέξιμο με αντίσταση.

Η έλξη έλκηθρου με βαριά φορτία φαίνεται πως είναι αποτελεσματικό ερέθισμα ενεργοποίησης και προκαλεί την άμεση ενίσχυση την απόδοσης κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint, εφόσον παρέχεται επαρκής ανάπαυση για να εξαλειφθεί η κόπωση. Οι Sheitz and Haff (2015) έδειξαν πως ύστερα από την εκτέλεση ασκήσεων μέτριας και υψηλής αντίστασης απαιτείται ανάπαυση διάρκειας > 5 min. Η ανάπαυση 8 min ανάμεσα στην άσκηση ενεργοποίησης και το επακόλουθο sprint που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη ήταν επαρκής ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κόπωση και να εμφανιστεί η ΜΔΕ. Αυτό το εύρημα συνάδει με τα αποτελέσματα προηγούμενης έρευνας, στην οποία φάνηκε πως 8 min μετά από έλξη έλκηθρου με φορτίο 50% της ΣΜ η επίδοση σε sprint 15 m βελτιώθηκε (Jarvis et al., 2017).

Το ατομικό φορτίο που χρησιμοποιήθηκε κατά την έλξη έλκηθρου στην παρούσα μελέτη ήταν επαρκές για να ενεργοποιήσει τους υπεύθυνους μηχανισμούς για την πρόκληση του φαινομένου της ΜΔΕ. Ένας πιθανός μηχανισμός για την ενίσχυση της απόδοσης κατά το sprint είναι η αύξηση της νευρικής ενεργοποίησης και η επιστράτευση των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας (Hodgson et al., 2005; Tillin & Bishop, 2009). Λόγω της απουσίας ηλεκτρομυογραφίας σε αυτήν την μελέτη, μπορεί μόνο να υποτεθεί πως η έλξη έλκηθρου προκάλεσε ενεργοποίηση των μυϊκών ινών τύπου II που συμμετέχουν στο sprint, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη παραγωγή δύναμης και ισχύος. Μία άλλη πιθανή εξήγηση για την ενίσχυση της απόδοσης που παρουσιάστηκε κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint είναι η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης, η οποία αυξάνει την ευαισθησία του συμπλέγματος ακτίνης – μυοσίνης στο Ca^{2+} , οδηγώντας σε αύξηση του ρυθμού σύνδεσης των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης με την ακτίνη (Tillin & Bishop, 2009).

Στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκαν τα κινηματικά χαρακτηριστικά των sprint που εκτελέστηκαν πριν και μετά από τα πρωτόκολλα. Δεν φάνηκαν σημαντικές συστηματικές αλλαγές στο μέσο μήκος και τη μέση συχνότητα βήματος και τους μέσους χρόνους πτήσης και επαφής με το έδαφος σε καμία ενδιάμεση απόσταση. Η αύξηση της δρομικής ταχύτητας που παρατηρήθηκε

ύστερα από τα sprint με έλξη έλκηθρου ήταν αποτέλεσμα της αύξησης του μήκους ή / και της συχνότητας βήματος. Αυτές οι κινηματικές παράμετροι διαφέρουν μεταξύ των αθλητών, και επομένως, σε μερικούς συμμετέχοντες η αύξηση της ταχύτητας προήλθε από αύξηση του μήκους βήματος, ενώ σε άλλους παρατηρήθηκε υψηλότερη συχνότητα. Πάντως, τα ευρήματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι τα sprint με αντίσταση υψηλού φορτίου δεν βλάπτουν την τεχνική τρεξίματος του ακόλουθου sprint που εκτελείται χωρίς αντίσταση. Οι μελέτες που εξετάζουν την άμεση επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση στα κινηματικά χαρακτηριστικά του sprint είναι περιορισμένες και παρουσιάζουν ποικίλες μεθοδολογικές διαφορές (Whelan et al., 2014; Jarvis et al., 2017; Van Den Tillaar & Von Heimburg, 2017; Mangine et al., 2018; Monaghan & Cochrane, 2020). Οι Van Den Tillaar και Von Heimburg (2017) διερεύνησαν την επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση με απόλυτο φορτίο 5 kg, το οποίο αντιστοιχούσε περίπου στο 7.3% της ΣΜ των δοκιμαζομένων, στην επίδοση στα 20 m sprint και στις κινηματικές παραμέτρους σε όλη την απόσταση των 20 m. Ο χρόνος εκτέλεσης του sprint βελτιώθηκε κατά 2%, όμως το μήκος και η συχνότητα βήματος και ο χρόνος πτήσης και επαφής με το έδαφος δεν άλλαξαν σημαντικά. Οι Jarvis και συν. (2017) επίσης δεν βρήκαν σημαντικές μεταβολές στο μήκος και τη συχνότητα του 3^{ου} βήματος σε sprint 15 m, παρόλο που η επίδοση βελτιώθηκε σημαντικά. Άλλες μελέτες δεν βρήκαν σημαντική επίδραση του τρεξίματος με αντίσταση τόσο στην επίδοση, όσο και στα κινηματικά χαρακτηριστικά του sprint (Whelan et al., 2014; Mangine et al., 2018; Monaghan & Cochrane, 2020). Η βελτίωση της απόδοσης κατά το sprint χωρίς αντίστοιχες αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά μπορεί να εξηγηθεί από το επίπεδο των δοκιμαζομένων της μελέτης και την τεχνική τους εμπειρία. Οι συμμετέχοντες της μελέτης των Van Den Tillaar και Von Heimburg (2017) και των Jarvis και συν. (2017) ήταν παίχτες ομαδικών αθλημάτων, ενώ στη παρούσα μελέτη οι δοκιμαζόμενοι ήταν αθλητές δρόμων ταχύτητας. Ωστόσο, αθλητές δρόμων ταχύτητας υψηλότερου επιπέδου με περισσότερο σταθερή τεχνική τρεξίματος ίσως να είχαν επιφέρει διαφορετικά αποτελέσματα. Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν πως δεν υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στις μηχανικές μεταβλητές F_0 , v_0 , P_{max} , S_{Fv} , RF_{max} και D_{RF} ύστερα από την εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου. Άλλοι ερευνητές, χρησιμοποιώντας έλκηθρο με φορτίο που προκαλεί μείωση της δρομικής ταχύτητας κατά 35 και 55% δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές τόσο στη δρομική ταχύτητα, όσο και στα κινηματικά χαρακτηριστικά του πρώτου βήματος σε sprint 5 m (Monaghan & Cochrane, 2020). Σε αυτή τη μελέτη οι μεταβλητές κατακόρυφη και οριζόντια δύναμη, κατακόρυφη και οριζόντια ώθηση και ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας μία πλατφόρμα δύναμης. Παρομοίως σε άλλη μελέτη, οι Mangine και συν. (2018) δεν παρατήρησαν ενίσχυση της απόδοσης στα 20 m sprint και την παραγωγή δύναμης και ισχύος ύστερα από sprint με αντίσταση 5% της ΣΜ χρησιμοποιώντας μία συσκευή αντίστασης (1080 Motion). Ωστόσο, σημειώθηκε αύξηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης. Στη παρούσα μελέτη, 9 από τους 12 συμμετέχοντες παρουσίασαν υψηλότερη v_0 κατά 1.2% (ES = 0.43), το οποίο δείχνει τάση για μεγαλύτερη ικανότητα των κάτω άκρων να

παράγουν οριζόντια δύναμη σε υψηλές ταχύτητες ύστερα από την εκτέλεση τρεξίματος με έλξη έλκηθρου. Επιπλέον, παρατηρήθηκε 2.6% αύξηση στη P_{max} (7 από τους 12 συμμετέχοντες βελτίωσαν τη P_{max}), η οποία αντικατοπτρίζει τάση για υψηλότερη ικανότητα παραγωγής μηχανικής ισχύος κατά τη φάση επιτάχυνσης. Αυτές οι παρατηρήσεις μπορούν εν μέρει να εξηγήσουν την αύξηση της δρομικής ταχύτητας που προέκυψε ύστερα από τα sprint με έλξη έλκηθρου. Προηγούμενη μελέτη υποστήριξε πως το φορτίο που εφαρμόζεται στο έλκηθρο καθορίζει τις ακόλουθες προσαρμογές στην απόδοση κατά το sprint (Petrakos et al., 2016). Η έλξη έλκηθρου με βαριά φορτία (> 20% της ΣΜ) έχουν ως αποτέλεσμα βελτίωση στην αρχική φάση της επιτάχυνσης κατά το sprint, όπου η παραγωγή δύναμης είναι υψηλή και η ταχύτητα χαμηλή. Οι Morin και συν. (2020) εξέτασαν την επίδραση 10 εβδομάδων προπόνησης με έλξη έλκηθρου με το ατομικό βέλτιστο φορτίο και βρήκαν βελτίωση της επίδοσης στα 5 και 30 m sprint και των μηχανικών μεταβλητών F_0 , v_0 , P_{max} και RF_{max} . Η παρούσα μελέτη έδειξε πως η έλξη έλκηθρου με το ατομικό βέλτιστο φορτίο οδηγεί σε σημαντική μείωση του χρόνου εκτέλεσης του sprint 30 m και σημαντική αύξηση της ταχύτητας κατά τη φάση επιτάχυνσης. Ωστόσο, χρειάζονται περισσότερες μελέτες για τον καθορισμό των άμεσων και των μακροχρόνιων οφελών της προπόνησης με το βέλτιστο φορτίο.

5.3. Συμπεράσματα

Ο σκοπός της διατριβής ήταν η διερεύνηση της άμεσης επίδρασης των πλειομετρικών ασκήσεων και του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου στην επίδοση στα 30 m sprint και τις ενδιάμεσες αποστάσεις ανά 5 m. Επίσης, εξετάστηκαν οι άμεσες αλλαγές στα κινηματικά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint.

Τα οριζόντια αλματικά βήματα με εναλλαγή ποδιών μπορούν να προκαλέσουν άμεση βελτίωση της επίδοσης κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint, κυρίως στα πρώτα 5 και 10 m. Η ενίσχυση της ταχύτητας που παρουσιάζεται στα πρώτα 5 m του sprint ύστερα από την εκτέλεση της πλειομετρικής άσκησης προκαλείται από αύξηση στη συχνότητα βήματος. Οι μηχανικές μεταβλητές του τρεξίματος δεν φαίνεται να επηρεάζονται άμεσα από τις πλειομετρικές ασκήσεις. Ωστόσο, θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω η άμεση επίδραση των πλειομετρικών ασκήσεων στα μηχανικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος σε αθλητές υψηλότερου επιπέδου.

Το τρέξιμο με έλξη έλκηθρου με το φορτίο που προκαλεί μείωση της v_0 κατά 50% είναι ένα αποτελεσματικό ερέθισμα για την άμεση βελτίωση της απόδοσης στη φάση επιτάχυνσης του sprint, κυρίως στην ύστερη φάση (25 και 30 m). Η εκτέλεση του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου προκαλεί άμεση αύξηση της ταχύτητας από τα 5 ως τα 30 m της επιτάχυνσης, χωρίς όμως συστηματικές αλλαγές στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος. Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να συμπεριλάβουν αθλητές υψηλότερου επιπέδου ώστε να διαπιστωθεί αν μπορούν να υπάρξουν άμεσες μεταβολές στο μήκος και τη συχνότητα βήματος και στον χρόνο πτήσης και επαφής με το έδαφος ύστερα από τρέξιμο με αντίσταση. Το τρέξιμο με έλξη έλκηθρου δεν προκαλεί άμεσα σημαντικές αλλαγές στις μηχανικές μεταβλητές. Ωστόσο, υπάρχουν τάσεις για βελτίωση της

ικανότητας των κάτω άκρων να παράγουν οριζόντια δύναμη σε υψηλές ταχύτητες και στη μέγιστη παραγωγή ισχύος.

Οι πλειομετρικές ασκήσεις που τονίζουν την οριζόντια ώθηση και το τρέξιμο με έλξη έλκηθρου με βαριά φορτία φαίνεται να είναι αποτελεσματικές ασκήσεις ενεργοποίησης για την άμεση ενίσχυση της απόδοσης κατά τη φάση επιτάχυνσης του sprint. Η επιλογή της άσκησης ενεργοποίησης θα πρέπει να γίνεται με βάση το μέρος της φάσης επιτάχυνσης που στοχεύεται η βελτίωση. Τα οριζόντια αλματικά βήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση της απόδοσης κατά την πρώιμη φάση της επιτάχυνσης, ενώ η έλξη έλκηθρου με το βέλτιστο ατομικό φορτίο (50% μείωση της v_0) είναι αποτελεσματική για την ενίσχυση της απόδοσης στην ύστερη φάση της επιτάχυνσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Abbate, F., Sargeant, A. J., Verdijk, P. W. L., & De Haan, A. (2000). Effects of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 35–40.
- Andre, M. J., Fry, A. C., & Lane, M. T. (2013). Appropriate loads for peak-power during resisted sprinting on a non-motorized treadmill. *Journal of Human Kinetics*, 38, 161.
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287-332.
- Asmussen, E., & Bonde-Petersen, F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91(3), 385-392.
- Babault, N., Desbrosses, K., Fabre, M. S., Michaut, A., & Pousson, M. (2006). Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *Journal of Applied Physiology*, 100(3), 780-785.
- Behrens, M. J., & Simonson, S. R. (2011). A comparison of the various methods used to enhance sprint speed. *Strength & Conditioning Journal*, 33(2), 64-71.
- Bigland-Ritchie, B., Johansson, R., Lippold, O. C., Smith, S., & Woods, J. J. (1983). Changes in motoneuron firing rates during sustained maximal voluntary contractions. *The Journal of Physiology*, 340(1), 335-346.
- Bogdanis, G. C. (2012). Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. *Frontiers in physiology*, 3, 142.
- Bogdanis, G. C., Tsoukos, A., Veligeakas, P., Tsolakis, C., & Terzis, G. (2014). Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on postactivation potentiation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(9), 2521-2528.
- Bullock, N., & Comfort, P. (2011). An investigation into the acute effects of depth jumps on maximal strength performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(11), 3137-3141.
- Byrne, P. J., Kenny, J., & O'Rourke, B. (2014). Acute potentiating effect of depth jumps on sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(3), 610-615.
- Cahill, M. J., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Clark, K. P., Lloyd, R. S., & Cross, M. R. (2019). Sled pushing and pulling to enhance speed capability. *Strength & Conditioning Journal*, 41(4), 94-104.
- Chatzopoulos, D. E., Michailidis, C. J., Giannakos, A. K., Alexiou, K. C., Patikas, D. A., Antonopoulos, C. B., & Kotzamanidis, C. M. (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1278-1281.
- Chen, Z. R., Wang, Y. H., Peng, H. T., Yu, C. F., & Wang, M. H. (2013). The acute effect of drop jump protocols with different volumes and recovery time on countermovement jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1), 154-158.
- Chiu, L. Z., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., & Smith, S. L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally

- trained individuals. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 671-677.
- Chu, D. A. (1998). *Jumping into plyometrics*. Human Kinetics.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine*, 41(1), 17-38.
- Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., Brown, S. R., & Morin, J. B. (2017a). Optimal loading for maximizing power during sled-resisted sprinting. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(8), 1069-1077.
- Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., & Morin, J. B. (2017b). Methods of power-force-velocity profiling during sprint running: A narrative review. *Sports Medicine*, 47(7), 1255-1269.
- Dello Iacono, A., Martone, D., & Padulo, J. (2016). Acute effects of drop-jump protocols on explosive performances of elite handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(11), 3122-3133.
- Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *The Journal of physiology*, 264(3), 673-693.
- Docherty, D., & Hodgson, M. J. (2007). The application of postactivation potentiation to elite sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 439-444.
- Ema, R., Akagi, R., Wakahara, T., & Kawakami, Y. (2016). Training-induced changes in architecture of human skeletal muscles: current evidence and unresolved issues. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 5(1), 37-46.
- Enoka, R. M. (1995). Mechanisms of muscle fatigue: central factors and task dependency. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5(3), 141-149.
- Esformes, J. I., Keenan, M., Moody, J., & Bampouras, T. M. (2011). Effect of different types of conditioning contraction on upper body postactivation potentiation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 143-148.
- Escobar Álvarez, J. A., Jiménez Reyes, P., Da Conceição, F. A., & Fuentes García, J. P. (2020). Does the initial level of horizontal force determine the magnitude of improvement in acceleration performance in rugby?. *European Journal of Sport Science*, 1-9.
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74(1), 49-94.
- Folland, J. P., Wakamatsu, T., & Fimland, M. S. (2008). The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 739.
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145-168.
- French, D. N., Kraemer, W. J., & Cooke, C. B. (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric

- muscle actions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 678-685.
- Fukunaga, T., Ichinose, Y., Ito, M., Kawakami, Y., & Fukashiro, S. (1997). Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 82(1), 354-358.
- Gilbert, G., & Lees, A. (2005). Changes in the force development characteristics of muscle following repeated maximum force and power exercise. *Ergonomics*, 48(11-14), 1576-1584.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G., & Garas, A. (2003). Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(2), 342-344.
- Grange, R. W., Vandenboom, R., & Houston, M. E. (1993). Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 18(3), 229-242.
- Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, 11, 67-84.
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 88(6), 2131-2137.
- Healy, R., & Comyns, T. M. (2017). The application of postactivation potentiation methods to improve sprint speed. *Strength and Conditioning Journal*, 39(1), 1-9.
- Henneman, E., Clamann, H. P., Gillies, J. D., & Skinner, R. D. (1974). Rank order of motoneurons within a pool: law of combination. *Journal of Neurophysiology*, 37(6), 1338-1349.
- Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Excitability and inhibibility of motoneurons of different sizes. *Journal of Neurophysiology*, 28(3), 599-620.
- Hicks, D. S., Schuster, J. G., Samozino, P., & Morin, J. B. (2020). Improving mechanical effectiveness during sprint acceleration: Practical recommendations and guidelines. *Strength & Conditioning Journal*, 42(2), 45-62.
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-Activation Potentiation: Underlying Physiology and Implications for Motor Performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585-595.
- Hodgson, M. J., Docherty, D., & Zehr, E. P. (2008). Postactivation potentiation of force is independent of H-reflex excitability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 219-231.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 261-271.
- Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskólska, A., & Skinner, J. S. (1998). Treadmill measurement of the force-velocity relationship and power output in subjects with different maximal running velocities. *Research in Sports Medicine: An International Journal*, 8(4), 347-358.

- Jaskolski, A., Veenstra, B., Goossens, P., Jaskolska, A., & Skinner, J. S. (1996). Optimal resistance for maximal power during treadmill running. *Research in Sports Medicine: An International Journal*, 7(1), 17-30.
- Jarvis, P., Turner, A., Chavda, S., & Bishop, C. (2017). The acute effects of heavy sled towing on subsequent sprint acceleration performance. *Journal of Trainology*, 6(1), 18-25.
- Jones, P., & Lees, A. (2003). A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 694-700.
- Kawamori, N., Newton, R., & Nosaka, K. (2014). Effects of weighted sled towing on ground reaction force during the acceleration phase of sprint running. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1139-1145.
- Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., & Cunningham, D. J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: Optimal recovery. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1134-1138.
- Kugler, F., & Janshen, L. (2010). Body position determines propulsive forces in accelerated running. *Journal of Biomechanics*, 43(2), 343-348.
- Kümmel, J., Bergmann, J., Prieske, O., Kramer, A., Granacher, U., & Gruber, M. (2016). Effects of conditioning hops on drop jump and sprint performance: a randomized crossover pilot study in elite athletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 8(1), 1.
- Lima, J. B., Marin, D., Barquilha, G., Da Silva, L., Puggina, E., Pithon-Curi, T., & Hirabara, S. (2011). Acute effects of drop jump potentiation protocol on sprint and countermovement vertical jump performance. *Human Movement*, 12(4), 324-330.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & de Jonge, X. A. J. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1539-1550.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 760-767.
- Linthorne, N. P., & Cooper, J. E. (2013). Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sports Biomechanics*, 12(2), 175-185.
- MacIntosh, B. R., & Rassier, D. E. (2002). What is fatigue?. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(1), 42-55.
- Mahlfeld, K., Franke, J., & Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 29(4), 597-600.
- Mangine, G. T., Huet, K., Williamson, C., Bechke, E., Serafini, P., Bender, D., & Townsend, J. (2018). A resisted sprint improves rate of force development

- during a 20-m sprint in athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(6), 1531-1537.
- Maughan, R. J., Watson, J. S., & Weir, J. (1983). Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(3), 309-318.
- Mcbride, J. M., Nimphius, S., & Erickson, T. M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 893
- Mezzarane, R. A., Elias, L. A., Magalhães, F. H., Chaud, V. M., & Kohn, A. F. (2013). Experimental and simulated EMG responses in the study of the human spinal cord. *Electrodiagnosis in New Frontiers of Clinical Research. Rijeka: InTech*, 57-87.
- Misiaszek, J. E. (2003). The H-reflex as a tool in neurophysiology: its limitations and uses in understanding nervous system function. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 28(2), 144-160.
- Monaghan, D. J., & Cochrane, D. J. (2020). Can backward sled towing potentiate sprint performance?. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(2), 345-354.
- Morana, C., & Perrey, S. (2009). Time course of postactivation potentiation during intermittent submaximal fatiguing contractions in endurance-and power-trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(5), 1456-1464.
- Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J. R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3921-3930.
- Morin, J. B., Capelo-Ramirez, F., Rodriguez-Pérez, M. A., Cross, M. R., & Jimenez-Reyes, P. (2020). Individual adaptation kinetics following heavy resisted sprint training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1.
- Morin, J. B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1680-1688.
- Morin, J. B., Petrakos, G., Jiménez-Reyes, P., Brown, S. R., Samozino, P., & Cross, M. R. (2017). Very-heavy sled training for improving horizontal-force output in soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 840-844.
- Morin, J. B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 267-272.
- Morin, J. B., & Samozino, P. (2018). *Biomechanics of Training and Testing*. Cham: Springer International Publishing.
- Morin, J. B., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., & Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *Journal of Biomechanics*, 43(10), 1970-1975.

- Morin, J. B., Samozino, P., Murata, M., Cross, M. R., & Nagahara, R. (2019). A simple method for computing sprint acceleration kinetics from running velocity data: replication study with improved design. *Journal of Biomechanics*, *94*, 82-87.
- Morin, J. B., Slawinski, J., Dorel, S., Couturier, A., Samozino, P., Brughelli, M., & Rabita, G. (2015). Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: push more, brake less?. *Journal of Biomechanics*, *48*(12), 3149-3154.
- Nagahara, R., Matsubayashi, T., Matsuo, A., & Zushi, K. (2014). Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biology open*, *3*(8), 689-699.
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy. *Strength & Conditioning Journal*, *16*(5), 20-31.
- Ng, C. Y., Chen, S. E., & Lum, D. (2020). Inducing postactivation potentiation with different modes of exercise. *Strength & Conditioning Journal*, *42*(2), 63-81.
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., & Hoffman, M. A. (2004). The Hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *Journal of Athletic Training*, *39*(3), 268.
- Pantoja, P. D., Carvalho, A. R., Ribas, L. R., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2018). Effect of weighted sled towing on sprinting effectiveness, power and force-velocity relationship. *PLoS One*, *13*(10), e0204473.
- Petrakos, G., Morin, J. B., & Egan, B. (2016). Resisted sled sprint training to improve sprint performance: a systematic review. *Sports Medicine*, *46*(3), 381-400.
- Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Sáez-de-Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P., & Morin, J. B. (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *25*(5), 583-594.
- Rassier, D. E., & Macintosh, B. R. (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, *33*(5), 499-508.
- Reardon, D., Hoffman, J. R., Mangine, G. T., Wells, A. J., Gonzalez, A. M., Jajtner, A. R., & Fukuda, D. H. (2014). Do changes in muscle architecture affect post-activation potentiation?. *Journal of Sports Science & Medicine*, *13*(3), 483.
- Rimmer, E., & Sleivert, G. (2000). Effects of a plyometrics intervention program on sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *14*(3), 295-301.
- Rixon, K. P., Lamont, H. S., & Bembien, M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(2), 500.
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(2), 453.

- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(6), 648-658.
- Seitz, L. B., de Villarreal, E. S., & Haff, G. G. (2014). The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(3), 706-715.
- Seitz, L. B., & Haff, G. G. (2016). Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(2), 231-240.
- Sharma, S. K., Raza, S., Moiz, J. A., Verma, S., Naqvi, I. H., Anwer, S., & Alghadir, A. H. (2018). Postactivation potentiation following acute bouts of plyometric versus heavy-resistance exercise in collegiate soccer players. *BioMed Research International*, 2018.
- Smith, J. C., & Fry, A. C. (2007). Effects of a ten-second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 73-76.
- Sotiropoulos, K., Smilios, I., Christou, M., Barzouka, K., Spaias, A., & Douda, H. (2010). Effects of warm-up on vertical jump performance and muscle electrical activity using half-squats at low and moderate intensity. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(2), 326.
- Smilios, I., Piliandis, T., Sotiropoulos, K., Antonakis, M., & Tokmakidis, S. P. (2005). Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 135-139.
- Stuart, D. S., Lingley, M. D., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1988). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 66(1), 49-54.
- Sweeney, H. L., Bowman, B. F., & Stull, J. T. (1993). Myosin light chain phosphorylation in vertebrate striated muscle: Regulation and function. *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, 264(5 33-5), 85-95.
- Szczesna, D. (2003). Regulatory light chains of striated muscle myosin. Structure, function and malfunction. *Current Drug Targets - Cardiovascular and Haematological Disorders*, 3(2), 187-197.
- Szczesna, D., Zhao, J., Jones, M., Zhi, G., Stull, J., & Potter, J. D. (2002). Phosphorylation of the regulatory light chains of myosin affects Ca²⁺ sensitivity of skeletal muscle contraction. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1661-1670.
- Taylor, J. L., Amann, M., Duchateau, J., Meeusen, R., & Rice, C. L. (2016). Neural contributions to muscle fatigue: from the brain to the muscle and back again. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2294.

- Terzis, G., Spengos, K., Karampatsos, G., Manta, P., & Georgiadis, G. (2009). Acute effect of drop jumping on throwing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2592-2597.
- Till, K. A., & Cooke, C. (2009). The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(7), 1960-1967.
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147-166.
- Trimble, M. H., & Harp, S. S. (1998). Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(6), 933-941.
- Tsolakis, C., Bogdanis, G. C., Nikolaou, A., & Zacharogiannis, E. (2011). Influence of type of muscle contraction and gender on postactivation potentiation of upper and lower limb explosive performance in elite fencers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(3), 577.
- Tubman, L. A., MacIntosh, B. R., & Maki, W. A. (1996). Myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in fatigued skeletal muscle. *Pflügers Archiv*, 431(6), 882-887.
- Turner, A. P., Bellhouse, S., Kilduff, L. P., & Russell, M. (2015). Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(2), 343-350.
- Yoshimoto, T., Takai, Y., & Kanehisa, H. (2016). Acute effects of different conditioning activities on running performance of sprinters. *Springerplus*, 5(1), 1203.
- Young, W. (1992). Plyometrics: Sprint bounding and the sprint bound index. *Strength & Conditioning Journal*, 14(4), 18-22.
- Young, W. B., Jenner, A., & Griffiths, K. (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(2), 82-84.
- van den Tillaar, R., & von Heimburg, E. (2017). Comparison of different sprint training sessions with assisted and resisted running: Effects on performance and kinematics in 20-m sprints. *Human Movement*, 18(2), 21-29.
- Vanderka, M., Krčmár, M., Longová, K., & Walker, S. (2016). Acute effects of loaded half-squat jumps on sprint running speed in track and field athletes and soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1540-1546.
- Vandervoort, A. A., Quinlan, J., & McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental Neurology*, 81(1), 141-152.
- Wan, J. J., Qin, Z., Wang, P. Y., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine*, 49(10), e384-e384.
- Watkins, C. M., Gill, N. D., Maunder, E., Downes, P., Young, J. D., McGuigan, M. R., & Storey, A. G. (2021). The Effect of Low-Volume Preseason Plyometric Training on Force-Velocity Profiles in Semiprofessional Rugby Union Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(3), 604-615.

- Whelan, N., O'Regan, C., & Harrison, A. J. (2014). Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(7), 1858-1866.
- Williams, J. J., Heron, R., Spradley, B., & Saracino, P. (2020). Postactivation Potentiation Effect of Heavy Sled Towing on Subsequent Sprints. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M., & Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 854-859.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(11), 1279-1286.
- Winwood, P. W., Posthumus, L. R., Cronin, J. B., & Keogh, J. W. (2016). The acute potentiating effects of heavy sled pulls on sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(5), 1248-1254.
- Witmer, C. A., Davis, S. E., & Moir, G. L. (2010). The acute effects of back squats on vertical jump performance in men and women. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(2), 206.
- Zehr, P. E. (2002). Considerations for use of the Hoffmann reflex in exercise studies. *European Journal of Applied Physiology*, 86(6), 455-468.
- Τσούκος, Α., Βεληγκέκας, Π., Μπογδάνης, Γ. (2013). Φυσιολογική βάση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στο σκελετικό μυ και πρακτικές εφαρμογές στον αθλητισμό. *Επιθεώρηση Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης*, 1, 1-21.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1. Δήλωση συγκατάθεσης για την πρώτη μελέτη



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΦΥΣΙΚΗ ΑΓΩΓΗ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ
ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Έντυπο ενημέρωσης και συγκατάθεσης των γονέων και κηδεμόνων για τη συμμετοχή των αθλητών στην έρευνα

Επιστημονικός υπεύθυνος της έρευνας: Ζήση Μαρία (Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια)

Καλούνται οι αθλητές και οι αθλήτριες να συμμετέχουν σε έρευνα που διεξάγεται στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού προγράμματος Σπουδών της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η έρευνα γίνεται υπό την επίβλεψη του Παραδείση Γιώργου, Αναπληρωτή Καθηγητή Κλασικού Αθλητισμού.

Η ερευνητική πρόταση έχει εγκριθεί με την υπ' αριθμό 1169/12-02-2020 απόφαση της Επιτροπής Επιστημονικής Δεοντολογίας του τμήματος.

Η συμμετοχή στην έρευνα είναι εθελοντική και μπορεί να υπάρξει αποχώρηση από αυτήν οποιαδήποτε στιγμή. Τα στοιχεία των δοκιμαζομένων θα κωδικοποιηθούν και θα διασφαλιστεί η ανωνυμία τους σε πιθανή δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων σε επιστημονικά περιοδικά ή σε χρήση τους για διδακτικούς σκοπούς. Όλοι οι συμμετέχοντες θα έχουν τη δυνατότητα ενημέρωσης για τα ατομικά ή τα γενικά αποτελέσματα της έρευνας αν το επιθυμήσουν. Η έρευνα γίνεται καθαρά για επιστημονικούς σκοπούς χωρίς να υπάρχει εκμετάλλευση, ενώ το όφελος για τους συμμετέχοντες θα είναι αποκλειστικά η ικανοποίηση από τη συμμετοχή τους στο συγκεκριμένο επιστημονικό έργο.

Τίτλος της έρευνας

«Η επίδραση ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά χαρακτηριστικά και στο ταχοδυναμικό προφίλ των δρόμων ταχύτητας»

Σκοπός της έρευνας

Σύμφωνα με το φαινόμενο της μεταδιεργετικής ενεργοποίησης, έντονη άσκηση που εκτελείται πριν από μία προσπάθεια μέγιστης ταχύτητας είναι ικανή να προκαλέσει άμεσα βελτίωση της απόδοσης. Η δύναμη, η ισχύς και η ταχύτητα που αναπτύσσονται κατά την φάση επιτάχυνσης στο τρέξιμο ταχύτητας σχηματίζουν το οριζόντιο προφίλ δύναμης – ταχύτητας των αθλητών και η αποτελεσματική εφαρμογή της δύναμης καθορίζει την απόδοση. Η μελέτη των δραστηριοτήτων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αυτές τις μεταβλητές θα βοηθήσει στο σχεδιασμό της προπονητικής διαδικασίας και στη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης. Σκοπός αυτής της έρευνας είναι να μελετήσει την άμεση επίδραση των οριζόντιων αλματικών βημάτων, τα οποία θα εκτελεστούν με εναλλαγές ποδιών και μονοποδικά, στην επίδοση, στο προφίλ δύναμης – ταχύτητας των αθλητών και στα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος στη φάση επιτάχυνσης των δρόμων ταχύτητας.

Διαδικασία της έρευνας

Οι συμμετέχοντες καλούνται να ολοκληρώσουν 3 πρωτόκολλα σε 3 διαφορετικές επισκέψεις στον χώρο διεξαγωγής των μετρήσεων. Τα πρωτοκόλλα αφορούν την εκτέλεση οριζόντιων αλματικών βημάτων με εναλλαγές ποδιών και με συνεχόμενα αλματικά βήματα με το ίδιο κάτω άκρο ή ενεργητική ανάπαυση και θα πραγματοποιηθούν ύστερα από μια τυπική προθέρμανση. Πριν από την πραγματοποίηση των πρωτοκόλλων, καθώς και 5 λεπτά μετά από αυτήν, οι δοκιμαζόμενοι θα εκτελέσουν τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας 30 μέτρων. Θα πραγματοποιηθεί βιντεοσκόπηση των προσπαθειών, ώστε με την κατάλληλη ανάλυση να υπολογιστεί ο χρόνος εκτέλεσης της προσπάθειας, το τ προφίλ δύναμης – ταχύτητας των δοκιμαζομένων και τα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος. Οι συμμετέχοντες θα πρέπει να φορούν τα ίδια παπούτσια σε όλες τις δοκιμασίες και παρόμοιο ρουχισμό. Θα πρέπει, επίσης, να μην έχουν καταναλώσει φαγητό 4 ώρες πριν τις δοκιμασίες και να έχουν αποφύγει έντονη σωματική δραστηριότητα τις ημέρες πριν τις συναντήσεις.

Ευχαριστούμε τους συμμετέχοντες για τη συμβολή τους στην έρευνα.

Τηλ. επικοινωνίας: 6984586642

E-mail: zismaria3@gmail.com

ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗ

Δηλώνω ότι:

α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο της έρευνας με τίτλο: «Η άμεση επίδραση ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά και κινητικά χαρακτηριστικά δρομέων ταχύτητας» που διεξάγεται από επιστημονικό προσωπικό του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών

β) μου δόθηκε το δικαίωμα να αποφασίσω αν θα συμμετάσχω ή όχι

γ) μου δόθηκε το δικαίωμα να κάνω διευκρινιστικές ερωτήσεις

δ) η συμμετοχή μου είναι εντελώς εθελοντική

ε) έχω δικαίωμα να διατηρήσω την ανωνυμία μου

στ) έχω δικαίωμα να διακόψω όποτε θελήσω

Όνοματεπώνυμο δηλούντος: _____

Υπογραφή:

Υπογραφή γονέα ή κηδεμόνα:

Ημερομηνία: / / 2021

Υπογραφή του ατόμου που πήρε την συγκατάθεση:

Ημερομηνία: / / 2021

Παράρτημα 2. Δήλωση συγκατάθεσης για τη δεύτερη μελέτη



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΦΥΣΙΚΗ ΑΓΩΓΗ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ
ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Έντυπο ενημέρωσης και συγκατάθεσης για συμμετοχή στην έρευνα

Επιστημονικός υπεύθυνος της έρευνας: Ζήση Μαρία (Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια)

Καλείστε να συμμετέχετε σε έρευνα που διεξάγεται στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού προγράμματος Σπουδών της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η έρευνα γίνεται υπό την επίβλεψη του Παραδείση Γιώργου, Αναπληρωτή Καθηγητή Κλασικού Αθλητισμού.

Η ερευνητική πρόταση έχει εγκριθεί με την υπ' αριθμό 1169/12-02-2020 απόφαση της Επιτροπής Επιστημονικής Δεοντολογίας του τμήματος.

Η συμμετοχή στην έρευνα είναι εθελοντική και μπορεί να υπάρξει αποχώρηση από αυτήν οποιαδήποτε στιγμή. Τα στοιχεία των δοκιμαζομένων θα κωδικοποιηθούν και θα διασφαλιστεί η ανωνυμία τους σε πιθανή δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων σε επιστημονικά περιοδικά ή σε χρήση τους για διδακτικούς σκοπούς. Όλοι οι συμμετέχοντες θα έχουν τη δυνατότητα ενημέρωσης για τα ατομικά ή τα γενικά αποτελέσματα της έρευνας αν το επιθυμήσουν. Η έρευνα γίνεται καθαρά για επιστημονικούς σκοπούς χωρίς να υπάρχει εκμετάλλευση, ενώ το όφελος για τους συμμετέχοντες θα είναι αποκλειστικά η ικανοποίηση από τη συμμετοχή τους στο συγκεκριμένο επιστημονικό έργο.

Τίτλος της έρευνας

«Η επίδραση ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά χαρακτηριστικά και στο ταχοδυναμικό προφίλ των δρόμων ταχύτητας»

Σκοπός της έρευνας

Σύμφωνα με το φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης, έντονη άσκηση που εκτελείται πριν από μία προσπάθεια μέγιστης ταχύτητας είναι ικανή να προκαλέσει άμεσα βελτίωση της απόδοσης. Η δύναμη, η ισχύς και η ταχύτητα που αναπτύσσονται κατά την φάση επιτάχυνσης στο τρέξιμο ταχύτητας σχηματίζουν το οριζόντιο προφίλ δύναμης – ταχύτητας των αθλητών και η αποτελεσματική εφαρμογή της δύναμης καθορίζει την απόδοση. Η μελέτη των δραστηριοτήτων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αυτές τις μεταβλητές θα

βοηθήσει στο σχεδιασμό της προπονητικής διαδικασίας και στη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης. Σκοπός αυτής της έρευνας είναι να μελετήσει την άμεση επίδραση του τρεξίματος με έλξη έλκηθρου στην επίδοση, στο προφίλ δύναμης – ταχύτητας των αθλητών και τα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος στη φάση επιτάχυνσης των δρόμων ταχύτητας.

Διαδικασία της έρευνας

Οι συμμετέχοντες καλούνται να ολοκληρώσουν 3 επισκέψεις στον χώρο διεξαγωγής των μετρήσεων. Στις 2 επισκέψεις θα εκτελεστούν 2 διαφορετικά πρωτόκολλα. Τα πρωτόκολλα αφορούν την εκτέλεση τρεξίματος μέγιστης ταχύτητας με έλξη έλκηθρου ή ενεργητική ανάπαυση και θα πραγματοποιηθούν ύστερα από μια τυπική προθέρμανση. Το φορτίο που θα χρησιμοποιηθεί θα προκαλέσει μείωση της μέγιστης θεωρητικής ταχύτητας κατά 50% και θα καθοριστεί στην πρώτη επίσκεψη για κάθε δοκιμαζόμενο. Πριν από την πραγματοποίηση των πρωτοκόλλων, καθώς και 8 λεπτά μετά από αυτήν, οι δοκιμαζόμενοι θα εκτελέσουν τρέξιμο μέγιστης ταχύτητας 30 μέτρων. Θα πραγματοποιηθεί βιντεοσκόπηση των προσπαθειών, ώστε με την κατάλληλη ανάλυση να υπολογιστούν τα κινηματικά χαρακτηριστικά του τρεξίματος και το προφίλ δύναμης – ταχύτητας των συμμετεχόντων. Οι συμμετέχοντες θα πρέπει να φορούν τα ίδια παπούτσια σε όλες τις δοκιμασίες και παρόμοιο ρουχισμό. Θα πρέπει, επίσης, να μην έχουν καταναλώσει φαγητό 4 ώρες πριν τις δοκιμασίες και να έχουν αποφύγει την έντονη σωματική δραστηριότητα τις ημέρες πριν τις συναντήσεις.

Ευχαριστούμε τους συμμετέχοντες για τη συμβολή τους στην έρευνα.

Τηλ. επικοινωνίας: 6984586642

E-mail: zismaria3@gmail.com

ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗ

Δηλώνω ότι:

α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο της έρευνας με τίτλο: «Η άμεση επίδραση ασκήσεων μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στα κινηματικά και κινητικά χαρακτηριστικά δρομέων ταχύτητας» που διεξάγεται από επιστημονικό προσωπικό του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών

β) μου δόθηκε το δικαίωμα να αποφασίσω αν θα συμμετάσχω ή όχι

γ) μου δόθηκε το δικαίωμα να κάνω διευκρινιστικές ερωτήσεις

δ) η συμμετοχή μου είναι εντελώς εθελοντική

ε) έχω δικαίωμα να διατηρήσω την ανωνυμία μου

στ) έχω δικαίωμα να διακόψω όποτε θελήσω

Όνοματεπώνυμο δηλούντος: _____

Υπογραφή:

Υπογραφή γονέα ή κηδεμόνα:

Ημερομηνία: / / 2021

Υπογραφή του ατόμου που πήρε την συγκατάθεση:

Ημερομηνία: / / 2021

Παράρτημα 3. Έντυπο καταγραφής δεδομένων

Α/Α	ΑΤΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		ΣΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	
	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΗΜ. ΓΕΝ.	ΒΑΡΟΣ (kg)	ΥΨΟΣ (cm)	ΣΥΝΘΗΚΗ	ΗΜ/ΝΙΑ	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟΚΡ. (°C)	ΒΑΡ. ΠΙΕΣΗ (mmHg)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									