

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΣΚΗΣΙΟΓΕΝΟΥΣ ΜΥΪΚΟΥ  
ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΝΕΥΡΟΜΥΪΚΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΟΞΕΙΑ ΠΛΕΙΟΜΕΤΡΙΚΗ  
ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ

της

Καμπέρη Άννας (ΑΕΜ: 0718124)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

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

Εγκεκριμένη από το καθηγητικό σώμα:

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Δελή Χαρίκλεια, Επίκουρη Καθηγήτρια

ΤΡΙΚΑΛΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η εξέταση της επίδρασης της βιολογικής ωρίμανσης σε δείκτες μεταβολισμού, νευρομυϊκής κόπωσης, μυϊκού τραυματισμού και απόδοσης μετά από οξεία πλειομετρική προπόνηση. Για το σκοπό αυτό, έξι προ-έφηβοι (Tanner stage I) και 15 έφηβοι (Tanner stage  $\geq$  II) ολοκλήρωσαν ένα πρωτόκολλο πλειομετρικών αλμάτων (8 σετ των 10 μέγιστων κάθετων αλμάτων με αντιμετάθεση). Αξιολογήθηκαν η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος, η μέγιστη ισομετρική ροπή των εκτεινόντων (EM) και καμπτήρων μηριαίων (KM), ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος (DOMS), η δραστικότητα της κρεατινικής κινάσης (CK), καθώς και η απόδοση στο σπριντ 10 m και 30 m, στο επιτόπιο κατακόρυφο άλμα από κάθισμα 90° (SJ) και με αντιμετάθεση (CMJ) και στη μέγιστη σύγκεντρη, έκκεντρη και ισομετρική ροπή των EM και KM των δύο κάτω άκρων. Η πλειομετρική προπόνηση οδήγησε σε παρόμοια αύξηση μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων στη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος μετά τα πρώτα 4 σετ ( $p < 0.001$ ) και η οποία συνεχίστηκε και μετά τα 8 σετ ( $p < 0.01$ ) χωρίς να είναι σημαντική η διαφορά μεταξύ των 4 και 8 σετ. Η δραστικότητα της CK αυξήθηκε στους προ-έφηβους στις 24 ( $p < 0.05$ ) και 72 ώρες ( $p < 0.05$ ), και στους έφηβους στις 24 ( $p < 0.05$ ), 48 ( $p < 0.05$ ) και 72 ώρες ( $p < 0.05$ ) μετά την πλειομετρική προπόνηση. Ο DOMS αυξήθηκε σημαντικά μόνο στους έφηβους στους EM του μη-κυρίαρχου ποδιού στις 24 ώρες ( $p < 0.05$ ) συγκριτικά με τα επίπεδα πριν και αμέσως μετά ( $p < 0.05$ ) την προπόνηση, χωρίς να υπάρχουν διαφορές μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων σε όλες τις χρονικές στιγμές. Το ύψος άλματος στο SJ και στο CMJ μειώθηκε στις 24 ( $p < 0.001$ ) και 48 ώρες ( $p < 0.01$ ) μετά την πλειομετρική προπόνηση με παρόμοιο τρόπο στους προ-έφηβους όσο και στους έφηβους. Στο σπριντ 10 m ο χρόνος αυξήθηκε ενώ η μέση ταχύτητα μειώθηκε στις 24 ( $p < 0.05$ ) και 72 ώρες ( $p < 0.001$ ) και ανάλογες αλλαγές παρατηρήθηκαν στο χρόνο του σπριντ 30 m ( $p < 0.05$ ) και στη μέση ταχύτητα ( $p < 0.01$ ) στις 24 ώρες, και στον χρόνο του σπριντ 30 m ( $p < 0.05$ ) και στη μέση ταχύτητα ( $p < 0.05$ ) στις 72 ώρες. Η μείωση στην απόδοση στο σπριντ 10 m και 30 m ήταν παρόμοια μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων. Η ισοκινητική δύναμη δεν επηρεάστηκε από την πλειομετρική προπόνηση, ήταν όμως σημαντικά υψηλότερη στους έφηβους συγκριτικά με τους προ-έφηβους σε όλη τη μελέτη ( $p < 0.05$ ). Συμπερασματικά, η πλειομετρική προπόνηση προκαλεί παρόμοιο

μυϊκό τραυματισμό σε προ-έφηβους και έφηβους, και οδηγεί σε μείωση της απόδοσης στο σπριντ και στο κάθετο άλμα τις επόμενες ημέρες μετά την προπόνηση και αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη από τους προπονητές για τον πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό της προπόνησης και την μείωση του κινδύνου μυϊκού τραυματισμού.

**Λέξεις κλειδιά:** Ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός, κύκλος διάτασης-βράχυνσης, έφηβοι, προ-έφηβοι

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μια δύσκολη χρονιά γεμάτη κούραση και αρκετές δυσκολίες έφτασε στο τέλος της και ένας σημαντικός κύκλος, αυτός των σπουδών μου, ολοκληρώθηκε. Σε αυτή τη διαδρομή έμαθα πολλά πράγματα έχοντας κάποιους ανθρώπους δίπλα μου που με έκαναν πραγματικά να πιστέψω στον εαυτό μου και να δω ότι έχω τις δυνατότητες να καταφέρω ότι πραγματικά θέλω έχοντας πίστη, θέληση και σεβασμό για τα άτομα που έχω απέναντι μου και με βοηθάνε. Για όλα αυτά τους ευχαριστώ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την υπεύθυνη καθηγήτρια της μελέτης και της πτυχιακής μου εργασίας, κα Δελή Χαρίκλεια, Επίκουρη Καθηγήτρια στο Τ.Ε.Φ.Α.Α. του Π.Θ., που με την αμέριστη συμπαράσταση και συνεχή καθοδήγηση και στήριξη που μου πρόσφερε, συνέβαλε τα μέγιστα για την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου (SmArT Lab) που χωρίς την βοήθειά τους δεν θα είχα καταφέρει να φέρω σε πέρας την μελέτη.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και στα αδέρφια μου, που είναι κάθε μέρα δίπλα μου και μου δείχνουν πόσο με στηρίζουν και πόσο πιστεύουν σε μένα για αυτά που θέλω να κάνω και για αυτά που σκοπεύω να κάνω.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΣΚΟΠΟΣ.....	10
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	10
<b>1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....</b>	<b>12</b>
1.1. Πλειομετρική προπόνηση: Μέθοδοι – τύποι ασκήσεων πλειομετρικής προπόνησης.....	12
1.2. Ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός.....	13
1.3. Πλειομετρική προπόνηση και ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός.....	16
1.4. Επίδραση της ηλικίας στον ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό μετά από πλειομετρική προπόνηση .....	17
1.5. Επίδραση της βιολογικής ωρίμανσης στον ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό μετά από πλειομετρική προπόνηση .....	18
<b>2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>19</b>
2.1. Συμμετέχοντες.....	19
2.2. Πειραματικός Σχεδιασμός.....	19
2.3. Πρωτόκολλο Πλειομετρικής Προπόνησης .....	21
2.4. Αξιολόγηση ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών .....	21
2.5. Αξιολόγηση δεικτών βιολογικής ωρίμανσης .....	21
2.5.1. Αξιολόγηση κλίμακας Tanner .....	21
2.5.2. Αξιολόγηση επιπέδων τεστοστερόνης .....	22

2.5.3. Αξιολόγηση της ηλικίας από την ηλικία κορυφαίας ανάπτυξης του σωματικού ύψους .....	22
2.5.4. Καθιστό ανάστημα .....	22
2.5.5. Μήκος ποδιού .....	22
2.5.6. Αξιολόγηση σωματικής σύστασης .....	23
2.6. Αξιολόγηση δεικτών βιολογικής ωρίμανσης .....	23
2.6.1. Αξιολόγηση της ωρίμανσης των χαρακτηριστικών του φύλου .....	23
2.6.2. Αξιολόγηση επιπέδων τεστοστερόνης .....	24
2.6.3. Αξιολόγηση της απόστασης από την ηλικία της αλματώδους ανάπτυξης του σωματικού ύψους .....	24
2.7. Αξιολόγηση δεικτών μεταβολισμού .....	24
2.7.1. Γαλακτικό οξύ .....	24
2.8. Αξιολόγηση δεικτών μυϊκού τραυματισμού .....	24
2.8.1. Αξιολόγηση κρεατινικής κινάσης .....	24
2.8.2. Αξιολόγηση DOMS .....	25
2.9. Αξιολόγηση της νευρομυϊκής κόπωσης .....	25
2.10. Αξιολόγηση δεικτών απόδοσης .....	25
2.10.1. Αξιολόγηση αερόβιας ικανότητας .....	25
2.10.2. Αξιολόγηση του σπριντ 10 μ και 30 μ .....	26
2.10.3. Αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος από κάθισμα 90° και του κατακόρυφου άλματος με αντιμέταθεση .....	26
2.10.4. Αξιολόγηση της ισοκινητικής δύναμης των εκτεινόντων και καμπτήρων του γόνατος .....	26
<b>3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....</b>	<b>27</b>
<b>4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>28</b>
4.1. Βιολογική ωρίμανση .....	28
4.1.1. Κύρια και δευτερεύοντα χαρακτηριστικά του φύλου .....	28
4.2. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά .....	28
4.3. Σωματική σύσταση .....	28
4.4. Μεταβολική απόκριση .....	30
4.4.1. Συγκέντρωση Γαλακτικού Οξέος .....	30
4.5. Νευρομυϊκή κόπωση .....	31

4.6. Ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός .....	34
4.6.1.  Κρεατινική Κινάση (CK) .....	34
4.6.2.  Καθυστερημένος μυϊκός πόνος (DOMS) .....	35
4.7. Απόδοση .....	40
4.7.1.  Κατακόρυφο Άλμα .....	40
4.7.2.  Σπριντ 10 μ και σπριντ 30μ .....	41
4.7.3.  Μέγιστη ισοκινητική δύναμη .....	44
<b>5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>51</b>
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>54</b>
<b>7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>54</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.</b> Περιγραφικά Χαρακτηριστικά των Συμμετεχόντων .....	29
--	----

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.</b> Ο Πειραματικός Σχεδιασμός της Μελέτης .....	21
<b>Εικόνα 2.</b> Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	30
<b>Εικόνα 3.</b> Ισομετρική ροπή των εκτεινόντων μηριαίων (EM) του κυρίαρχου ποδιού αμέσως μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	32
<b>Εικόνα 4.</b> Ισομετρική ροπή των εκτεινόντων μηριαίων (EM) του μη-κυρίαρχου ποδιού αμέσως μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	32
<b>Εικόνα 5.</b> Ισομετρική ροπή των καμπτήρων μηριαίων (KM) του κυρίαρχου ποδιού αμέσως μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	33
<b>Εικόνα 6.</b> Ισομετρική ροπή των καμπτήρων μηριαίων (KM) του μη-κυρίαρχου ποδιού αμέσως μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	33
<b>Εικόνα 7.</b> Δραστικότητα CK μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	34
<b>Εικόνα 8.</b> DOMS στους εκτεινόντες μηριαίους (EM) του κυρίαρχου ποδιού .....	36
<b>Εικόνα 9.</b> DOMS στους καμπτήρες μηριαίους (KM) του κυρίαρχου ποδιού .....	37
<b>Εικόνα 10.</b> DOMS στους εκτεινόντες μηριαίους (KM) του Μη-κυρίαρχου ποδιού .....	38
<b>Εικόνα 11.</b> DOMS στους καμπτήρες μηριαίους (KM) του Μη-κυρίαρχου ποδιού .....	39
<b>Εικόνα 12.</b> Κατακόρυφο άλμα από κάθισμα 90° (SJ) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	40
<b>Εικόνα 13.</b> Κατακόρυφο άλμα με αντιμετάθεση (CMJ) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	41



<b>Εικόνα 14.</b> Σπριντ 10 m (A) και μέση ταχύτητα στο σπριντ 10 m (B) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	42
<b>Εικόνα 15.</b> Σπριντ 30 m (A) και μέση ταχύτητα στο σπριντ 30 m (B) μετά την πλειομετρική προπόνηση.....	43
<b>Εικόνα 16.</b> Σύγκεντρη ροπή εκτεινόντων μηριαίων (EM) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	45
<b>Εικόνα 17.</b> Σύγκεντρη ροπή καμπτήρων μηριαίων (KM) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	46
<b>Εικόνα 18.</b> Έκκεντρη ροπή εκτεινόντων μηριαίων (EM) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	47
<b>Εικόνα 19.</b> Έκκεντρη ροπή καμπτήρων μηριαίων (KM) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	48
<b>Εικόνα 20.</b> Ισομετρική ροπή εκτεινόντων μηριαίων (EM) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	49
<b>Εικόνα 21.</b> Ισομετρική ροπή καμπτήρων μηριαίων (KM) μετά την πλειομετρική προπόνηση .....	50

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πλειομετρική προπόνηση είναι ένα είδος άσκησης που βασίζεται στον κύκλο διάτασης βράχυνσης του μυός (Komi 2000). Ενσωματώνεται σε διάφορους τύπους μυϊκής προπόνησης και φαίνεται να βελτιώνει τη διέγερση του νευρικού συστήματος και την απόκριση του νευρομυϊκού συστήματος, την αλτικότητα, την ευκινησία, τη μυϊκή δύναμη, την μυϊκή μάζα και την απόδοση (Silva 2019, Hody 2019). Επίσης, φαίνεται να βελτιώνει την ταχύτητα και την ισχύ (Drouzas 2020). Ως εκ τούτου η πλειομετρική προπόνηση χρησιμοποιείται ευρέως από πολλούς προπονητές ως μία από τις κύριες μεθόδους προπόνησης τόσο σε ενήλικες (Jones 2016, Faigenbaum 2009, Meylan 2009), όσο και σε παιδιά (Johnson 2011, Peitz 2018, Makaruk 2020, Bedoya 2015).

Η πλειομετρική προπόνηση, βασίζεται στον κύκλο διάτασης – βράχυνσης του μυός. Εξαιτίας της εμπλοκής του κύκλου διάτασης – βράχυνσης, η πλειομετρική προπόνηση περιέχει έντονο το στοιχείο της έκκεντρης δράσης του μυός και μπορεί να οδηγήσει σε ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό (Hortobágyi 1985, Clarkson 2002), ο οποίος συνοδεύεται από καθυστερημένη έναρξη μυϊκού πόνου (DOMS) (Deli 2017a, Jamurtas 2005), φλεγμονή (Hody 2019, Dominguez-Balmaseda 2020), οξειδωτικό στρες (Deli 2017b), αυξημένη συγκέντρωση μυϊκών πρωτεϊνών (Deli 2017a, Jamurtas 2005, Lee 2002) και συστατικά κολλαγόνου (Tofas 2008) στο αίμα, ακαμψία, πρήξιμο της περιοχής (Hody 2019, Dominguez-Balmaseda 2020) και μειωμένη μυϊκή λειτουργία και απόδοση (Deli 2017a, Jamurtas 2005).

Η επίδραση της οξείας πλειομετρικής προπόνησης στον ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό, στη νευρομυϊκή κόπωση και στην απόδοση, έχει διερευνηθεί αρκετά σε ενήλικες (2013, Tofas 2008). Ενδεικτικά, ένα πρωτόκολλο πλειομετρικής προπόνησης αυξάνει τον DOMS, την CK, τη γαλακτική αφυδρογονάση, ενώ μειώνει τη μέγιστη ισομετρική ροπή, έως και 72 ώρες μετά το τέλος της άσκησης (Váczsi 2013). Αντίθετα, τα δεδομένα σχετικά με την επίδραση της οξείας πλειομετρικής προπόνησης στους παραπάνω δείκτες σε παιδιά συγκριτικά με τους ενήλικες δεν είναι επαρκή (Marginson 1985). Επιπλέον, από όσο γνωρίζουμε, δεν υπάρχουν αντίστοιχα δεδομένα σε διαφορετικά στάδια βιολογικής ωρίμανσης σε παιδιά.

Ωστόσο, πληροφορίες σχετικά με την αποκατάσταση των παιδιών σε διαφορετικά στάδια βιολογικής ωρίμανσης μετά από πλειομετρική προπόνηση είναι σημαντικές προκειμένου να σχεδιαστεί αποτελεσματικά ο προπονητικός μικρόκυκλος και ελαχιστοποιηθεί σημαντικά ο κίνδυνος τραυματισμού.

### **ΣΚΟΠΟΣ**

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξεταστεί η επίδραση της βιολογικής ωρίμανσης των παιδιών σε δείκτες ασκησιογενούς μυϊκού τραυματισμού, μεταβολισμού, νευρομυϊκής κόπωσης και απόδοσης μετά από οξεία πλειομετρική προπόνηση.

### **ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ**

1. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος μετά από την εφαρμογή της πλειομετρικής προπόνησης συγκριτικά με τις τιμές ηρεμίας.
2. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη δραστικότητα της CK μετά από την εφαρμογή της πλειομετρικής προπόνησης συγκριτικά με τα επίπεδα ηρεμίας.
3. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές του καθυστερημένου μυϊκού πόνου μετά από την εφαρμογή της πλειομετρικής προπόνησης συγκριτικά με τις τιμές ηρεμίας.
4. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη νευρομυϊκή κόπωση μετά από την εφαρμογή της πλειομετρικής προπόνησης συγκριτικά με τις τιμές ηρεμίας.
5. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην απόδοση στο σπριντ μετά από την εφαρμογή της πλειομετρικής προπόνησης συγκριτικά με τις τιμές ηρεμίας.
6. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην απόδοση στο κάθετο άλμα μετά από την εφαρμογή της πλειομετρικής προπόνησης συγκριτικά με τις τιμές ηρεμίας.
7. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην απόδοση στην ισοκινητική ροπή μετά από την εφαρμογή της πλειομετρικής προπόνησης συγκριτικά με τις τιμές ηρεμίας.

8. Η απόκριση στη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος, στη δραστικότητα της CK, στον καθυστερημένο μυϊκό πόνο, και στην απόδοση στο σπριντ, το κατακόρυφο άλμα και στην ισοκινητική ροπή μετά από την πλειομετρική προπόνηση θα είναι διαφορετική μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων.

## 1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 1.1. Πλειομετρική προπόνηση

Η πλειομετρική προπόνηση χρησιμοποιεί ασκήσεις που βασίζονται στον κύκλο διάτασης βράχυνσης του μυός, όπου μια έκκεντρη δράση του μυός (διάταση) διαδέχεται μία σύγκεντρη δράση (βράχυνση) (Komi 2000). Ο κύκλος διάτασης-βράχυνσης μπορεί να συνοψιστεί ως ενίσχυση της ικανότητας του νευρικού και μυϊκού συστήματος για να παράγει τη μέγιστη δύναμη στο συντομότερο χρονικό διάστημα (Wang και Zhang 2016). Η επίδραση του κύκλου διάτασης – βράχυνσης (SSC) οφείλεται στην αποθήκευση και αξιοποίηση της ελαστικής ενέργειας, του αντανακλαστικού διάτασης και του τενόντιου αντανακλαστικού (Bosco 1982, Kawakami 2002) και είναι σημαντικός σε όλες τις αθλητικές κινήσεις. Έτσι, η πλειομετρική προπόνηση εφαρμόζεται τόσο σε ατομικά (Chelly 2015), όσο και σε ομαδικά αθλήματα (Hammami 2017, Jarvis 2016, Markovic 2010, Bedoya 2015).

Στην πλειομετρική προπόνηση συναντάμε διάφορες μεθόδους και τύπους ασκήσεων. Από τις πιο διαδεδομένες πλειομετρικές ασκήσεις είναι εκείνες που περιλαμβάνουν άλματα και χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλα τα αθλήματα. Η τυπική πλειομετρική προπόνηση περιλαμβάνει επιτόπια κατακόρυφα άλματα, πολλαπλά άλματα με μετατόπιση, άλματα πάνω από εμπόδια, και άλματα βάθους (Baechle και Earle 2008) και συνήθως πραγματοποιούνται με το βάρος του σώματος. Τα επιτόπια άλματα περιλαμβάνουν άλμα και προσγείωση στο ίδιο σημείο και εκτελούνται με μέγιστη προσπάθεια. Τα άλματα βάθους πραγματοποιούνται με πτώση από κουτιά διαφορετικού ύψους. Το είδος των πλειομετρικών ασκήσεων μπορεί να διαφοροποιείται σταδιακά ως προς τον αριθμό των επαναλήψεων, καθώς και το επίπεδο δυσκολίας, ενώ μπορεί να γίνεται μονόπλευρη ή και διμερής πλειομετρική προπόνηση (Drouzas 2020). Στα άλματα βάθους, ο βαθμός δυσκολίας μπορεί να αυξηθεί αυξάνοντας το ύψος κουτιού (Ramirez-Campillo 2014).

Εκτός από την παραδοσιακή πλειομετρική προπόνηση που πραγματοποιείται με το βάρος του σώματος, έχουν επίσης αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι πλειομετρικής προπόνησης οι οποίες χρησιμοποιούν υποβοήθηση ή εξωτερική αντίσταση και θεωρούνται αποτελεσματικές για την βελτίωση του κάθετου άλματος σε ενήλικες (Makaruk 2020). Η υποβοηθούμενη πλειομετρία περιλαμβάνει κυρίως

άλματα με αντιμετάθεση και άλματα βάθους με τη βοήθεια ελαστικών ιμάντων που στερεώνονται σε ένα σημείο (π.χ. η οροφή μιας αίθουσας προπόνησης) και στη ζώνη που φοράει ο αθλητής κατά την εκτέλεση. Αυτό το σύστημα τραβάει το άτομο προς τα πάνω (Makaruk 2014, Sheppard 2011). Σχετικά με τις πλειομετρικές ασκήσεις με αντίσταση, υπάρχουν διάφοροι τύποι πλειομετρικών ασκήσεων με που εκτελούνται υπό διάφορες εξωτερικές συνθήκες όπως το νερό, η άμμος και πρόσθετα εξωτερικά φορτία. Η πιο κοινή μεταξύ αυτών είναι η υδρόβια πλειομετρία (Robinson 2004) και οι πλειομετρικές ασκήσεις με γιλέκο βαρών (Khlifa 2010), ελαστικές ταινίες (τράβηγμα προς τα κάτω) (Argus 2011) και αλτήρες (Markovic 2011). Ο χρόνος επαφής με το έδαφος (CT) κατά τη διάρκεια ενός άλματος είναι μια βασική παράμετρος που διαφοροποιεί τις μεθόδους υποβοηθούμενης πλειομετρίας και πλειομετρίας με αντίστασης. Η υποβοηθούμενη πλειομετρία παρέχει μικρότερο χρόνο επαφής με το έδαφος (Tufano 2018), ενώ η πλειομετρία με αντίσταση έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο χρόνο επαφής με το έδαφος (Dell' Antonio 2016, Makaruk 2010) σε σύγκριση με τα παραδοσιακές ασκήσεις πλειομετρίας.

## **1.2. Ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός**

Ο ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός εμφανίζεται συχνά μετά από ασυνήθιστη άσκηση, ιδιαίτερα εάν η άσκηση περιλαμβάνει μεγάλη ποσότητα έκκεντρων συσπάσεων (Clarkson 2002). Ο ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός συνοδεύεται από διάφορες φυσιολογικές και βιοχημικές αποκρίσεις που αποτελούν τα συμπτώματα του μυϊκού τραυματισμού. Παράλληλα με τις μορφολογικές αλλαγές και τις αλλαγές στη δομή και στην αρχιτεκτονική των μυών (Friden 1992), η μυϊκή βλάβη εκδηλώνεται με μυϊκό πόνο, μείωση δύναμης και ισχύος (Eston 2003, Clarkson 1992), επιδείνωση στο εύρος κίνησης (ROM) (Cleak 1992) και στη δρομική οικονομία (Paschalis 2005, Chen 2009), βλάβη στο συνδετικό ιστό (Tofas 2008, Brown 1997), μυϊκό οίδημα (Howell 1993), αυξημένη συγκέντρωση μυϊκών πρωτεϊνών στην κυκλοφορία (Jamurtas 2000), μετανάστευση μονοκυττάρων και ουδετερόφιλων στην τραυματισμένη περιοχή (Al-Majid, Tidball 2010, Stavropoulos-Kalinoglou 2014, Fehrenbach 2006, Peake 2005, Cantini 2000), αυξημένο οξειδωτικό στρες (Deli 2017,

Paschalis 2007). Ο αρχικός τραυματισμός αποδίδεται σε μηχανική διάσπαση της ίνας και η επακόλουθη βλάβη συνδέεται με φλεγμονώδεις διεργασίες και με αλλαγές στη σύζευξη διέγερσης-σύσπασης του μυός (Peake 2005a, Clarkson 2002). Η αρχική διαταραχή των μυοϊνιδίων έχει αποδοθεί σε υψηλές δυνάμεις (Tiidus και Ianuzzo 1983), σε υψηλές τάσεις εφελκυσμού (McCully και Faulkner 1985) ή σε ανισορροπία στην τάση των παρακείμενων σαρκομερίων (Friden 1992). Κατά τη διάρκεια των έκκεντρων συστολών, λιγότερες ίνες ενεργοποιούνται για να ασκήσουν μια δεδομένη ποσότητα δύναμης σε σύγκριση με τις ομόκεντρες ή ισομετρικές συστολές. Ως εκ τούτου, αναπτύσσονται μεγαλύτερες δυνάμεις ανά μυϊκή ίνα, με αποτέλεσμα μεγαλύτερο τραυματισμό. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια μιας έκκεντρης σύσπασης, ορισμένα σαρκομέρια στις μυϊκές ίνες είναι πιο ανθεκτικά στη διάταση από άλλα, αναγκάζοντας τα πιο αδύναμα σαρκομέρια να διατείνονται περισσότερο. Με επαναλαμβανόμενες εκκεντρικές συσπάσεις, αρχικά τα πιο αδύναμα σαρκομέρια και μετά τα ισχυρότερα σαρκομέρια υπερεκτείνονται. Εάν τα τελευταία αποτύχουν να αντέξουν τη δύναμη τάσης κατά τη φάση χαλάρωσης, μπορεί να προκληθεί μυϊκός τραυματισμός (Jamurtas 2013).

Η άμεση εκτίμηση της βλάβης στον ανθρώπινο μυ είναι δύσκολη γιατί είναι δυνατή μόνο μέσω ανάλυσης βιοψιών μυών ή μέσω μαγνητικής τομογραφίας (MRI) (Clarkson 2002). Σε μια πρόσφατη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, οι Warren και συν (1999) υπολόγισε ότι οι τρεις πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι δείκτες έμμεσης βλάβης σε αναθεωρημένες μελέτες με άτομα ήταν υποκειμενική αίσθηση μυϊκού πόνου (63% των μελετών), εκτίμηση πρωτεΐνης αίματος (52% μελετών) και μέγιστη εκούσια δύναμη συστολής (50% των μελετών). Η παρατεταμένη απώλεια δύναμης μετά από έκκεντρη άσκηση θεωρείται ένας από τους πιο έγκυρους και αξιόπιστους έμμεσους δείκτες ασκησιογενούς μυϊκού τραυματισμού στον άνθρωπο (Warren 1999). Οι μειώσεις που εμφανίζονται αμέσως μετά από άσκηση που δεν προκαλεί μυϊκό τραυματισμό (π.χ. ομόκεντρες συσπάσεις) αποκαθίστανται τις επόμενες ώρες και γενικά θεωρείται ότι οφείλονται σε μεταβολική ή νευρική κόπωση (Edwards 1977). Τα πρωτόκολλα ομόκεντρης άσκησης συνήθως συνδέονται με απώλειες δύναμης 10-30% αμέσως μετά την άσκηση, με τη δύναμη να επιστρέφει στην αρχική τιμή εντός ωρών μετά την άσκηση (Newham 1983, Jones 1989). Τα πρωτόκολλα έκκεντρης

άσκησης σε κατηφόρα που προκαλούν ελάχιστη βλάβη συνήθως προκαλούν απώλεια δύναμης περίπου 10-30% αμέσως μετά την άσκηση, με περίοδο αποκατάστασης μεγαλύτερη (έως 24 ώρες μετά την άσκηση) από αυτή που σχετίζεται με τα ομόκεντρα πρωτόκολλα (Eston 1996, Mizrahi 2001). Οι υψηλότερες τιμές απώλειας δύναμης και οι πιο παρατεταμένοι χρόνοι αποκατάστασης συνδέονται με την έκκεντρη άσκηση υψηλής έντασης (Clarkson 1995). Η έκκεντρη άσκηση υψηλής έντασης (άσκηση που αποτελείται από μέγιστες έκκεντρες δράσεις) μπορεί να προκαλέσει απώλεια έως και 50–65% της ικανότητας παραγωγής δύναμης σε σύγκριση με τις τιμές πριν από την άσκηση (Clarkson 1995, Saxton 1995).

Πολλές μελέτες έχουν αξιολογήσει την εμφάνιση μυϊκών πρωτεϊνών στο αίμα μετά από έκκεντρη άσκηση ως έμμεση ένδειξη μυϊκού τραυματισμού. Η κρεατινική κινάση (CK) έχει λάβει τη μεγαλύτερη προσοχή, ίσως επειδή το μέγεθος της αύξησης είναι τόσο μεγάλο σε σχέση με άλλες πρωτεΐνες. Οι δύο τύποι άσκησης που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μελέτη της μυϊκής βλάβης, το τρέξιμο σε κατηφόρα και οι μυϊκές συσπάσεις υψηλής έντασης, παρουσιάζουν πολύ διαφορετικές αποκρίσεις CK. Για παράδειγμα, μετά το τρέξιμο σε κατηφόρα, η δραστηριότητα της CK κορυφώνεται περίπου 12–24 ώρες μετά την άσκηση, με αυξήσεις που κυμαίνονται από 100 έως 600 IU (Byrnes 1985, Schwane 1983), ενώ μετά από έκκεντρη άσκηση υψηλής έντασης (π.χ. μέγιστες συσπάσεις των καμπτήρων του αγκώνα), η αύξηση εμφανίζεται περίπου 48 ώρες μετά την άσκηση, με τη μέγιστη δραστηριότητα (γενικά 2.000–10.000 IU) να εμφανίζεται περίπου 4 έως 6 ημέρες μετά την άσκηση (Clarkson 1992).

Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος (DOMS) που εμφανίζεται πολλές ώρες μετά την εκτέλεση της άσκησης που προκαλεί μυϊκό τραυματισμό, κορυφώνεται 24–48 ώρες μετά την άσκηση (Newham 1983, Clarkson 1992, Ebbeling 1989). Η ένταση του DOMS διαφέρει από τον ένα τύπο άσκησης στον άλλο, ανάλογα με το μέγεθος της βλάβης που προκαλείται. Για παράδειγμα, ασκήσεις που δεν προκαλούν βαθιά μυϊκή βλάβη, όπως το τρέξιμο σε κατηφόρα ή η ισοκινητική έκκεντρη έκταση του γόνατος, προκαλούν αύξηση στον DOMS περίπου 4 ή 5 σε κλίμακα από 1 (χωρίς πόνο) έως 10 (πολύ επώδυνος), ενώ οι μέγιστες έκκεντρες συσπάσεις των καμπτήρων του αγκώνα παράγουν τιμές πόνου περίπου 7-8. Οι διαφορές στον DOMS είναι συνεπείς με τις



διαφορές στην παρατεταμένη απώλεια δύναμης και τις αυξήσεις στη δραστικότητα της CK στο αίμα, καθώς η άσκηση μέγιστης έκκεντρης σύσπασης των καμπτήρων του αγκώνα προκαλεί μεγαλύτερη και πιο παρατεταμένη απώλεια δύναμης και υψηλότερη δραστικότητα CK από τις άλλες ασκήσεις. Αν και η ένταση του DOMS διαφέρει μετά το τρέξιμο σε κατηφόρα έναντι της έκκεντρης άσκησης υψηλής δύναμης, η αποκατάσταση είναι παρόμοια. Είναι πιθανό ο DOMS να προκύπτει από πρήξιμο και πίεση στους μυς. Οι Fridén και συν (1988) εξέτασαν το μέγεθος των μυϊκών ινών και την ενδομυϊκή πίεση μετά από έκκεντρη άσκηση του πρόσθιου κνημιαίου μυός. Σαράντα οκτώ ώρες μετά την άσκηση, οι μυϊκές ίνες που αναλύθηκαν από δείγματα μυϊκής βιοψίας ήταν μεγαλύτερες και η ενδομυϊκή πίεση ήταν μεγαλύτερη. Όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση της περιοχής των μυϊκών ινών, τόσο περισσότερος χρόνος χρειάστηκε για να επανέλθει η πίεση του υγρού των ιστών στο φυσιολογικό. Οι Crenshaw και συν (1994) επιβεβαίωσε οίδημα των ινών και αυξημένη ενδομυϊκή πίεση υγρού στους εκτεινόντες του γόνατος που πονούσαν από την έκκεντρη άσκηση. Μετά την έκκεντρη άσκηση κάμψης αγκώνα, αρχίζει το οίδημα σταδιακά στις 48 ώρες περίπου και κορυφώνεται έως και 10 ημέρες μετά την άσκηση (Clarkson 1992). Ο DOMS κορυφώνεται πολύ πριν εμφανιστεί το μέγιστο οίδημα. Ωστόσο, οι Nosaka και Clarkson (1996) παρατήρησαν ότι το οίδημα φαινόταν να εντοπίζεται εντός του μυϊκού ιστού έως και 5 ημέρες μετά την άσκηση και στη συνέχεια μετακινήθηκε στην υποδόρια περιοχή. Είναι πιθανό το πρήξιμο στις μυϊκές ίνες να ενεργοποιεί τις ελεύθερες νευρικές απολήξεις στους μυς, συμβάλλοντας στην αίσθηση του πόνου.

### **1.3. Πλειομετρική προπόνηση και ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός**

Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι η έκκεντρη δράση του μυός, όπως αυτή που εκτελείται κατά τη διάρκεια πλειομετρικών αλμάτων, προκαλεί μυϊκή βλάβη (Chatzinikolaou 2010, Tofas 2008). Ενδεικτικά, οξεία πλειομετρική άσκηση με άλματα βάθους προκαλεί αύξηση στον DOMS και τη δραστικότητα της CK έως και 72 ώρες μετά την άσκηση (Jamurtas 2000), ενώ άλματα πάνω από εμπόδια και σε πλειομετρικά κουτιά προκαλούν αύξηση στην CK, στη γαλακτική αφυδρογονάση και σε δείκτες διάσπασης

του κολλαγόνου έως και 72 ώρες μετά την άσκηση (Tofas 2008). Επίσης, μια οξεία συνεδρία πλειομετρικής άσκησης μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση δεικτών φλεγμονής. Οι Chatzinikolaou και συν (2010), αναφέρουν αυξημένα επίπεδα IL-6, IL-1b, CRP και κορτιζόλης έως 24 ώρες σε συνδυασμό με αύξηση στον DOMS την CK και τη γαλακτική αφυδρογονάση και μείωση του εύρους κίνησης έως τις 48 ώρες, μετά από πλειομετρικά άλματα πάνω από εμπόδια και άλματα βάθους. Επιπλέον, η πλειομετρική προπόνηση φαίνεται να προκαλεί υψηλότερο DOMS από την ομόκεντρη άσκηση αλλά λιγότερο από την έκκεντρη άσκηση (Jamurtas 2000).

#### **1.4. Επίδραση της ηλικίας στον ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό μετά από πλειομετρική προπόνηση**

Τα δεδομένα σχετικά με την επίδραση της οξείας πλειομετρικής προπόνησης σε παιδιά συγκριτικά με τους ενήλικες δεν είναι επαρκή. Οι Marginson και συν (2005), μελέτησαν πιθανές διαφορές στην απόκριση δεικτών μυϊκού τραυματισμού μεταξύ παιδιών και ενηλίκων μετά από πλειομετρικά επιτόπια κατακόρυφα άλματα. Παρατηρήθηκε αύξηση στον DOMS και μείωση στην απόδοση στο SJ, στο CMJ και στην ισομετρική ροπή τόσο στα παιδιά, όσο και στους ενήλικες. Ωστόσο, η ένταση των συμπτωμάτων ήταν μεγαλύτερη στους ενήλικες με τα συμπτώματα να παραμένουν έως τις 72 ώρες, ενώ στα παιδιά επανήλθαν στις 24 ώρες (με εξαίρεση τον DOMS). Η μικρότερη ένταση των συμπτωμάτων στα παιδιά συγκριτικά με τους ενήλικες πιθανώς να οφείλεται σε καλύτερη ευλυγισία, μικρότερο αριθμό μυϊκών ινών ταχείας συστολής και αυξημένη φυσική δραστηριότητα έναντι των ενηλίκων. Παρόμοια ήταν τα ευρήματα και σε μια άλλη έρευνα που έγινε μεταξύ ηλικιωμένων ανδρών, ενήλικων νεαρών ανδρών και αγοριών βρέθηκε ότι η δραστηριότητα της CK στο αίμα αυξήθηκε και στις τρεις ομάδες μετά από την πλειομετρική άσκηση τόσο στις 24 ώρες όσο και στις 48 ώρες μετά την άσκηση. Ωστόσο η δραστηριότητα της CK σε ενήλικες νεαρούς άνδρες στις 24 ώρες και στις 48 ώρες ήταν μεγαλύτερη από αυτή των αγοριών και των ηλικιωμένων (Gorjanovas 2013). Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, φαίνεται ότι τα παιδιά είναι λιγότερο επιρρεπή στον ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό μετά από οξεία πλειομετρική άσκηση συγκριτικά με τους ενήλικες.

### **1.5. Επίδραση της βιολογικής ωρίμανσης στον ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό μετά από πλειομετρική προπόνηση**

Δεν υπάρχουν δεδομένα που να παρουσιάζουν την επίδραση της βιολογικής ωρίμανσης στον ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό μετά από οξεία πλειομετρική προπόνηση.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

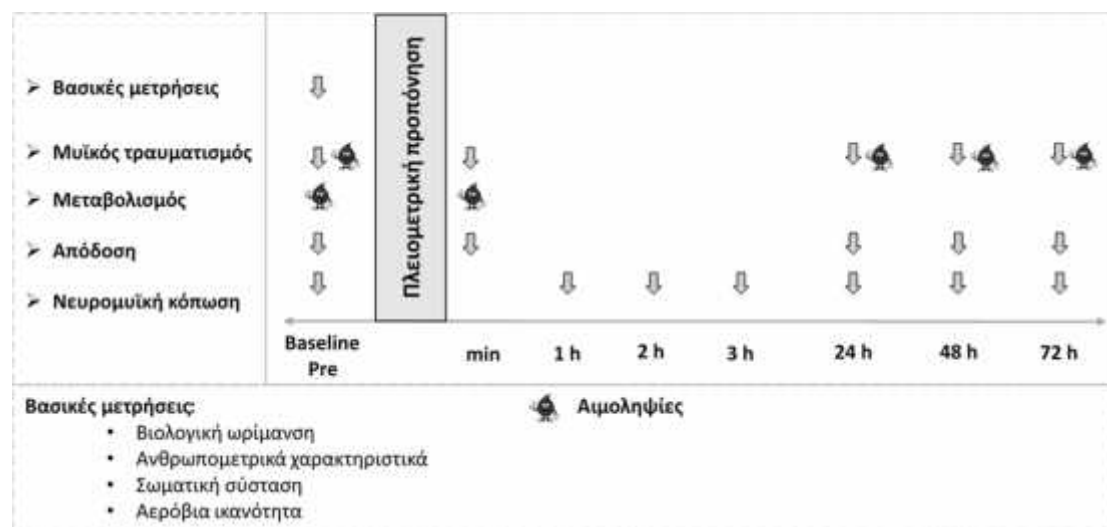
### 2.1 Συμμετέχοντες

Σύμφωνα με προκαταρκτική ανάλυση ισχύος (πιθανότητα λάθους 0.05, και στατιστική ισχύ 80%), ένα συνολικό δείγμα 18 - 20 ατόμων θεωρείται ικανοποιητικό για να ανιχνεύσουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Έτσι στη μελέτη συμμετείχαν 21 παιδιά (7 στην προεφηβική ηλικία και 14 στην εφηβική ηλικία). Τα επιμέρους χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1. Οι συμμετέχοντες έδωσαν την έγγραφη συναίνεσή τους για την συμμετοχή τους στη μελέτη αφού ενημερώθηκαν για όλους τους κινδύνους και τα οφέλη που θα προσκομίσουν από αυτή. Επίσης, έγγραφη συναίνεση δόθηκε και από τους γονείς ή κηδεμόνες των παιδιών για συμμετοχή των παιδιών τους στη μελέτη. Η εκπόνηση της μελέτης εγκρίθηκε από την Επιτροπή Βιοηθικής και Δεοντολογίας του Τμήματος Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (ΤΕΦΑΑ), του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (ΠΘ) (1-9/6-4-2022).

### 2.2 Πειραματικός Σχεδιασμός

Ο πειραματικός σχεδιασμός της μελέτης απεικονίζεται στην Εικόνα 1. Οι συμμετέχοντες επισκέφτηκαν το Εργαστήριο Βιοχημείας, Φυσιολογίας και Διατροφής της Άσκησης (SmArT Lab), στο ΤΕΦΑΑ του ΠΘ 6 φορές συνολικά. Πριν την έναρξη της μελέτης όπου έγινε ενημέρωση σε αυτούς και στους γονείς τους σχετικά με την διαδικασία που θα ακολουθήσει και συμπλήρωσαν τα ιατρικά ιστορικά και υπέγραψαν το έντυπο συναίνεσης, ενώ στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της βιολογικής ωρίμανσης των παιδιών από ειδικό παιδο-ενδοκρινολόγο και διακρίθηκαν σε προ-έφηβους ή σε έφηβους και στη συνέχεια πραγματοποίησαν εξοικείωση των συμμετεχόντων με το πρωτόκολλο μία πλειομετρική προπόνηση. Την επόμενη εβδομάδα (2η επίσκεψη), οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν βασικές μετρήσεις: ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά [σωματικό βάρος (ΣΒ), σωματικό ύψος (ΣΥ)], σωματική σύσταση, ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός (CK, DOMS), μεταβολισμός (γαλακτικό οξύ), αερόβια ικανότητα ( $VO_{2max}$ ), ισοκινητική δύναμη (σύγκεντρα, έκκεντρα και ισομετρική ροπή) και νευρομυϊκή κόπωση (ισοκινητική

ισομετρική ροπή). Τουλάχιστον 3 ημέρες μετά (3η επίσκεψη), οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν μία συνεδρία πλειομετρικής προπόνησης. Πριν την έναρξη της συνεδρίας έγινε αξιολόγηση ασκησιογενούς μυϊκού τραυματισμού (DOMS) και συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα. Η μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος επαναλήφθηκε μετά την πραγματοποίηση των 4 σετ καθώς και στο τέλος της προπόνησης μετά την ολοκλήρωση των 8 σετ (4 min μετά), και του ασκησιογενούς μυϊκού τραυματισμού αμέσως μετά την προπόνηση, ενώ η νευρομυϊκή κόπωση αξιολογήθηκε αμέσως μετά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου και στη συνέχεια στη 1, 2 και 3 ώρες μετά το τέλος της προπόνησης. Ο ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός, και η απόδοση (κατακόρυφο άλμα, σπρίντ και μέγιστη ισοκινητική δύναμη) αξιολογήθηκαν επίσης στις 24, 48 και 72 ώρες (4η, 5η και 6η επίσκεψη) μετά το τέλος της προπόνησης.



**Εικόνα 1.** Πειραματικός σχεδιασμός της μελέτης.

### **2.3 Πρωτόκολλο Πλειομετρικής Προπόνησης**

Το πρωτόκολλο πλειομετρικής προπόνησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό των οκτώ σειρών με 10 μέγιστα κατακόρυφα άλματα με αντιμετάθεση, ενώ μεταξύ των σειρών υπήρχε διάλειμμα 3 λεπτών. Οι δοκιμαζόμενοι αφού εξοικειώθηκαν με την εκτέλεση του πρωτοκόλλου, πραγματοποίησαν 8 σειρές των 10 μέγιστων κατακόρυφων αλμάτων με αντιμετάθεση έχοντας διάλλειμα μεταξύ των σειρών 3 λεπτά.

### **2.4 Αιμοληψίες**

Δείγματα αίματος (10 mL) συλλέχθηκαν από τη βασιλική φλέβα για τη συλλογή ορού σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες (Ρουλιός 2018). Για τον ορό, το αίμα συλλέχθηκε σε σωλήνες που περιέχουν αντιπηκτικό παράγοντα και αφού παρέμεινε 20 λεπτά περίπου σε θερμοκρασία δωματίου για να πήξει, φυγοκεντρήθηκε στα 1370 x g για 10 λεπτά στους 4ο C, και συλλέχθηκε το υπερκείμενο, για την ανάλυση της CK και της τεστοστερόνης. Το πλάσμα, μοιράστηκε σε σωλήνες τύπου Eppendorf σε ισόποσες ποσότητες και αποθηκεύτηκε στους -80ο C, ενώ αποψύχθηκε μόνο μία φορά πριν από την ανάλυση.

### **2.5 Αξιολόγηση Σωματομετρικών χαρακτηριστικών**

#### **2.5.1 Σωματική μάζα**

Η σωματική μάζα και το σωματικό ύψος των συμμετεχόντων αξιολογήθηκε σε βαθμονομημένο ζυγό με αναστημόμετρο (Beam Balance-Stadiometer, Seca, Vogel & Halke, Hamburg, Germany), σύμφωνα με προηγούμενη μελέτη (Ρουλιός 2018). Συγκεκριμένα, για τη μέτρηση του σωματικού βάρους οι συμμετέχοντες στέκονταν σε όρθια θέση στο κέντρο του ζυγού, κατανέμοντας το βάρος τους ισόποσα στα δυο πόδια ενώ διατηρούσαν τις φτέρνες ενωμένες και τα πέλματα σε γωνία περίπου 60ο μεταξύ τους. Η μέτρηση πραγματοποιούνταν με ακρίβεια μισού κιλού (0,5 kg) με τους συμμετέχοντες να φορούν όσο το δυνατόν λιγότερα ρούχα και χωρίς παπούτσια.

### 2.5.2 Σωματικό ύψος

Η μέτρηση του σωματικού ύψους πραγματοποιήθηκε σε βαθμονομημένο ζυγό με αναστημόμετρο (Beam Balance-Stadiometer, Seca, Vogel & Halke, Hamburg, Germany) από όρθια στάση με τις φτέρνες, τους γλουτούς και το πάνω μέρος της πλάτης να ακουμπούν στο αναστημόμετρο. Οι συμμετέχοντες έπαιρναν βαθιά εισπνοή και την κρατούσαν μέχρι ο εξεταστής να τοποθετήσει τον οριζόντιο οδηγό στην κορυφή του κρανιακού θόλου. Η μέτρηση πραγματοποιούνταν με ακρίβεια μισού εκατοστού (0,5 cm).

### 2.5.3 Δείκτης Σωματικής Μάζας (ΔΣΜ)

Ο ΔΣΜ υπολογίστηκε από την εξίσωση  $\Delta\text{ΣΜ (kg/m}^2\text{)} = \text{σωματικό βάρος (σε κιλά, kg)} / \text{ύψος}^2 \text{ (σε μέτρα, m)}$ .

### 2.5.4 Καθιστό ανάστημα

Το καθιστό ανάστημα μετρήθηκε σε βαθμονομημένο ζυγό με αναστημόμετρο (Beam Balance-Stadiometer, Seca, Vogel & Halke, Hamburg, Germany) με τους συμμετέχοντες να είναι στην καθιστή θέση με το πάνω μέρος της πλάτης να ακουμπά στο αναστημόμετρο. Οι συμμετέχοντες έπαιρναν βαθιά εισπνοή και την κρατούσαν μέχρι ο εξεταστής να τοποθετήσει τον οριζόντιο οδηγό στην κορυφή του κρανιακού θόλου. Στη συνέχεια το καθιστό ανάστημα μετριόταν από την κορυφή του κρανιακού θόλου μέχρι το επίπεδο της έδρας του καθίσματος. Η μέτρηση πραγματοποιούνταν με ακρίβεια μισού εκατοστού (0,5 cm).

### 2.5.5 Μήκος κάτω άκρου

Το μήκος του κάτω άκρου μετρήθηκε με μια μεζούρα (Gaim.co.uk) από τη λαγόνια ακρολοφία μέχρι τον αστράγαλο.

### 2.5.6 Αξιολόγηση Σωματικής Σύστασης

Η μυϊκή και λιπώδης μάζα αξιολογήθηκε μέσω απορροφησιμετρίας διπλής δέσμης ακτίνων Χ (DXA, Lunar DPXNT). Οι ασκούμενοι τοποθετήθηκαν σε ύπτια θέση στο κρεβάτι με τα χέρια στο πλάι από τα ισχία χαλαρά και έχοντας δεμένα γόνατα και αστραγάλους τους δόθηκαν οδηγίες να παραμείνουν ακίνητοι κατά την διάρκεια της διαδικασίας, να έχουν τα μάτια τους κλειστά όσο οι δέσμη ακτίνων Χ περνούσε από το πρόσωπο και τα μάτια τους κι ότι η διαδικασία θα διαρκέσει 15-20λεπτά.

## 2.6 Αξιολόγηση δεικτών βιολογικής ωρίμανσης

### 2.6.1 Αξιολόγηση της ωρίμανσης των χαρακτηριστικών του φύλου

**Αξιολόγηση της Κλίμακας Tanner:** Η αξιολόγηση της ωρίμανσης των χαρακτηριστικών του φύλου των συμμετεχόντων πραγματοποιήθηκε από ειδικό παιδο-ενδοκρινολόγο με χρήση της κλίμακας Tanner (Emmanuel 2007). Εξετάστηκε η ανάπτυξη των εξωτερικών γεννητικών οργάνων, δηλαδή το τρίχωμα του εφηβαίου, το μήκος του πέους και ο όγκος των όρχεων και οι συμμετέχοντες διακρίθηκαν σε προ-εφήβους (στάδιο Tanner I) και εφήβους (στάδια Tanner II έως V): α) στάδιο I (απουσία τριχοφυΐας εφηβαίου, μικρό πέος, όγκος όρχεων < 1,5 ml), β) στάδιο II (μικρή τριχοφυΐα σαν χνούδι με ελαφριά μελάγχρωση στη βάση του πέους και του όσχεου, ίδιο μέγεθος πέους με το στάδιο I, όγκος όρχεων μεταξύ 1,6 και 6 ml), γ) στάδιο III (πιο τραχύ και σγουρό τρίχωμα το οποίο αρχίζει να επεκτείνεται πλευρικά, το μήκος του πέους αρχίζει να αυξάνεται, όγκος όρχεων μεταξύ 6 και 12 ml), δ) στάδιο IV (ποιότητα τρίχας παρόμοια με ενήλικα που εκτείνεται σε όλη την ηβική κοιλότητα και ελαφρά στους έσω μηρούς, αύξηση στο μήκος του πέους, όγκος όρχεων μεταξύ 12 και 20 ml) και στ) στάδιο V (το τρίχωμα εκτείνεται στην έσω επιφάνεια των μηρών, ενήλικο μήκος πέους, όγκος όρχεων > 20 ml).



### **2.6.2 Αξιολόγηση επιπέδων τεστοστερόνης**

Τα επίπεδα της τεστοστερόνης μετρήθηκαν στον ορό με ενζυμική ανοσοχημική μέθοδο με κιτ του εμπορίου (OriGene Technologies, Inc.). Κάθε δείγμα αναλύθηκε δύο φορές.

### **2.6.3 Αξιολόγηση της απόστασης από την ηλικία της αλματώδους ανάπτυξης του σωματικού ύψους**

Η απόσταση σε χρόνια από την ηλικία της αλματώδους ανάπτυξης του σωματικού ύψους (age at peak height velocity – APHV) υπολογίστηκε μέσω εξίσωσης πρόβλεψης της βιολογικής ωρίμανσης για αγόρια με βάση τη διαφορετική ανάπτυξη του μήκους του καθιστού αναστήματος και του μήκους του ποδιού (Mirwald 2002), με την εξίσωση: Απόσταση σε χρόνια από την APHV =  $-9.236 + 0.0002708 \times (\text{μήκος ποδιού} \times \text{καθιστό ανάστημα}) - 0.001663 \times (\text{ηλικία} \times \text{μήκος ποδιού}) + 0.007216 \times (\text{ηλικία} \times \text{καθιστό ανάστημα}) + 0.02292 \times (\text{σωματική μάζα}/\text{σωματικό ύψος})$ .

## **2.7 Αξιολόγηση δεικτών μεταβολισμού**

### **2.7.1 Γαλακτικό οξύ**

Η μέτρηση του γαλακτικού οξέος πραγματοποιήθηκε σε τριχοειδικό αίμα με ένα φορητό αναλυτή (Lactate Plus, Nova biomedical, USA) με την χρήση αποστειρωμένης βελόνας.

## **2.8 Αξιολόγηση δεικτών μυϊκού τραυματισμού**

### **2.8.1 Αξιολόγηση κρεατινικής κινάσης (CK)**

Η ανάλυση της CK έγινε σε αυτόματο βιοχημικό αναλυτή (HumanStar 100/200, Zafiroopoulos Diagnostica) με τη χρήση κιτ του εμπορίου. Κάθε δείγμα αναλύθηκε δύο φορές.

### **2.8.2 Αξιολόγηση DOMS**

Καθυστερημένος μυϊκός πόνος (DOMS): Η εκτίμηση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου πραγματοποιήθηκε με ψηλάφηση στην έκφυση, κατάφυση και γαστέρα των καμπτήρων και εκτεινόντων μηριαίων και των δύο ποδιών μετά από εκτέλεση τριών επαναλήψεων καθίσματος και καταγράφηκε η υποκειμενική αίσθηση του πόνου σε κλίμακα από το 1 έως το 10 (καθόλου πόνος στο ένα άκρο και εξαιρετικός πόνος στο άλλο άκρο).

### **2.9 Αξιολόγηση της νευρομυϊκής κόπωσης**

Η νευρομυϊκή κόπωση αξιολογήθηκε μέσω της μέτρησης της μέγιστης ισομετρικής ροπής των εκτεινόντων (EM) και καμπτήρων μηριαίων (KM) με την εκτέλεση τριών επαναλήψεων στο ισοκινητικό δυναμόμετρο (Cybex 770, Roconhoma, USA), μετά από προθέρμανση σε εργοδιάδρομο (Stex 8020, Korea) και διατακτικές ασκήσεις συνολικής διάρκειας 15 λεπτών.

### **2.10 Αξιολόγηση δεικτών απόδοσης**

#### **2.10.1 Αξιολόγηση Αερόβιας Ικανότητας**

Για την αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας οι ασκούμενοι πραγματοποίησαν τη δοκιμασία 20m shuttle run πολλών σταδίων (Leger 1984). Οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν συνεχόμενο τρέξιμο, σταδιακά αυξανόμενης έντασης σε στάδια διάρκειας 1 min. Η αρχική ταχύτητα ήταν τα 8,5 km/h και αυξάνονταν κατά 0,5 km/h κάθε 1 min. Οι δοκιμαζόμενοι έτρεχαν μεταξύ δύο γραμμών σε απόσταση 20 m, διατηρώντας τον ρυθμό τρεξίματος με τη βοήθεια ηχητικών σινιάλων που εκπέμπονταν από μαγνητοφωνημένο δίσκο. Η δοκιμασία ολοκληρώνονταν όταν οι συμμετέχοντες δεν μπορούσαν φτάσουν στις γραμμές ταυτόχρονα με το ηχητικό σινιάλο σε δύο επαναλαμβανόμενα στάδια.

### **2.10.2 Αξιολόγηση του σπριντ 10 m και 30 m**

Η αξιολόγηση της ταχύτητας έγινε με την πραγματοποίηση σπριντ 10 m και 30 m με σύστημα φωτοκυττάρων (Chronojump system). Σε κάθε απόσταση πραγματοποιήθηκαν δύο προσπάθειες και καταγράφηκε η καλύτερη. Πριν από τη δοκιμασία, οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν προθέρμανση που περιλάμβανε χαλαρό τρέξιμο, διατάσεις, δρομικές ασκήσεις και 2 επιταχύνσεις, συνολικής διάρκειας 20 min. Το διάλειμμα μεταξύ των επαναλήψεων ήταν 1 min για τα 10 m σπριντ και 3 min για τα 30 m σπριντ.

### **2.10.3 Αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος από κάθισμα 90ο και του κατακόρυφου άλματος με αντιμετάθεση**

Η αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος από κάθισμα 90° (squat jump) και του άλματος με αντιμετάθεση (countermovement jump) πραγματοποιήθηκε σε ειδικό τάπητα (Chrojump system). Οι συμμετέχοντες αφού εξοικειώθηκαν με τον τρόπο εκτέλεσης των δύο αλμάτων, πραγματοποίησαν 3 επαναλήψεις σε κάθε άλμα με διάλειμμα μεταξύ των επαναλήψεων 2 min και καταγράφηκε η καλύτερη προσπάθεια σε κάθε άλμα.

### **2.10.4 Αξιολόγηση της ισοκινητικής δύναμης των εκτεινόντων και καμπτήρων του γόνατος**

Αξιολογήθηκε η μέγιστη σύγκεντρη, έκκεντρη και ισομετρική ροπή των EM και KM και των δύο ποδιών, σε ισοκινητικό δυναμόμετρο (Cybex 770, Roconhoma, USA). Η μέγιστη σύγκεντρη και έκκεντρη ροπή αξιολογήθηκε στις 60°/sec. Η μέγιστη ισομετρική ροπή αξιολογήθηκε στις 90°. Μετά από προθέρμανση 8 επαναλήψεων για την σύγκεντρη και έκκεντρη ροπή και 3 επαναλήψεων για την ισομετρική ροπή, πραγματοποιήθηκαν 3 μέγιστες προσπάθειες και καταγράφηκε η καλύτερη προσπάθεια.

### 3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικής κατανομής του δείγματος με Shapiro Wilk test. Η CK και ο DOMS αναλύθηκαν με μη παραμετρικά τεστ. Για τις υπόλοιπες μεταβλητές εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις τον παράγοντα χρόνο για την εξέταση πιθανών διαφορών στην αποκατάσταση μετά από την πλειομετρική προπόνηση μεταξύ προεφήβων και εφήβων. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο  $p < 0.05$ . Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πακέτο SPSS, version PASW 18.0 (SPSS Inc., Chicago, Ill.).

## **4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

### **4.1 Βιολογική ωρίμανση**

#### **4.1.1 Κύρια και δευτερεύοντα χαρακτηριστικά του φύλου**

Από την εξέταση των κύριων και δευτερευόντων χαρακτηριστικών του φύλου, προέκυψε ότι έξι από τους συμμετέχοντες ήταν προ-έφηβοι (στάδιο Tanner I) και 15 είχαν μπει στην εφηβεία (στάδιο Tanner II - V). Τα επιμέρους χαρακτηριστικά βιολογικής ωρίμανσης των συμμετεχόντων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

#### **4.2 Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά**

Από το T-test για ανεξάρτητα δείγματα, προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων στην ηλικία ( $p < 0.05$ ), στη σωματική μάζα ( $p < 0.01$ ), στο σωματικό ύψος ( $p < 0.01$ ). Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

#### **4.3 Σωματική σύσταση**

Από το T-test για ανεξάρτητα δείγματα, προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων στην περιεκτικότητα των οστών σε μέταλλα ( $p < 0.05$ ). Δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο ποσοστό σωματικού λίπους, στην ποσότητα του σωματικού λίπους και της άλιπης σωματικής μάζας. Η σωματική σύσταση των συμμετεχόντων παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

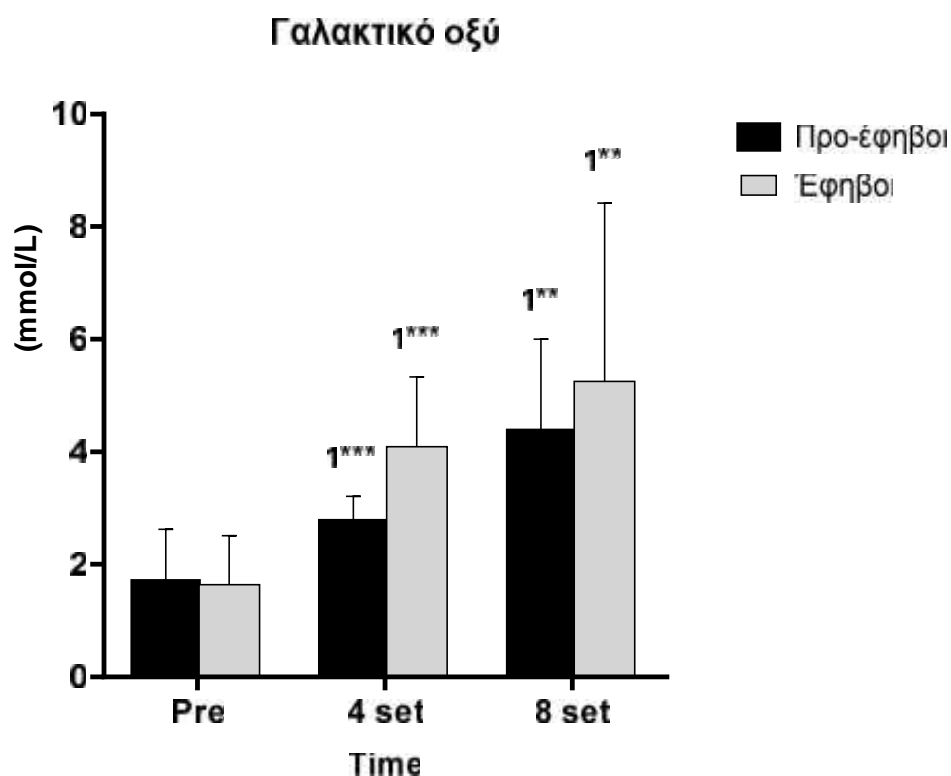
<b>Πίνακας 1. Περιγραφικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων</b>		
	<b>Προ-έφηβοι (n = 6) MEAN (SD)</b>	<b>Έφηβοι (n = 15) MEAN (SD)</b>
<b>Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά</b>		
Ηλικία (έτη)	10,2 (1,56)	11,9 (1,30)
Σωματική μάζα (kg)	34,2 (7,47)	45,72 (7,78)
Σωματικό ύψος (cm)	139,3 (0,08)	154,3 (0,10)
Καθιστό ανάστημα (cm)	72,8 (3,78)	80,3 (6,63)
Μήκος ποδιού (cm)	71,2 (7,69)	82,2 (6,81)
ΔΣΜ (kg/m <sup>2</sup> )	17,5 (2,42)	19,2 (2,71)
<b>Βιολογική ωρίμανση</b>		
Ηβικό τρίχωμα	1,0 (0,00)	2,9 (1,16)
Τρίχωμα μασχάλης	1,2 (0,41)	1,6 (0,74)
Όγκος όρχεων (αριστερός/δεξιός) (ml)	2,42 (0,59)/ 2,42 (0,59)	12,53 (6,77)/ 12,47 (6,84)
Τεστοστερόνη (ng/ml)	0,2 (0,07)	0,8 (1,13)
Απόσταση από την αλματώδη ανάπτυξη του σωματικού ύψους (έτη)	-3,42 (0,93)	-1,97 (1,26)
<b>Σωματική σύσταση</b>		
Ποσοστό σωματικού λίπους (%)	18,6 (8,03)	21,5 (10,24)
Λίπος (g)	6514,7 (3967,01)	9643,3 (5302,79)
Άλιπη σωματική μάζα (g)	24655,67 (3149,21)	32746,4 (6829,60)
Περιεκτικότητα οστών σε μέταλλα (g)	1389,4 (290,00)	1886,8 (388,13)
Οστική πυκνότητα (g/cm <sup>2</sup> )	0,95 (0,08)	0,99 (0,08)
<b>Αερόβια ικανότητα</b>		
VO <sub>2max</sub> (ml/kg/min)	47,6 (4,48)	46,9 (3,11)

ΔΣΜ: Δείκτης σωματικής μάζας. VO<sub>2max</sub>: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.

#### 4.4 Μεταβολική απόκριση

Από την ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον παράγοντα χρόνο (2-way ANOVA repeated) προέκυψε ότι η πλειομετρική προπόνηση οδήγησε σε μεταβολές στη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος ( $F_{(1,389, 38)} = 12,543, p < 0.01$ ).

Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος (mmol/L) αυξήθηκε μετά τα πρώτα 4 σετ ( $p < 0.001$ ) και αυξήθηκε ακόμη περισσότερο μετά τα 8 σετ ( $p < 0.01$ ) της προπόνησης συγκριτικά με τα επίπεδα πριν την προπόνηση. Η αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος από τα 4 στα 8 σετ δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Η αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος ήταν παρόμοια μεταξύ προ-έφηβων, και έφηβων. Οι αλλαγές στη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.



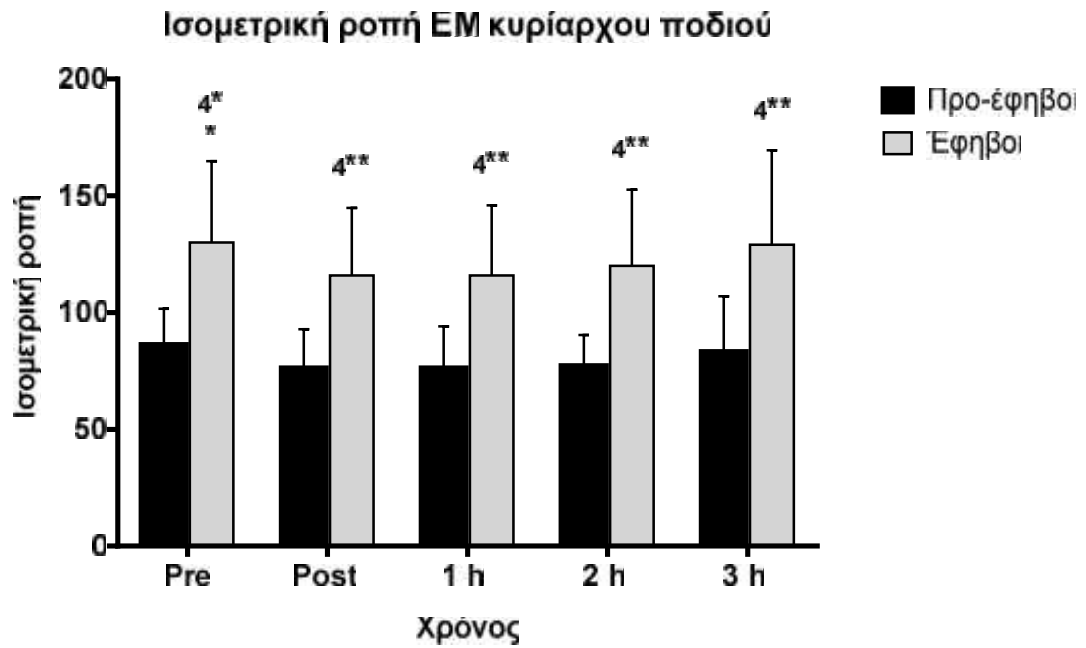
**Εικόνα 2.** Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>1</sup>Διαφορετική από τα επίπεδα πριν την προπόνηση στην ίδια συνθήκη, \*\*\* $p < 0.001$ . \*\* $p < 0.01$ .

#### 4.5 Νευρομυϊκή κόπωση

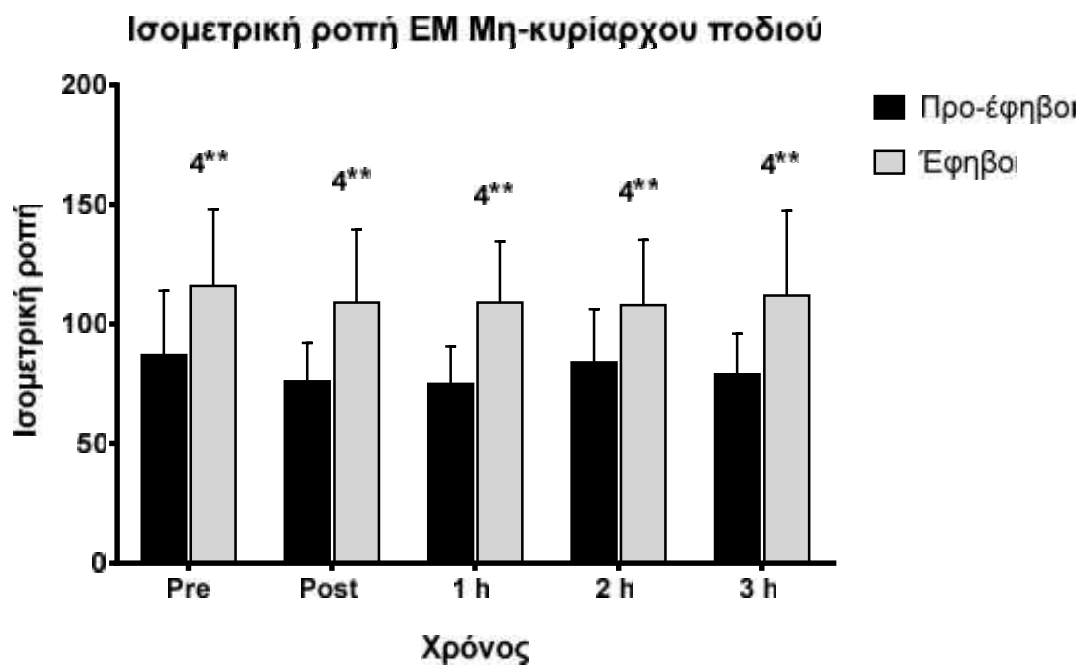
Από την ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον παράγοντα χρόνο (2-way ANOVA repeated) προέκυψε ότι η πλειομετρική προπόνηση δεν οδήγησε σε σημαντική νευρομυϊκή κόπωση καθώς η μείωση στη μέγιστη ισομετρική ροπή των εκτεινόντων μηριαίων (EM) και καμπτήρων μηριαίων (KM) του κυρίαρχου και μη-κυρίαρχου ποδιού δεν ήταν στατιστικά σημαντική ( $p>0.05$ ).

Αντίθετα, η βιολογική ωρίμανση επηρέασε την ικανότητα παραγωγής μέγιστης ισομετρικής ροπής από τους EM ( $F_{(1, 19)} = 9.582$ ,  $p<0.01$ ) και KM ( $F_{(1, 19)} = 12.051$ ,  $p<0.01$ ) του κυρίαρχου ποδιού, καθώς και τους EM ( $F_{(1, 19)} = 6.221$ ,  $p<0.05$ ) και KM ( $F_{(1, 19)} = 9.874$ ,  $p<0.01$ ) του μη-κυρίαρχου ποδιού. Συγκεκριμένα, οι προ-έφηβοι παράγαγαν χαμηλότερη μέγιστη ισομετρική ροπή συγκριτικά με τους έφηβους. Οι αλλαγές στην μέγιστη ισομετρική δύναμη των EM του κυρίαρχου και μη-κυρίαρχου ποδιού, και των KM του κυρίαρχου και μη-κυρίαρχου ποδιού παρουσιάζονται στις Εικόνες 3 και 4, καθώς και 5 και 6, αντίστοιχα.

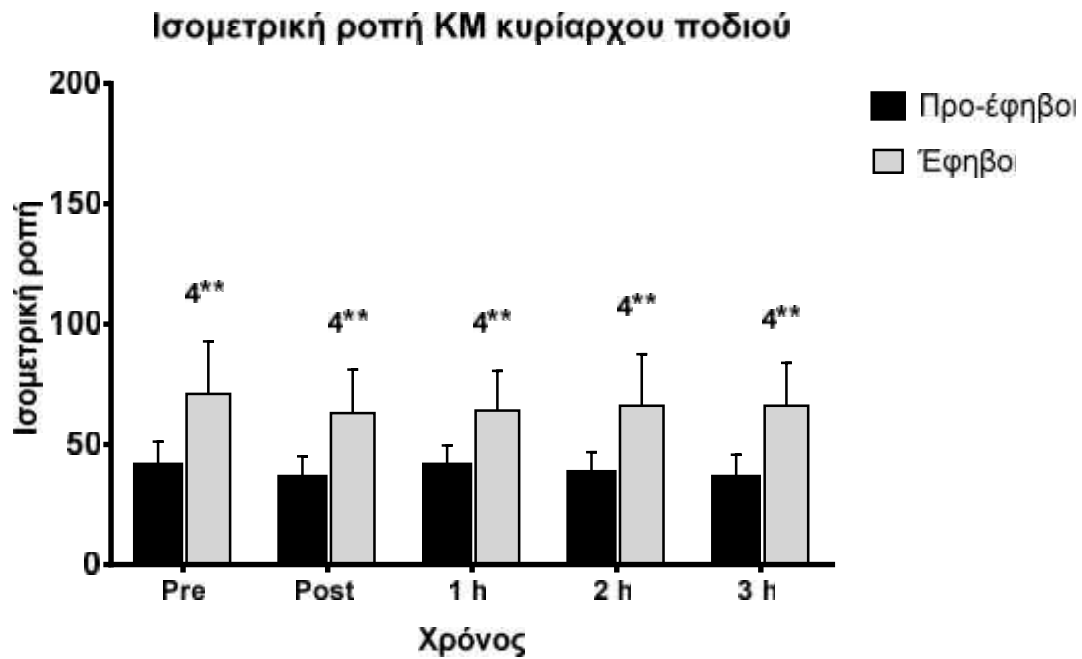




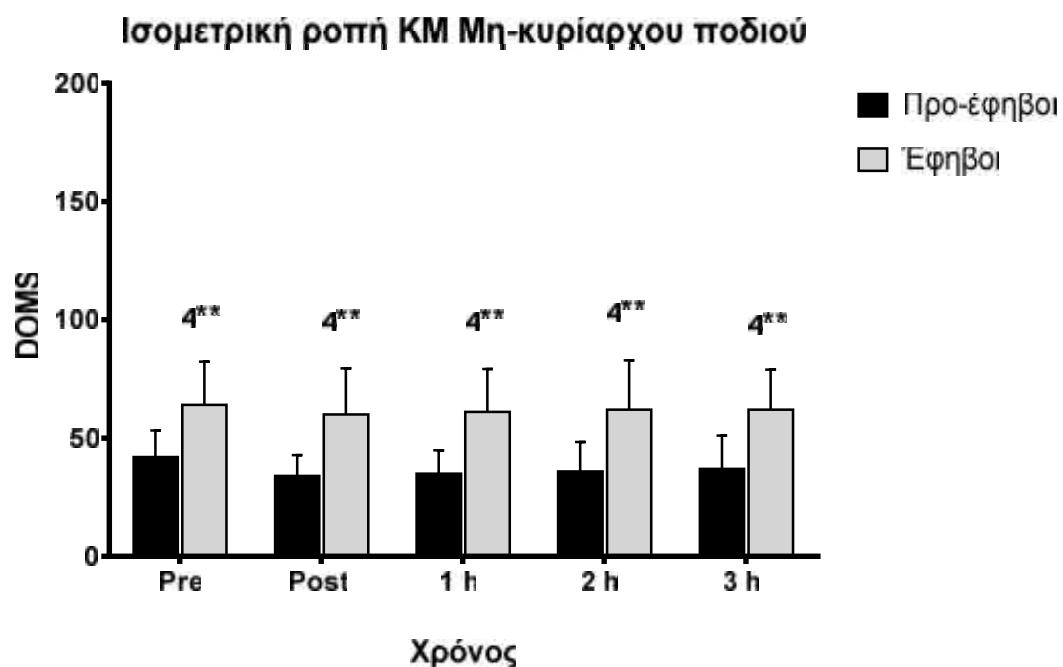
**Εικόνα 3.** Ισομετρική ροπή των εκτεινόντων μηριαίων (EM) του κυρίαρχου ποδιού αμέσως μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική συγκριτικά με τους προ-έφηβους στην ίδια χρονική στιγμή. \*\* $p < 0.01$ .



**Εικόνα 4.** Ισομετρική ροπή των εκτεινόντων μηριαίων (EM) του μη-κυρίαρχου ποδιού αμέσως μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική συγκριτικά με τους προ-έφηβους στην ίδια χρονική στιγμή. \*\* $p < 0.01$ .



**Εικόνα 5.** Ισομετρική ροπή των καμπτήρων μηριαίων (ΚΜ) του κυρίαρχου ποδιού αμέσως μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική συγκριτικά με τους προ-έφηβους στην ίδια χρονική στιγμή. \*\* $p < 0.01$ .



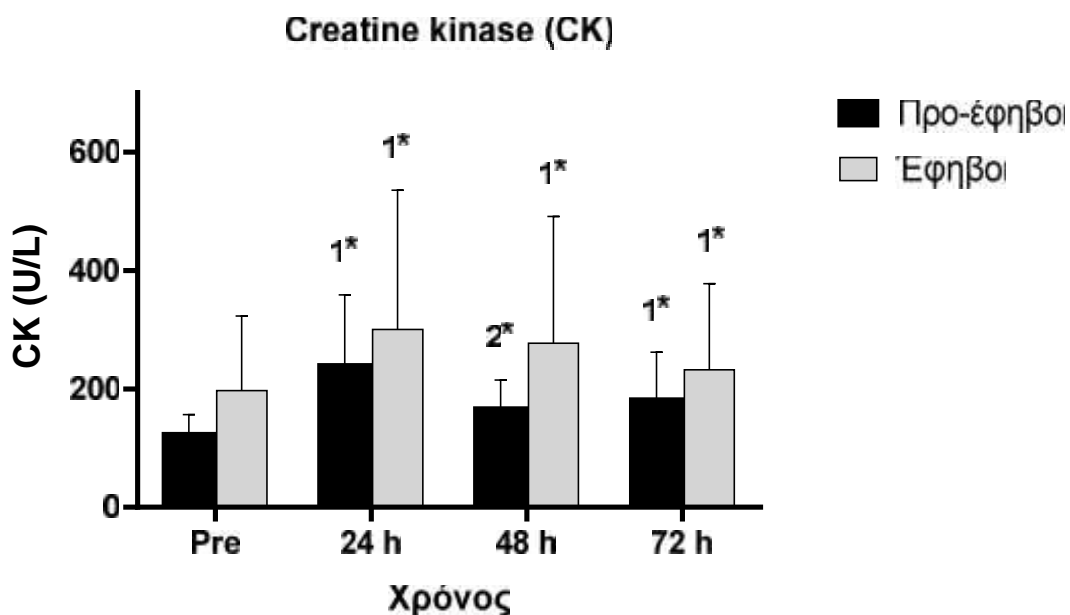
**Εικόνα 6.** Ισομετρική ροπή των καμπτήρων μηριαίων (ΚΜ) του μη-κυρίαρχου ποδιού αμέσως μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική συγκριτικά με τους προ-έφηβους στην ίδια χρονική στιγμή. \*\* $p < 0.01$ .

## 4.6 Ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός

### 4.6.1 Κρεατινική κινάση (CK)

Μη παραμετρικά τεστ Friedman, Wilcoxon Signed Ranks και Mann-Witney, εφαρμόστηκαν για την στατιστική ανάλυση της CK. Η πλειομετρική προπόνηση οδήγησε σε σημαντικές αλλαγές στη δραστικότητα της CK τόσο στους προ-έφηβους ( $\chi^2 = 9.000$ ,  $p < 0.05$ ) όσο και στους έφηβους ( $\chi^2 = 10.029$ ,  $p < 0.05$ ). Στους προ-έφηβους, η δραστικότητα της CK αυξήθηκε σημαντικά στις 24 ώρες ( $z = -2,201$ ,  $p < 0.05$ ) μετά την πλειομετρική προπόνηση, ενώ στις 48 ώρες ήταν χαμηλότερη συγκριτικά με τις 24 ώρες ( $z = -2,201$ ,  $p < 0.05$ ) μετά την προπόνηση. Στους έφηβους, η δραστικότητα της CK αυξήθηκε σημαντικά στις 24 ώρες ( $z = -2,072$ ,  $p < 0.05$ ), 48 ώρες ( $z = -2,040$ ,  $p < 0.05$ ) και 72 ώρες ( $z = -1,977$ ,  $p < 0.05$ ) μετά την πλειομετρική προπόνηση.

Δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην απόκριση της CK μεταξύ προ-έφηβων και έφηβων σε καμία χρονική στιγμή ( $p > 0.05$ ). Οι αλλαγές στη δραστικότητα της CK παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.



**Εικόνα 7.** Δραστικότητα CK μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>1</sup>Διαφορετική με τα επίπεδα πριν από την πλειομετρική προπόνηση στην ίδια ομάδα. <sup>2</sup>Διαφορετική από την προηγούμενη χρονική στιγμή στην ίδια ομάδα. \* $p < 0.05$ .

#### 4.6.2 Καθυστερημένος μυϊκός πόνος (DOMS)

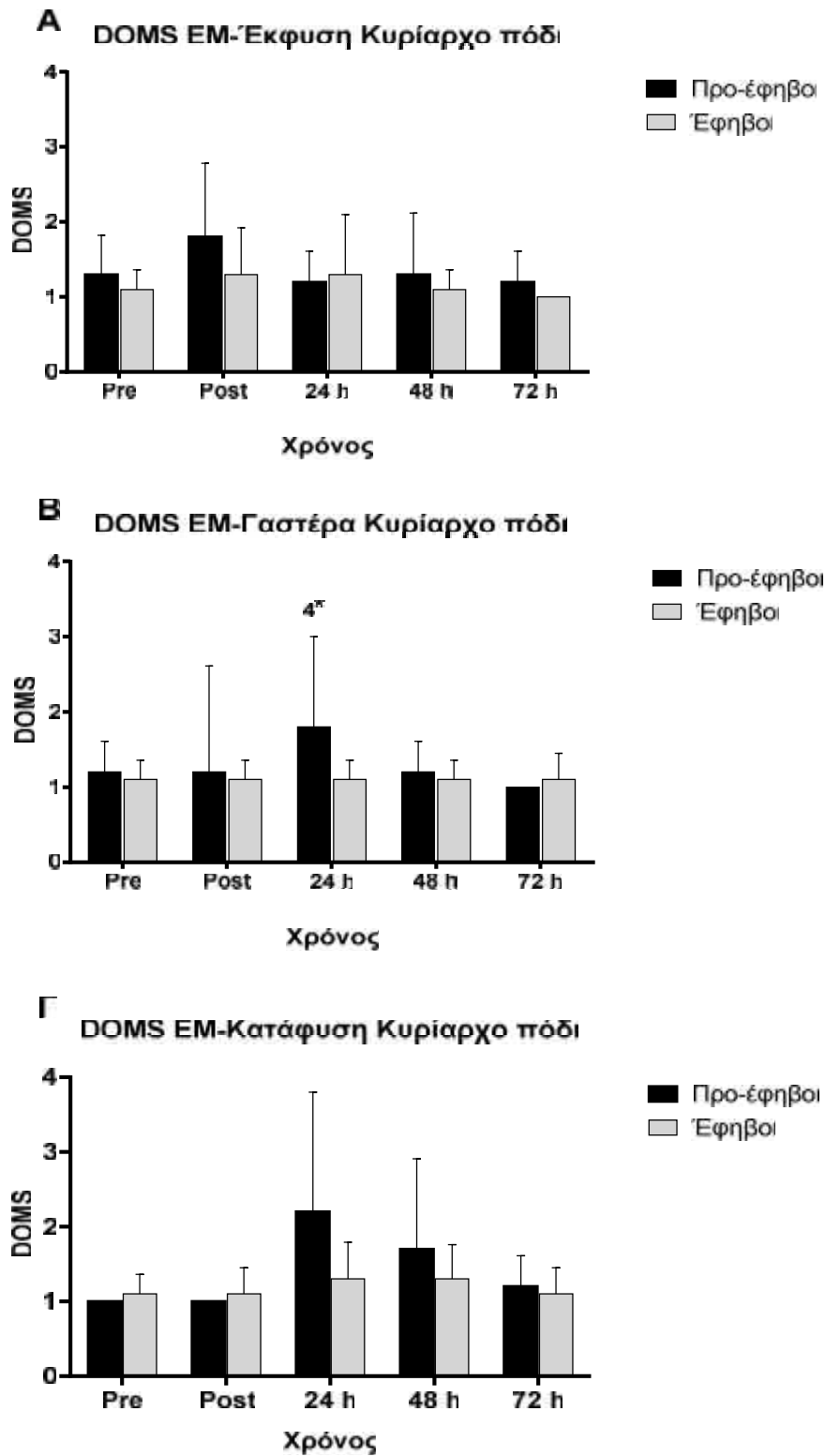
Μη παραμετρικά τεστ Friedman, Wilcoxon Signed Ranks και Mann-Wóresjtney, εφαρμόστηκαν για την στατιστική ανάλυση του DOMS:

**Κυρίαρχο πόδι, εκτείνοντες μηριαίοι:** Δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μετά την πλειομετρική προπόνηση σε καμία χρονική στιγμή, τόσο στους προ-έφηβους όσο και στους έφηβους. Παρατηρήθηκε υψηλότερος DOMS στις 24 ώρες στη γαστέρα στους προ-έφηβους συγκριτικά με τους έφηβους ( $z = -2.277$ ,  $p < 0.05$ ). Ο DOMS στους EM του κυρίαρχου ποδιού παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.

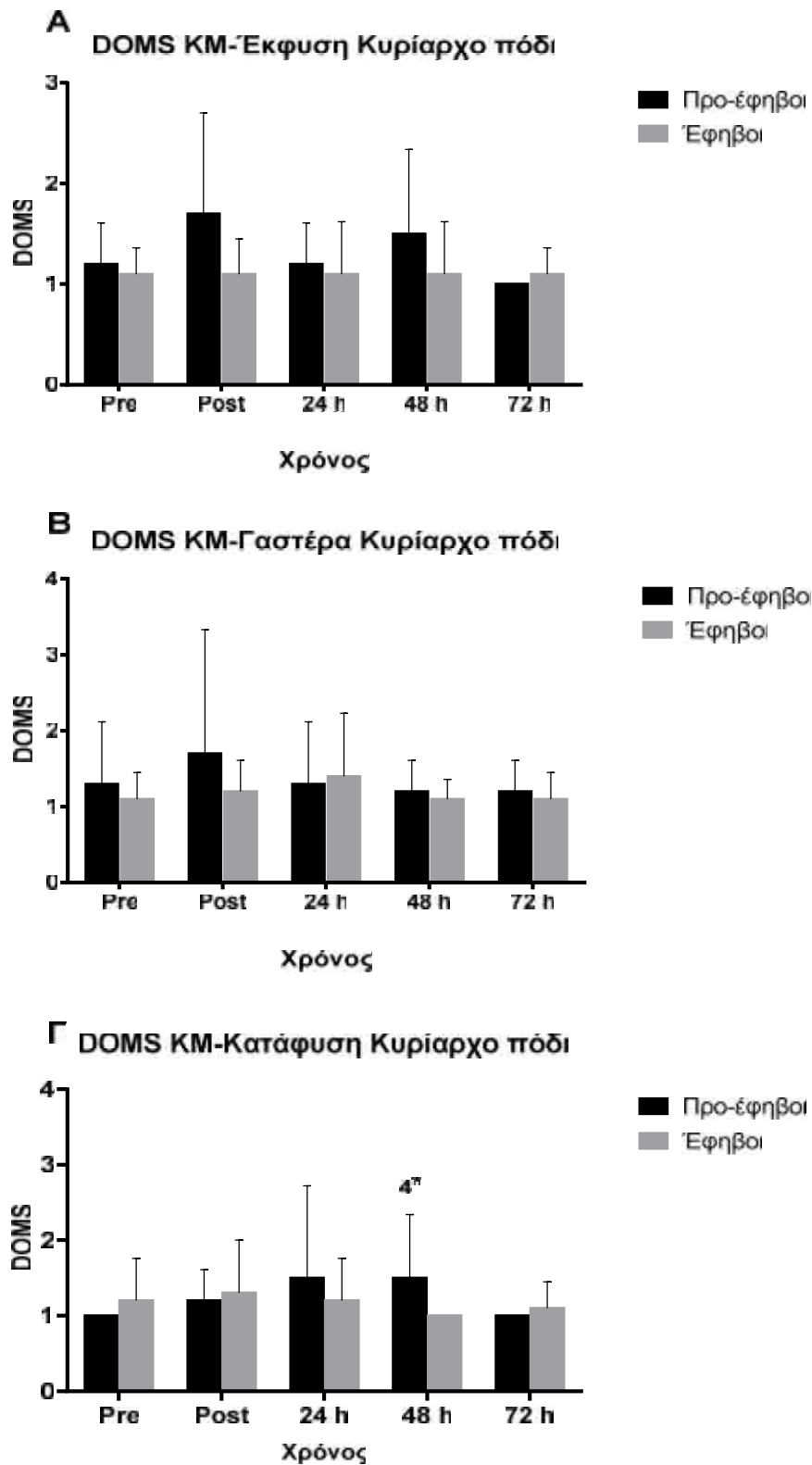
**Κυρίαρχο πόδι, καμπτήρες μηριαίοι:** Δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον DOMS στους καμπτήρες μηριαίους του κυρίαρχου ποδιού μετά την πλειομετρική προπόνηση σε καμία χρονική στιγμή, τόσο στους προ-έφηβους όσο και στους έφηβους. Παρατηρήθηκε υψηλότερος DOMS στις 48 ώρες στην κατάφυση στους προ-έφηβους συγκριτικά με τους έφηβους ( $z = -2.291$ ,  $p < 0.05$ ). Ο DOMS στους KM μηριαίους του κυρίαρχου ποδιού παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.

**Μη-κυρίαρχο πόδι, εκτείνοντες μηριαίοι:** Στους έφηβους, ο DOMS στην κατάφυση των EM στο μη-κυρίαρχο πόδι, ήταν υψηλότερος στις 24 ώρες μετά την πλειομετρική προπόνηση συγκριτικά με τα επίπεδα πριν την προπόνηση ( $z = -2.060$ ,  $p < 0.05$ ) και με τα επίπεδα αμέσως μετά ( $z = -2.000$ ,  $p < 0.05$ ). Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στον DOMS στην έκφυση, γαστέρα, και κατάφυση, μεταξύ προ-έφηβων και έφηβων σε όλες τις χρονικές στιγμές. Ο DOMS στους EM του μη-κυρίαρχου ποδιού παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.

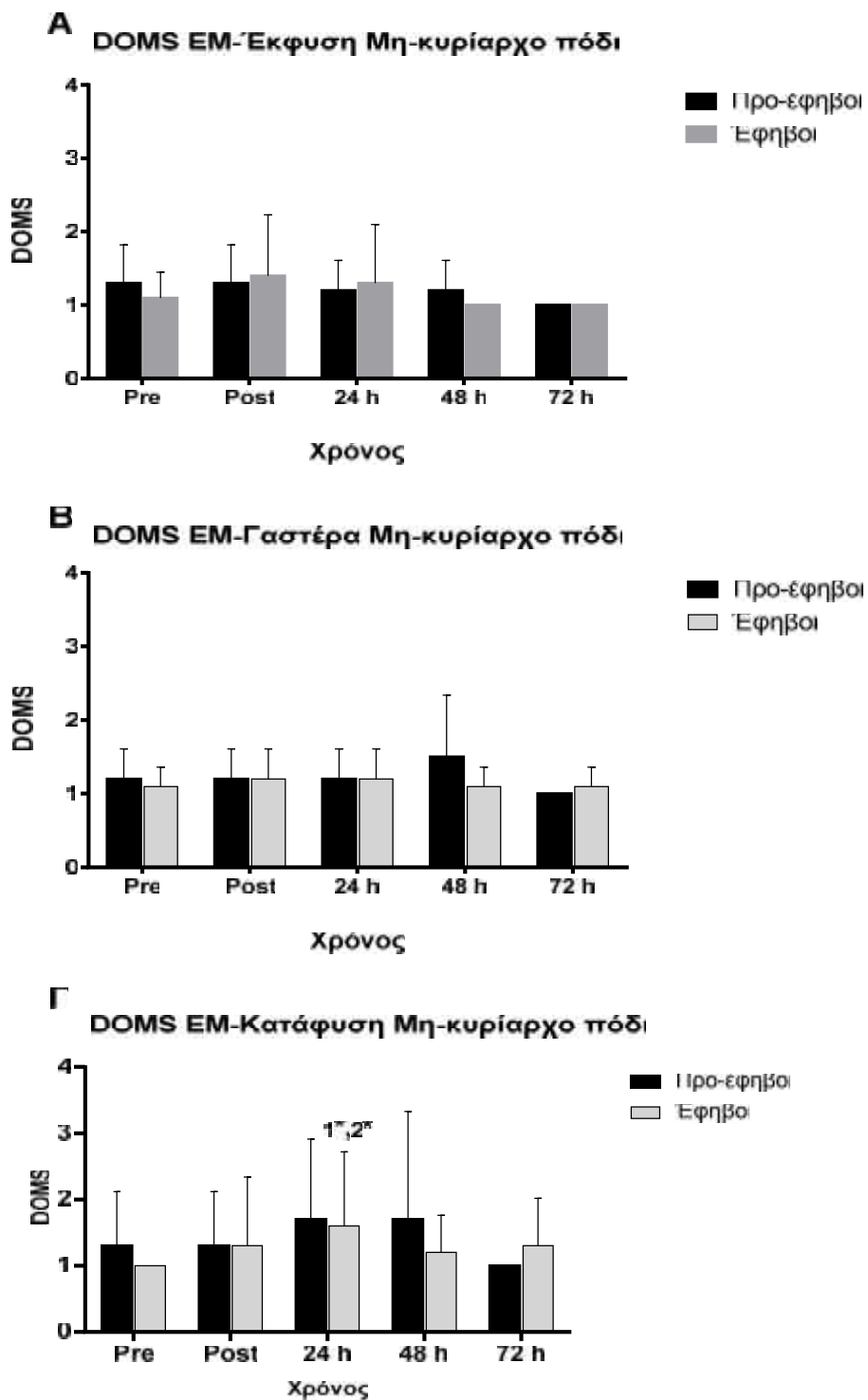
**Μη-κυρίαρχο πόδι, καμπτήρες μηριαίοι:** Δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον DOMS στους καμπτήρες μηριαίους του μη-κυρίαρχου ποδιού μετά την πλειομετρική προπόνηση σε καμία χρονική στιγμή, τόσο στους προ-έφηβους όσο και στους έφηβους. Ο DOMS στην έκφυση, γαστέρα, και κατάφυση, ήταν παρόμοιος στους προ-έφηβους και έφηβους σε όλες τις χρονικές στιγμές. Ο DOMS στους KM του μη-κυρίαρχου ποδιού παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.



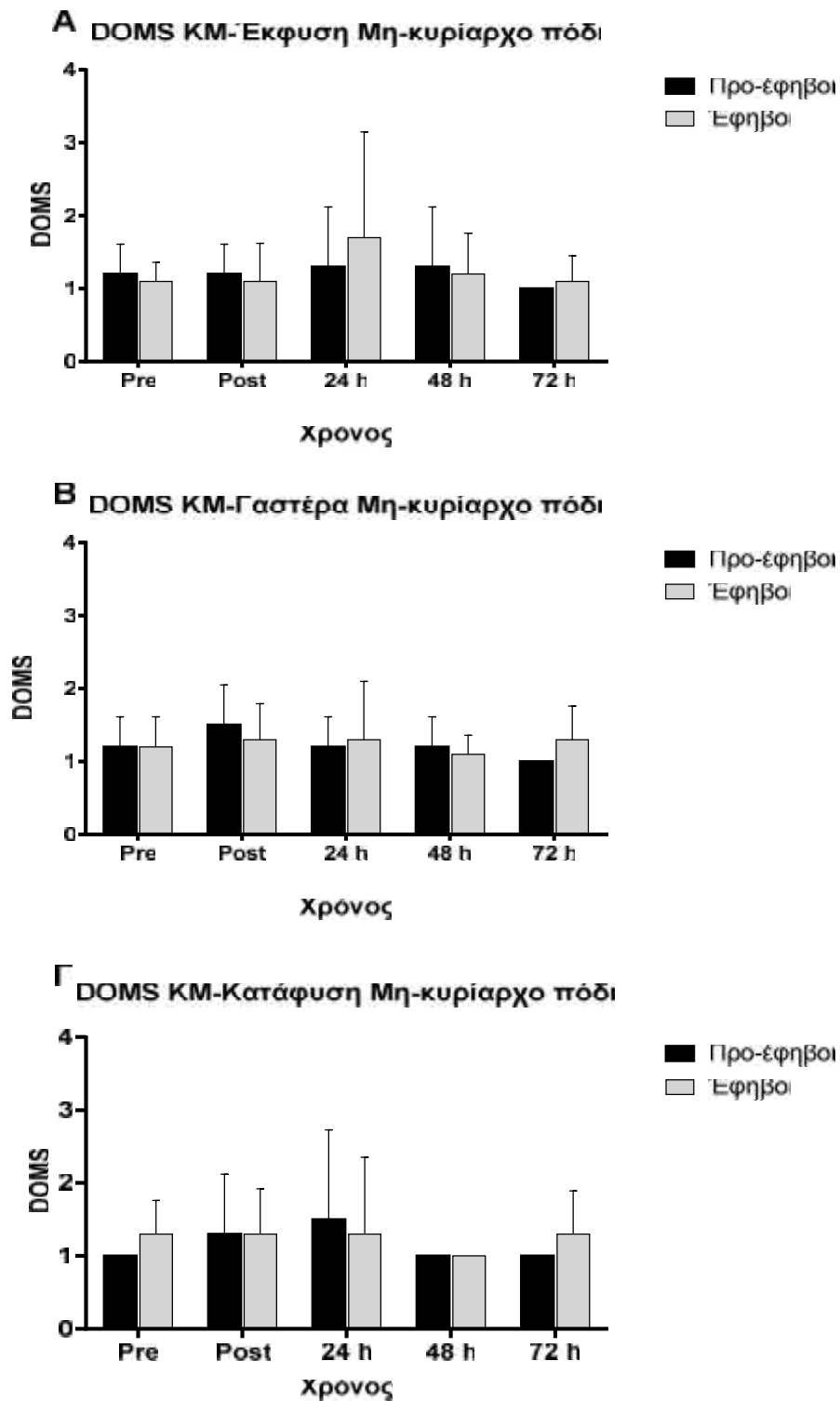
**Εικόνα 8.** DOMS στους εκτεινόντες μηριαίους (EM) του κυρίαρχου ποδιού, στην έκφυση (A), γαστέρα (B), κατάφυση (Γ). <sup>4</sup>Διαφορετικός στους προ-έφηβους συγκριτικά με τους έφηβους. \* $p < 0.05$ .



**Εικόνα 9.** DOMS στους καμπτήρες μηριαίους (KM) του κυρίαρχου ποδιού, στην έκφυση (Α), γαστέρα (Β), κατάφυση (Γ). <sup>4</sup>Διαφορετικός στους προ-έφηβους συγκριτικά με τους έφηβους. \* $p < 0.05$ .



**Εικόνα 10.** DOMS στους εκτεινόντες μηριαίους (KM) του Μη-κυρίαρχου ποδιού, στην έκφυση (A), γαστέρα (B), κατάφυση (Γ). <sup>1</sup>Διαφορετικός συγκριτικά με τα επίπεδα πριν την πλειομετρική προπόνηση. <sup>2</sup>Διαφορετικός συγκριτικά με τα επίπεδα την προηγούμενη χρονική στιγμή. \* $p < 0.05$ .



**Εικόνα 11.** DOMS στους καμπτήρες μηριαίους (KM) του Μη-κυρίαρχου ποδιού, στην έκφυση (Α), γαστέρα (Β), κατάφυση (Γ). Δεν υπήρχαν αλλαγές μετά την πλειομετρική προπόνηση. Δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ προ-έφηβων και έφηβων σε καμία χρονική στιγμή.

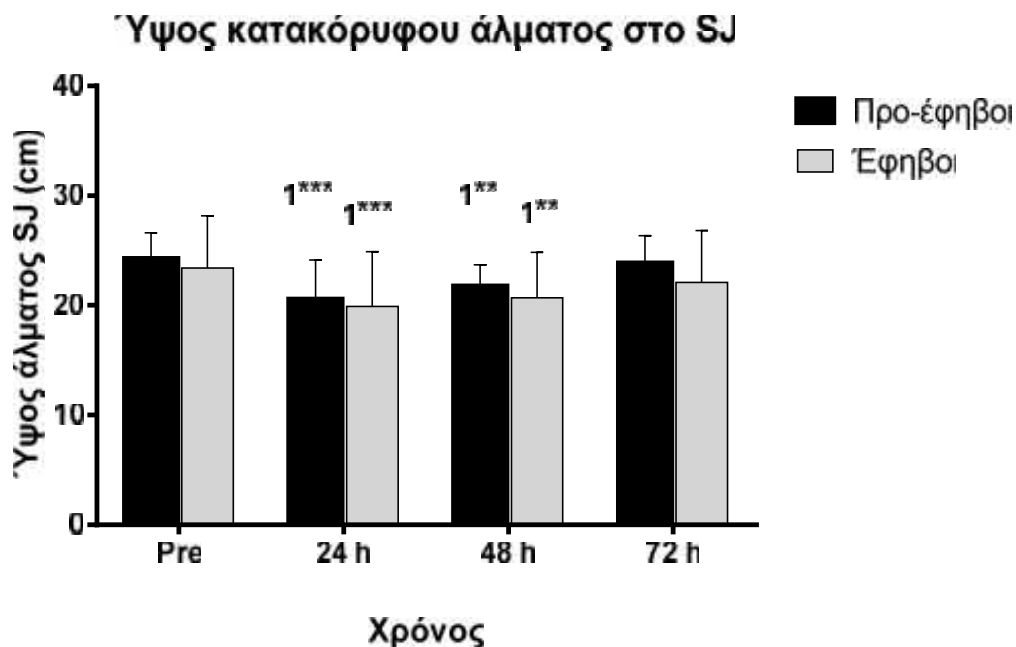


## 4.7 Απόδοση

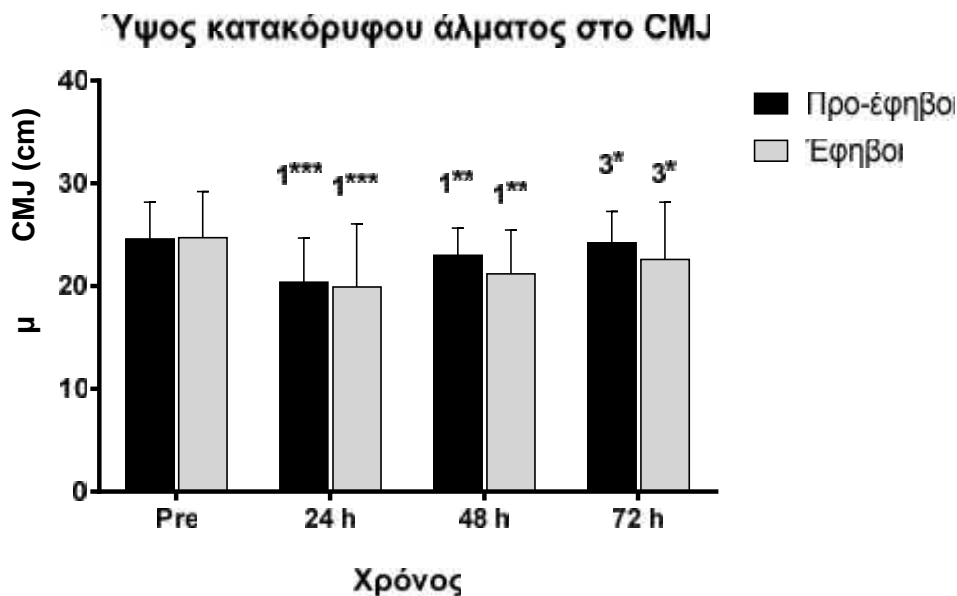
### 4.7.1 Κατακόρυφο άλμα

Από την ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον παράγοντα χρόνο (2-way ANOVA repeated) προέκυψε ότι η πλειομετρική προπόνηση οδήγησε σε μεταβολές στο ύψος άλματος στο SJ ( $F_{(3,57)} = 13.143$ ,  $p < 0.001$ ) και στο CMJ ( $F_{(3,57)} = 14.362$ ,  $p < 0.001$ ). Οι αλλαγές ήταν παρόμοιες μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων.

Συγκεκριμένα, το ύψος άλματος (cm) στο SJ μειώθηκε στις 24 ώρες ( $p < 0.001$ ) και 48 ώρες ( $p < 0.01$ ) μετά την πλειομετρική προπόνηση τόσο στους προ-εφήβους όσο και στους εφήβους, συγκριτικά με τα επίπεδα πριν την προπόνηση. Παρόμοια, το ύψος άλματος (cm) στο CMJ μειώθηκε στις 24 ώρες ( $p < 0.001$ ) και 48 ώρες ( $p < 0.01$ ) μετά την πλειομετρική προπόνηση τόσο στους προ-εφήβους όσο και στους, συγκριτικά με τα επίπεδα πριν την προπόνηση. Οι αλλαγές στο ύψος άλματος στο SJ και CMJ παρουσιάζονται στις Εικόνες 12 και 13, αντίστοιχα.



**Εικόνα 12.** Κατακόρυφο άλμα από κάθισμα 90° (SJ) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>1</sup>Διαφορετικό από τα επίπεδα πριν την προπόνηση στην ίδια ομάδα. \*\*\* $p < 0.001$ . \*\* $p < 0.01$ .

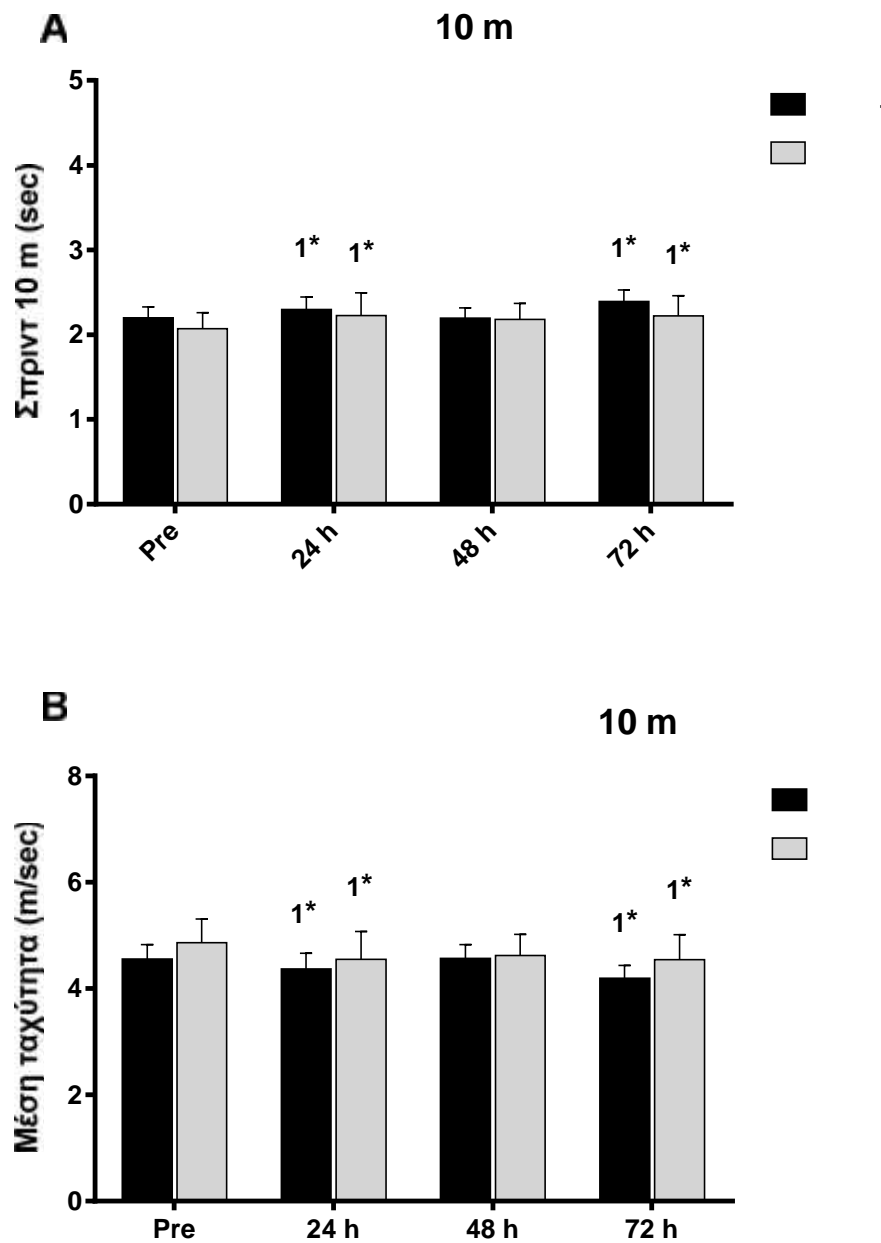


**Εικόνα 13.** Κατακόρυφο άλμα με αντιμετάθεση (CMJ) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>1</sup>Διαφορετικό από τα επίπεδα πριν την προπόνηση στην ίδια ομάδα. \*\*\* $p < 0.001$ . \*\* $p < 0.01$ .

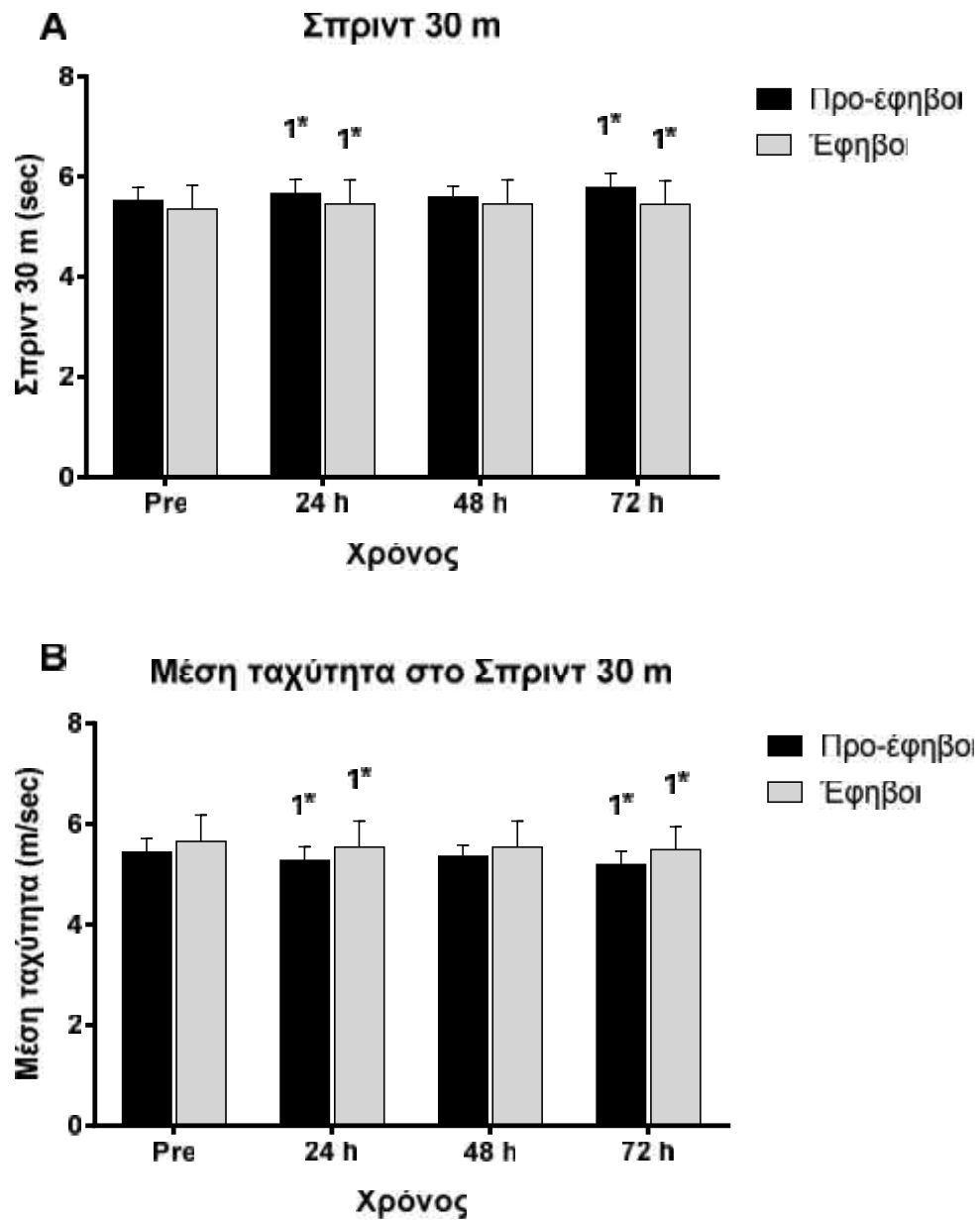
#### 4.7.2 Σπριντ 10 m και σπριντ 30 m

Από την ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον παράγοντα χρόνο (2-way ANOVA repeated) προέκυψε ότι η πλειομετρική προπόνηση μείωσε την απόδοση στο σπριντ 10 m ( $F_{(3, 57)} = 8.363$ ,  $p < 0.001$ ), στη μέση ταχύτητα στο σπριντ 10 m ( $F_{(3, 57)} = 3.533$ ,  $p < 0.001$ ), και την απόδοση στο σπριντ 30 m.

Συγκεκριμένα, ο χρόνος στο σπριντ 10 m αυξήθηκε στις 24 ώρες ( $p < 0.05$ ) και 72 ώρες ( $p < 0.001$ ), ενώ η μέση ταχύτητα στο σπριντ 10 m μειώθηκε στις 24 ώρες ( $p < 0.05$ ) και 72 ώρες ( $p < 0.001$ ) μετά την πλειομετρική προπόνηση. Παρόμοια, ο χρόνος στο σπριντ 30 m αυξήθηκε στις 24 ώρες ( $p < 0.05$ ) και 72 ώρες ( $p < 0.01$ ), ενώ η μέση ταχύτητα στο σπριντ 30 m μειώθηκε στις 24 ώρες ( $p < 0.05$ ) και 72 ώρες ( $p < 0.05$ ) μετά την πλειομετρική προπόνηση. Οι παραπάνω αλλαγές στα σπριντ και στη μέση ταχύτητα, ήταν παρόμοιες μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων. Οι αλλαγές στο σπριντ 10 m και στη μέση ταχύτητα στα 10 m, καθώς και στο σπριντ 30 m και στη μέση ταχύτητα στα 30 m, παρουσιάζονται στις Εικόνες 14 και 15, αντίστοιχα.



**Εικόνα 14.** Σπριντ 10 m (A) και μέση ταχύτητα στο σπριντ 10 m (B) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>1</sup>Διαφορετικό από τα επίπεδα πριν την προπόνηση. \* $p < 0.05$ .

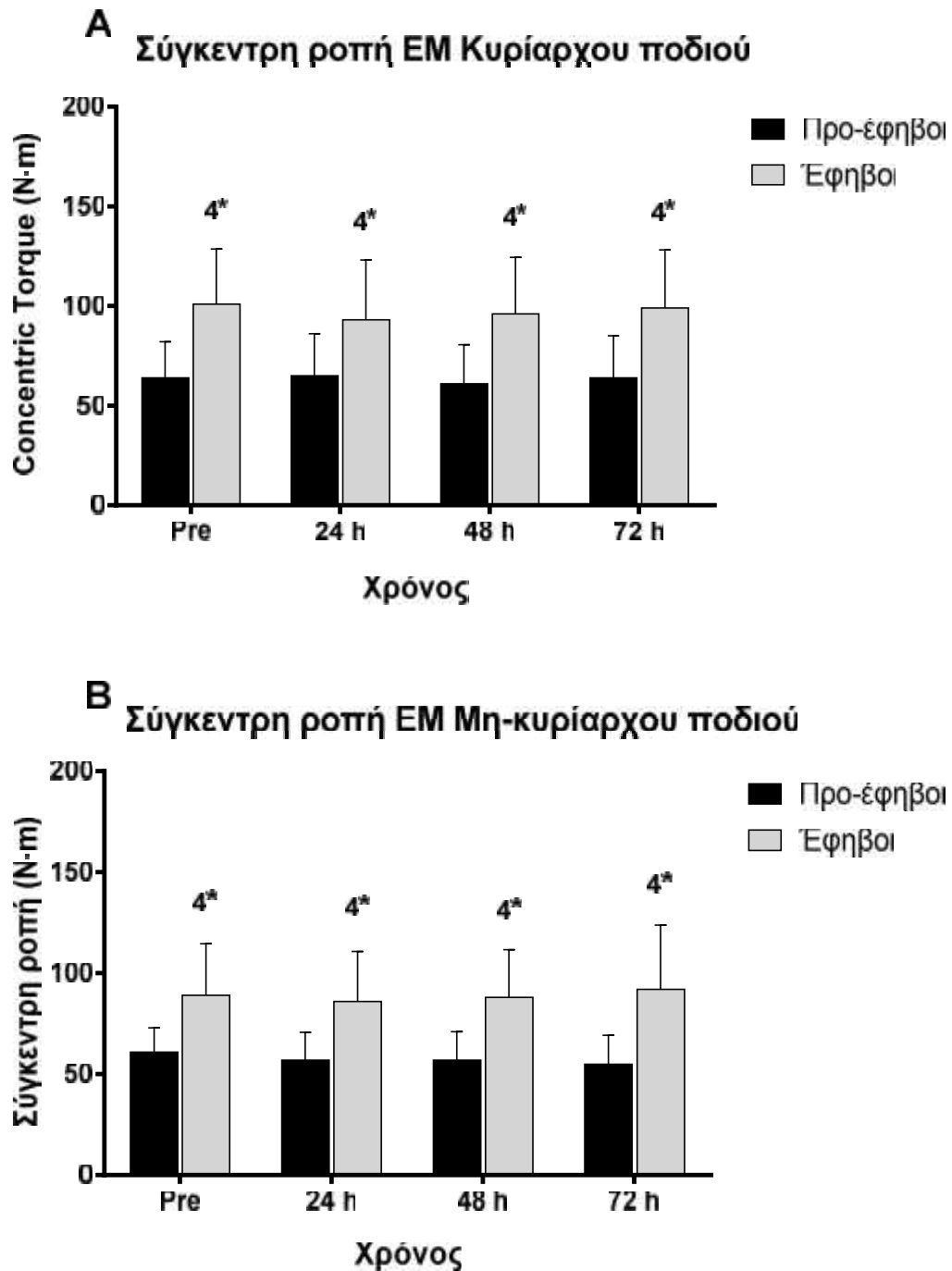


**Εικόνα 15.** Σπριντ 30 m (A) και μέση ταχύτητα στο σπριντ 30 m (B) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>1</sup>Διαφορετικό από τα επίπεδα πριν την προπόνηση. \* $p < 0.05$ .

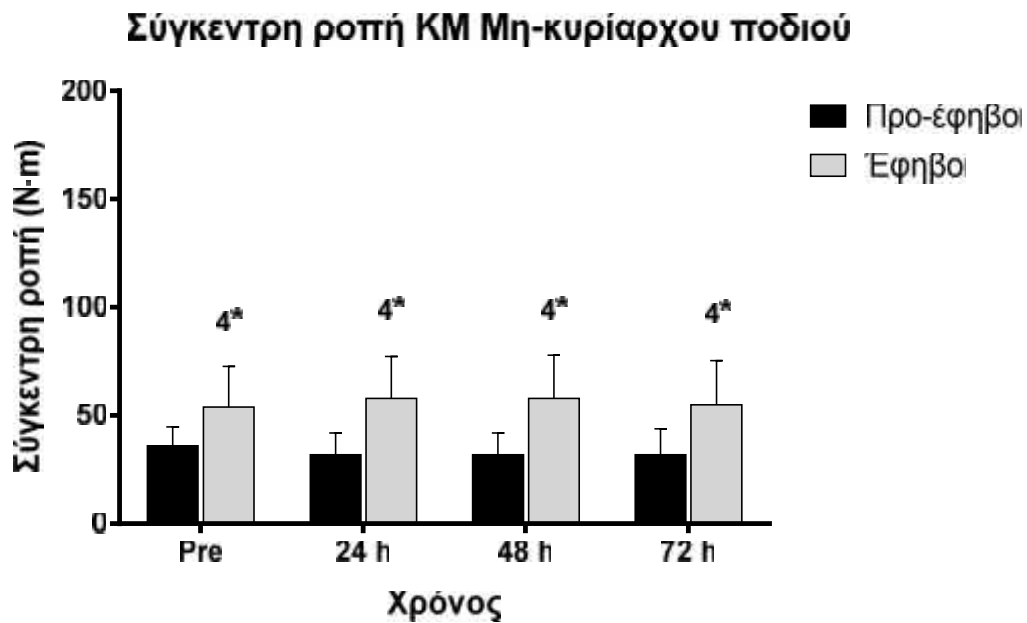
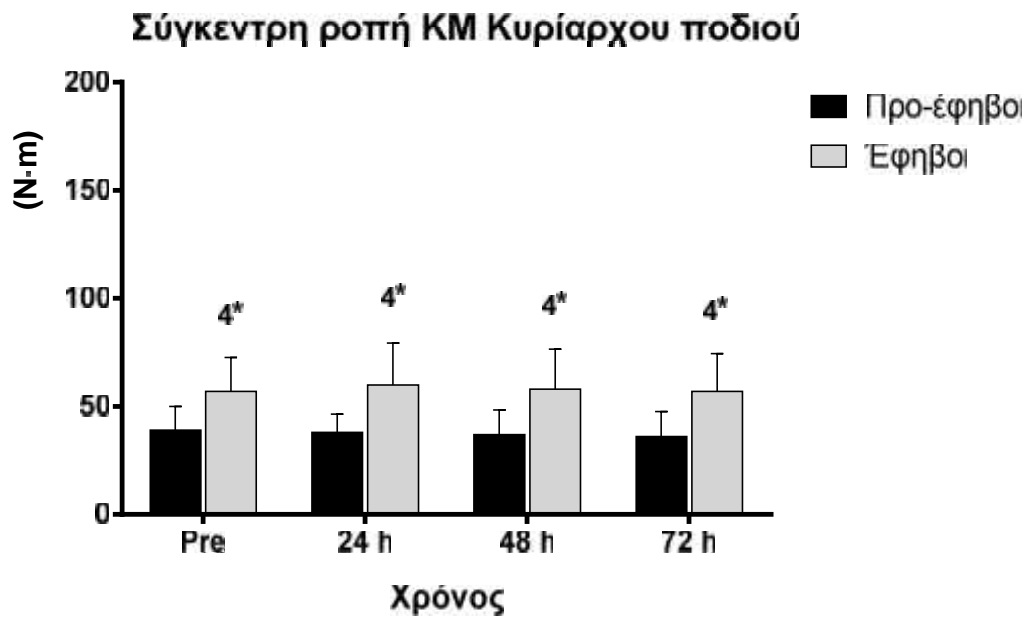
### 4.7.3 Μέγιστη ισοκινητική δύναμη

Από την ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον παράγοντα χρόνο (2-way ANOVA repeated) προέκυψε ότι η πλειομετρική προπόνηση δεν επηρέασε σημαντικά τη μέγιστη ισοκινητική δύναμη καθώς οι αλλαγές στη μέγιστη σύγκεντρη, έκκεντρη και ισομετρική ροπή των EM και KM και των δύο ποδιών δεν ήταν στατιστικά σημαντικές τις επόμενες ημέρες μετά το τέλος της προπόνησης ( $p > 0.05$ ).

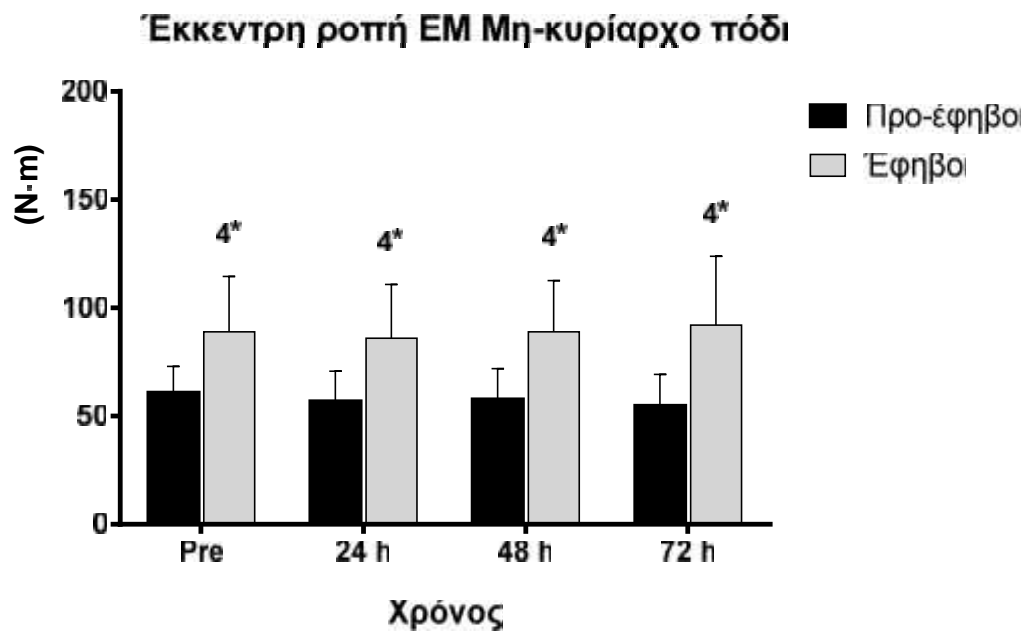
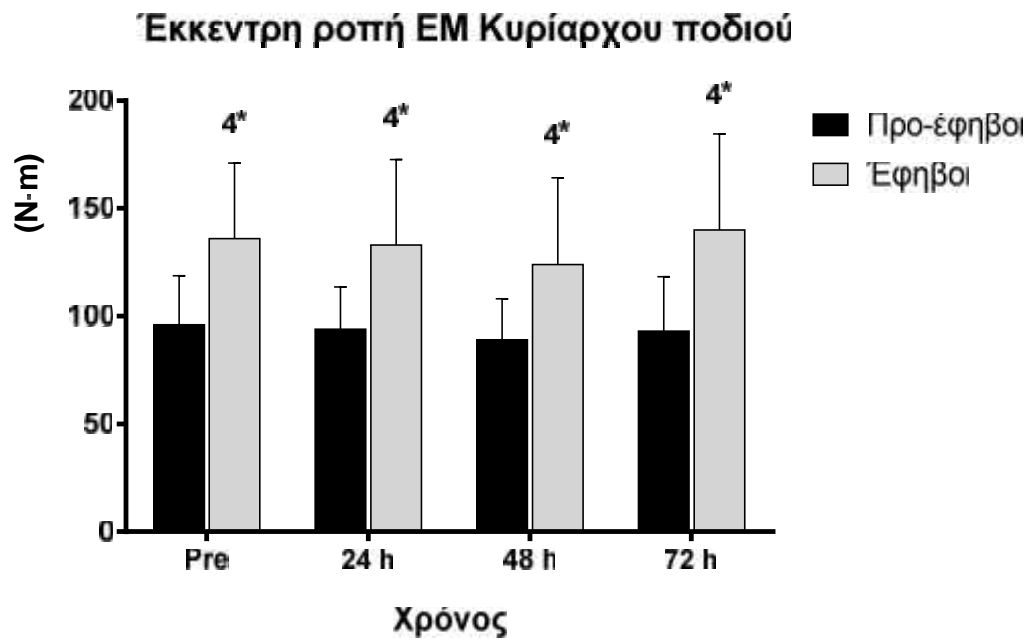
Αντίθετα, η βιολογική ωρίμανση επηρέασε την ικανότητα παραγωγής μέγιστης σύγκεντρης ροπής από τους EM [ $F_{(1, 19)} = 7.513$ ,  $p < 0.05$ ] και KM [ $F_{(1, 19)} = 7.423$ ,  $p < 0.05$ ] του κυρίαρχου ποδιού και του μη-κυρίαρχου ποδιού [EM:  $F_{(1, 19)} = 7.917$ ,  $p < 0.05$ , KM:  $F_{(1, 19)} = 8.356$ ,  $p < 0.01$ ]. Παρόμοια, η βιολογική ωρίμανση επηρέασε την ικανότητα παραγωγής μέγιστης έκκεντρης ροπής από τους EM [ $F_{(1, 19)} = 6.091$ ,  $p < 0.05$ ] και KM [ $F_{(1, 19)} = 7.408$ ,  $p < 0.05$ ] του κυρίαρχου ποδιού και τους KM του μη-κυρίαρχου ποδιού [ $F_{(1, 19)} = 5.747$ ,  $p < 0.05$ ]. Τέλος, η βιολογική ωρίμανση επηρέασε την ικανότητα παραγωγής μέγιστης ισομετρικής ροπής από τους EM ( $F_{(1, 19)} = 7.823$ ,  $p < 0.05$ ) και KM ( $F_{(1, 19)} = 11.602$ ,  $p < 0.01$ ) του κυρίαρχου ποδιού, καθώς και τους EM ( $F_{(1, 19)} = 5.555$ ,  $p < 0.05$ ) και KM ( $F_{(1, 19)} = 10.625$ ,  $p < 0.05$ ) του μη-κυρίαρχου ποδιού. Συγκεκριμένα, οι προ-έφηβοι παράγαγαν χαμηλότερη μέγιστη ισομετρική ροπή συγκριτικά με τους έφηβους. Οι αλλαγές στην μέγιστη ισομετρική δύναμη παρουσιάζονται στις Εικόνες 16, 17, 18, 19, 20 και 21.



**Εικόνα 16.** Σύγκεντρη ροπή εκτεινόντων μηριαίων (EM) του Κυρίαρχου ποδιού (A) και Μη-κυρίαρχου ποδιού (B) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική συγκριτικά με τους προ-έφηβους την ίδια χρονική στιγμή. \* $p < 0.05$ .

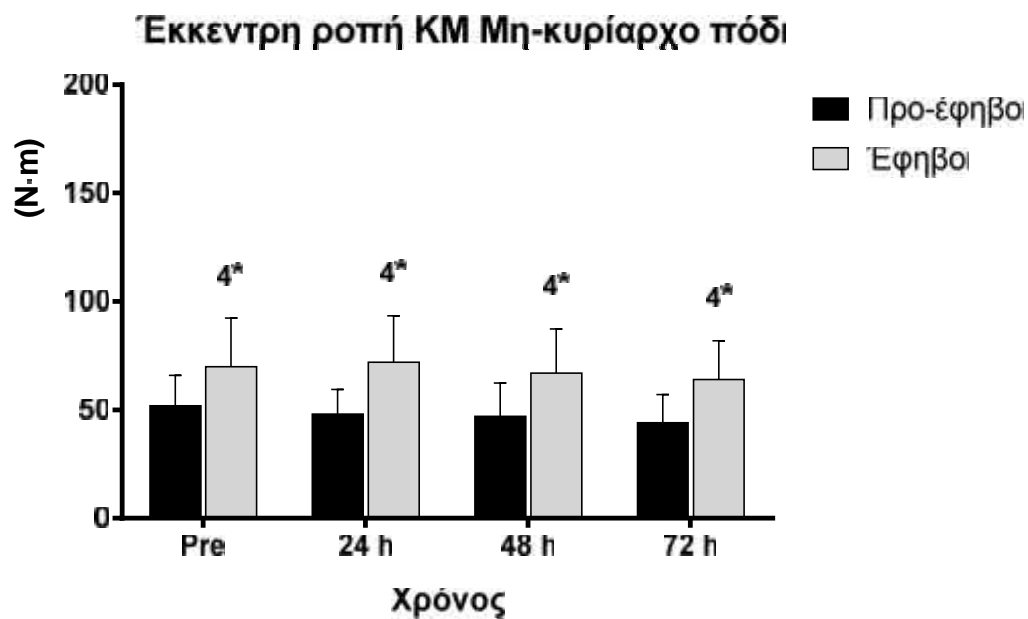
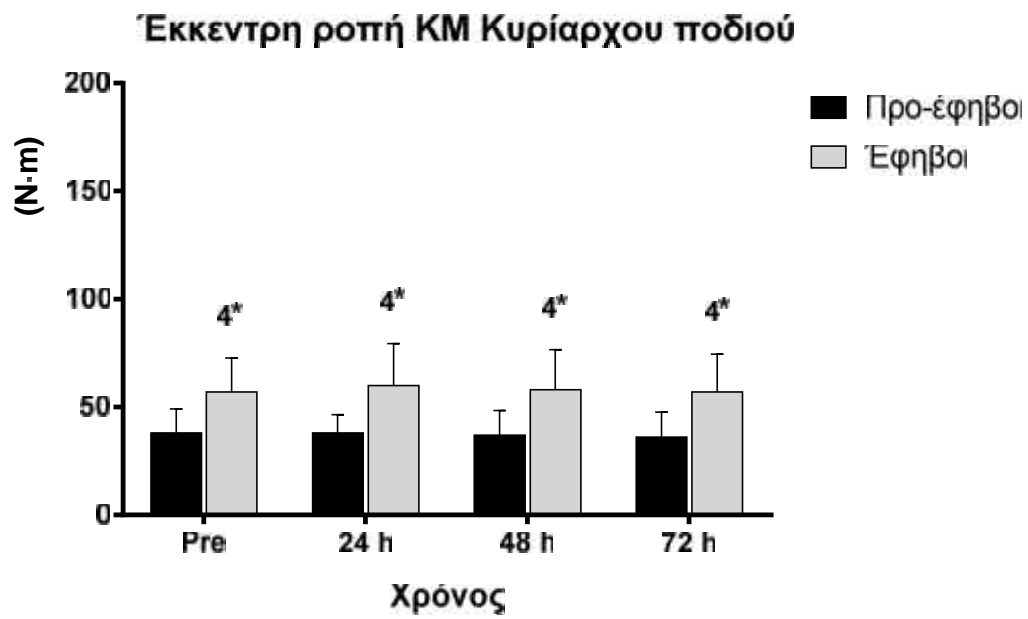


**Εικόνα 17.** Σύγκεντρη ροπή καμπτήρων μηριαίων (KM) του Κυρίαρχου ποδιού (A) και Μη-κυρίαρχου ποδιού (B) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική από τους προ-έφηβους την ίδια χρονική στιγμή. \* $p < 0.05$ .

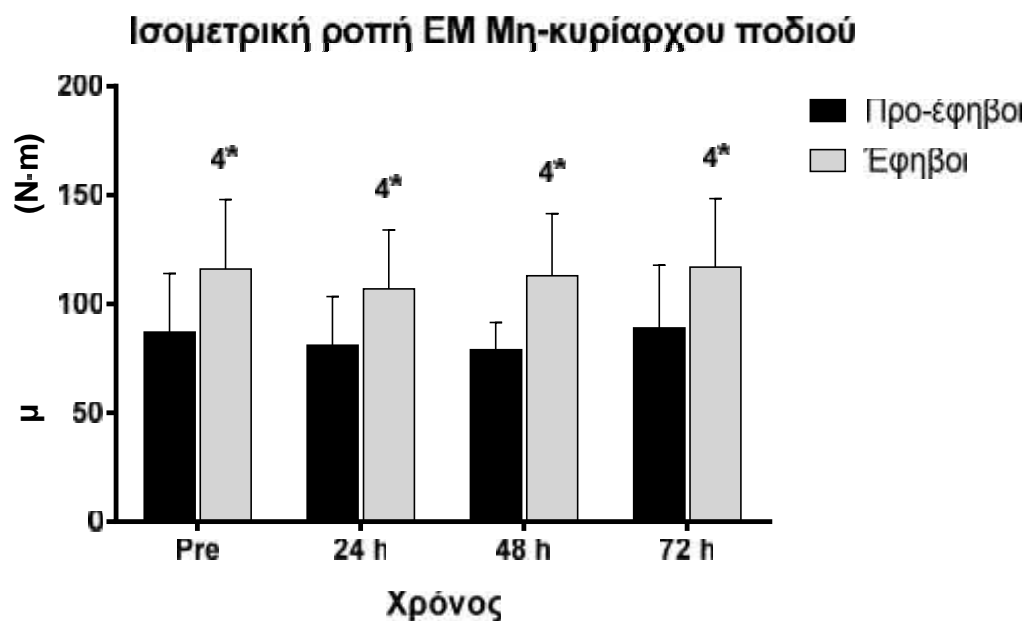
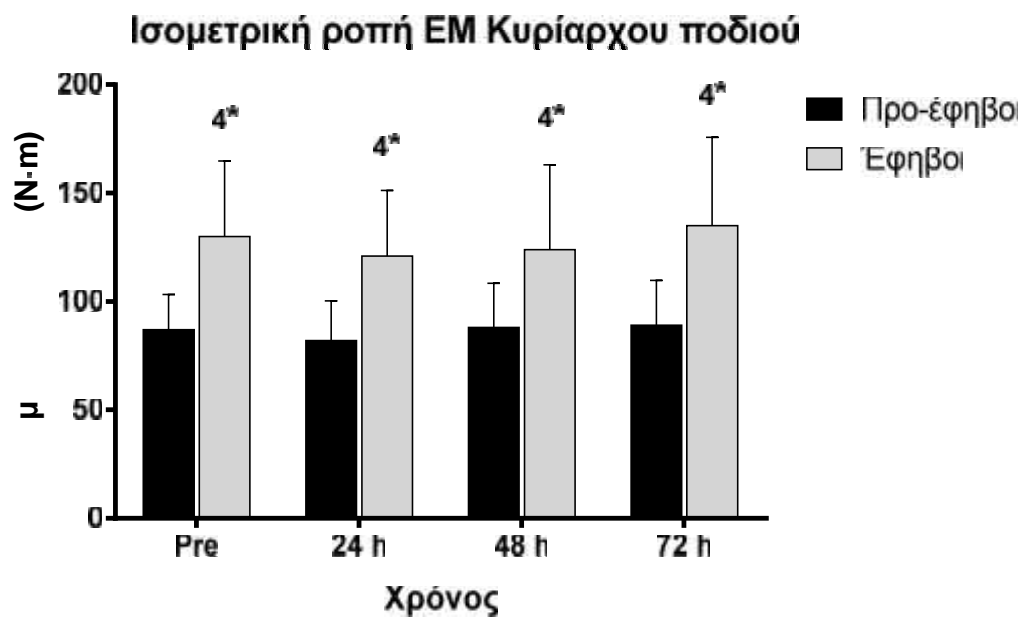


**Εικόνα 18.** Έκκεντρη ροπή εκτεινόντων μηριαίων (EM) του Κυρίαρχου ποδιού (A) και Μη-κυρίαρχου ποδιού (B) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική συγκριτικά με τους προ-έφηβους την ίδια χρονική στιγμή. \* $p < 0.05$ .

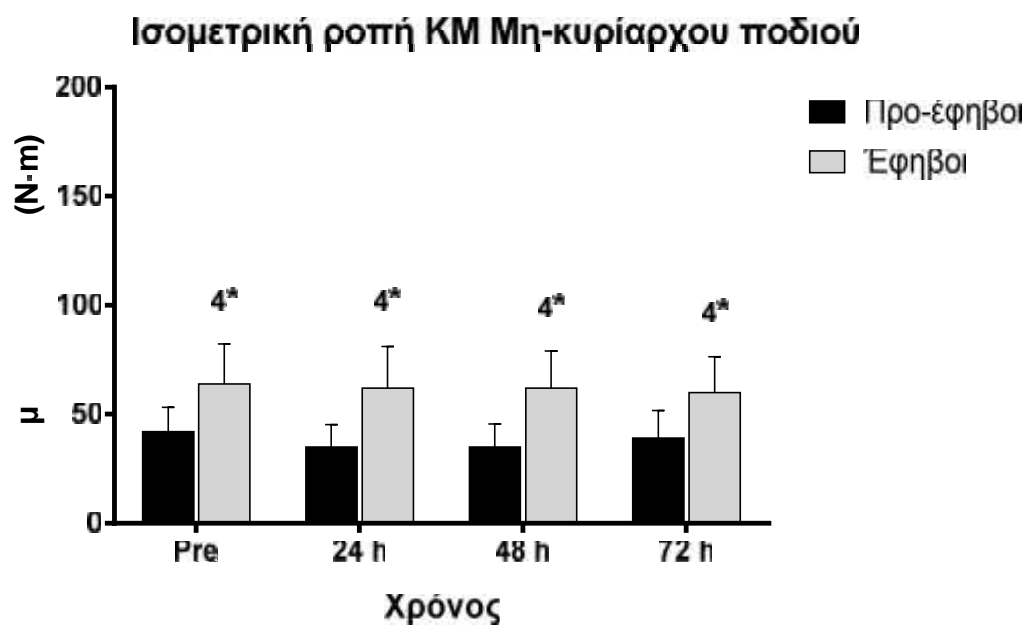
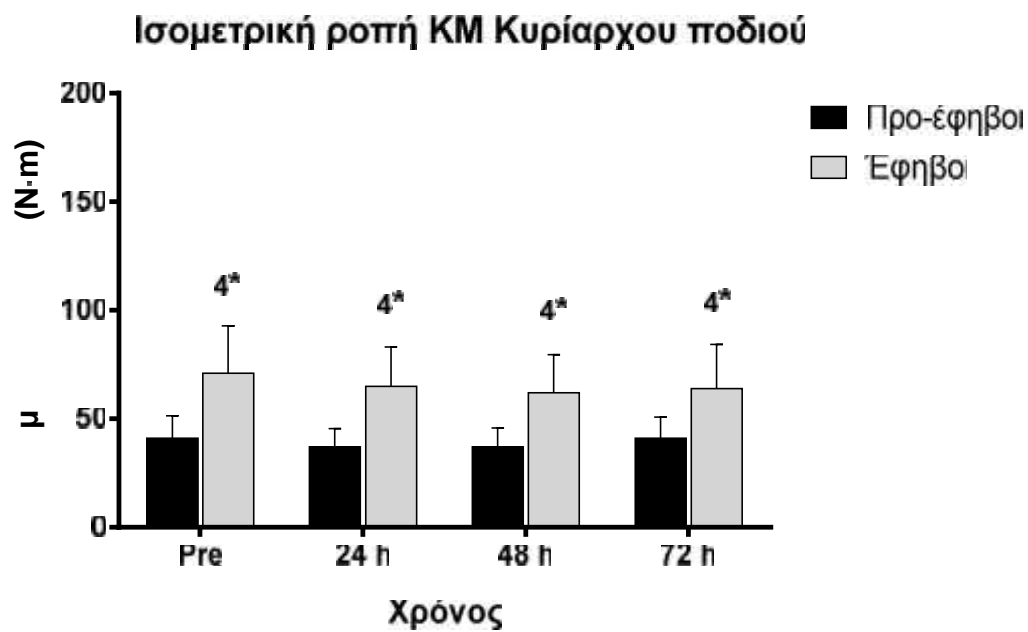




**Εικόνα 19.** Έκκεντρη ροπή καμπτήρων μηριαίων (ΚΜ) του Κυρίαρχου ποδιού (Α) και Μη-κυρίαρχου ποδιού (Β) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική από τους προ-έφηβους την ίδια χρονική στιγμή. \* $p < 0.05$ .



**Εικόνα 20.** Ισομετρική ροπή εκτεινόντων μηριαίων (EM) του Κυρίαρχου ποδιού (A) και Μη-κυρίαρχου ποδιού (B) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική από τους προ-έφηβους την ίδια χρονική στιγμή. \* $p < 0.05$ .



**Εικόνα 21.** Ισομετρική ροπή καμπτήρων μηριαίων (ΚΜ) του Κυρίαρχου ποδιού (Α) και Μη-κυρίαρχου ποδιού (Β) μετά την πλειομετρική προπόνηση. <sup>4</sup>Διαφορετική από τους προ-έφηβους την ίδια χρονική στιγμή. \* $p < 0.05$ .

## 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να μελετήσουμε την επίδραση που μπορεί να έχουν τα διαφορετικά επίπεδα βιολογικής ωρίμανσης σε δείκτες μεταβολισμού, νευρομυϊκής κόπωσης, μυϊκού τραυματισμού και απόδοσης, μετά από οξεία πλειομετρική προπόνηση. Από όσο γνωρίζουμε, αυτή είναι η πρώτη μελέτη που εξετάζει τα παραπάνω σε προέφηβους συγκριτικά με εφηβους. Τα κυριότερα ευρήματα της παρούσας έρευνας ήταν: 1) η οξεία πλειομετρική προπόνηση οδηγεί σε ενεργοποίηση της γλυκολυτικής παραγωγής ενέργειας στους προ-έφηβους και στους έφηβους, 2) η οξεία πλειομετρική προπόνηση αυξάνει τη δραστικότητα της CK στους προ-έφηβους και στους έφηβους, 3) η οξεία πλειομετρική προπόνηση προκαλεί μικρή αύξηση στον DOMS στους προ-έφηβους και στους έφηβους, 4) η οξεία πλειομετρική προπόνηση προκαλεί μείωση της απόδοσης στο κατακόρυφο άλμα, και στο σπριντ 10 m και 30 m, 5) η οξεία πλειομετρική προπόνηση δεν επηρεάζει την ισοκινητική δύναμη στους έφηβους και στους προ-έφηβους, 6) οι έφηβοι παράγουν υψηλότερη ισομετρική ροπή συγκριτικά με τους προέφηβους.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος κατά τη διάρκεια ή μετά από έντονη άσκηση υποδηλώνει την ενεργοποίηση του γλυκολυτικού συστήματος παραγωγής ενέργειας (Gladden 2004). Στην παρούσα μελέτη το πρωτόκολλο πλειομετρικής προπόνησης που χρησιμοποιήσαμε οδήγησε σε μεταβολές στη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος, η οποία αυξήθηκε μετά την εκτέλεση των 4 πρώτων σετ του πρωτοκόλλου και αυξήθηκε ακόμη περισσότερο μετά την εκτέλεση των 8 σετ του πρωτοκόλλου συγκριτικά με τα επίπεδα πριν από την προπόνηση. Η περαιτέρω αύξηση από τα 4 στα 8 σετ δεν ήταν στατιστικά σημαντική και ήταν παρόμοια στους προ-έφηβους και στους έφηβους. Από όσο γνωρίζουμε δεν υπάρχει άλλη μελέτη που να εξέτασε την απόκριση του γαλακτικού οξέος σε προέφηβους και έφηβους μετά από οξεία πλειομετρική προπόνηση. Παρόλα αυτά, η απόκριση του γαλακτικού οξέος ήταν παρόμοια με αυτή που αναφέρεται σε ενήλικες μετά από οξεία πλειομετρική προπόνηση (Brown 2010, Cadore 2013).

Ένα πρωτόκολλο αναφέρουν ότι η πλειομετρικής προπόνησης μεγάλου όγκου μπορεί να οδηγήσει σε νευρομυϊκή κόπωση και να επιβραδύνει την ταχύτητα

συστολής (Drinkwater 2009). Στην παρούσα μελέτη, το πρωτόκολλο πλειομετρικής προπόνησης που χρησιμοποιήθηκε (8 σετ χ 10 συνεχόμενα κατακόρυφα άλματα με αντιμετάθεση) δεν οδήγησε σε νευρομυϊκή κόπωση καθώς η μείωση της μέγιστης ισομετρικής ροπής τόσο στους εκτείνοντες όσο και στους καμπτήρες του κυρίαρχου και μη-κυρίαρχου ποδιού δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Επίσης η απόκριση της ισομετρικής ροπής έως και 3 ώρες μετά την πλειομετρική προπόνηση ήταν παρόμοια στους έφηβους και στους προ-έφηβους. Παρόλα αυτά, Η βιολογική ωρίμανση φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην ικανότητα παραγωγής μέγιστης ισομετρικής ροπής, με τους προ-εφήβους να παράγουν χαμηλότερη μέγιστη ισομετρική ροπή σε σύγκριση με τους εφήβους.

Οι έκκεντρες μυϊκές ενέργειες, όπως αυτές που εκτελούνται κατά τη διάρκεια των πλειομετρικών αλμάτων, προκαλούν μυϊκό τραυματισμό (Tofas 2008, Chatzinikolaou 2010, Jamurtas 2000 ) που συνοδεύεται από μια φλεγμονώδη απόκριση και αυξημένη συγκέντρωση μυϊκών πρωτεϊνών στο αίμα. Στην παρούσα μελέτη, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης της CK, που επιβεβαιώνει την ύπαρξη μυϊκού τραυματισμού. Η συγκέντρωση της CK αυξήθηκε στις 24 ώρες και στη συνέχεια παρέμεινε αυξημένη έως τις 72 ώρες μετά την πλειομετρική προπόνηση. Τα αποτελέσματά μας συμφωνούν με τα αποτελέσματα άλλων μελετών που επίσης αναφέρουν αύξηση στη συγκέντρωση της CK σε παιδιά μετά από άλματα βάθους (Gorianovas 2013), ή κατηφορικό τρέξιμο (Webber 1989) και έκκεντρη άσκηση (Deli 2017). Το στάδιο της βιολογικής ωρίμανσης δεν επηρέασε την απόκριση της CK καθώς η συγκέντρωσή της ήταν παρόμοια μεταξύ εφήβων και προ-εφήβων σε όλες τις χρονικές στιγμές μετά την πλειομετρική προπόνηση.

Η αύξηση του DOMS μετά από άσκηση είναι ένα από τα συμπτώματα του ασκησιογενούς μυϊκού τραυματισμού. Στην παρούσα μελέτη, παρατηρήθηκε μόνο μικρή αύξηση του DOMS. Πιο συγκεκριμένα, στους προ-έφηβους παρατηρήθηκε αύξηση στους EM του κυρίαρχου ποδιού αυξήθηκε στις 24 ώρες και στους KM του κυρίαρχου ποδιού στις 48 ώρες, ενώ στους έφηβους στους EM του μη-κυρίαρχου ποδιού στις 24 ώρες μετά την προπόνηση. Παρόμοια απόκριση στον DOMS, αναφέρεται και στη μελέτη της Marginson και συν (2005). Η απόκριση του DOMS στην παρούσα μελέτη ήταν παρόμοια μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων. Τόσο στην

παρούσα μελέτη όσο και στη μελέτη της Marginson και συν (2005), η αύξηση στον DOMS ήταν μικρή έως μέτρια, συγκριτικά με την αύξηση που αναφέρεται σε ενήλικες μετά από πλειομετρική προπόνηση ή μετά από πρωτόκολλα άσκησης που προκαλούν μυϊκό τραυματισμό (Tofas 2008, Clarkson 1999, Ispirilidis 2008).

Η μείωση της απόδοσης τις επόμενες ημέρες μετά από οξεία άσκηση αποτελεί σύμπτωμα του ασκησιογενούς μυϊκού τραυματισμού. Στην παρούσα μελέτη, το πρωτόκολλο πλειομετρικής προπόνησης που χρησιμοποιήθηκε οδήγησε σε μείωση της απόδοσης στο σπριντ και στο κατακόρυφο άλμα, ενώ αντίθετα δεν επηρέασε τη μέγιστη ισοκινητική ροπή. Ο χρόνος στο σπριντ 10m και 30m αυξήθηκε, ενώ αντίστοιχα η μέση ταχύτητα στο σπριντ 10 m και 30 m μειώθηκε στις 24 και 72 ώρες μετά την προπόνηση. Η επιδείνωση στην απόδοση στο κατακόρυφο άλμα (τόσο στο SJ όσο και στο CMJ), παρατηρήθηκε στις 24 και 48 ώρες, ενώ αποκαταστάθηκε στις 72 ώρες. Αυτή η μείωση στην απόδοση ήταν παρόμοια μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων. Αντίθετα, οι Marginson και συν (2005) αναφέρουν μείωση στην απόδοση στο SJ μόνο αμέσως μετά το τέλος της πλειομετρικής προπόνησης στα παιδιά ενώ έως και τις 72 ώρες στους ενήλικες. Αυτό το διαφορετικό εύρημα είναι λίγο παράξενο, καθώς στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε το ίδιο πρωτόκολλο πλειομετρικής προπόνησης με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη των Marginson και συν (2005), οπότε θα περιμέναμε παρόμοια απόκριση. Πιθανώς το προπονητικό υπόβαθρο των παιδιών να ήταν διαφορετικό και αυτό να δικαιολογεί το διαφορετικό εύρημα. Παρόλα αυτά, το χρονοδιάγραμμα της μείωσης της απόδοσης στο κατακόρυφο άλμα που παρατηρείται στην παρούσα μελέτη, είναι παρόμοια με αυτή που παρατηρείται σε ενήλικες (Chatzinikolaou 2010). Σε σχέση με την ισομετρική δύναμη, αυτή δεν επηρεάστηκε στην παρούσα μελέτη αφού τόσο η σύγκεντρη, όσο η έκκεντρη αλλά και η ισομετρική ροπή δεν άλλαξαν τις επόμενες ημέρες μετά την πλειομετρική προπόνηση. Πιθανώς το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε, να μην ήταν αρκετά έντονο ερέθισμα, ώστε να προκαλέσει σημαντική μείωση στην ισοκινητική δύναμη. Παρόλα αυτά, η ισοκινητική δύναμη ήταν χαμηλότερη στους προ-έφηβους συγκριτικά με τους έφηβους σε όλες τις χρονικές στιγμές. Επομένως, η βιολογική ωρίμανση επηρεάζει την μέγιστη ισοκινητική ροπή.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πλειομετρική προπόνηση οδηγεί σε ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό, τόσο σε προέφηβους όσο και σε έφηβους. Παρόλα αυτά, ο ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός μετά από πλειομετρική προπόνηση είναι παρόμοιος μεταξύ προ-εφήβων και εφήβων, τουλάχιστον όταν χρησιμοποιείται ένα παρόμοιο πρωτόκολλο άσκησης με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη. Επιπλέον, φαίνεται ότι η πλειομετρική προπόνηση προκαλεί λιγότερο έντονα συμπτώματα μυϊκού τραυματισμού σε έφηβους και προ-έφηβους συγκριτικά με τους ενήλικες. Τέλος, η βιολογική ωρίμανση δεν επηρεάζει την ικανότητα επιτάχυνσης και κατακόρυφου άλματος, αλλά μόνο τη μέγιστη ισοκινητική δύναμη.

**BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Argus, C., Gill, N.D., Keogh, J.W.L., Blazevich, A.J. and Hopkins, W.J. Kinetic and training comparisons between assisted, resisted, and free countermovement jumps. *J Strength Cond Res.* 2011 Aug;25(8):2219-27. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181f6b0f4.

Bedoya, A.A.; Miltenberger, M.R.; Lopez, R.M. Plyometric Training Effects on Athletic Performance in Youth Soccer Athletes: A Systematic Review. *J Strength Cond Res.* 2015 Aug;29(8):2351-60.

Byrnes WC, Clarkson PM, White JS, et al: Delayed onset muscle sore-ness following repeated bouts of downhill running. *J Appl Physiol* 1985; 59: 710–5.

Bosco, C., Viitasalo, J.T., Komi, P.V. and Luhtanen, P. Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand.* 1982 Apr;114(4):557-65. doi: 10.1111/j.1748-1716.1982.tb07024.x.

Brown SJ, Child RB, Day SH, Donnelly AE. Indices of skeletal muscle damage and connective tissue breakdown following eccentric muscle contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997; 75(4):369–374. PubMed doi:10.1007/s004210050174.

Brown GA, Ray MW, Abbey BM, Shaw BS, Shaw I. Oxygen consumption, heart rate, and blood lactate responses to an acute bout of plyometric depth jumps in college-aged men and women. *J Strength Cond Res.* 2010 Sep;24(9):2475-82. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b22b63.

Cadore EL, Pinheiro E, Izquierdo M, Correa CS, Radaelli R, Martins JB, Lhullier FL, Laitano O, Cardoso M, Pinto RS. Neuromuscular, hormonal, and metabolic responses to different plyometric training volumes in rugby players. *J Strength Cond Res.* 2013 Nov;27(11):3001-10. doi: 10.1519/JSC.0b013e31828c32de.

Chelly MS, Chelly S, Hermassi S, Shephard RJ. Effects of in-season short-term plyometric training program on sprint and jump performance of young male track athletes. *J Strength Cond Res.* 2015 Aug;29(8):2128-36. doi: 10.1519/JSC.0000000000000860.

Drinkwater, Eric J; Lane, Tyson; Cannon, Jack Effect of an Acute Bout of Plyometric Exercise on Neuromuscular Fatigue and Recovery in Recreational Athletes *Journal of Strength and Conditioning Research.* July 2009 - Volume 23 - Issue 4 - p 1181-1186 doi: 10.1519/JSC.0b013e31819b79aa.

Clarkson, PM and Sayers, S. Etiology of exercise induced muscle damage. *J Appl Physiol.* 1999;24: 234-248,

Chen TC, Nosaka K, Lin MJ, Chen HL, Wu CJ. Changes in running economy at different intensities following downhill running. *J Sports Sci.* 2009; 7(11):1137–1144. PubMed doi:10.1080/02640410903062027.



Clarkson, P.M.; Hubal, M.J. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2002, 81, S52–S69.

Clarkson PM, Nosaka K, Braun B: Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 512–20.

Clarkson PM, Newham DJ: Associations between muscle soreness, damage, and fatigue. *Adv Exp Med Biol* 1995; 384: 457–69.

Cleak MJ, Eston RG. Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *Br J Sports Med.* 1992; 26(4):267–272. PubMed doi:10.1136/bjism.26.4.267.

Crenshaw AG, Thornell LE, Fridén J: Intramuscular pressure, torque and swelling for the exercise-induced sore vastus lateralis muscle. *Acta Physiol Scand* 1994; 152: 265–77.

Deli CK, Fatouros IG, Paschalis V, Georgakouli K, Zalavras A, Avloniti A, Koutedakis Y, Jamurtas AZ. A Comparison of Exercise-Induced Muscle Damage Following Maximal Eccentric Contractions in Men and Boys. *Pediatr Exerc Sci.* 2017a Aug;29(3):316-325.

Deli CK, Fatouros IG, Paschalis V, Tsiokanos A, Georgakouli K, Zalavras A, Avloniti A, Koutedakis Y, Jamurtas AZ. Iron Supplementation Effects on Redox Status following Aseptic Skeletal Muscle Trauma in Adults and Children. *Oxid Med Cell Longev.* 2017b; 2017:4120421.

Dell' Antonio E, Ruschel C, de Brito Fontana H, Hauptenthal A, Pereira SM and Roesler H. Effect of Immersion on Ground Reaction Force and Contact Time During Drop Jump Exercise. *Journal of Strength & Conditioning Research.* 2016;30: 3443-3449.

Dominguez-Balmaseda D, Diez-Vega I, Larrosa M, San Juan AF, Issaly N, Moreno-Pérez D, Burgos S, Sillero-Quintana M, Gonzalez C, Bas A, et al. Effect of a Blend of Zingiber officinale Roscoe and Bixa orellana L. Herbal supplement on the recovery of delayed-onset muscle soreness induced by unaccustomed eccentric resistance training: A randomized, triple-blind, placebo-controlled trial. *Front. Physiol.* 2020; 11: 826.

Drouzas V, Katsikas C, Zafeiridis A, Jamurtas AZ, Bogdanis GC. Unilateral Plyometric Training is Superior to Volume-Matched Bilateral Training for Improving Strength, Speed and Power of Lower Limbs in Preadolescent Soccer Athletes. *J Hum Kinet.* 2020 Aug 31;74:161-176.

Ebbeling CB, Clarkson PM: Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* 1989; 7: 207–34.

Edwards RH, Hill DK, Jones DA, et al: Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. *J Physiol* 1977; 272: 769–78.

Emmanuel , Brooke R. Bokor Tanner Stages In: StatPearls Baechle, T.R. and Earle, R.W. (2008) Essentials of strength training and conditioning. Human Kinetics.

Eston R, Byrne C, Twist C. Muscle function after exercise-induced muscle damage: Considerations for athletic performance in children and adults. *J Exerc Sci Fit.* 2003; 1(2):85–96.

Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJR, Jeffreys I, Micheli LJ, Nitka M, Rowland TW. Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res,* 2009; 23 S60–S79.

Friden J and Lieber RL. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24: 521–530.

Fridén J, Sfakianos PN, Hargens AR, et al: Residual muscular swelling after repetitive eccentric contractions. *J Orthop Res* 1988; 6: 493–8

Gorianovas, G.; Skurvyds, A.; Streckis V.; Brazaitis, M.; Kamandulis, S.; Mchugh, M.P. Repeated bout effect was more expressed in young adult males than in elderly males and boys. *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International* 2013; ID. 218970 p.10.

Hammami M, Negra Y, Shephard RJ, Chelly MS. The effect of standard strength vs. contrast strength training on the development of sprint, agility, repeated change of direction, and jump in junior male soccer players. *J Strength Cond Res* 2017;31: 901–912.

Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. *Front. Physiol.* 2019; 10: 536.

Hortobágyi T, Houmard J, Fraser D, Dudek R, Lambert J, Tracy J. Normal forces and myofibrillar disruption after repeated eccentric exercise. *J. Appl. Physiol.* (1985) 1998; 84:492–498.

Ispirlidis I, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Michailidis Y, Douroudos I, Margonis K, Chatzinikolaou A, Kalistratos E, Katrabasas I, Alexiou V, and Taxildaris K. Time-course of changes in performance and inflammatory responses following a football game. *Clin J Sports Med* 18: 428-431, 2008.

Jamurtas, A.Z.; Theocharis, V, Tofas, T.; Tsiokanos, A.; Yfanti, C.; Paschalis, V.; Koutedakis, Y.; Nosaka, K. Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European Journal of Applied Physiology* 2005;95: 179–185.

Jamurtas AZ, Buckenmeyer P, Taxildaris K, et al. Effects of Plyometric Exercise on Muscle Soreness and Plasma Creatine Kinase Levels and Its Comparison with Eccentric and Concentric Exercise. *J Strength Cond Res.* 2000; 14(1):68–74.

Jamurtas AZ, Garyfallopoulou A, Theodorou et al. A single bout of downhill running transiently increases HOMA1R without altering adipokine response in healthy adult women. *Eur J Appl Physiol*. 2013; 113(12):2925–2932. PubMed doi:10.1007/s00421-013-2717-5.

Jarvis MM, Graham-Smith P, Comfort P. A methodological approach to quantifying plyometric intensity. *J Strength Cond Res*. 2016; 30:2522–2532.

Johnson BA, Salzberg CL, Stevenson DA. A Systematic Review: Plyometric Training Programs for Young Children. *J Strength Cond Res*. 2011; 25(9): 2623–2633.

Jones, T.W.; Smith, A.; Macnaughton, L.S.; French, D.N. Strength and conditioning and concurrent training practices in elite rugby union. *J. Strength Cond Res*. 2016; 30: 3354–3366.

Jones DA, Newham DJ, Torgan C: Mechanical influences on long-lasting human muscle fatigue and delayed-onset pain. *J Physiol* 1989; 412: 415–27.

Kawakami, Y., Muraoka, T., Ito, S., Kanehisa, H. and Fukunaga, T. In vivo muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *The Journal of Physiology*. 2002; 540: 635-646.

Khelifa R, Aouadi R, Hermassi S, Chelly MS, Jlid MC, Hbacha H and Castagna C. Effects of a plyometric training program with and without added load on jumping ability in basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010; 24:2955-2961.

Komi P.V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*. 2000 Oct;33(10):1197-206. doi: 10.1016/s0021-9290(00)00064-6.

Makaruk, H., Winchester, J.B., Czaplicki, A., Sacewicz, T., Zieliński, J. and Sadowski, J. Effects of assisted and traditional drop jumps on jumping performance. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2014; 9:1217-1225.

Makaruk H, Starzak, M, Suchecki B, Czaplicki M, Stojiljković N. The Effects of Assisted and Resisted Plyometric Training Programs on Vertical Jump Performance in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Sports Sci Med*. 2020 Jun; 19(2): 347–357.

Makaruk, H., Sacewicz, T., Czaplicki, A. and Sadowski, J. Effect of additional load on power output during drop jump training. *Journal of Human Kinetics* 2010; 26:31-37.

Marginson V, Rowlands AV, Gleeson NP, Eston RG. Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *J Appl Physiol* (1985). 2005 Sep;99(3):1174-81.

Markovic G, Mikulic P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med*. 2010; 40:859–895.

Markovic, G., Vuk, S. and Jaric, S. Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics. *International Journal of Sports Medicine*. 2011; 32:365-372.

Meylan, C., & Malatesta, D. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009; 23:2605–2613.

Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, & Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002; 34(4):689–694.

Mizrahi J, Verbitsky O, Isakov E: Fatigue-induced changes in decline running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001; 16: 207–12.

Newham DJ, Mills KR, Quigley BM, et al: Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clin Sci (Colch)* 1983; 64: 55–62.

Nosaka K, Clarkson PM: Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 953–61.

Paschalis V, Koutedakis Y, Baltzopoulos V. Equal Volumes of High and Low Intensity of Eccentric Exercise in Relation to Muscle Damage and Performance. *J Strength Cond Res*. 2005; 19(1):184–188.

Paschalis V, Nikolaidis MG, Fatouros IG, et al. Uniform and prolonged changes in blood oxidative stress after muscle damaging exercise. *In Vivo*. 2007; 21(5):877–883.

Peake J, Nosaka K, Suzuki K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. *Inflammation and eccentric exercise. Exerc Immunol Rev*. 2005;11:64-85.

Peitz M, Behringer M, Granacher U. A systematic review on the effects of resistance and plyometric training on physical fitness in youth- What do comparative studies tell us? *PLoS One*, 2018; 13(10): e0205525. doi: 10.1371/journal.pone.0205525.

Ramirez-Campillo, R., Meylan, C. A., Alvarez, C., Henriquez-Olguin, C., Martinez, C., Canas-Jamett, R., . . . Izquierdo, M. Effects of in season low-volume high-intensity plyometric training on explosive actions and endurance of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2014; 28:1335–1342.

Robinson, L.E., Devor, S.T., Merrick, M.A. and Buckworth, J. The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004; 18:84-91.

Saxton JM, Clarkson PM, James R, et al: Neuromuscular dysfunction following eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27: 1185–93.

Schwane JA, Johnson SR, Vandenaeker CB, et al: Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Med Sci Sports Exerc* 1983; 15: 51–6.

Sheppard JM, Dingley AA, Janssen I, Spratford W, Chapman DW and Newton RU. The effect of assisted jumping on vertical jump height in high-performance volleyball players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2011; 14:85-89.

Silva AF, Clemente FM, Lima R, Nikolaidis PT, Rosemann T, Knechtle B. The effect of plyometric training in volleyball players: A systematic review. *Int. J. Environ. Res. Public health*. 2019, 16, 2960.

Tofas T, Jamurtas AZ, Fatouros I, Nikolaidis MG, Koutedakis Y, Sinouris EA, Papageorgakopoulou N, Theocharis DA. Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. *J Strength Cond Res*. 2008 Mar;22(2):490-6.

Tufano JJ, Malecek J, Steffl M, Stastny P, Hojka V and Vetrovsky T. Field-based and lab-based assisted jumping: unveiling the testing and training implications. *Frontiers in physiology*. 2018; Sep 12;9:1284. doi: 10.3389/fphys.2018.01284.

Vaczi M, Tollar J, & Meszler B. Short term high intensity plyometric training program improves strength, power, and agility in male soccer players. *Journal of Human Kinetics*. 2013; 36:17–26.

Wang Y-C, Zhang N. Effects of plyometric training on soccer players. *Exp Ter Med* 2016; 12: 550–554.

Warren GL, Lowe DA, Armstrong RB. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med*. 1999; 27(1):43–59. PubMed doi:10.2165/00007256-199927010-00004.