



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΦΥΣΙΚΗ ΑΓΩΓΗ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ»**

**«ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΥΨΗΛΕΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΕΣ
ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ: ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΝ ΡΥΘΜΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΙ ΣΤΗ ΡΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΔΟΣΗ »**

Ζάρας Νικόλαος

**Διδακτορική Διατριβή
ΠΡΟΠΟΝΗΣΙΟΛΟΓΙΑ
ΕΙΔΙΚΗ ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

Ιούνιος 2015

© Copyright
Ζάρας Νικόλαος
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντίστασης 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

Μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

Τερζής Γεράσιμος (Επιβλέπων)
Αναπληρωτής Καθηγητής Κλασικού Αθλητισμού, Αθλητικές Ρίψεις

Γεωργιάδης Γεώργιος
Καθηγητής Κλασικού Αθλητισμού, Αθλητικές Ρίψεις

Καραμπάτσος Γεώργιος
Επίκουρος Καθηγητής Κλασικού Αθλητισμού, Αθλητικές Ρίψεις

Σπέγγος Κωνσταντίνος
Αναπληρωτής Καθηγητής, Α' Νευρολογική Κλινική Πανεπιστημίου Αθηνών

Μπογδάνης Γρηγόρης
Λέκτορας Κλασικού Αθλητισμού, Αθλητικά Άλματα

Μπάγιος Ιωάννης
Καθηγητής Αθλοπαιδιών, Χειροσφαίριση

Βαγενάς Γεώργιος
Καθηγητής Ποσοτικής Ανάλυσης



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Φυσική Αγωγή & Αθλητισμός»

ΠΡΑΚΤΙΚΟ
ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Του **Νικολάου Ζάρα**

Η επταμελής εξεταστική επιτροπή, που ορίστηκε από τη Γ.Σ.Ε.Σ. του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών στη συνεδρία της 17/6/2015 για την κρίση και αξιολόγηση της διδακτορικής διατριβής του **κ. Νικολάου Ζάρα** με τίτλο: «Προπόνηση ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις: αλλαγές στο ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στη ριπτική επίδοση» αποτελούμενη από τους κ.κ. **Γ. Τερζή** Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπων), **Γ. Γεωργιάδη** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Γ. Βαγενά** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Ι. Μπάγιο** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Κ. Σπέγγο** Αναπληρωτή Καθηγητή της Α' Νευρολογικής Κλινικής Αιγινήτειου Νοσοκομείου του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Γ. Καραμπάσσο** Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Γ. Μπογδάνη** Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, εκλήθησαν σήμερα 16/7/2015 ημέρα Πέμπτη και ώρα 11:00 ύστερα από επίσημη έγγραφη πρόσκληση στο Αμφιθέατρο Ε.Παυλίνης του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, προκειμένου να κρίνουν και αξιολογήσουν την παραπάνω διατριβή.

Μετά από διεξοδική συζήτηση και ανταλλαγή απόψεων τα μέλη 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 και βαθμολογείται ως **Α.Φ.Ι.Σ.Τ.Α.**

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Γ. Τερζής, Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Γεωργιάδης, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Βαγενάς, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Ι. Μπάγιος, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Κ. Σπέγγος, Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Καραμπάσσο, Επίκουρος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Μπογδάνης, Επίκουρος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση των διδακτορικών μου σπουδών θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε ανθρώπους που με βοήθησαν στην περάτωση των πειραματικών εργασιών, με στήριξαν και μου συμπαραστάθηκαν στα τέσσερα δύσκολα χρόνια των διδακτορικών μου σπουδών.

Ευχαριστώ τους αθλητές των ρίψεων για την συμμετοχή τους στη μελέτη και τη θυσία του προσωπικού τους χρόνου προς όφελος των δύο εργασιών. Η ανιδιοτέλεια, η συνεργασία αλλά και η άψογη εφαρμογή των προπονητικών και πειραματικών παρεμβάσεων από μέρους τους, έδειξαν τη σοβαρότητα αυτών των νέων αθλητών αλλά και τη δίψα τους για μάθηση. Σας ευχαριστώ, παιδιά μου.

Τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή των Αθλητικών Ρίψεων κ. Γεράσιμο Τερζή, ο οποίος με δίδαξε, με καθοδήγησε και μου συμπαραστάθηκε σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου. Τον ευχαριστώ για τις ατελείωτες ώρες δημιουργικής συζήτησης και εκπαίδευσης που μου προσέφερε. Τον Καθηγητή των Αθλητικών Ρίψεων κ. Γεώργιο Γεωργιάδη, ο οποίος με τις πολύτιμες συμβουλές του με βοήθησε να βελτιώσω την παρούσα εργασία και να ενώσω την πράξη με τη θεωρία. Τον Επίκουρο Καθηγητή των Αθλητικών Ρίψεων κ. Γεώργιο Καραμπάτσο, ο οποίος με την εμπειρία του και την επιστημονική του γνώση στην αθλητική προπόνηση με στήριξε σε όλη τη προσπάθειά μου για την ολοκλήρωση των δύο εργασιών.

Όλους τους καθηγητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Φυσική Αγωγή και Αθλητισμός», για την ανάπτυξη κριτικής σκέψης, αλλά και τα μέλη της επταμελούς μου επιτροπής για την βελτίωση της συγγραφής της εργασίας και τις επιστημονικές παρατηρήσεις τους.

Ευχαριστώ την ερευνητική ομάδα του εργαστηρίου του Κλασικού Αθλητισμού, την Αγγελική Στασινάκη, τον Σπυρίδων Μεθενίτη, την Αργυρώ Κρασέ, τον Θωμά Κυριαζή, την Μαρία Κρεκούκια, τον Παναγιώτη Κορφιάτη, την Ρούλα Τσιτκάνου και την Αγγελική Κάββουρα, που με βοήθησαν στη συλλογή των δεδομένων.

Την νευρολογική κλινική του Αιγινήτειου Νοσοκομείου και ιδιαίτερα τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ιατρικής Σχολής κ. Κωνσταντίνο Σπέγγο για την χρήση του μυϊκού υπερήχου.

Πάνω από όλα τον Θεό και την οικογένειά μου, τους γονείς μου Πρωτοπρεσβύτερο Δημήτριο και Πρεσβυτέρα Μαρία, τα αδέρφια μου Γιώργο, Κωνσταντίνο και Φωτεινή αλλά και τα νεότερα μέλη της οικογένειας Δημήτρη και Μαρία–Ειρήνη. Τα λόγια σε ένα χαρτί δεν μπορούν να εκφράσουν την ευγνωμοσύνη μου σε αυτούς.

**«ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΥΨΗΛΕΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ:
ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΝ ΡΥΘΜΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΙ ΣΤΗ ΡΙΠΤΙΚΗ
ΕΠΙΔΡΑΣΗ»**

Περίληψη

Η επίδραση της προπόνησης ισχύος με υψηλά και χαμηλά φορτία και η σχέση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με τη ριπτική επίδοση δεν έχουν διερευνηθεί. Πραγματοποιήθηκαν δύο εργασίες: σκοπός της πρώτης ήταν να μελετηθεί η επίδραση της προπόνησης ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις στην περίοδο κορύφωσης της επίδοσης σε αθλητές ρίψεων, ενώ σκοπός της δεύτερης εργασίας ήταν να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της ριπτικής ικανότητας και της αρχιτεκτονικής δομής των μυών πριν και μετά από προπόνηση δύναμης-ισχύος, σε αθλητές ρίψεων.

Στη πρώτη μελέτη συμμετείχαν 13 αθλητές/τριες των ρίψεων (ηλικία: 18 ± 3 έτη, μάζα: 81 ± 22 kg, ανάστημα: 172 ± 10 cm, προπονητική εμπειρία $4,6\pm 1,5$ έτη). Οι αθλητές/τριες ακολούθησαν αθλητική προετοιμασία όλο το προπονητικό έτος, η οποία κατέληγε στη χειμερινή και στην εαρινή περίοδο φορμαρίσματος. Η προπόνηση είχε όμοια χαρακτηριστικά έντασης και όγκου σε όλο το προπονητικό έτος για όλους τους αθλητές, εκτός από τις περιόδους φορμαρίσματος, όπου πραγματοποιήθηκε προπόνηση ισχύος με διαφορετικές αντιστάσεις. Οι αθλητές/τριες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες και πραγματοποίησαν τα δύο προγράμματα φορμαρίσματος, με 30% ή 85% της 1-ΜΑΕ, με διασταυρούμενο διαχωρισμό από τη χειμερινή στην εαρινή περίοδο. Πριν και μετά από κάθε φορμάρισμα μετρήθηκε η αγωνιστική ρίψη, η ριπτική ικανότητα, η μέγιστη δύναμη, το κατακόρυφο άλμα, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, η αρχιτεκτονική του έξω πλατύ μηριαίου μυός, η σωματική σύσταση και η κόπωση των αθλητών. Η αγωνιστική ρίψη αυξήθηκε κατά $4,6\pm 3,5\%$ μετά από το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία και κατά $5,6\pm 3,1\%$ μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία. Το φορμάρισμα με υψηλά φορτία βελτίωσε περισσότερο τη δύναμη, την ισχύ και τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης, άλλα προκάλεσε υψηλότερη κόπωση ($p<0.05$). Η αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός δεν μεταβλήθηκε σημαντικά.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι και τα δύο προγράμματα αυξάνουν όμοια τη ριπτική επίδοση. Το φορμάρισμα με το 85% της 1-MAE οδηγεί σε μεγαλύτερη αύξηση της δύναμης και της ισχύος, μεταβλητές που συμβάλλουν σημαντικά στη ριπτική επίδοση, ενώ το φορμάρισμα με το 30% της 1-MAE ίσως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ειδικές συνθήκες (τραυματισμοί-κόπωση), με εξίσου καλά αποτελέσματα.

Η δεύτερη μελέτη διήρκησε 10 εβδομάδες και συμμετείχαν 12 αθλητές/τριες των ρίψεων (ηλικία: 19 ± 5 έτη, μάζα: 80 ± 21 kg, ανάστημα: 172 ± 8 cm, προπονητική εμπειρία $4,8\pm 1,6$ έτη). Η προπόνηση στόχευε στη θερινή αγωνιστική περίοδο. Οι μετρήσεις έγιναν στην αρχή και στο τέλος της προπονητικής παρέμβασης και περιλάμβαναν: την αγωνιστική ρίψη, τη ριπτική ικανότητα, τη μέγιστη δύναμη, τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης, την αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός, και την εκτίμηση της σωματικής σύστασης. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στη ριπτική ικανότητα ($r=0,59-0,92$) και ανάμεσα στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και στη ριπτική ικανότητα ($r=0,62-0,81$). Ο γραμμικός συνδυασμός του ποσοστού αύξησης του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και του ποσοστού αύξησης του πάχους του έξω πλατύ μηριαίου μυός προέβλεπαν το 53% της διασποράς στην ποσοστιαία αύξηση της ρίψης σφαίρας. Τα αποτελέσματα υποστηρίζουν ότι η μέτρηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης μπορεί να αποτελέσει μια λειτουργική δοκιμασία πρόβλεψης της ριπτικής ικανότητας, ενώ τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός μπορούν να προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες για τις προπονητικές προσαρμογές των αθλητών/τριων των ρίψεων.

Λέξεις κλειδιά: Ριπτική ικανότητα, προπόνηση ισχύος, ρυθμός εφαρμογής δύναμης, μυϊκός υπέρηχος, σφαιροβολία.

“POWER TRAINING WITH LIGHT AND HEAVY LOADS: CHANGES IN THE RATE OF FORCE DEVELOPMENT AND IN THROWING PERFORMANCE”

Abstract

The effect of power training with light and heavy loads on track and field throwing performance and the possible link with the rate of force development remains unclear. Two major studies were conducted. The purpose of the first study was to investigate the effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance, while the purpose of the second study was to investigate the relationship between the rate of force development, muscle architecture and performance in young track and field throwers.

Thirteen young thrower athletes (age: 18.2 ± 3.5 years, mass: 80.4 ± 21.7 kg, height: 172 ± 10 cm, training experience: 4.6 ± 1.5 years) participated in the first study. Athletes followed 9 months of periodized training aiming at two tapering phases during the winter and the spring competition periods. Training had the same characteristics for all athletes except during the tapering phases where different resistance training loads were applied. Throwers performed tapering with light and heavy loads following a counterbalanced design. Measurements included: track and field throws, shot put tests, vertical jumps, 1-RM strength, rate of force development, muscle architecture and body composition. Immediately after the end of the second tapering period, athletes provided a 0-10 exertion rated scale about each tapering program. The main finding of the study was that track and field throw was increased significantly after both light tapering by $4.6 \pm 3.5\%$ and after heavy tapering by $5.6 \pm 3.1\%$. Heavy tapering increases more strength-power and the rate of force development ($p < 0.05$), but light tapering was much easier to perform. Muscle architecture remained unaltered after both tapering programs. These results suggest that track and field throwing performance increases similarly after tapering with light and/or heavy loads. Tapering with heavy loads induces superior increases in muscular strength, jumping performance, and rate of force development, but tapering with lower loads is easier to perform.

Twelve thrower athletes (aged: 19 ± 5 years, mass: 80 ± 21 kg, height: 172 ± 8 cm, training experience: 4.8 ± 1.6 years) participated in the second study. Athletes

followed 10 weeks periodized training aiming at the summer competition period. The relationship between rate of force development, muscle architecture and throwing performance was evaluated at two different time-points before (T1) and after (T2) the 10-wk periodized training. During these time points track and field throws, shot put tests, 1-RM strength, rate of force development, muscle architecture and body composition were evaluated. The main finding of the study was the strong correlations between the rate of force development and shot put tests ($r = 0,59-0,92$), and between muscle architecture and shot put tests ($r = 0,62-0,81$). Standard multiple regression analysis revealed that the linear combination of the % increase in VL muscle thickness and the % increase in RFD_{50ms} could approximately predict 53% of the variation in the % increase in shot put test from the power position. These results suggests that leg press rate of force development may be used as a simple laboratory test to monitor performance in track and field throws as well as to evaluate the athlete's swiftness before a competition and/or after every training mesocycle. Regular examination of muscle architecture characteristics might provide insights into training adaptation induced by strength/power training programs.

Key words: Throwing performance, power training, rate of force development, muscle ultrasonography, shot put.

Περιεχόμενα

Πρακτικό επταμελούς εξεταστικής επιτροπής	iv
Ευχαριστίες	v
Περίληψη	vi
Abstract	viii
Κατάλογος Σχημάτων	xiii
Κατάλογος Πινάκων	xiv
Κατάλογος Συμβόλων και Συντομογραφιών	xvi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος	3
1.2 Σημασία της έρευνας	4
1.3 Ερευνητικά ερωτήματα	4
1.4 Ερευνητικές υποθέσεις	5
1.5 Οριοθετήσεις και Περιορισμοί	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	6
2.1 Οι αθλητικές ρίψεις	6
2.2 Προπόνηση δύναμης και ισχύος στις αθλητικές ρίψεις	9
2.2.1 Φορμάρισμα στις αθλητικές ρίψεις	11
2.2.2. Προπόνηση ισχύος με υψηλά και χαμηλά φορτία	14
2.3. Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης στις αθλητικές ρίψεις	17
2.3.1 Σχέση ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με την άλιπη μάζα και την αρχιτεκτονική δομή των μυών	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	24
3.1 Μέθοδος πρώτης μελέτης	24
3.1.1 Ερευνητικός σχεδιασμός πρώτης μελέτης	24
3.1.2 Περιγραφή δοκιμαζόμενων	25
3.1.3 Προπόνηση ισχύος με χαμηλές και υψηλές αντιστάσεις	26
3.1.4 Περιγραφή των οργάνων μέτρησης	30
3.1.5 Περιγραφή των δοκιμασιών	32

3.1.5.1 Αξιολόγηση των σωματομετρικών χαρακτηριστικών	32
3.1.5.2 Αξιολόγηση της αγωνιστικής ρίψης	33
3.1.5.3 Αξιολόγηση της ριπτικής ικανότητας	33
3.1.5.4 Αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος	35
3.1.5.5. Αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης (RFD)	37
3.1.5.6 Αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης (1-MAE)	38
3.1.5.7 Αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μύος με υπερηχογραφία	41
3.1.5.8 Ανάλυση σύστασης σώματος	42
3.1.5.9 Υπολογισμός αντίληψης κόπωσης (RPE)	42
3.1.6 Στατιστική ανάλυση	43
3.2 Μέθοδος δεύτερης μελέτης	44
3.2.1 Ερευνητικός σχεδιασμός δεύτερης μελέτης	44
3.2.2 Περιγραφή δοκιμαζόμενων	45
3.2.3 Προπόνηση	45
3.2.4 Περιγραφή των οργάνων μέτρησης	47
3.2.5 Περιγραφή των δοκιμασιών	47
3.2.6 Στατιστική ανάλυση	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	49
4.1 Αποτελέσματα 1 ^{ης} μελέτης	50
4.1.1 Σωματομετρικά χαρακτηριστικά	50
4.1.2 Αγωνιστική ρίψη	51
4.1.3 Συνδυαστική ριπτική ικανότητα	52
4.1.4 Κατακόρυφα άλματα	53
4.1.5 Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης (RFD)	54
4.1.6 Μέγιστη δύναμη (1-MAE)	56
4.1.7 Αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μύος	57
4.1.8 Άλιπη μάζα	58
4.1.9 Αντίληψη κόπωσης	59
4.2 Αποτελέσματα 2 ^{ης} μελέτης	60
4.2.1 Σωματομετρικά χαρακτηριστικά	60

4.2.2 Αλλαγές στην αγωνιστική ρίψη, στη ριπτική ικανότητα, στη μυϊκή δύναμη και στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης	60
4.2.3 Αλλαγές στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και στη σωματική σύσταση	62
4.2.4 Συσχετίσεις και πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση ανάμεσα στην αγωνιστική ριπτική επίδοση και στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός	63
4.2.5 Συσχέτιση ριπτικής ικανότητας και μυϊκής δύναμης με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης	63
4.2.6 Συσχέτιση ριπτικής ικανότητας και μυϊκής δύναμης με την αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και την άλιπη μάζα	65
4.2.7 Συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της άλιπης μάζας	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ	69
5.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων πρώτης μελέτης	69
5.1.1 Η επίδραση του φορμαρίσματος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις στην αγωνιστική ριπτική επίδοση και στη συνδυαστική ριπτική ικανότητα	69
5.1.2. Σύγκριση της προπόνησης ισχύος με χαμηλά και υψηλά φορτία σε παραμέτρους ισχύος, δύναμης, ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και αντίληψης κόπωσης	72
5.1.3 Αλλαγές στην άλιπη μάζα και στην αρχιτεκτονική δομή του μυός μετά από προπόνηση ισχύος με χαμηλές και υψηλές αντιστάσεις	75
5.1.4 Συμπεράσματα και πρακτικές εφαρμογές	76
5.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων δεύτερης μελέτης	78
5.2.1 Σχέση ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και ριπτικής ικανότητας	78
5.2.1.1 Σχέση της μυϊκής δύναμης με τη ριπτική ικανότητα και τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης	80
5.2.1.2 Σχέση ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και άλιπης μάζας	81
5.2.2 Σχέση αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης	81
5.2.2.1 Σχέση αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της ριπτικής	83

ικανότητας	
5.2.3 Σχέση ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών με την αγωνιστική ρίψη και τη ριπτική ικανότητα	84
5.2.4 Συμπεράσματα και πρακτικές εφαρμογές	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	96
ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ	97
ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΓΟΝΕΑ	99
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΣΩΜΑΤΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	101
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΡΙΨΕΩΝ	102
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΡΙΨΕΩΝ ΣΦΑΙΡΑΣ	103
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΘΕΤΩΝ ΑΛΜΑΤΩΝ	104
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ RFD	105
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ (1-ΜΑΕ)	106
1η Δημοσιευμένη εργασία:	107
Zaras ND, Stasinaki ANE, Krase AA, Methenitis SK, Karampatsos GP, Georgiadis GV, Spengos KM, Terzis GD. Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance. <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> . 2014; 28(12): 3484-3495	
2 ^η Δημοσιευμένη εργασία:	119
Zaras ND, Stasinaki ANE, Methenitis SK, Krase AA, Karampatsos GP, Georgiadis GV, Spengos KM, Terzis GD. Rate of force development, muscle architecture and performance in young competitive track and field throwers. <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> . 2015, Ahead of print.	

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1.1 Κατάταξη των ριπτικών αγωνισμάτων με βάση το βάρος οργάνου στην ταχοδυναμική σχέση.	8
--	---

Σχήμα 3.1.1 Πειραματικός σχεδιασμός πρώτης μελέτης. Ο διασταυρούμενος διαχωρισμός οδηγεί σε δύο ομάδες προπόνησης ισχύος από 13 αθλητές ρίψεων. Οι μετρήσεις T1 και T3 αντιπροσωπεύουν τις αρχικές μετρήσεις του σχεδιασμού ενώ οι μετρήσεις T2 και T4 αντιπροσωπεύουν τις τελικές μετρήσεις.	24
Σχήμα 3.2.1 Πειραματικός σχεδιασμός δεύτερης μελέτης. Οι αρχικές μετρήσεις έγιναν την περίοδο T1 και οι τελικές την περίοδο T2.	44
Σχήμα 4.1.2.1 Ποσοστιαίες αυξήσεις στην αγωνιστική ριπτική ικανότητα μετά από 2 εβδομάδες φορμαρίσματος με χαμηλά και υψηλά φορτία, *P < 0.01.	51
Σχήμα 4.1.2.2 Ατομικές αλλαγές στην επίδοση στη δισκοβολία μετά από φορμάρισμα με 30% (Α) και με 85% (Β) της 1-ΜΑΕ. Το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία αύξησε περισσότερο την αγωνιστική ρίψη στη δισκοβολία (P = 0,005).	52
Σχήμα 4.1.5.1 Ποσοστιαίες αλλαγές στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης, *P < 0,05.	56

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.2.1.1. Διάρκεια και επίδραση φορμαρίσματος σε παραμέτρους δύναμης και ισχύος. Προσαρμοσμένος πίνακας από Mujika et al., (2004)	13
Πίνακας 2.3.1 Σχέση άλιπης μάζας και επίδοσης στα ριπτικά αγωνίσματα του κλασικού αθλητισμού.	20
Πίνακας 3.1.1 Αναλυτικό προπονητικό πρόγραμμα προπόνησης ισχύος, ρίψεων και πλειομετρικών στην περίοδο φορμαρίσματος σε αθλητές ρίψεων	28
Πίνακας 3.2.1. Αναλυτικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την προπόνηση 10 εβδομάδων σε αθλητές/τριες ρίψεων για ανάπτυξη της δύναμης, της ισχύος και της αγωνιστικής ριπτικής επίδοσης.	46
Πίνακας 3.2.2 Δείκτες αξιοπιστίας μετρήσεων, ICC.	49
Πίνακας 4.1.1.1 Σωματομετρικά χαρακτηριστικά πριν και μετά από φορμάρισμα με χαμηλά και υψηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.	50

Πίνακας 4.1.4.1 Αναλυτικά αποτελέσματα στα κατακόρυφα άλματα μετά από φορμάρισμα με χαμηλά και υψηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.	54
Πίνακας 4.1.5.1 Αναλυτικά αποτελέσματα στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στο εμβαδόν καμπύλης δύναμης / χρόνου μετά από φορμάρισμα με χαμηλά και υψηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.	55
Πίνακας 4.1.6.1 Αναλυτικά αποτελέσματα της μυϊκής δύναμης μετά από τα δύο φορμαρίσματα με υψηλά και χαμηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.	57
Πίνακας 4.1.7.1 Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός μετά από 2 εβδομάδες φορμάρισμα με υψηλά και χαμηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.	58
Πίνακας 4.1.8.1 Σωματική σύσταση μετά τα δύο φορμαρίσματα.	58
Πίνακας 4.2.1.2 Αλλαγές σε ριπτική ικανότητα, μυϊκή δύναμη και ρυθμό εφαρμογής της δύναμης σε χρονικές περιόδους από 50ms έως 250ms, μετά από 10 εβδομάδες προπόνηση δύναμης-ισχύος.	61
Πίνακας 4.2.3.1 Αλλαγές στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και στην άλιπη μάζα.	62
Πίνακας 4.2.5.1 Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ασκήσεων της ριπτικής ικανότητας και της μέγιστης δύναμης με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης.	64
Πίνακας 4.2.6.1 Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις δοκιμασίες της ριπτικής ικανότητας και της μυϊκής δύναμης με τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός.	65
Πίνακας 4.2.6.2 Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις δοκιμασίες της ριπτικής ικανότητας και της μυϊκής δύναμης με τις παραμέτρους της άλιπης μάζας.	66
Πίνακας 4.2.7.1 Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της άλιπης μάζας με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης.	67

Πίνακας 4.2.7.2 Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις ποσοστιαίες μεταβολές της άλιπης μάζας, της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και του εμβαδόν καμπύλης δύναμης/χρόνου.

68

Κατάλογος Συμβόλων και Συντομογραφιών

RFD	Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης
Impulse	Χώρος εμβαδού καμπύλης δύναμης/χρόνου
IPF	Μέγιστη ισομετρική δύναμη
1-MAE	Μέγιστος Αριθμός Επαναλήψεων
SQJ	Κατακόρυφο άλμα από ημικάθισμα
CMJ	Κατακόρυφο άλμα με αιώρηση κορμού
Borg Scale	Κλίμακα αντιλαμβανόμενης κόπωσης από 1-10
RPE	Δείκτης αντίληψης κόπωσης του Borg, 1982
ns	Μη στατιστικά σημαντικό
N	Μέγεθος δείγματος
r	Δείκτης συσχέτισης μεταβλητών r-Pearson
p	Επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας
ICC	Δείκτης αξιοπιστίας μέτρησης
ms	Χρονική περίοδος σε χιλιοστά του δευτερολέπτου
↑, ↓, ↔	Δείχνουν: αύξηση, μείωση, καμία αλλαγή
≈	Περίπου
Αρχιτεκτονικά	Αναφέρονται στο πάχος του μυός, τη γωνία
Χαρακτηριστικά	πρόσφυσης των μυϊκών δεματίων με την απονεύρωση του μυός και το μήκος των μυϊκών δεματίων μέσα σε ένα μυ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αθλητικές ρίψεις του κλασικού αθλητισμού είναι η σφαιροβολία, η δισκοβολία, ο ακοντισμός και η σφυροβολία. Η επίδοση στα ριπτικά αγωνίσματα στηρίζεται, σε μεγάλο βαθμό, στην παραγωγή μυϊκής ισχύος (Kyriazis et al., 2009). Η μυϊκή ισχύς εξαρτάται κυρίως από τη μυϊκή μάζα, την κατανομή των μυϊκών ινών αλλά και το επίπεδο της νευρικής ενεργοποίησης των πρωταγωνιστών μυών (Moritani, 2002, Cormie et al., 2011). Η προπόνηση δύναμης, με υψηλά φορτία, φαίνεται να επηρεάζει αυτά τα βιολογικά χαρακτηριστικά και να αυξάνει τη ριπτική ικανότητα σε νέους αθλητές ρίψεων, βελτιώνοντας τη μυϊκή δύναμη κυρίως μέσω της μυϊκής υπερτροφίας (Terzis et al., 2008). Αντίστοιχα, η προπόνηση ισχύος, με χαμηλά φορτία, αυξάνει τη ριπτική ικανότητα σε αρχάριους ρίπτες, βελτιώνοντας κυρίως την ταχύτητα της μυϊκής συστολής, ενώ συντηρείται το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου ΙΙx σε υψηλά επίπεδα (Zaras et al., 2013). Φαίνεται, ότι τόσο η προπόνηση δύναμης όσο και η προπόνηση ισχύος (βαλλιστική) αυξάνουν τη ριπτική ικανότητα σε αρχάριους ρίπτες, αλλά με διαφορετικές μυϊκές προσαρμογές. Παράλληλα, η αποπροπόνηση 4 εβδομάδων δεν μειώνει τη ριπτική επίδοση, αλλά αυξάνει το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου ΙΙx, με αποτέλεσμα τη συντήρηση της ριπτικής επίδοσης σε υψηλά επίπεδα (Terzis et al., 2008). Ωστόσο, το ερώτημα που δημιουργείται είναι πώς επηρεάζει η προπόνηση ισχύος με διαφορετικά φορτία την αγωνιστική ριπτική επίδοση σε αθλητές ρίψεων και μάλιστα στη κρίσιμη φάση του φορμαρίσματος.

Το φορμάρισμα είναι η περίοδος πριν από τον αγώνα στόχο που διακρίνεται από την απότομη ελάττωση του προπονητικού όγκου, μείωση της κόπωσης από την προπόνηση και αύξηση της επίδοσης σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Mujika et al., 2004, Bosquet et al., 2007, Turner, 2011, Le Meyer et al., 2012). Κατά τη περίοδο του φορμαρίσματος προτείνεται η προπόνηση ισχύος είτε με υψηλά φορτία (> 80% της 1-MAE) είτε με χαμηλά φορτία (< 40% της 1-MAE).

Μελέτες δείχνουν ότι η προπόνηση ισχύος με υψηλά φορτία αυξάνει τη μέγιστη δύναμη, τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και κατά προέκταση τη μυϊκή ισχύ (Häkkinen et al., 1987, McBride et al., 2002). Αντίστοιχα, η προπόνηση ισχύος με χαμηλά φορτία προσεγγίζει περισσότερο στην αθλητική πρακτική, ευνοεί την ανάπτυξη του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και με τη σειρά της αυξάνει τη μυϊκή ισχύ (McBride et al., 2002, Young και Bilby, 1993, Kyröläinen et al., 2005). Ωστόσο, δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα σχετικά με την επίδραση της προπόνησης ισχύος με χαμηλά και υψηλά φορτία στη ριπτική επίδοση και σε παραμέτρους δύναμης, ισχύος και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης σε αθλητές ρίψεων.

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την μέγιστη παραγωγή ισχύος είναι ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης. Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης αξιολογεί το μέγεθος της δύναμης που μπορεί να εφαρμόσει ένας αθλητής στη μονάδα του χρόνου, στην αρχή της μυϊκής συστολής (Aagaard et al., 2002). Μελέτες στα αγωνίσματα των ρίψεων δείχνουν ότι η χρονική διάρκεια παραγωγής δύναμης κατά τη φάση της τελικής προσπάθειας κυμαίνεται από 140ms έως 240ms (Zatsiorsky et al., 1981, Bartlett and Best, 1988, Bartlett, 1992, Gutierrez et al., 2002). Παρά το γεγονός ότι ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης είναι πολύ σημαντικός για τη σύντομη εφαρμογή της δύναμης, δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα αξιολόγησης του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης σε αθλητές ρίψεων. Σε μελέτη με αθλητές σφαιροβολίας, αξιολογήθηκε ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης στην ισομετρική άσκηση έλξεις μπάρας από τους μηρούς και βρέθηκε ότι μετά από 8 εβδομάδες προπόνησης δύναμης-ισχύος ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης αυξάνεται κατά 19,6% αλλά δεν σχετίζεται με τη ριπτική επίδοση (Stone et al., 2003). Ωστόσο, παραμένει αδιευκρίνιστο το ερώτημα εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της ριπτικής επίδοσης σε αθλητές ρίψεων και εάν η αυτή συσχέτιση αλλάζει με την προπόνηση ισχύος.

Ένας από τους βασικούς στόχους της προπόνησης σε όλα τα ριπτικά αγωνίσματα είναι η αύξηση της άλιπης μάζας. Η άλιπη μάζα σχετίζεται με τη ριπτική επίδοση (Morrow et al., 1982, Terzis et al., 2008) αλλά όχι κατά τη

διάρκεια τη διάρκεια της αγωνιστικής περιόδου, τουλάχιστον για τους αθλητές της σφαιροβολίας με τον περιστροφικό παλμό (Kyriazis et al., 2010). Μάλιστα, η άλιπη μάζα των κάτω άκρων σχετίζεται με τη ριπτική επίδοση (Terzis et al., 2010), κάτι το οποίο ενισχύει την αντίληψη ότι οι αθλητές των ρίψεων χρειάζονται υψηλή άλιπη μάζα στα κάτω άκρα για την επίτευξη υψηλής ριπτικής επίδοσης. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της άλιπης μάζας δεν έχει ακόμη διερευνηθεί.

Με τη χρήση της μυϊκής υπερηχογραφίας, υπάρχει πλέον η δυνατότητα να αξιολογηθούν τα βασικά αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των μυών: το πάχος, η γωνία και το μήκος των μυϊκών δεματίων (Blazevich, 2006). Τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν ιδιαίτερη προσαρμοστικότητα μετά από προπόνηση δύναμης και ισχύος (Aagaard et al., 2001, Cormie et al., 2010, Blazevich et al., 2003, Nimphius et al., 2012) ενώ μελέτες δείχνουν ότι το μήκος των μυϊκών δεματίων σχετίζεται με την επίδοση στους δρόμους ταχύτητας (Abe et al., 2000, Kumagai et al., 2000, Nimpus et al., 2012) και στα κατακόρυφα άλματα (Earp et al., 2010). Ωστόσο, δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα αναφορικά με τη σχέση των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών με τη ριπτική ικανότητα. Ομοίως, η σχέση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών των μυών παραμένει αδιευκρίνιστη. Σε πρόσφατη ερευνητική εργασία βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 10-30ms με το μήκος δεματίων στον γαστροκνήμιο στα άλματα βάθους και στα άλματα με αιώρηση (Earp et al., 2011). Όμως, η σχέση αυτή χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση, ιδιαίτερα σε μεγαλύτερα χρονικά περιθώρια (>100ms) που προσεγγίζουν περισσότερο στην αθλητική πρακτική των αθλητικών ρίψεων.

Προς απάντηση αυτών των ερωτημάτων έγιναν δύο μελέτες με σκοπό: α) να μελετηθεί η επίδραση της προπόνησης ισχύος με χαμηλές και υψηλές αντιστάσεις στην περίοδο κορύφωσης της επίδοσης σε αθλητές ρίψεων και β) να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της ριπτικής ικανότητας πριν και μετά από προπόνηση δύναμης-ισχύος, σε αθλητές ρίψεων.

1.1 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος

Όπως προκύπτει και από την εισαγωγή παραμένουν αδιευκρίνιστα: α) η επίδραση της προπόνησης ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις στην περίοδο του φορμαρίσματος σε αθλητές ρίψεων και β) η σχέση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της αρχιτεκτονικής δομής των μυών και της ριπτικής επίδοσης μετά από προπόνησης δύναμης-ισχύος σε αθλητές ρίψεων.

1.2 Σημασία της έρευνας

Η σημασία των μελετών έγκειται:

A) Στη σύγκριση δύο διαφορετικών φορτίων προπόνησης ισχύος τόσο ως προς την αγωνιστική ρίψη όσο και σε παραμέτρους δύναμης, ισχύος και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, κατά τη περίοδο φορμαρίσματος. Τα αποτελέσματα έχουν άμεση πρακτική εφαρμογή στο σχεδιασμό προγραμμάτων φορμαρίσματος σε αθλητές ρίψεων, ενώ η σύγκριση των δύο διαφορετικών φορτίων προπόνησης εξηγεί τις προσαρμογές των αθλητών σε παραμέτρους δύναμης, ισχύος και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης.

B) Στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της ριπτικής επίδοσης, αλλά και στις αλλαγές που προκύπτουν σε αυτές της συσχετίσεις μετά από την προπονητική παρέμβαση δύναμης-ισχύος, σε αθλητές ρίψεων. Τα αποτελέσματα έχουν άμεση πρακτική εφαρμογή στην αξιολόγηση των προσαρμογών που προκύπτουν από την προπόνηση δύναμης-ισχύος, αλλά και στην εκτίμηση της αγωνιστικής ετοιμότητας σε αθλητές ρίψεων.

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα

Πρώτο ερευνητικό ερώτημα: Το φορμάρισμα πριν τον αγώνα-στόχο είναι καλύτερο να γίνεται με υψηλές ή χαμηλές αντιστάσεις σε αθλητές ρίψεων;

Δεύτερο ερευνητικό ερώτημα: Η προπόνηση ισχύος με χαμηλά και με υψηλά φορτία βελτιώνουν τις παραμέτρους δύναμης, ισχύος και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, σε αθλητές ρίψεων;

Τρίτο ερευνητικό ερώτημα: Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της ριπτικής επίδοσης;

Τέταρτο ερευνητικό ερώτημα: Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών του έξω πλατύ μηριαίου μυός;

1.4 Ερευνητικές υποθέσεις

Πρώτη ερευνητική υπόθεση: Τόσο η προπόνηση ισχύος με χαμηλά φορτία όσο και η προπόνηση ισχύος με υψηλά φορτία θα βελτιώσουν τη ριπτική επίδοση στη φάση του φορμαρίσματος.

Δεύτερη ερευνητική υπόθεση: Η προπόνηση ισχύος με υψηλά φορτία θα βελτιώσει περισσότερο τις παραμέτρους δύναμης, ισχύος και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης σε σύγκριση με την προπόνηση ισχύος με χαμηλά φορτία.

Τρίτη ερευνητική υπόθεση: Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης θα αποτελεί καλό δείκτη πρόβλεψης της ριπτικής επίδοσης.

Τέταρτη ερευνητική υπόθεση: Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης θα συσχετίζεται με την αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός.

1.5 Οριοθετήσεις και Περιορισμοί

1. Στις μελέτες συμμετείχαν αθλητές ρίψεων από όλα τα ριπτικά αγωνίσματα.
2. Στις μελέτες συμμετείχαν αθλητές και των δύο φύλων.
3. Το επίπεδο των αθλητών που συμμετείχαν στις μελέτες ήταν μέσου επιπέδου ρίπτες με 4,5 χρόνια εμπειρίας σε αγώνες και προπόνηση αντιστάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

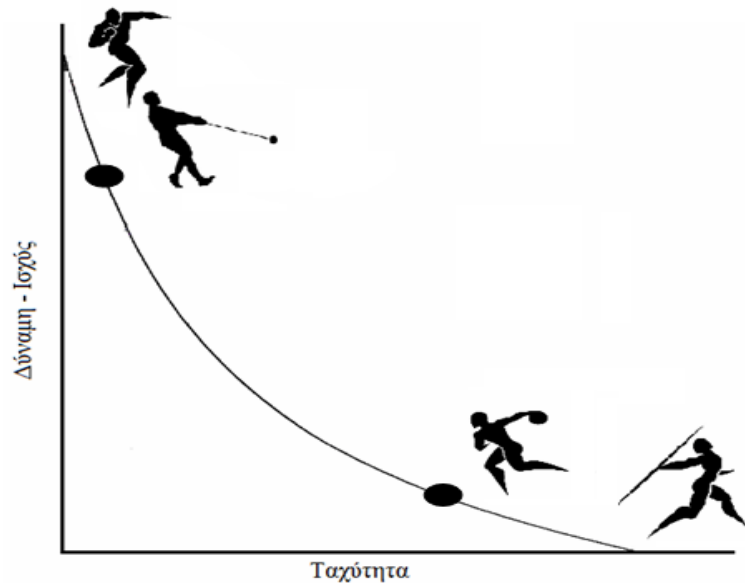
2.1 Οι αθλητικές ρίψεις

Τα ριπτικά αγωνίσματα του κλασικού αθλητισμού είναι η σφαιροβολία, η σφυροβολία, η δισκοβολία και ο ακοντισμός. Η επίδοση στις αθλητικές ρίψεις στηρίζεται στην υψηλή παραγωγή ισχύος (Zatsiorsky et al., 1981, Kyriazis et al., 2009). Η μυϊκή ισχύς εξαρτάται από πολλούς νευρομυϊκούς παράγοντες, όπως το μέγεθος της μυϊκής μάζας, η κατανομή των μυϊκών ινών τύπου II, το επίπεδο νευρικής ενεργοποίησης των πρωταγωνιστών μυών αλλά και από την αρχιτεκτονική δομή του μυός (Moritany, 2002, Cormie et al., 2010). Πράγματι, παρατηρώντας τους αθλητές των ρίψεων είναι ξεκάθαρο ότι διακρίνονται για τα σωματικά τους προσόντα αλλά και για την ικανότητα να εκτελούν με πολύ υψηλή ταχύτητα και με ακρίβεια την τεχνική του παλμού σε κάθε ριπτικό αγώνισμα. Στις ρίψεις ο ιδανικός συνδυασμός βιομηχανικών και βιολογικών παραγόντων μπορούν να δώσουν πληροφορίες τόσο για την σωστή εκτέλεση του παλμού, αλλά και για τις αντίστοιχες προσαρμογές του αθλητή (πχ. μυϊκές, νευρικές) από το εκάστοτε προπονητικό ερέθισμα.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας φαίνεται ότι οι βιομηχανικοί παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την απόσταση βολής σε όλα τα ριπτικά αγωνίσματα είναι η ταχύτητα, η γωνία και το ύψος απελευθέρωσης (Hubbard et al., 2001, Bature, 2010, Shaa, 2010). Μάλιστα, η ταχύτητα απελευθέρωσης είναι ο σπουδαιότερος παράγοντας καθώς μικρές αυξήσεις στην ταχύτητα μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ μεγαλύτερη ριπτική επίδοση (Lichtenberg and Wills, 1997, Gutiérrez et al., 2002). Αντίστοιχα, η γωνία απελευθέρωσης μπορεί να βελτιωθεί μέσω εξειδικευμένης προπόνησης ενώ το ύψος απελευθέρωσης εξαρτάται περισσότερο από το σωματικό ανάστημα του αθλητή (Shaa, 2010). Οι ριπτικοί παλμοί με τη σειρά τους επηρεάζονται από θεμελιώδεις νόμους της φυσικής όπως η φυγόκεντρος και η κεντρομόλος δύναμη (πχ. οι δυνάμεις που ασκούνται στο

όργανο της σφύρας κατά την περιστροφή), τα τρία αξιώματα του Newton (αδράνεια, επιτάχυνση, δράση αντίδραση), αλλά και από την έλξη της βαρύτητας ($g = 9,81\text{m/sec}^2$). Φαίνεται λοιπόν ότι η επίδοση στα ριπτικά αγωνίσματα εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων που καθιστούν τις αθλητικές ρίψεις στα δυσκολότερα αγωνίσματα.

Οι ριπτικοί παλμοί χωρίζονται σε περιστροφικούς και ευθύγραμμους. Συγκεκριμένα τα αγωνίσματα της δισκοβολίας, της σφυροβολίας, αλλά και της σφαιροβολίας πραγματοποιούνται με περιστροφή ενώ τα αγωνίσματα του ακοντισμού και της σφαιροβολίας (ευθύγραμμος παλμός) πραγματοποιούνται με ευθύγραμμους παλμούς. Οι ρίψεις γίνονται εντός της κονίστρας του στίβου ενώ τα ριπτικά όργανα έχουν για άντρες και γυναίκες τα εξής βάρη: σφαίρα-σφύρα 7,26kg και 4kg, δίσκος 2kg και 1kg, ακόντιο 800gr και 600gr, αντίστοιχα. Μάλιστα, εάν κατατάξουμε κάθε αγώνισμα στην ταχοδυναμική σχέση σύμφωνα με το βάρος του οργάνου φαίνεται ότι οι απαιτήσεις για δύναμη είναι υψηλότερες στα αγωνίσματα της σφαίρας – σφύρας και μικρότερες στα αγωνίσματα δίσκου – ακοντίου (Zatsiorsky and Kraemer, 2005, σχήμα 2.1.1). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι αθλητές που χρειάζονται περισσότερη δύναμη ώστε να πετύχουν μεγαλύτερη ριπτική επίδοση πρέπει να αφιερώνουν περισσότερο χρόνο στην ανάπτυξη της μυϊκής μάζας αλλά και στη βελτίωση της μυϊκής δύναμης. Αυτό βέβαια δεν αναιρεί το ρόλο της μυϊκής δύναμης στους δισκοβόλους και στους ακοντιστές αλλά ενισχύει το διαχωρισμό της προπόνησης με αντιστάσεις και τα φορτία προπόνησης σε κάθε ρίπη.



Σχήμα 2.1.1. Κατάταξη των ριπτικών αγωνισμάτων με βάση το βάρος οργάνου στην ταχοδυναμική σχέση.

Πέρα από τις διαφορές στους παλμούς και την εξειδίκευση της προπόνησης κάθε ριπτικού αγωνίσματος, υπάρχουν συγκεκριμένες ριπτικές ασκήσεις που πραγματοποιούνται από όλους τους αθλητές των ρίψεων όχι μόνο για την εξάσκηση της ριπτικής ικανότητας, αλλά και για την αξιολόγηση της μυϊκής ισχύος ολόκληρου του σώματος. Συγκεκριμένα, οι προασκήσεις με τις σφαίρες όπως η ρίψη εμπρός με δύο χέρια και η ρίψη πίσω με δύο χέρια αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της προπόνησης των αθλητών. Μάλιστα, μελέτες έχουν δείξει την υψηλή συσχέτιση που έχουν αυτές οι ασκήσεις με την αγωνιστική ριπτική επίδοση (Terzis et al., 2010), αλλά και με παραμέτρους δύναμης και ισχύος (Whittington et al., 2009, Zaras et al., 2013, Stasinaki et al., 2015). Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ακόμη και ασκήσεις της σφαιροβολίας, όπως η ρίψη με μέτωπο στο πεδίο ρίψης ή ακόμη και η ρίψη σφαίρας από τελική διπλή στήριξη, ώστε να εκπαιδευτεί ο νέος ρίπτης σε θεμελιώδη τεχνικά χαρακτηριστικά των παλμών, αλλά και να αξιολογηθεί ο έμπειρος ρίπτης σε δοκιμασίες ισχύος με χαμηλότερες τεχνικές απαιτήσεις.

Από τη σύντομη ανάλυση των απαιτήσεων της προπόνησης στα αγωνίσματα των ρίψεων, φαίνεται ότι η προπόνηση με αντιστάσεις αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του προπονητικού σχεδιασμού των αθλητών. Μάλιστα δεδομένα από μελέτες δείχνουν ότι όσο ο αθλητής πλησιάζει τον αγώνα στόχο τόσο μειώνεται ο προπονητικός όγκος προς όφελος της αύξησης της προπονητικής έντασης, με στόχο τη βελτίωση της ριπτικής επίδοσης (Kyriazis et al., 2009, Judje et al., 2007). Όμως, το ερώτημα που δημιουργείται είναι πιο φορτίο αντίστασης θα χρησιμοποιηθεί στην προπόνηση ισχύος, ιδιαίτερα στην κρίσιμη περίοδο κορύφωσης της επίδοσης πριν από τον αγώνα στόχο.

2.2 Προπόνηση δύναμης και ισχύος στις αθλητικές ρίψεις

Οι αθλητικές ρίψεις είναι αγωνίσματα που απαιτούν από τον αθλητή υψηλή μυϊκή δύναμη και ισχύ (Zatsiorsky, 1981). Παρόλο που οι αθλητές των ρίψεων αφιερώνουν μεγάλο μέρος της προετοιμασίας τους στη προπόνηση δύναμης, λίγες μελέτες έχουν ερευνήσει την ακριβή επίδραση της προπόνησης δύναμης στη ριπτική ικανότητα. Είναι πρακτικά δύσκολο να εφαρμοστούν εξειδικευμένα προπονητικά προγράμματα σε υψηλού επιπέδου αθλητές των ρίψεων, στα πλαίσια ερευνητικών εργασιών. Ωστόσο, ερευνητικές μελέτες έχουν γίνει σε χαμηλότερου επιπέδου αθλητές και μέτρια γυμνασμένους δοκιμαζόμενους.

Σε έρευνα των Stone et al., (2003), μελετήθηκε η επίδραση της προπόνησης δύναμης και δύναμης-ισχύος στην επίδοση στη σφαιροβολία. Οι δοκιμαζόμενοι ήταν 5 άντρες και 6 γυναίκες, ηλικίας 18 - 21 ετών, σωματικού βάρους $101,3 \pm 25,3\text{kg}$ και με ποσοστό λιπώδους ιστού $21,9 \pm 8,9\%$. Οι δοκιμαζόμενοι είχαν εμπειρία από 1 - 6 χρόνια προπόνησης στη σφαιροβολία και 0,5 - 4 χρόνια στην προπόνηση με αντιστάσεις. Η πειραματική διαδικασία διήρκησε 8 εβδομάδες και χωρίστηκε σε 2 περιόδους διάρκειας 4 εβδομάδων. Πριν την έναρξη της προπόνησης οι αθλητές ακολούθησαν ένα πρόγραμμα αντιστάσεων υψηλού όγκου (3 σειρές x 10επαναλήψεις) για 6 εβδομάδες. Η ένταση και ο όγκος του προπονητικού προγράμματος που ακολούθησαν

περιλάμβανε ασκήσεις δύναμης με αντιστάσεις για όλες τις μυϊκές ομάδες, ενώ παράλληλα οι αθλητές εκτελούσαν προπόνηση στη ρίψη σφαίρας, εκρηκτικές ασκήσεις (πλειομετρικές) και ασκήσεις της άρσης βαρών.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η επίδοση στη ρίψη σφαίρας αυξήθηκε στις πρώτες 4 εβδομάδες από $11,99 \pm 1,9m$ σε $12,25 \pm 1,8m$, αντίστοιχα. Από την αρχική μέτρηση στην τελική μέτρηση, η ριπτική επίδοση αυξήθηκε κατά 5,5% σε $12,63 \pm 1,7m$. Η συσχέτιση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης (IPF) με την επίδοση στη σφαίρα ήταν: $r = 0,67$ στην αρχή, $r = 0,74$ μετά τις 4 εβδομάδες και $r = 0,75$ στο τέλος της προπόνησης. Ωστόσο, δεν παρουσιάστηκαν συσχετίσεις ανάμεσα στις ποσοστιαίες μεταβολές των μεταβλητών μετά από την προπονητική παρέμβαση, ενώ σημαντικές μεταβλητές όπως ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης και το αρασέ, δεν παρουσίασαν κάποια σημαντική συσχέτιση με τη ρίψη ή με κάποια άλλη μεταβλητή.

Σε πρόσφατη μελέτη των Kyriazis et al., (2009), ερευνήθηκε η επίδραση 12 εβδομάδων προπόνησης με αντιστάσεις σε 11 κορυφαίους σφαιροβόλους με περιστροφικό παλμό (επίδοση από 14,19m έως 19,98m). Παρά το γεγονός ότι ο στόχος της μελέτης ήταν να διερευνηθούν οι αλλαγές στη νευρική ενεργοποίηση των κάτω άκρων, η μελέτη έδειξε ότι μετά την προπονητική παρέμβαση οι αθλητές βελτίωσαν τη ριπτική τους επίδοση κατά 4,7%. Η μελέτη έδειξε επίσης ότι η μυϊκή ισχύς από το άλμα με αιώρηση, μια συνήθης αξιολόγηση μυϊκής ισχύος, παρουσίασε υψηλή συσχέτιση με τη ρίψη σφαίρας ($r = 0,7$, $p < 0,05$). Όμως, ούτε εδώ παρουσιάστηκαν συσχετίσεις μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών των μεταβλητών. Συγκεντρωτικά, οι μελέτες των Kyriazis et al., (2009), και των Stone et al., (2003), δείχνουν ότι πράγματι η μακροχρόνια προπόνηση (> 8 εβδομάδων) με στόχο την ανάπτυξη της μυϊκής δύναμης-ισχύος βελτιώνει τη ριπτική επίδοση σε μέτρια και καλά γυμνασμένους ρίπτες. Τα δεδομένα αυτά ενισχύονται και από μελέτες σε αρχάριους ρίπτες όπου μετά από προπόνηση δύναμης και ισχύος αυξάνεται η ριπτική επίδοση (Terzis et al., 2008, Zaras et al., 2013, Stasinaki et al., 2015). Ωστόσο, το ερώτημα που δημιουργείται είναι πια είναι η επίδραση της προπόνησης ισχύος στη ριπτική επίδοση σε

βραχυπρόθεσμες περιόδους προπόνησης, όπως στην κρίσιμη περίοδο του φορμαρίσματος.

2.2.1 Φορμάρισμα στις αθλητικές ρίψεις

Πριν απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα είναι απαραίτητο να αναφερθούν βασικές αρχές του σχεδιασμού της προπόνησης. Πιο αναλυτικά, ο ετήσιος προπονητικός σχεδιασμός των αθλητών των ρίψεων για την ανάπτυξη της ριπτικής ικανότητας, σχεδιάζεται με βάση τη θεωρία του περιοδισμού. Ο περιοδισμός είναι μια θεωρία που αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 από τον Σοβιετικό L.P.Matveyev. Όπως κάθε οργανωμένο σύστημα, έτσι και η αρχή του περιοδισμού, επιδιώκει την επιστημονική σχεδίαση των αθλητικών προπονητικών προγραμμάτων, έτσι ώστε να προσαρμόζονται όλοι εκείνοι οι παράγοντες, που θα οδηγήσουν αρχικά στη μείωση των αρνητικών φαινομένων, όπως η υπερκόπωση και στη συνέχεια στη μεγιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης-επίδοσης (Fleck, 1999).

Η θεωρία του περιοδισμού ορίζει την υποδιαίρεση του ετήσιου προπονητικού κύκλου σε μικρότερες χρονικές περιόδους με συγκεκριμένους στόχους. Πιο αναλυτικά, ο ετήσιος σχεδιασμός της προπόνησης ορίζεται ως μακρόκυκλος και χωρίζεται σε επιμέρους χρονικές περιόδους που στοχεύουν στο λεπτομερή σχεδιασμό της προπόνησης. Συγκεκριμένα, ο μακρόκυκλος υποδιαιρείται σε επιμέρους μεσόκυκλους οι οποίοι αποτελούνται περίπου από 2 - 6 προπονητικές εβδομάδες, ανάλογα την προπονητική φάση (προετοιμασίας ή αγωνιστική) και το προπονητικό υπόβαθρο του αθλητή. Τέλος, οι μεσόκυκλοι υποδιαιρούνται σε μικρόκυκλους, που μπορούν να διαρκούν από 3 - 12 ημέρες (Plisk and Stone, 2003, Prestes et al., 2009). Η κρίσιμότερη περίοδος του περιοδισμού είναι το φορμάρισμα, δηλαδή η κορύφωση της επίδοσης σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και σε συγκεκριμένο αγώνα στόχο. Η βασική θεωρία του φορμαρίσματος αναφέρει ότι η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από απότομη ελάττωση του προπονητικού όγκου, μείωση της κόπωσης από την

προπόνηση και αύξηση της επίδοσης σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Mujika et al., 2003, 2004, Bosquet et al., 2007).

Μελέτες σε αθλητές αντοχής, κολύμβησης, τριάθλου και ποδηλασίας, δείχνουν ότι η διάρκεια του φορμαρίσματος για αυξήσεις στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) κυμαίνεται περίπου στις 15 ημέρες. Αντίστοιχα, στα ίδια αγωνίσματα αλλά με στόχο την αύξηση της μέγιστης δύναμης και ισχύος, η περίοδος φορμαρίσματος κυμαίνεται σε περίπου 16,6 ημέρες (πίνακας 2.2.1.1). Μάλιστα, τα οφέλη του φορμαρίσματος στην επίδοση φαίνεται να δίνουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα από 3 - 6% στην επίδοση (Mujika et al., 2003, 2004). Παρά το γεγονός ότι το φορμάρισμα είναι σημαντικό σε πολλά αγωνίσματα ισχύος και αντοχής, δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα που να αξιολογούν την επίδραση του φορμαρίσματος στη ριπτική επίδοση.

Στη μοναδική μελέτη που διερεύνησε την επίδραση της αποπροπόνησης στη ριπτική ικανότητα, συμμετείχαν 17 μέτρια γυμνασμένοι δοκιμαζόμενοι χωρίς ιδιαίτερη εμπειρία στις αθλητικές ρίψεις. Οι δοκιμαζόμενοι ολοκλήρωσαν 14 εβδομάδες προπόνησης δύναμης και έπειτα ακολούθησε μία περίοδος 4 εβδομάδων πλήρους αποχής από την προπόνηση με αντιστάσεις. Η μελέτη έδειξε αύξηση της ριπτικής επίδοσης κατά 6 - 12% μετά τις 14 εβδομάδες προπόνησης. Μάλιστα, η χρονική διάρκεια των 4 εβδομάδων προπόνησης δεν μετέβαλλε τη ριπτική επίδοση. Η σταθεροποίηση της επίδοσης εξηγήθηκε κυρίως από τις μυϊκές προσαρμογές της κατανομής των μυϊκών ινών τύπου II, δηλαδή τη μετατροπή των μυϊκών ινών τύπου IIa σε τύπου IIx κατά τη περίοδο της αποπροπόνησης (Terzis et al., 2008). Το φαινόμενο αυτό ενίσχυσε την ικανότητα παραγωγής ισχύος στους δοκιμαζόμενους αφού οι μυϊκές ίνες τύπου IIx είναι υπεύθυνες για μέγιστη παραγωγή ισχύος σε σύγκριση με τις τύπου I και IIa (Harridge, 1996, Andersen and Aagaard, 2000).

Πίνακας 2.2.1.1. Διάρκεια και επίδραση φορμαρίσματος σε παραμέτρους δύναμης και ισχύος. Προσαρμοσμένος πίνακας από Mujika et al., (2004).

Μελέτη	Αθλητές	Ημέρες Φορμαρίσματος	Αλλαγές σε Δύναμη & Ισχύ	Αξιολόγηση Επίδοσης	Αλλαγές στην Επίδοση (%)
Costill et al., (1985)	Κολυμβητές	14	↑	46–1509m Αγώνας	2,2 – 4,6
Cavanaugh & Musch,(1989)	Κολυμβητές	28	↑	46–1509m Αγώνας	2,0 – 3,8
Prins et al., (1991)	Κολυμβητές	28	↔	Δεν Καταγράφηκε	Καταγράφηκε
Johns et al., (1992)	Κολυμβητές	10--14	↑	46–366m Αγώνας	2,0 – 3,7
Shepley et al., (1992)	Δρομείς	7	↑	Διάδρομος Μέχρι Εξάντλησης	6 – 22
Gibala et al., (1994)	Ασκούμενοι Δύναμης	10	↑	Δύναμη Έκτασης Αγκώνα 5 km	≈ 7
Houmard et al., (1994)	Δρομείς	7	↔	Χρονομέτρηση σε Διάδρομο	2,8
Martin et al., (1994)	Ποδηλάτες	14	↑	Wingate test	8
Raglin et al., (1996)	Κολυμβητές	28--35	↑	Αγώνας 100 m, 400 m	2
Hooper et al., (1998)	Κολυμβητές	14	↑	Χρονομέτρηση 100 m	↔
Hooper et al., (1999)	Κολυμβητές	14	↔	Χρονομέτρηση	↔
Trappe et al., (2000)	Κολυμβητές	21	↑	Αγώνας	3,0 – 4,7
Συγκεντρωτικά		≈ 16,6 ημέρες			≈ 4,7% ↑

Δυστυχώς δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα που να διερευνούν την επίδραση του φορμαρίσματος στη ριπτική επίδοση σε αθλητές ρίψεων. Μάλιστα, θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να συγκριθούν διαφορετικά προγράμματα προπόνησης ισχύος, με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις, ως προς τη ριπτική επίδοση αλλά και σε σημαντικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη ριπτική επίδοση, όπως η δύναμη, τα κατακόρυφα άλματα και ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης.

2.2.2. Προπόνηση ισχύος με υψηλά και χαμηλά φορτία

Η μυϊκή ισχύς μπορεί να βελτιωθεί με προπόνηση ισχύος είτε με χαμηλές είτε με υψηλές αντιστάσεις. Πράγματι, μελέτες δείχνουν ότι η προπόνηση ισχύος είτε με χαμηλά είτε με υψηλά φορτία βελτιώνουν τη μυϊκή ισχύ (Potteiger et al., 1999, Andersen and Aagaard, 2000, Kyroläinen et al., 2005, Winchester et al., 2008, Lamas et al., 2010, Zaras et al., 2013). Ωστόσο, λίγα γνωρίζουμε αναφορικά με τη σύγκριση χαμηλών και υψηλών φορτίων προπόνησης ισχύος, τόσο στη ριπτική επίδοση όσο και σε παραμέτρους ισχύος και δύναμης.

Σε μελέτη των McBride et al., (2002), μελετήθηκε η επίδραση της προπόνησης ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις σε παραμέτρους δύναμης, ισχύος και ταχύτητας. Στη μελέτη συμμετείχαν 26 αθλητικά ενεργοί άρρενες, οι οποίοι χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες προπόνησης: στην ομάδα με υψηλά φορτία, στην ομάδα με χαμηλά φορτία και στην ομάδα ελέγχου. Οι δύο ομάδες γυμνάστηκαν για 8 εβδομάδες στην άσκηση του άλματος με μπάρα στους ώμους με υψηλά και χαμηλά φορτία. Συγκεκριμένα, η ομάδα με υψηλά φορτία χρησιμοποίησε το 80% της 1-MAE για 4 σειρές των 6 επαναλήψεων, ενώ η ομάδα με τα χαμηλά φορτία χρησιμοποίησε το 30% της 1-MAE για 5 σειρές των 6 επαναλήψεων. Ανεξάρτητα από το φορτίο προπόνησης, οι ασκούμενοι είχαν την οδηγία να εκτελούν την άσκηση με μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Όπως ήταν αναμενόμενο οι δοκιμαζόμενοι της ομάδας 30% αύξησαν περισσότερο την ταχύτητα στο άλμα με το 30% της 1-MAE σε σύγκριση με του δοκιμαζόμενους της ομάδας του 80% ($\approx 8,5\%$ έναντι $\approx -0,3\%$, αντίστοιχα). Αντίστοιχα, η ταχύτητα στα 20 μέτρα αυξήθηκε περισσότερο μετά από τα χαμηλά φορτία ($\approx -2,2\%$ έναντι $\approx 4,2\%$). Η δύναμη αυξήθηκε παρόμοια και στις δύο ομάδες ($\approx 8,2\%$ για την ομάδα 30% και $\approx 10,5\%$ για την ομάδα 80%). Τα αποτελέσματα της μελέτης υποστηρίζουν ότι η ταχύτητα με την οποία εκτελείται η κίνηση στη προπόνηση με αντιστάσεις προκαλεί αντίστοιχες προσαρμογές στις δοκιμασίες που απαιτούν μέγιστη ταχύτητα. Η προπόνηση με χαμηλά φορτία είχε μεγαλύτερη ταχύτητα εκτέλεσης της άσκησης από ότι με τα υψηλά φορτία. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν τη σημαντικότητα της ταχύτητας εκτέλεσης

των ασκήσεων με αντιστάσεις αλλά και τη μεταφορά της στη δοκιμασίες που απαιτούν ταχύτητα.

Από την παραπάνω μελέτη φαίνεται η σημαντικότητα της ταχύτητας εκτέλεσης των ασκήσεων στις αντιστάσεις και το μέγεθος της μεταφοράς της ικανότητας σε δοκιμασίες ταχύτητας. Αντίστοιχα, σε μελέτη των Young και Bilby, (1993), μελετήθηκε η επίδραση της μέγιστης ταχύτητας εκτέλεσης στην άσκηση του ημικαθίσματος με υψηλά φορτία σε παραμέτρους δύναμης ισχύος και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης. Η προπόνηση διήρκησε 7 ½ εβδομάδες, ενώ στη μελέτη συμμετείχαν 18 μέτρια γυμνασμένοι ασκούμενοι οι οποίοι χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: υψηλής ταχύτητας και χαμηλής ταχύτητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης αυξήθηκε περισσότερο στην ομάδα υψηλής ταχύτητα (68,7% ομάδα υψηλής ταχύτητας, έναντι 23,5% ομάδα χαμηλής ταχύτητας) ενώ η μέγιστη δύναμη περισσότερο στην ομάδα χαμηλής ταχύτητας (31% έναντι 12,4% στην υψηλή ταχύτητα ομάδα). Ωστόσο, δεν βρέθηκαν διαφορές ανάμεσα στις ομάδες ως προς τη μυϊκή ισχύ στο κατακόρυφο άλμα ή ως προς την άλιπη μάζα. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι τουλάχιστον σε μέτρια γυμνασμένους ασκούμενους, η ταχύτητα εκτέλεσης της άσκησης επηρεάζει μόνο το ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και όχι παραμέτρους δύναμης, ισχύος και άλιπης μάζας. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν είναι ξεκάθαρο αν η προπόνηση ισχύος με χαμηλές ή υψηλές αντιστάσεις βελτιώνει τη ριπτική επίδοση.

Σε μελέτη των Zaras et al., (2013), αξιολογήθηκε η επίδραση δύο διαφορετικών προπονητικών προγραμμάτων, της προπόνησης δύναμης και της προπόνησης ισχύος, στη ριπτική ικανότητα. Στη μελέτη συμμετείχαν 17 μέτρια γυμνασμένοι δοκιμαζόμενοι οι οποίοι χωρίστηκαν στις δύο ομάδες: στην ομάδα δύναμης (85% της 1-MAE) και στην ομάδα ισχύος (30% της 1-MAE). Η προπόνηση διήρκησε 6 εβδομάδες όσο περίπου διαρκεί ένας προπονητικός μεσόκυκλος. Η μελέτη έδειξε ότι η ριπτική ικανότητα αυξάνεται το ίδιο μετά από προπόνηση δύναμης (7 - 13%) και ισχύος (6 - 12%) αλλά με διαφορετικές μυϊκές

προσαρμογές. Συγκεκριμένα, η προπόνηση δύναμης αύξησε την μέγιστη δύναμη, την ισχύ αλλά και την υπερτροφία του έξω πλατύ μηριαίου μύος, ενώ μείωσε σημαντικά το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου ΙΙx. Αντίθετα, η προπόνηση ισχύος δεν αύξησε τόσο τη μυϊκή δύναμη, αύξησε περισσότερο όμως την μυϊκή ισχύ, ενώ συντηρήθηκε το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου ΙΙx σε παρόμοια επίπεδα με την αρχική μέτρηση. Παράλληλα, παρατηρήθηκε επιλεκτική υπερτροφία μόνο στις μυϊκές ίνες τύπου ΙΙx. Το βασικό συμπέρασμα της μελέτης ήταν ότι τόσο η προπόνηση δύναμης με υψηλές αντιστάσεις, όσο και η προπόνηση ισχύος με χαμηλές αντιστάσεις αυξάνουν παρόμοια τη ριπτική ικανότητα μετά από 6 εβδομάδες προπόνησης αλλά με διαφορετικές μυϊκές προσαρμογές.

Αντίστοιχα, σε πρόσφατη μελέτη των Stasinaki et al., (2015), ερευνήθηκε η επίδραση της συνδυαστικής προπόνησης δύναμης-ισχύος με δύο διαφορετικά μοντέλα προπόνησης: την ίδια ημέρα προπόνηση δύναμης-ισχύος και σε ξεχωριστές ημέρες προπόνηση δύναμης και ισχύος. Στη μελέτη συμμετείχαν 18 μέτρια γυμνασμένοι δοκιμαζόμενοι. Η μελέτη διήρκησε 6 εβδομάδες ενώ οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: στην ομάδα που έκανε σύνθετη (την ίδια ημέρα δύναμη-ισχύ), και στην ομάδα που έκανε συνδυαστική (διαφορετικές ημέρες δύναμη και ισχύ). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η ριπτική ικανότητα και το κατακόρυφο άλμα αυξήθηκαν μόνο στην συνδυαστική ομάδα κατά 9%, ενώ η μέγιστη δύναμη αυξήθηκε και στις δύο ομάδες. Παράλληλα παρατηρήθηκε υπερτροφία μόνο στην σύνθετη ομάδα ενώ καμία αλλαγή δεν βρέθηκε στο ποσοστό των μυϊκών ινών μετά από τις προπονητικές παρεμβάσεις. Τα δεδομένα της μελέτης υποστηρίζουν ότι η μυϊκή ισχύς αυξάνεται περισσότερο μετά από συνδυαστική προπόνηση ενώ η σύνθετη προπόνηση οδηγεί περισσότερο στην υπερτροφία και στην ανάπτυξη της μέγιστης δύναμης.

Από τις παραπάνω μελέτες φαίνεται ότι η προπόνηση ισχύος με χαμηλά φορτία αυξάνει τη ριπτική ικανότητα τουλάχιστον σε μέτρια γυμνασμένους δοκιμαζόμενους. Μάλιστα, η προπόνηση δύναμης οδηγεί σε ίδια αποτελέσματα αλλά με διαφορετικές μυϊκές προσαρμογές. Θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να

διερευνηθεί η επίδραση της προπόνησης ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις σε αθλητές των ρίψεων και μάλιστα στη κρίσιμη φάση της κορύφωσης της επίδοσης. Επιπρόσθετα, θα είχε ιδιαίτερη αξία για τον προπονητή να ερευνηθεί η επίδραση αυτών των προπονητικών προγραμμάτων σε παραμέτρους δύναμης, ισχύος, στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης, αλλά και στην αρχιτεκτονική δομή των μυών.

2.3. Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης στις αθλητικές ρίψεις

Τα ριπτικά αγωνίσματα του κλασικού αθλητισμού χαρακτηρίζονται για τη σύντομη χρονική περίοδο που διαρκεί η τελική προσπάθεια ώστε να εφαρμόσουν οι αθλητές όσο το δυνατό περισσότερη δύναμη. Συγκεκριμένα, βιομηχανικές αναλύσεις δείχνουν ότι η τελική προσπάθεια στα ριπτικά αγωνίσματα διαρκεί από 150ms έως και 240ms (Bartlett, 1991, Gutiérrez et al., 2002, Bartlett and Best, 1988, Zatsiorsky et al., 1981). Σε τόσο μικρά χρονικά διαστήματα είναι αδύνατο ένας αθλητής να εφαρμόσει την μέγιστη δύναμή του. Σε αυτές τις σύντομες χρονικές περιόδους αξιολογείται ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης. Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης είναι μια παράμετρος η οποία καθορίζει την δύναμη που μπορεί να παραχθεί στην αρχική φάση της μυϊκής συστολής, στα πρώτα ms της μυϊκής προσπάθειας (Aagaard et al., 2002). Όσο ταχύτερα αναπτύσσεται η δύναμη τόσο ταχύτερα εκτελούνται εκρηκτικές κινήσεις που απαιτούν σύντομη παραγωγή μυϊκής ισχύος όπως οι αθλητικές ρίψεις (Wilson et al., 1995). Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης ορίζεται από την καμπύλη δύναμης / χρόνου και αξιολογεί τις εκρηκτικές δυναμικές ικανότητες του νευρομυϊκού συστήματος (Gruber et al., 2004).

Παρά το γεγονός ότι ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης είναι σημαντική παράμετρος για την επίδοση στις αθλητικές ρίψεις, ο ρόλος του και η σχέση του με τη ριπτική επίδοση δεν έχει ερευνηθεί. Συγκεκριμένα, σε μελέτη των Stone et al., (2003), μελετήθηκε η σχέση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με παραμέτρους ρίψης, δύναμης και ισχύος. Στη μελέτη συμμετείχαν ρίπτες

κολεγιακού επιπέδου της σφαιροβολίας. Μετά από 8 εβδομάδες προπόνησης δύναμης και δύναμης-ισχύος βρέθηκε αύξηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά 19,6% αλλά η μελέτη δεν παρουσίασε κάποια συσχέτιση της δοκιμασίας του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με τη ριπτική επίδοση. Μάλιστα, στη μελέτη αναφέρεται ότι ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης δεν παρουσίασε κάποια σημαντική συσχέτιση με καμία μεταβλητή που μετρήθηκε. Ωστόσο, η μέγιστη ισομετρική δύναμη από τη δοκιμασία έλξεις μπάρας από μηρούς ισομετρικά, εμφάνισε υψηλές συσχετίσεις με τη ρίψη, αλλά ξανά δεν παρουσιάστηκε καμία συσχέτιση μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών των μεταβλητών. Η συγκεκριμένη μελέτη είναι η μόνη που έχει διερευνήσει μεταβολές του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης μετά από προπονητική παρέμβαση σε αθλητές ρίψεων. Οπότε, το ερώτημα που παραμένει είναι εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της ριπτικής επίδοσης σε αθλητές ρίψεων. Μάλιστα, θα ήταν πολύ ενδιαφέρον εάν αυτή η σχέση εξετάζονταν πριν και μετά από προπονητική παρέμβαση.

Μελέτες σε αθλητές δείχνουν ότι η προπόνηση δύναμης βελτιώνει τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης, ενώ επιστημονικά δεδομένα υποστηρίζουν ότι σχετίζεται με τη μέγιστη δύναμη και την παραγωγή ισχύος. Πράγματι, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης μπορεί να βελτιωθεί μετά από μακρόχρονη προπόνηση με αντιστάσεις με στόχο την ανάπτυξη της μυϊκής δύναμης αλλά και την ανάπτυξη της μυϊκής ισχύος (Aagaard et al., 2002, Holtermann et al., 2007, Andersen et al. 2005, Andersen et al., 2007, Mikkola et al., 2007). Ωστόσο, μελέτη των Häkkinen et al., (1987), σε καλά γυμνασμένους αθλητές της άρσης βαρών δείχνει ότι οι προσαρμογές στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης μετά από μακροχρόνια προπόνηση ίσως να μην είναι ορατές σε «φτασμένους» προπονητικά αθλητές. Βέβαια, το ερώτημα που δημιουργείται είναι εάν σχετίζεται ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης με παραμέτρους δύναμης και ισχύος σε αθλητές ρίψεων.

Στη μόνη μελέτη που έχει διερευνήσει μέχρι σήμερα αυτή τη σχέση έχει βρεθεί ότι η προπόνηση δύναμης – ισχύος οδηγεί σε αύξηση της μέγιστης δύναμης και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης σε αθλητές ρίψεων κολεγιακού

επιπέδου (Stone et al., 2003). Όμως, στη μελέτη δεν βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών δύναμης και ισχύος με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης. Αντίστοιχα δεδομένα έχουν βρεθεί και σε αθλητές της ποδηλασίας και της πάλης (Stone et al., 2004; McGuigan et al., 2006). Ωστόσο, σε αθλητές της άρσης βαρών, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης φαίνεται να έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στην επίδοση. Σε 6 κορυφαίες αθλήτριες της άρσης βαρών των ΗΠΑ βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με την επίδοση στο αρασέ ($r = 0,79$), στο επολέ ζετέ ($r = 0,69$) και στο σύνολο ($r = 0,80$) (Haff et al., 2005). Ωστόσο το μικρό δείγμα ($N = 5$) αλλά και η άσκηση (έλξη μπάρας από τους μηρούς) που επιλέχθηκε περιορίζουν τη γενίκευση των αποτελεσμάτων.

2.3.1 Σχέση ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με την άλιπη μάζα και την αρχιτεκτονική δομή των μυών

Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης επηρεάζεται από πολλούς βιολογικούς παράγοντες όπως η μυϊκή μάζα, το ποσοστό κατανομής των μυϊκών ινών και το επίπεδο νευρική ενεργοποίηση των πρωταγωνιστών μυών (Aagaard et al., 2002, Schilling et al., 2005). Ωστόσο, πολύ λίγα γνωρίζουμε για τη σχέση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με την άλιπη μάζα και την αρχιτεκτονική δομή των μυών.

Η άλιπη μάζα έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στην επίδοση στις αθλητικές ρίψεις. Μελέτες δείχνουν ότι η άλιπη μάζα σχετίζεται με την επίδοση στα ριπτικά αγωνίσματα. Ωστόσο, στο αγώνισμα της σφαιροβολίας με τον περιστροφικό παλμό, φαίνεται ότι η άλιπη μάζα δεν συσχετίζεται με την ριπτική επίδοση ιδιαίτερα στην αγωνιστική περίοδο (Kyriazis et al., 2010, Terzis et al., 2012). Αυτό εξηγείται από άλλους νευρομυϊκούς παράγοντες όπου λόγω της περιστροφικής κίνησης του παλμού επηρεάζεται περισσότερο η ανάπτυξη της ταχύτητας. Στον πίνακα 2.3.1, παρουσιάζονται οι μελέτες που έχουν διερευνήσει τη σχέση της άλιπης μάζας με τη ριπτική επίδοση.

Πίνακας 2.3.1. Σχέση άλιπης μάζας και επίδοσης στα ριπτικά αγωνίσματα του κλασικού αθλητισμού.

Μελέτη	Αθλητές	Επίδοση (m)	Μέθοδος αξιολόγησης άλιπης μάζας	Άλιπη Μάζα (kg)	Σχέση με επίδοση (Pearson's r)
De rose and Briazus, 1976	5 Σφαιροβόλοι	16,72 - 19,28	Δερματοπτυχές και διάμετροι	48,6 ± 8,7	0,94*
Morrow et al., 1982	13 Σφαιροβόλοι	17,57 ± 0,71	Υδροστατική ζύγιση και	95,6 ± 5,9	0,72**
	9 Σφυροβόλοι	55,09 ± 4,77	ζύγιση και	88,3 ± 5,5	ns
	15 Δισκοβόλοι	53,56 ± 6,02	χρήση της	93,9 ± 6,9	0,55*
	12 Ακοντιστές	64,85 ± 4,97	εξίσωσης Siri	82,9 ± 6,4	ns
Terzis et al., 2008	11 Αρχάριοι ρίπτες	10,15 ± 1	DXA	62,7 ± 2,0	0,85**
Whittington et al., 2009	7 κολεγιακού επιπέδου ρίπτες	ΔΑ	DXA	80,4 ± 5,9	0,81*
		Περίοδος προετοιμασίας		85,4 ± 1,7	0,70*
Kyriazis et al., 2010	8 Σφαιροβόλοι	15,26 ± 1,67	DXA		
		Αγωνιστική περίοδος		85,5 ± 1,7	0,55, ns
		15,98 ± 2,11			
Terzis et al., 2010	6 Σφυροβόλοι	72,17 ± 6,4	DXA	85,9 ± 3,9	0,81*
Terzis et al., 2012	1 Σφαιροβόλος	20,36	DXA	84,0 – 92,0	ns

* p < 0,05, ** p < 0,01, ΔΑ = Δεν Αναφέρθηκε, DXA = Dual X Ray Absorptiometry

Παρά το γεγονός ότι η ανάπτυξη της άλιπης μάζας αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επίτευξη υψηλής ριπτικής επίδοσης, δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα αναφορικά με τη σχέση της με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης. Θεωρητικά, όσο μεγαλύτερη άλιπη μάζα έχει ένας αθλητής τόσο μεγαλύτερη εξωτερική δύναμη και ισχύ μπορεί να παράγει (Ikai & Fukunaga, 1968). Όμως, οι

αθλητές των ρίψεων δεν επιθυμούν υπέρμετρη μυϊκή υπερτροφία, γιατί κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε υπερβολική αύξηση της γωνίας των μυϊκών δεματίων με αποτέλεσμα τη δυσκολότερη μεταφορά δύναμης στους τένοντες. Αντίστοιχα, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης στηρίζεται στην ταχύτητα παραγωγής δύναμης και όχι στη μέγιστη δύναμη. Η σχέση μεταξύ της άλιπης μάζας και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης θα πρέπει να διερευνηθεί.

Η αρχιτεκτονική δομή του μυός αναφέρεται στο πάχος του μυός, στη γωνία που σχηματίζουν τα μυϊκά δεμάτια με την απονεύρωση του μυός και στο μήκος των μυϊκών δεματίων. Μελέτες δείχνουν ότι τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του μυός παρουσιάζουν ιδιαίτερη προσαρμοστικότητα μετά από προπόνηση δύναμης και ισχύος (Aagaard et al., 2001, Blazevich et al., 2003, Cormie et al., 2010, Zaras et al., 2013, Stasinaki et al., 2015). Το πάχος του μυός δείχνει κυρίως αλλαγές που προκύπτουν από την προπόνηση υπερτροφίας. Αντίστοιχα, όσο το πάχος αυξάνεται, αυξάνεται και η γωνία πρόσφυσης των μυϊκών δεματίων. Μάλιστα, μελέτες δείχνουν ότι η αλλαγή στη γωνία των μυϊκών δεματίων μπορεί να ενισχύσει την απόδοση σε μία μέγιστη μυϊκή προσπάθεια όπως η ρίψη, άμεσα μετά από μια έντονη παρέμβαση (μεταδιεγερτική διευκόλυνση, Sale, 2004). Τέλος, το μήκος των μυϊκών δεματίων σχετίζεται με την παραγωγή ισχύος. Συγκεκριμένα, έχει βρεθεί ότι το μήκος των μυϊκών δεματίων σχετίζεται τόσο με τις δοκιμασίες ταχύτητας (Abe et al., 2001, Kumagai et al., 2000, Nimphius et al., 2012) όσο και με τα κατακόρυφα άλματα (Earp et al., 2010, 2011, Stasinaki et al., 2015). Ωστόσο, άγνωστη παραμένει η σχέση των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών των μυών τόσο με τη ριπτική επίδοση όσο και με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης.

Σε πρόσφατη μελέτη διερευνήθηκε η επίδραση 6 εβδομάδων συνδυαστικής και σύνθετης προπόνησης δύναμης και ισχύος στη ριπτική ικανότητα και στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός (Stasinaki et al., 2015). Στη μελέτη συμμετείχαν 18 μέτρια γυμνασμένοι ασκούμενοι. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ποσοστό αλλαγής στη ρίψη πίσω με δύο χέρια παρουσίασε στατιστικά

σημαντική συσχέτιση με το ποσοστό αλλαγής στο πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μυός ($r = 0,52$, $p < 0,05$). Αυτά τα δεδομένα δείχνουν ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών και της ριπτικής ικανότητας τουλάχιστον σε μέτρια γυμνασμένους δοκιμαζόμενους. Δυστυχώς, δεν υπάρχουν άλλες επιστημονικές εργασίες που να διερευνούν τη σχέση μεταξύ της αρχιτεκτονικής δομής του μυός και της ριπτικής επίδοσης.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, η σχέση μεταξύ της ριπτικής επίδοσης και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης παραμένει αδιευκρίνιστη. Ομοίως, αδιευκρίνιστη παραμένει και η σχέση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της αρχιτεκτονικής δομής των μυών. Συγκεκριμένα, σε μελέτες με δείγματα από ζώα, έχει βρεθεί ότι η παραγωγή μυϊκής δύναμης σε μεγαλύτερα μήκη μυϊκών δεματίων είναι χρονικά μεγαλύτερη σε σύγκριση με μικρότερου μήκους δεματίων και σε χρονικό διάστημα $< 30\text{ms}$ (Edman & Josephson, 2007). Αυτό εξηγείται από τους συγγραφείς ως καθυστέρηση του μυός να ενεργοποιήσει και να συσπειρώσει τα ενδομυϊκά ελαστικά στοιχεία του μυός. Παρά το γεγονός ότι αυτή η σχέση έχει διερευνηθεί σε βάτραχους, δεν υπάρχουν επαρκεί ερευνητικά δεδομένα σε ανθρώπους.

Συγκεκριμένα, σε μελέτη των Earp et al., (2011), μελετήθηκε η σχέση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με την αρχιτεκτονική δομή του γαστροκνημίου μυός κατά το άλμα βάθους και το άλμα με αιώρηση. Στη μελέτη συμμετείχαν 25 γυμνασμένοι δοκιμαζόμενοι από αγωνίσματα ισχύος (άρση βαρών, αμερικανικού ποδοσφαίρου, στίβου). Η μελέτη έδειξε συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης (10 - 30ms) με το μήκος των μυϊκών δεματίων με τα άλματα βάθους ($r = 0,46$) και αρνητική συσχέτιση με το ρυθμό εφαρμογής της δύναμης (0 - 10ms) με τα άλματα με αιώρηση ($r = 0,48$). Ωστόσο, δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα που να απαντούν στο ερώτημα της σχέσης μεταξύ της αρχιτεκτονικής δομής του μυός και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης. Μάλιστα, θα ήταν εξίσου πολύ ενδιαφέρον εάν ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης μπορούσε να μετρηθεί σε μεγαλύτερα χρονικά σημεία που να προσεγγίζουν περισσότερο στην αθλητική πρακτική των αθλητικών ρίψεων, όπως 50 – 250ms.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτουν πολλά αναπάντητα ερευνητικά ερωτήματα αναφορικά με την επίδραση της προπόνησης ισχύος με διαφορετικά φορτία στη ριπτική επίδοση αλλά και τη σχέση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με τη ριπτική ικανότητα. Με σκοπό την απάντηση αυτών των βασικών ερωτημάτων πραγματοποιήθηκαν δύο μελέτες. Η πρώτη μελέτη διερεύνησε την επίδραση της προπόνησης ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις στη ριπτική επίδοση αλλά και σε παραμέτρους δύναμης, ισχύος, ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και αρχιτεκτονικής δομής των μυών, σε αθλητές ρίψεων. Μάλιστα, τα δύο προπονητικά προγράμματα συγκρίθηκαν ως προς την αποτελεσματικότητά τους σε αυτές τις παραμέτρους, ενώ η εφαρμογή τους έγινε στην κρίσιμη περίοδο του φορμαρίσματος. Η δεύτερη μελέτη διερεύνησε τη σχέση ανάμεσα στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης, την αρχιτεκτονική δομή των μυών και τη ριπτική επίδοση σε αθλητές ρίψεων. Η συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές διερευνήθηκαν πριν και μετά την εφαρμογή προπόνησης δύναμης-ισχύος με στόχο την θερινή αγωνιστική περίοδο.

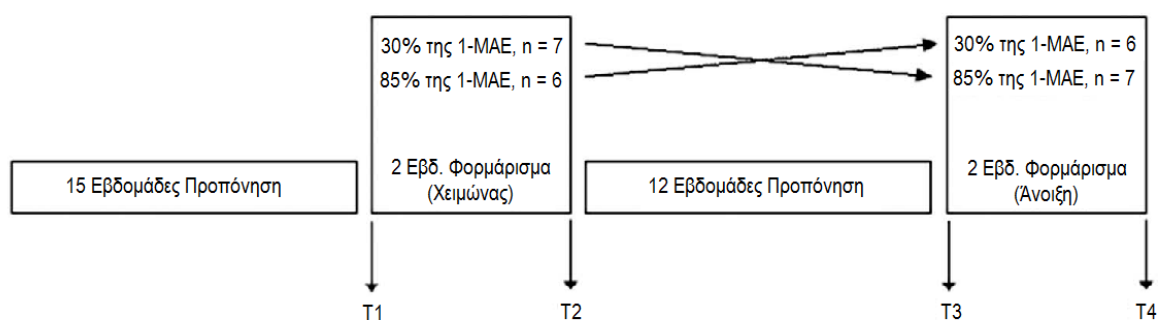
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΣ

3.1 Μέθοδος πρώτης μελέτης

3.1.1 Ερευνητικός σχεδιασμός πρώτης μελέτης

Η πειραματική διαδικασία διήρκησε περίπου 9 μήνες. Η προπόνηση σχεδιάστηκε με βάση τις αρχές του περιοδισμού και στόχευσε σε δύο κορυφώσεις της αγωνιστικής επίδοσης. Οι δύο περιόδοι κορύφωσης της επίδοσης (φορμαρίσματα), πραγματοποιήθηκαν τον Φεβρουάριο στο τέλος της χειμερινής προετοιμασίας και τον Μάιο στο τέλος της θερινής προετοιμασίας. Για την ασφαλέστερη συλλογή των αποτελεσμάτων αλλά και τον έλεγχο της επίδρασης των παρεμβάσεων στις μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε διασταυρούμενος διαχωρισμός των προγραμμάτων ισχύος των αθλητών (Σχήμα 3.1.1). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε τυχαίος διαχωρισμός των αθλητών σε κάθε αγώνισμα στη χειμερινή αγωνιστική περίοδο είτε με χαμηλά είτε με υψηλά φορτία προπόνησης ισχύος. Αντίθετα, στη θερινή αγωνιστική περίοδο πραγματοποιήθηκε η αντίστροφη ανάθεση προπόνησης ισχύος στους αθλητές.



Σχήμα 3.1.1 Πειραματικός σχεδιασμός πρώτης μελέτης. Ο διασταυρούμενος διαχωρισμός οδηγεί σε δύο ομάδες προπόνησης ισχύος από 13 αθλητές ρίψεων. Οι μετρήσεις T1 και T3 αντιπροσωπεύουν τις αρχικές μετρήσεις του σχεδιασμού ενώ οι μετρήσεις T2 και T4 αντιπροσωπεύουν τις τελικές μετρήσεις.

Οι αρχικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μία εβδομάδα πριν την έναρξη των φορμαρισμάτων, ενώ οι τελικές μετρήσεις έγιναν αμέσως μετά το τέλος των 2 εβδομάδων φορμαρίσματος. Η επιλογή των 2 εβδομάδων φορμαρίσματος έγινε διότι είναι η σύνηθες διάρκεια φορμαρίσματος σε αθλητές κολύμβησης, ποδηλασίας αλλά και ασκούμενων δύναμης (Mujika et al., 2004). Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας κάθε αθλητής είχε ολοκληρώσει και τα δύο προπονητικά προγράμματα φορμαρίσματος. Πριν και μετά από τα φορμαρίσματα μετρήθηκαν: η αγωνιστική ρίψη, η ριπτική ικανότητα, το κατακόρυφο άλμα, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, η μέγιστη δύναμη, η αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός, καθώς και η αντίληψη κόπωσης από τα δύο φορμαρίσματα. Στην έναρξη της προπονητικής περιόδου (Οκτώβριος) καθώς και στις περιόδους T2 και T4 πραγματοποιήθηκε έλεγχος σωματικής σύστασης με τη μέθοδο απορρόφησης ακτινών X διπλής ενέργειας (DEXA).

3.1.2 Περιγραφή δοκιμαζόμενων

Στη πρώτη μελέτη συμμετείχαν 13 αθλητές/τριες των ρίψεων από το δυναμικό των αθλητών του ΣΕΓΑΣ. Συγκεκριμένα, οι αθλητές/τριες διακρίνονταν σε 5 αθλητές της δισκοβολίας (3 άρρενες, 2 θύλης), 4 αθλητές της σφυροβολία (2 άρρενες, 2 θύλης), 2 αθλητές της σφαιροβολίας (1 άρρεν, 1 θύλη) και 2 αθλητές του ακοντισμού (1 άρρεν, 1 θύλη). Οι προϋποθέσεις που είχαν οι αθλητές/τριες για να συμμετάσχουν ήταν:

- Να ήταν υγιείς, χωρίς προβλήματα τραυματισμών και με αθλητικό δελτίο πρόσφατα θεωρημένο από σωματειακό ιατρό.
- Να γυμνάζονταν συστηματικά τουλάχιστον τα τελευταία 3 χρόνια και να είχαν συμμετοχή σε αγώνες ρίψεων.
- Να γνώριζαν την τεχνική των ασκήσεων με αντιστάσεις (άρση βαρών) αλλά και την τεχνική πλειομετρικών ασκήσεων.

Οι αθλητές/τριες ενημερώθηκαν για το σκοπό της μελέτης και υπέγραψαν έντυπο συγκατάθεσης. Για τους αθλητές/τριες που ήταν ανήλικοι, ενημερώθηκαν

κατόπιν προσωπικής συνάντησης οι κηδεμόνες και υπέγραψαν έντυπο συναίνεσης και συγκατάθεσης συμμετοχής του παιδιού τους στη μελέτη. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν ότι μπορούσαν να αποχωρήσουν από τη μελέτη όποτε αυτοί θελήσουν.

3.1.3 Προπόνηση ισχύος με χαμηλές και υψηλές αντιστάσεις

Η προπόνηση ισχύος πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικά φορτία αντιστάσεων. Με χαμηλές αντιστάσεις (= 30% της 1-MAE) και με υψηλές αντιστάσεις (= 85% της 1-MAE). Μελέτες προπόνησης με τη χρήση αυτών των φορτίων έχουν δείξει αυξήσεις στη ριπτική ικανότητα μετά από 6 (Zaras et al., 2013) και 8 εβδομάδες (Stone et al., 2003) προπόνησης, αντίστοιχα. Οι ρίπτες, πραγματοποίησαν και τα δύο προγράμματα ισχύος κατά τη διάρκεια των δύο φορμαρισμάτων ενώ το τελικό μοντέλο στατιστικής ανάλυσης σύγκρινε δύο ομάδες: N = 13 αθλητών/τριών με χαμηλά φορτία και N = 13 αθλητών/τριών με υψηλά φορτία.

Πιο αναλυτικά η προπόνηση φορμαρίσματος διήρκησε ακριβώς 2 εβδομάδες. Η προπόνηση με χαμηλές αντιστάσεις παρουσιάζεται στον πίνακα 3.1.1. Οι αθλητές/τριες ήταν εκπαιδευμένοι στην τεχνική εκτέλεση των ασκήσεων καθώς τις χρησιμοποιούσαν καθ' όλη τη διάρκεια των προπονητικών τους ετών. Η επιλογή των ασκήσεων με χαμηλά φορτία έγινε λόγω της άμεσης σχέσης που έχουν με τη ριπτική επίδοση [π.χ. οριζόντιος πάγκος και ρίψη δίσκου $r = 0,75$ (Morrow et al., 1982), άλματα με μπάρα με το 30% της 1-MAE και ρίψη σφαίρας $r = 0,70$ (Kyriazis et al., 2009)]. Οι αθλητές κατά τη διάρκεια του προπονητικού προγράμματος είχαν την οδηγία να εκτελούν τις ασκήσεις με τα χαμηλά φορτία όσο πιο γρήγορα μπορούν ενώ οι ρίψεις με τις αντιστάσεις να γίνονται όσο πιο ψηλά μπορούν.

Η άσκηση ρίψη πάγκος δεν έγινε από τους αθλητές τις σφυροβολίας. Αναλυτικότερα, ο αθλητής ξάπλωνε στον οριζόντιο πάγκο και κρατούσε την μπάρα πάνω από τον θώρακα. Από εκείνη τη θέση και με το παράγγελο του προπονητή «πάμε» κατέβαζε τη μπάρα στο θώρακα (στο ύψος των θηλών) και

από εκεί όσο πιο γρήγορα μπορούσε έσπρωχνε - έριχνε την μπάρα στην αρχική θέση αφήνοντας τις λαβές ώστε να πάει όσο πιο ψηλά. Σε όλες τις ρίψεις πάγκου υπήρχαν τουλάχιστον 2 βοηθοί που συγκρατούσαν το φορτίο στον αέρα. Η μπάρα επιστρέφονταν ομαλά στα χέρια του ασκούμενου, ο οποίος εκτελούσε τις επόμενες επαναλήψεις. Οι αθλητές/τριες της σφυροβολίας εκτελούσαν αντίστοιχα την άσκηση αρασέ με κλειστή λαβή. Η κίνηση είναι ίδια με αυτή του αρασέ αλλά αλλάζει το άνοιγμα της λαβής. Συγκεκριμένα, με τη χρήση ιμάντων (straps) έδεναν τα χέρια τους στην μπάρα, πιο κλειστά από το άνοιγμα των ώμων. Από την όρθια θέση κατέβαζαν την μπάρα μέχρι το ύψος των γονάτων και από εκεί με μέγιστη ταχύτητα τραβούσαν την μπάρα ψηλά και πάνω από το κεφάλι. Ταυτόχρονα, εκτελούσαν κατακόρυφο άλμα λόγω του μεγάλου εύρους κίνησης της άσκησης.

Η άσκηση άλματα από άρση θανάτου πραγματοποιήθηκε από όλους τους αθλητές/τριες. Και εδώ χρησιμοποιήθηκαν ιμάντες για την καλύτερη λαβή των χεριών στη μπάρα. Η άσκηση ξεκινούσε από την αρχική θέση του επωμισμού με τη μόνη διαφορά ότι οι αθλητές χρησιμοποιούσαν πρώτη λαβή και όχι τη συνήθης τρίτη λαβή που χρησιμοποιείται για τις άρσεις θανάτου. Από αυτή τη θέση ξεκινούσαν την έλξη της μπάρας προς τα επάνω ενώ στο τελείωμα της κίνησης, δεύτερο τράβηγμα, πραγματοποιούσαν ταυτόχρονα μέγιστο κατακόρυφο άλμα. Με την ολοκλήρωση του άλματος, η μπάρα κατέβαινε στην αρχική της θέση και αμέσως ξεκινούσε η επόμενη επανάληψη.

Η άσκηση άλματα με μπάρα έγινε με την μπάρα στους ώμους των αθλητών/τριων και ξεκινούσε από όρθια θέση. Από αυτή τη θέση ο αθλητής εκτελούσε ημικάθισμα μέχρι τις 90° και από εκεί πραγματοποιούσε μέγιστο κατακόρυφο άλμα. Μόλις προσγειώνονταν στο έδαφος ξεκινούσε η επόμενη επανάληψη με άμεσο κάθισμα και μέγιστο άλμα. Το πρόγραμμα με τις χαμηλές αντιστάσεις ολοκληρώνονταν με ρίψεις θεραπευτικής μπάλας προς τα επάνω. Η μπάλα για τους άρρενες ζύγιζε 4 κιλά ενώ για τις θύλεις 3 κιλά. Από όρθια θέση και με την μπάλα να κρατιέται με τα δύο χέρια πάνω από το κεφάλι, ο αθλητής πραγματοποιούσε χαμήλωμα της μπάλας μέχρι κάτω από τα γόνατα και ταυτόχρονα λύγιζε τα γόνατα και τον κορμό όπως στην αρχική θέση της άρσης

θανάτου. Από αυτή τη θέση τραβούσε τη μπάλα όσο πιο γρήγορα μπορούσε επάνω και την έριχνε κατακόρυφα ψηλά. Με την προσγείωση της μπάλας στο έδαφος άρχιζε η δεύτερη επανάληψη.

Σε όλες της ασκήσεις αντιστάσεων με χαμηλά φορτία χρησιμοποιήθηκε το 30% της 1-MAE. Η μέγιστη δύναμη αξιολογήθηκε την εβδομάδα πριν την έναρξη του φορμαρίσματος. Τα φορτία δεν άλλαξαν κατά τη διάρκεια των δύο εβδομάδων φορμαρίσματος. Το διάλειμμα που χρησιμοποιούσαν οι ρίπτες ήταν 1½ λεπτό σε όλες τις ασκήσεις.

Πίνακας 3.1.1 Αναλυτικό προπονητικό πρόγραμμα προπόνησης ισχύος, ρίψεων και πλειομετρικών στην περίοδο φορμαρίσματος σε αθλητές ρίψεων.

	Χαμηλά φορτία (30% της 1-MAE)		Υψηλά φορτία (85% της 1-MAE)		
Προπόνηση Ισχύος (3·Εβδ. ⁻¹) [†]	Αρασέ κλειστή λαβή *	4 x 6 ή	Αρασέ *	4 x 2 ή	
	Ρίψεις πάγκου #	4 x 8	Πιέσεις οριζοντίου πάγκου#	4 x 2	
	Άλματα με μπάρα †	4 x 8	Ημικάθισμα †	4 x 4	
	Άρσεις θανάτου με άλμα †	4 x 8	Έλξεις μπάρας από μηρούς †	4 x 4	
	Ρίψεις μπάλας επάνω †	3 x 6	Άλματα σε πάγκο †	3 x 8	
Ρίψεις (3·Εβδ. ⁻¹) [†]	<ul style="list-style-type: none"> • 15-20 ρίψεις με το αγωνιστικό όργανο και μέγιστη ένταση • 12-15 ρίψεις με ελαφρύτερο όργανο και μέγιστη ένταση <ul style="list-style-type: none"> Ρίψεις πίσω με δύο χέρια x8 Ρίψεις εμπρός με δύο χέρια x8 • 10-15 ρίψεις με το αγωνιστικό όργανο, μέγιστη ένταση αλλά και με έμφαση στην τεχνική 				
	Πλειομετρικά (2·Εβδ. ⁻¹) [†]	Άλματα άνευ φόρας	x 8		
		Άλματα τριπλούν	x 6		
Περάσματα εμποδίων		5 x 5			
Ταχύτητες		3 x 30m			

Διάλειμμα στα σετ: 1-2 min, Διάλειμμα στις ασκήσεις: 2-3 min

* = Άσκηση για σφυροβόλους, # = Άσκηση για σφαιροβόλους, δισκοβόλους και ακοντιστές

† = Άσκηση για όλους τους ρίπτες

Η προπόνηση ισχύος με υψηλές αντιστάσεις πραγματοποιήθηκε με φορτία στο 85% της 1-ΜΑΕ. Η επιλογή των ασκήσεων με υψηλά φορτία έγινε και εδώ λόγω της άμεσης σχέσης που έχουν με τη ριπτική επίδοση (Karampatsos et al., 2011, Kyriazis et al., 2009). Οι αθλητές κατά τη διάρκεια προπονητικού προγράμματος είχαν την οδηγία να εκτελούν τις ασκήσεις με τα υψηλά φορτία όσο πιο γρήγορα μπορούν.

Στον πίνακα 3.1.1 παρουσιάζονται οι ασκήσεις που εκτελούσαν οι αθλητές/τριες με τα υψηλά φορτία. Συγκεκριμένα, η άσκηση πιέσεις οριζοντίου πάγκου με μπάρα δεν έγινε από τους σφυροβόλους. Κατά την άσκηση αυτή, ο αθλητής ξάπλωνε στον οριζόντιο πάγκο και κρατούσε την μπάρα πάνω από το θώρακά του. Σκοπός να πραγματοποιήσει την άσκηση με όσο το δυνατό πιο γρήγορη ταχύτητα, ιδιαίτερα στο μειομετρικό κομμάτι της κίνησης. Ο αθλητής κατέβαζε την μπάρα ελεγχόμενα έως το ύψος των θηλών του θώρακα και με μικρή επαφή της μπάρας ωθούσε την μπάρα στην αρχική θέση. Αντίθετα, οι σφυροβόλοι πραγματοποιούσαν την άσκηση του αρασέ. Αναλυτικά, με τη χρήση ιμάντων για πιο σταθερή λαβή, η κίνηση ξεκινούσε με τον αθλητή να κρατάει την μπάρα όρθιος με ανοιχτή λαβή. Από τη θέση αυτή λύγιζε λίγο τα γόνατα και με μια μικρή κάμψη του κορμού προς τα εμπρός έφερνε την μπάρα λίγο πιο πάνω από τα γόνατα. Από αυτή τη θέση (δεύτερο τράβηγμα), τραβούσε την μπάρα με μέγιστη ταχύτητα ψηλά και πάνω από το κεφάλι του.

Η άσκηση έλξεις μπάρας από τους μηρούς έγινε από όλους τους ρίπτες. Η άσκηση ξεκινούσε με τον αθλητή να κρατάει την μπάρα με ιμάντες, σε όρθια θέση μπροστά του, όπως πριν στο αρασέ, αλλά με κλειστή λαβή στο άνοιγμα των ώμων. Από τη θέση αυτή και με ένα πολύ πιο ελαφρύ λύγισμα κορμού και γονάτων, έως ότου η μπάρα φτάσει στη μέση των μηρών, τραβούσε την μπάρα προς τα πάνω με έμφαση την ανύψωση της ωμικής ζώνης και την ακροστασία στους γαστροκνημίους. Αντίστοιχα, η άσκηση του καθίσματος έγινε με τη βοήθεια ενός εμποδίου που ρυθμιζόνταν ανάλογα ώστε να επιτυγχάνεται η γωνία των 90° στα γόνατα. Ο αθλητής με την μπάρα στους ώμους εκτελούσε ημικάθισμα μέχρι να ακουμπήσει η λεκάνη του στο εμπόδιο. Από τη θέση αυτή προσπαθούσε με μέγιστη ταχύτητα να σηκώνεται στην αρχική θέση.

Το πρόγραμμα με τις υψηλές αντιστάσεις ολοκληρώνονταν με επαναλαμβανόμενα άλματα σε πάγκο ύψους 50cm. Ο αθλητής στέκονταν εμπρός από τον πάγκο. Πραγματοποιούσε άλμα και με τα δύο πόδια ώστε να ανεβαίνει επάνω στον πάγκο. Μόλις ανέβαινε, αφήνονταν να πέσει πάλι προς τα πίσω (σημείο όπου ξεκίνησε το πρώτο άλμα) και με ελάχιστη επαφή στο έδαφος προσπαθούσε να ξανανέβει. Σε όλες της ασκήσεις αντιστάσεων με υψηλά φορτία χρησιμοποιήθηκε το 85% της 1-ΜΑΕ. Η μέγιστη δύναμη αξιολογήθηκε την εβδομάδα πριν την έναρξη του φορμαρίσματος. Τα φορτία δεν άλλαξαν κατά τη διάρκεια των δύο εβδομάδων φορμαρίσματος. Το διάλειμμα που χρησιμοποιούσαν οι ρίπτες ήταν 2 λεπτά σε όλες τις ασκήσεις.

3.1.4 Περιγραφή των οργάνων μέτρησης

Για την αξιολόγηση των σωματομετρικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά τύπου Seca 700 Ergogenic Advanced Medical Technology. Η αξιοπιστία του οργάνου πραγματοποιήθηκε με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις φορτίων. Πιο αναλυτικά χρησιμοποιήθηκαν Ολυμπιακοί δίσκοι διαφόρων κιλών και ζυγίστηκαν. Ο δείκτης αξιοπιστίας του οργάνου ήταν $ICC = 1$ ($N = 22$).

Για την αγωνιστική ρίψη χρησιμοποιήθηκαν ριπτικά όργανα Polanik, Berg και Nordic. Τα ριπτικά αυτά όργανα είχαν έγκριση από τους διοργανωτές των αγώνων. Ωστόσο, τα όργανα στην προπόνηση ζυγίστηκαν πριν τις αρχικές μετρήσεις για εξασφάλιση του χαμηλότερου ορίου βάρους του ριπτικού οργάνου. Για την αξιολόγηση της ριπτικής ικανότητας χρησιμοποιήθηκαν σφαίρες Berg. Η απόσταση βολής μετρήθηκε με μεταλλική μετροταινία τύπου Polanik τόσο για την αγωνιστική ρίψη όσο και για τις ασκήσεις της ριπτικής ικανότητας.

Η μέγιστη δύναμη αξιολογήθηκε στις ασκήσεις πιέσεις κάτω άκρων από εδραία θέση σε μηχανήμα, αρασέ, επωμισμός, πιέσεις οριζοντίου πάγκου με μπάρα και βαθύ κάθισμα. Για την αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης χρησιμοποιήθηκαν Ολυμπιακές μπάρες της άρσης βαρών τύπου Eleiko και Uesaka, ενώ τα κιλά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν των ίδιων εταιριών, καθώς

επίσης και της Super Sport. Το μηχάνημα των πιέσεων κάτω άκρων ήταν της εταιρίας Super Sport και σχημάτιζε γωνία 45° με το έδαφος. Επίσης, είχε ενσωματωμένο κινούμενο φορτίο 30kg. Οι ασκήσεις αρασέ, επωμισμός και βαθύ κάθισμα πραγματοποιήθηκαν πάνω σε προπονητικό πλατώ της άρσης βαρών (διαστάσεις 2,5m x 2,5m). Η άσκηση των πιέσεων πάγκου με μπάρα έγινε πάνω σε πάγκο της εταιρίας Pankos. Σε όλες τις μετρήσεις ήταν παρόντες τουλάχιστον δύο βοηθοί ενώ η εγκυρότητα της προσπάθειας στις ασκήσεις της άρσης βαρών, αξιολογήθηκε από ειδικευμένο προπονητή.

Η αλτική ικανότητα αξιολογήθηκε με δύο διαφορετικά άλματα: το άλμα από ημικάθισμα (SQJ), και το άλμα με αιώρηση κορμού (CMJ). Οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν επάνω σε δυναμοδάπεδο διαστάσεων 80cm x 80cm, τύπου WP800 Applied Measurements Ltd Co., Aldermaston, United Kingdom, και με συχνότητα καταγραφής 1 kHz. Τα δεδομένα που συλλέγονταν από τις καμπύλες αλμάτων αποθηκεύονταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και αναλύονταν με το πρόγραμμα Kyowa sensor interface, PCD-320A. Το σήμα που καταγράφονταν η δοκιμασία περνούσε από φίλτρο (secondary low-pass Butterworth filter) σε συχνότητα 20Hz. Μάλιστα, αυτή φαίνεται να είναι ιδανική συχνότητα για αυτές τις δοκιμασίες (McMaster et al., 2014). Ομοίως, για την δοκιμασία του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης χρησιμοποιήθηκε το ίδιο δυναμοδάπεδο το οποίο στερεώθηκε με ειδική κατασκευή στον τοίχο του εργαστηρίου. Χρησιμοποιήθηκε ένα άκαμπτο κάθισμα με ρύθμιση κίνησης εμπρός-πίσω και κάμψης κορμού ώστε να καθορίζεται η γωνία των γονάτων και των ισχύων κατά τη φάση της ισομετρικής δοκιμασίας. Η διαδικασία καταγραφής, αποθήκευσης και το σύστημα ανάλυσης και φίλτρου της καμπύλης του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, ήταν ίδιο όπως αναλυτικά παρουσιάστηκε παραπάνω.

Για την ανάλυση των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών του έξω πλατύ μηριαίου μύος χρησιμοποιήθηκε ο μυϊκός υπέρηχος MicroMaxx Ultrasound System and Sonosite Inc., Bothell, WA, USA. Η καταγραφή των εικόνων του μύος έγινε με 6,5 MHz κεφαλή. Χρησιμοποιήθηκε επίσης μία μεζούρα 1,5m ώστε να υπολογιστεί η απόσταση εφαρμογής του υπερήχου καθώς και ένα ιατρικό

κρεβάτι. Οι εικόνες αποθηκεύονταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και αναλύθηκαν με το λογισμικό Motic Images Plus, 2.0.

Η αξιολόγηση σωματικής σύστασης πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή μέτρησης απορρόφησης ακτινών Χ διπλής ενέργειας (DEXA). Η ανάλυση της σωματικής σύστασης έγινε μέσω του προγράμματος Lunar Radiation Body Composition Program.

Τέλος, μετά την ολοκλήρωση και των τελικών μετρήσεων T4 οι ρίπτες αξιολόγησαν τα δύο προγράμματα ως προς την αντίληψη κόπωσης. Για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης κόπωσης (RPE) όπως έχει διατυπωθεί από τους Borg, (1982), από 0: πολύ εύκολο ερέθισμα, έως 10: πάρα πολύ δύσκολο ερέθισμα. Αντίστοιχα, υπολογίστηκαν ο προπονητικός όγκος των προγραμμάτων, η προπονητική μονοτονία και το προπονητικό στρες.

3.1.5 Περιγραφή των δοκιμασιών

Οι δοκιμασίες ρίψεων, ριπτικής ικανότητας, μέγιστης δύναμης στο αρασέ, στον επωμισμό, στο βαθύ κάθισμα, στον πάγκο αλλά και η προπόνηση των αθλητών/τριων των ρίψεων έγιναν στις αθλητικές εγκαταστάσεις του Εθνικού Γυμναστικού Συλλόγου. Οι σωματομετρήσεις και οι δοκιμασίες των αλμάτων, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της μέγιστης δύναμης στις πιέσεις κάτω άκρων και του υπερήχου έγιναν στο εργαστήριο κλασικού αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Τέλος, η αξιολόγηση της σωματικής σύστασης έγινε στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Όλες οι μετρήσεις παρουσιάζονται αναλυτικά στα παρακάτω υποκεφάλαια.

3.1.5.1 Αξιολόγηση των σωματομετρικών χαρακτηριστικών

Η αξιολόγηση των σωματομετρικών χαρακτηριστικών (σωματική μάζα, σωματικό ανάστημα, δείκτης μάζας σώματος) έγινε στο εργαστήριο κλασικού

αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Συγκεκριμένα, οι αθλητές/τριες, αφαίρεσαν τα παπούτσια τους και μόνο με αθλητική εμφάνιση αγώνων πήραν θέση προσοχής επάνω στη ζυγαριά για την αξιολόγηση της σωματικής μάζας. Έπειτα, ακούμπησαν τις φτέρνες τους ενωμένες στο σημείο του μετρητή αναστήματος και στέκονταν σε θέση προσοχής. Πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις σωματικής μάζας και αναστήματος. Ο μέσος όρος των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις. Ο δείκτης αξιοπιστίας της συγκεκριμένης μέτρησης ήταν ICC = 1, N = 22.

3.1.5.2 Αξιολόγηση της αγωνιστικής ρίψης

Η αγωνιστική ριπτική επίδοση αξιολογήθηκε στις αθλητικές εγκαταστάσεις του Εθνικού Γ.Σ. Συγκεκριμένα, οι αθλητές/τριες πραγματοποίησαν το σύνηθες ζέσταμα με τρέξιμο για περίπου 5 - 8 λεπτά, έντονες διατάσεις και προασκήσεις με τα όργανα των ρίψεων. Στη συνέχεια δόθηκαν 2 - 4 δοκιμαστικές ρίψεις σε κάθε αθλητή/τρια και έπειτα 6 προσπάθειες για επίτευξη μέγιστης επίδοσης. Η καλύτερη προσπάθεια από τις 6 χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση. Τα ριπτικά αγωνίσματα περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο της ανασκόπησης. Σε όλες τις βολές ίσχυαν οι κανονισμοί διεξαγωγής των επίσημων αγώνων ενώ για παρακίνηση των αθλητών χρησιμοποιήθηκαν σημάδια στο χώρο ρίψεων. Επίσης, στις μετρήσεις των ρίψεων διοργανώθηκε ένας μικρός αγώνας με αθλητές κι από άλλα σωματεία ώστε να υπάρχει συναγωνισμός μεταξύ των αθλητών/τριων.

3.1.5.3 Αξιολόγηση της ριπτικής ικανότητας

Η ριπτική ικανότητα αξιολογήθηκε στις αθλητικές εγκαταστάσεις του Εθνικού Γ.Σ. Αναλυτικότερα, χρησιμοποιήθηκαν 4 βασικές ρίψεις σφαίρας: η ρίψη σφαίρας εμπρός με δύο χέρια, η ρίψη σφαίρας πίσω με δύο χέρια, η ρίψη σφαίρας με μέτωπο στο πεδίο ρίψης και η ρίψη σφαίρας από τελική διπλή

στήριξη. Οι ασκήσεις αυτές ήταν οικίες για τους ρίπτες καθώς τις χρησιμοποιούν τακτικά στην προπόνηση. Σε όλες τις προσπάθειες δόθηκαν 2 λεπτά διάλειμμα ενώ ανάμεσα στις ριπτικές ασκήσεις υπήρχε διάλειμμα 5 λεπτών.

Οι δοκιμασίες ριπτικής ικανότητας έγιναν την επόμενη ημέρα των αγωνιστικών ρίψεων. Μετά από 5 - 8 λεπτά τρέξιμο και έντονες διατάσεις, δίνονταν 2 δοκιμαστικές προσπάθειες σε κάθε δοκιμασία και αμέσως μετά πραγματοποιήθηκαν 4 μέγιστες ρίψεις. Η μεγαλύτερη ρίψη χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση. Όπως στην αγωνιστική ρίψη έτσι και εδώ χρησιμοποιήθηκαν σημάδια στο χώρο ρίψης για παρακίνηση των αθλητών. Το διάλειμμα ήταν 2 λεπτά ανάμεσα στις ρίψεις και 5 λεπτά ανάμεσα στις ασκήσεις ριπτικής ικανότητας. Η ρίψη με δύο χέρια εμπρός ήταν η πρώτη δοκιμασία. Ο αθλητής στέκονταν επάνω στον μεταλλικό αναστολέα της βαλβίδας της σφαιροβολίας με μέτωπο προς το πεδίο ρίψης και τη σφαίρα να κρατιέται στα δύο χέρια πάνω από το κεφάλι. Τα πόδια ήταν λίγο πιο ανοιχτά από το άνοιγμα των ώμων. Οι μύτες των ποδιών ήταν λίγο πιο έξω από τον αναστολέα ώστε να μπορεί ο ρίπτης να εφαρμόσει δύναμη χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να γλυστρίσει κατά τη ρίψη. Από τη θέση αυτή, ο αθλητής χαμήλωνε τη σφαίρα ανάμεσα στα πόδια με τα γόνατα να λυγίζουν και τον κορμό να γέρνει λίγο εμπρός. Από αυτή τη θέση και με έντεχνη απώλεια της ισορροπίας, ο αθλητής τραβούσε τη σφαίρα προς τα εμπρός και με απότομη έκταση των ποδιών και των μυών του κορμού, έριχνε τη σφαίρα όσο πιο μακριά μπορούσε στο πεδίο ρίψης. Ο δείκτης αξιοπιστίας της ρίψης εμπρός με δύο χέρια ήταν $ICC = 0,95$, $N = 13$.

Αμέσως μετά τη ρίψη εμπρός ακολουθούσε η ρίψη πίσω με δύο χέρια. Ο αθλητής στέκονταν με πλάτη προς το πεδίο ρίψης επάνω στον αναστολέα πατώντας μόνο με τις μύτες των ποδιών ώστε να μπορεί να εφαρμόσει μεγαλύτερη ώθηση κατά τη ρίψη. Κρατούσε τη σφαίρα με τα δυο χέρια ψηλά και επάνω από το κεφάλι του. Από τη θέση αυτή, ο αθλητής χαμήλωνε τη σφαίρα ανάμεσα στα πόδια με τα γόνατα να λυγίζουν και τον κορμό να γέρνει λίγο εμπρός. Από αυτή τη θέση και με έντεχνη απώλεια της ισορροπίας προς τα πίσω τραβούσε τη σφαίρα επάνω και πίσω ώστε να τη ρίξει όσο πιο μακριά μπορεί. Ο δείκτης αξιοπιστίας της ρίψης πίσω ήταν $ICC = 0,98$, $N = 13$.

Η επόμενη δοκιμασία ριπτικής ικανότητας ήταν η ρίψη με μέτωπο. Στη ρίψη με μέτωπο ο αθλητής στέκονταν με μέτωπο και πόδια παράλληλα προς το πεδίο ρίψης. Η σφαίρα βρισκόταν με λαβή ρίψης πάνω από τον ώμο του ενώ το αριστερό του χέρι βρισκόταν απλωμένο εμπρός. Από τη θέση αυτή ο αθλητής λύγιζε τα πόδια του, ενώ εκτελούσε και μια μικρή στροφή του κορμού προς τα δεξιά. Από τη θέση αυτή και με εκρηκτική δράση των ποδιών και του ώμου ο αθλητής ωθούσε τη σφαίρα πάνω από το ύψος των ώμων του προς το πεδίο ρίψης. Ο δείκτης αξιοπιστίας για την ρίψη με μέτωπο ήταν $ICC = 0,93$, $N = 13$.

Η τελευταία ριπτική δοκιμασία ήταν η ρίψη σφαίρας από τελική διπλή στήριξη. Συγκεκριμένα, ο αθλητής βρισκόμενος μέσα στην βαλβίδα τοποθετούσε το αριστερό πόδι μπροστά κολλητά στον αναστολέα ενώ το δεξί πόδι βρισκόταν περίπου 1 μέτρο πίσω από το αριστερό. Η φτέρνα του δεξιού ποδιού ήταν στην ίδια ευθεία με τη μύτη του αριστερού ποδιού. Η σφαίρα στηριζόταν με τη λαβή στο χέρι κολλητά στο λαιμό. Ο αθλητής έριχνε το βάρος του στο δεξί πόδι ώστε η προβολή της σφαίρας στο έδαφος να περνάει πάνω από το δεξί γόνατο και πέλμα. Το αριστερό χέρι έδειχνε προς την πίσω πλευρά της βαλβίδας όπως και ο θώρακας. Από αυτή τη θέση και με έντονη δράση κυρίως του δεξιού ποδιού ο αθλητής ωθούσε τη σφαίρα προς τα επάνω ενώ το δεξί πόδι ταυτόχρονα έστριβε προς το πεδίο ρίψης. Το χέρι με τη σφαίρα ωθούσε την ύστατη στιγμή με την ολοκλήρωση του ανοίγματος του θώρακα στο πεδίο ρίψης. Η ρίψη από τελική διπλή στήριξη είχε δείκτη αξιοπιστίας $ICC = 0,94$, $N = 13$.

3.1.5.4 Αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος

Την επόμενη ημέρα οι ρίπτες ήρθαν στο εργαστήριο κλασικού αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος. Πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμασίες αξιολόγησης του κατακόρυφου άλματος. Πρώτα έγινε η δοκιμασία του άλματος από ημικάθισμα (SQJ) και μετά η δοκιμασία του άλματος με αιώρηση κορμού (CMJ).

Όλα τα άλματα πραγματοποιήθηκαν επάνω σε δυναμοδάπεδο όπως περιγραφικέ σε παραπάνω παράγραφο. Πριν την έναρξη των προσπαθειών οι αθλητές/τριες πραγματοποίησαν προθέρμανση 5 - 8 λεπτών σε στατικό ποδήλατο και έντονες διατάσεις. Στη δοκιμασία άλμα από ημικάθισμα ο αθλητής ανέβαινε επάνω στο δυναμοδάπεδο με τα χέρια στη μεσολαβή και τα πόδια ανοιχτά στο άνοιγμα των ώμων. Από αυτή τη θέση εκτελούσε ημικάθισμα έως τα γόνατα να φτάσουν στις 90° και παρέμενε στη θέση αυτή μέχρι το παράγγελα του ερευνητή. Η θέση του αθλητή καθορίζονταν από τα δοκιμαστικά άλματα με τη χρήση γωνιόμετρου. Μόλις ο ερευνητής έλεγε στον αθλητή «πάμε» εκείνος εκτελούσε μέγιστο άλμα χωρίς καμία προσπάθεια βύθισης του κορμού περισσότερο από ότι έχει οριστεί. Δόθηκαν 3 δοκιμαστικά άλματα με υπομέγιστη ένταση και 3 μέγιστα άλματα. Το διάλειμμα ανάμεσα στις προσπάθειες ήταν 2 λεπτά. Η καλύτερη προσπάθεια ως προς το ύψος άλματος χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση. Ο δείκτης αξιοπιστίας για τη δοκιμασία SQJ ήταν ICC = 0,90, N = 13.

Η ανάλυση της καμπύλης του άλματος από ημικάθισμα έγινε απευθείας από το πρόγραμμα Kyowa sensor interface PCD-320 A. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε πρώτα η σωματική μάζα του δοκιμαζόμενου. Έπειτα, υπολογίστηκε ο χρόνος πτήσης από το σημείο απώλειας του δοκιμαζόμενου από το δυναμοδάπεδο, έως το πρώτο σημείο επαφής ($T_{\text{πτήσης}} = T_{\text{προσγείωσης}} - T_{\text{απογείωσης}}$). Για την ανάλυση του κατακόρυφου άλματος χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση: Ύψος άλματος = $(0,5 \cdot T_{\text{πτήσης}} \cdot 9,81)^2 / 2 \cdot 9,81$. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέγιστη δύναμη που φαίνονταν ως το κορυφαίο σημείο της καμπύλης κατά τη φάση της ώθησης (F_{max}). Κατόπιν, υπολογίστηκε η μέγιστη παραγωγή ισχύος από τον τύπο: $\text{Ισχύς} = (\text{σωματική μάζα} + F_{\text{max}}) \cdot 9,81 \cdot T_{\text{πτήσης}}$ (Bosco et al., 1983, Linthorne, 2001). Τέλος υπολογίστηκε η ισχύς ανά κιλό σωματικής μάζας των αθλητών/τριων: $\text{Ισχύς/kg} = \text{Ισχύς} / \text{σωματική μάζα}$.

Μετά το τέλος των αλμάτων από ημικάθισμα ακολούθησε η αξιολόγηση των αλμάτων με αιώρηση κορμού. Συγκεκριμένα, μετά από 5 λεπτά διάλειμμα δόθηκαν 3 μέγιστες προσπάθειες στα άλματα με αιώρηση κορμού. Και εδώ ο αθλητής στέκονταν με τα χέρια σε μεσολαβή και τα πόδια στο άνοιγμα των ώμων.

Από αυτή τη θέση και με το παράγγελμα του ερευνητή «πάμε» εκτελούσε ημικάθισμα και αμέσως μέγιστο κατακόρυφο άλμα. Σε όλες τις περιπτώσεις η τεχνική του αθλητή αξιολογούνταν ενώ σύντομη ανάλυση των καμπύλων των αλμάτων έδειχνε την εγκυρότητα του άλματος. Δόθηκαν 3 μέγιστες προσπάθειες στη δοκιμασία. Η καλύτερη προσπάθεια ως προς το ύψος άλματος χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση. Ο δείκτης αξιοπιστίας για τη δοκιμασία αλμάτων με αιώρηση κορμού ήταν ICC = 0,91, N = 13.

Η ανάλυση της καμπύλης του άλματος με αιώρηση κορμού γίνονταν απευθείας από το πρόγραμμα Kyowa sensor interface PCD-320 A. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε πρώτα η σωματική μάζα του δοκιμαζόμενου. Έπειτα, υπολογίστηκε ο χρόνος πτήσης από το σημείο απώλειας του δοκιμαζόμενου από το δυναμοδάπεδο, έως το πρώτο σημείο επαφής ($T_{\text{πτήσης}} = T_{\text{προσγείωσης}} - T_{\text{απογείωσης}}$). Για την ανάλυση του κατακόρυφου άλματος χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση: Ύψος άλματος = $(0,5 \cdot T_{\text{πτήσης}} \cdot 9,81)^2 / 2 \cdot 9,81$. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέγιστη δύναμη που φαίνονταν ως το κορυφαίο σημείο της καμπύλης κατά τη φάση της ώθησης (F_{max}). Κατόπιν, υπολογίστηκε το χαμηλότερο σημείο της καμπύλης κατά την έναρξη της φάσης της ώθησης και αφαιρούνταν από τη σωματική μάζα ώστε να υπολογιστεί η έναρξη της προσπάθειας. Έτσι, η μέγιστη παραγωγή ισχύος κατά το άλμα με αιώρηση κορμού δίνονταν από τον τύπο: Ισχύς = (Σωματική Μάζα + F_{max} - Έναρξη Προσπάθειας) · 9,81 · $T_{\text{πτήσης}}$ (Bosco et al., 1983, Linthorne, 2001). Τέλος υπολογίστηκε η ισχύς ανά κιλό σωματικής μάζας των αθλητών/τριων: Ισχύς/kg = Ισχύς / σωματική μάζα.

3.1.5.5. Αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης (RFD)

Μετά από 15 λεπτά διάλειμμα πραγματοποιήθηκε η δοκιμασία του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στον ίδιο χώρο. Πιο αναλυτικά ο αθλητής κάθονταν στην άκαμπτη καρέκλα και με τη βοήθεια ενός γωνιόμετρου καθορίζονταν η γωνία στα γόνατα στις 120° και στα ισχία στις 100° (Marcora and Miller, 1999). Τα χέρια του κρατούσαν τις λαβές του καθίσματος ενώ ειδικά αυτοκόλλητα σημάδια καθόριζαν την ακριβή θέση των ποδιών του στο

δυναμοδάπεδο. Από αυτή τη θέση δόθηκε η εντολή να εφαρμόσει τη μέγιστη δύναμή του όσο πιο γρήγορα μπορούσε και να τη συντηρήσει για 3 - 4 δευτερόλεπτα (Sahaly et al., 2001, Holtermann et al., 2007). Δόθηκαν 2 δοκιμαστικές προσπάθειες και 2 μέγιστες προσπάθειες με διάλειμμα 3 λεπτών. Η καλύτερη προσπάθεια με βάση τον συνολικό ρυθμό εφαρμογής της δύναμης χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση. Ο δείκτης αξιοπιστίας της δοκιμασίας του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης ήταν ICC = 0,92, N = 13.

Η ανάλυση της καμπύλης δύναμης / χρόνου γίνονταν απευθείας από το πρόγραμμα Kyowa sensor interface PCD-320 A. Η μέγιστη ισομετρική δύναμη υπολογίστηκε ως το κορυφαίο σημείο της καμπύλης χρόνου / δύναμης που φαίνονταν. Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης υπολογίστηκε σε συγκεκριμένα χρονικά παράθυρα των 50 ms (0 - 50 ms, 0 - 100 ms, 0 - 150 ms, 0 - 200 ms και 0 - 250 ms) με τον τύπο $RFD = \Delta_{Force} / \Delta_{Time}$ (Aagaard et al., 2002). Αυτές οι χρονικές στιγμές επιλεχθήκαν λόγω της πιθανής σχέσης που έχουν με τη χρονική διάρκεια της φάσης απελευθέρωσης στα αγωνίσματα των ρίψεων (Zatsiorsky et al., 1981, Bartlett, 1992) όπως έχει αναφερθεί και στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Αντίστοιχα, ο χώρος εμβαδόν της καμπύλης δύναμης / χρόνου (Impulse) υπολογίστηκε από τον τύπο: $Impulse_{0-kms} = \Sigma F_{0-kms} \cdot \Delta Time_{kms}$ (kms = 50, 100, 150, 200, 250).

3.1.5.6 Αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης (1-MAE)

Μετά την αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης οι αθλητές/τριες πραγματοποίησαν τη δοκιμασία μέγιστης δύναμης στο μηχάνημα ωθήσεων κάτω άκρων από εδραία θέση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης στο μηχάνημα ωθήσεων κάτω άκρων έχει εφαρμοστεί σε πολλές πειραματικές εργασίες και αποτελεί έγκυρη δοκιμασία (Terzis et al., 2008, Zaras et al., 2013, Stasinaki et al., 2015). Η αξιολόγηση έγινε στο γυμναστήριο της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ο αθλητής κάθονταν στον κάθισμα του μηχανήματος και τοποθετούσε τα πόδια του επάνω στην κινούμενη πλατφόρμα με

το φορτίο. Από τη θέση αυτή ξεκολλούσε το φορτίο από την ασφάλεια μέχρι να τεντώσουν τα γόνατά του. Από αυτή τη θέση κατέβαζε το φορτίο χαμηλότερα από τις 90° και ωθούσε ξανά το φορτίο στην αρχική του θέση. Σε όλες τις προσπάθειες υπήρχαν τουλάχιστον 2 βοηθοί για ασφάλεια σε περίπτωση αποτυχίας της προσπάθειας. Δόθηκαν 2 σετ προθέρμανσης με το 60% και το 85% της προβλεπόμενης 1-MAE και έπειτα 5 προσπάθειες για τον προσδιορισμό της μέγιστης δύναμης. Ο δείκτης αξιοπιστίας της δοκιμασίας των ωθήσεων κάτω άκρων από εδραία θέση ήταν ICC = 0,98, N = 13.

Την επόμενη ημέρα οι αθλητές/τριες παρουσιάστηκαν στο χώρο της μυϊκής ενδυνάμωσης του Εθνικού Γ.Σ. για την αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης στις ασκήσεις αρασέ, βαθύ κάθισμα, επωμισμός και στις πιέσεις θώρακα σε οριζόντιο πάγκο με μπάρα. Όλες οι ασκήσεις πραγματοποιήθηκαν πάνω σε πλατώ της άρσης βαρών. Συγκεκριμένα, στο αρασέ οι αθλητές/τριες χρησιμοποίησαν ειδικούς ιμάντες στη λαβή με την μπάρα ώστε να είναι ευκολότερη η έλξη των κιλών. Από την όρθια θέση και με ανοιχτή λαβή η μπάρα χαμήλωνε μέχρι την κορυφή της επιγονατίδας, με τα γόνατα να λυγίζουν ελαφρά και τον κορμό να έχει μια μικρή κλίση εμπρός. Από αυτή τη θέση γίνονταν απότομο τράβηγμα της μπάρας κοντά στους μηρούς και ψηλά στη λεκάνη. Μόλις το τράβηγμα ολοκληρώνονταν ο αθλητής εκτελούσε κατακόρυφο άλμα για τελική ανάπτυξη ταχύτητας στην μπάρα. Άμεσα έφερνε τον εαυτό του κάτω από την μπάρα σε θέση ημικαθίσματος και το φορτίο πάνω και πίσω από το κεφάλι του. Η προσπάθεια αξιολογούνταν για την εγκυρότητά της ενώ ήταν άκυρη εάν ο αθλητής εκτελούσε βαθύ κάθισμα κάτω από την μπάρα. Δόθηκαν 3 σετ προθέρμανσης των 8, 4 και 2 επαναλήψεων με το 50%, 75% και 90% της προβλεπόμενης μέγιστης δύναμης. Τέλος, δόθηκαν 3 προσπάθειες για τον υπολογισμό της μέγιστης δύναμης με διάλειμμα 2 λεπτά. Ο δείκτης αξιοπιστίας του αρασέ ήταν ICC = 0,95, N = 13.

Μετά από 15 λεπτά πραγματοποιήθηκε η δοκιμασία του βαθύ καθίσματος. Οι αθλητές/τριες εκτελούσαν το βαθύ κάθισμα με την μπάρα στους ώμους και στους τραπεζοειδής. Αφού έπαιρναν την μπάρα από τους μεταλλικούς στυλοβάτες στέκονταν σε όρθια θέση. Από εκεί λύγιζαν τα γόνατα μέχρι να

φτάσουν στη θέση του βαθύ καθίσματος. Χωρίς διακοπή ανέβαιναν στην αρχική τους θέση. Δόθηκαν 3 σετ προθέρμανσης των 8, 4 και 2 επαναλήψεων με το 50%, 75% και 90% της προβλεπόμενης μέγιστης δύναμης. Τέλος δόθηκαν 3 προσπάθειες για τον υπολογισμό της μέγιστης δύναμης με διάλειμμα 3 λεπτά. Ομοίως, σε περίπτωση απώλειας της τεχνικής της εκτέλεσης της άσκησης η προσπάθεια θεωρούνταν άκυρη. Σε όλες τις προσπάθειες 2 βοηθοί υπήρχαν για την ασφάλεια της δοκιμασίας. Ο δείκτης αξιοπιστίας για τη δοκιμασία στο βαθύ κάθισμα ήταν $ICC = 0,96$, $N = 13$.

Η δοκιμασία του επωμισμού έγινε μετά από 15 λεπτά. Οι αθλητές/τριες χρησιμοποίησαν ξανά τους ιμάντες για τη λαβή στη μπάρα. Η κίνηση ξεκινούσε με τον αθλητή να κρατάει την μπάρα σε όρθια θέση με λαβή λίγο πιο ανοιχτά από τους ώμους. Από τη θέση αυτή χαμήλωνε την μπάρα μέχρι την κορυφή της επιγονατίδας, με τα γόνατα να λυγίζουν ελαφρά και τον κορμό να έχει μια μικρή κλίση εμπρός. Από αυτή τη θέση γίνονταν απότομο τράβηγμα της μπάρας κοντά στους μηρούς και ψηλά στη λεκάνη. Μόλις το τράβηγμα ολοκληρώνονταν ο αθλητής εκτελούσε κατακόρυφο άλμα για τελική ανάπτυξη ταχύτητας στην μπάρα. Άμεσα χαμήλωνε το κορμί του και έφερνε την μπάρα να τοποθετηθεί επάνω στους ώμους και στις κλείδες. Οι αγκώνες ενεργητικά έστριβαν προς τα έξω ώστε να μπλοκαριστεί το φορτίο πιο εύκολα. Η προσπάθεια αξιολογούνταν για την εγκυρότητά της ενώ ήταν άκυρη εάν ο αθλητής εκτελούσε βαθύ κάθισμα μαζί με την μπάρα. Δόθηκαν 3 σετ προθέρμανσης των 8, 4 και 2 επαναλήψεων με το 50%, 75% και 90% της προβλεπόμενης μέγιστης δύναμης. Τέλος δόθηκαν 3 προσπάθειες για τον υπολογισμό της μέγιστης δύναμης με διάλειμμα 2 λεπτά. Ο δείκτης αξιοπιστίας για τον επωμισμό ήταν $ICC = 0,97$, $N = 13$.

Τέλος οι αθλητές/τριες της δυσκοβολίας, του ακοντισμού και της σφαιροβολίας πραγματοποίησαν την δοκιμασία των πιέσεων θώρακα σε οριζόντιο πάγκο. Ο αθλητής ξάπλωνε στον οριζόντιο πάγκο. Η απόσταση των χεριών στη λαβή ήταν πιο ανοιχτά από το άνοιγμα των ώμων. Αφού ξεκολλούσε την μπάρα από τους στυλοβάτες την κατέβαζε μέχρι αυτή να ακουμπήσει στον θώρακα, στο ύψος των θηλών. Από εκεί ωθούσε την μπάρα στην αρχική της θέση. Δόθηκαν 3 σετ προθέρμανσης των 8, 4 και 2 επαναλήψεων με το 50%, 75%

και 90% της προβλεπόμενης 1-MAE. Τέλος δόθηκαν 3 προσπάθειες για τον υπολογισμό της μέγιστης δύναμης με διάλειμμα 3 λεπτά. Σε όλες τις προσπάθειες τουλάχιστον 1 βοηθός υπήρχε για την ασφάλεια της δοκιμασίας. Ο δείκτης αξιοπιστίας για τη δοκιμασία πιέσεις οριζοντίου πάγκου ήταν $ICC = 0,92$, $N = 10$.

3.1.5.7 Αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός με υπερηχογραφία

Η μυϊκή υπερηχογραφία πραγματοποιήθηκε μετά από 2 ημέρες. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση έγινε στο εργαστήριο κλασικού αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι αθλητές προσήλθαν τις πρωινές ώρες μετά από 24 ώρες πλήρους αποκατάστασης. Πιο αναλυτικά οι αθλητές ξάπλωσαν σε ένα ιατρικό κρεβάτι σε ύπτια κατάκλιση με το πόδι που εφαρμόζονταν ο υπέρηχος σε πλήρη χαλάρωση και στη φυσιολογική του θέση κατά την έκταση. Μετρήθηκε η απόσταση μεταξύ του μείζονα τροχαντήρα ως την επιγονατίδα και το κέντρο της απόστασης σημειώνονταν με μαρκαδόρο. Στο σημείο αυτό απλώθηκε ειδικό gel το οποίο βοηθούσε στην ακουστική διαπερατότητα του υπερήχου. Το ίδιο gel μπήκε και στην κεφαλή του υπερήχου όπου τοποθετήθηκε στο σηματοδοτημένο σημείο. Μια εικόνα για να αποθηκευτεί έπρεπε να φαίνονται καθαρά αρκετά μυϊκά δεμάτια. Λήφθηκαν 4 εικόνες από κάθε αθλητή/τρια. Οι εικόνες αναλύθηκαν ως προς το πάχος, τη γωνία και το μήκος των μυϊκών δεματίων. Ο δείκτης αξιοπιστίας του μυϊκού υπερήχου ήταν: για το πάχος $ICC = 0,97$, για τη γωνία $ICC = 0,86$ και για το μήκος $ICC = 0,83$, $N = 36$.

Η ανάλυση των εικόνων του υπερήχου έγινε με το πρόγραμμα Motic Images Plus, 2.0. Από τις 4 εικόνες που ελήφθησαν οι μεγαλύτερες και μικρότερες τιμές που προέκυψαν για κάθε παράμετρο απορρίπτονταν και για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των δύο άλλων εικόνων. Το πάχος του μυός αξιολογήθηκε ως η απόσταση μεταξύ της άνω και κάτω απονεύρωσης του μυός. Η γωνία αξιολογήθηκε με το πιο ξεκάθαρα μυϊκό δεμάτιο της εικόνας το οποίο παρουσίαζε ξεκάθαρη πρόσφυση στην κάτω απονεύρωση

του μυός. Τέλος, η αξιολόγηση του μήκους των δεματίων έγινε με προέκταση του μυϊκού δεματίου μέχρι την άνω απονεύρωση (Blazevich et al., 2009).

3.1.5.8 Ανάλυση σύστασης σώματος

Την επόμενη ημέρα του υπερήχου οι αθλητές/τριες προσήλθαν στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι αθλητές ξάπλωναν στο μηχάνημα ανάλυσης σωματικής σύστασης και παρέμειναν ακίνητοι για 30 λεπτά. Το μηχάνημα σάρωνε το σώμα του αθλητή ως προς την άλιπη μυϊκή μάζα, το σωματικό λίπος και την οστική πυκνότητα. Η ανάλυση της εικόνας του μηχανήματος αναλύθηκε μέσω του προγράμματος Lunar Radiation Body Composition Program ως προς τις παραπάνω παραμέτρους. Μάλιστα, όσο αφορά την άλιπη μάζα εκτιμήθηκε επιπροσθέτως η άλιπη μάζα όλου του σώματος, των άνω άκρων, των κάτω άκρων και του κορμού. Ο δείκτης αξιοπιστίας της αξιολόγησης σωματικής σύστασης ήταν ICC = 0,98, N = 13.

3.1.5.9 Υπολογισμός αντίληψης κόπωσης (RPE)

Ο υπολογισμός της αντίληψης κόπωσης (RPE = Rate of Perceive Exertion) υπολογίστηκε μετά από κάθε προπονητική μονάδα. Συγκεκριμένα, οι αθλητές/τριες βαθμολογούσαν το κάθε προπονητικό πρόγραμμα από το 1 (πολύ εύκολο, ξεκούραστο) μέχρι το 10 (πάρα πολύ δύσκολο, εξαντλητικό) με βάση τον δείκτη αντίληψης κόπωσης (Borg, 1982). Αμέσως μετά υπολογίζονταν το φορτίο προπόνησης ως: $\text{Φορτίο Προπόνησης} = \text{RPE} \cdot \Sigma_{\text{Επαναλήψεις}}$. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το εβδομαδιαίο φορτίο προπόνησης: $\text{Εβδομαδιαίο Φορτίο} = \text{Φορτίο Προπόνησης} \cdot \Sigma_{\text{Προπονήσεις Εβδομάδας}}$. Η προπονητική μονοτονία υπολογίστηκε: $\text{Μονοτονία} = \text{Φορτίο Προπόνησης} \cdot \text{SD}_{\text{Εβδομαδιαίου Φορτίου}}$. Τέλος, το προπονητικό στρες υπολογίστηκε: $\text{Προπονητικό στρες} = \text{Φορτίο Προπόνησης} \cdot \text{Μονοτονία}$ (McGuigan και Foster, 2004, Malisoux et al., 2013)

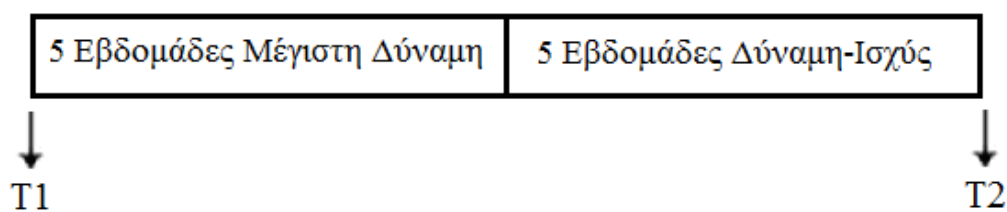
3.1.6 Στατιστική ανάλυση

Όλες οι μεταβλητές παρουσιάζονται με μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις (Mean \pm SD). Χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διασποράς διπλής κατεύθυνσης (Two Way Anova Repeated Measures) για την εύρεση διαφορών ανάμεσα στα δύο προγράμματα ισχύος αλλά και ανάμεσα στις αρχικές και τελικές μετρήσεις. Όπου υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος Bonferroni για τον καθορισμό της διαφοράς. Για τις διαφορές ανάμεσα στις ποσοστιαίες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκε T-Test για εξαρτημένα δείγματα (Paired samples). Υπολογίστηκε το μέγεθος της επίδρασης της παρέμβασης μέσω του δείκτη η^2 από τον τύπο: $\eta^2 = t^2 / t^2 + (N - 1)$ (Cohen, 1988). Για την αξιοπιστία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ICC. Σε όλες τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό σύστημα SPSS 17 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας καθορίστηκε σε $p \leq 0.05$.

3.2 Μέθοδος δεύτερης μελέτης

3.2.1 Ερευνητικός σχεδιασμός δεύτερης μελέτης

Η πειραματική διαδικασία διήρκησε περίπου 12 εβδομάδες. Η προπόνηση σχεδιάστηκε με βάση τις αρχές του περιοδισμού και στόχευε στην προετοιμασία των αθλητών/τριων για τη θερινή περίοδο αγώνων. Στο σχήμα 3.2.1 παρουσιάζεται ο πειραματικός σχεδιασμός της δεύτερης μελέτης. Η προπόνηση διαχωρίστηκε σε δύο μεσόκυκλους που στόχευαν στην ανάπτυξη της δύναμης και της ισχύος αντίστοιχα.



Σχήμα 3.2.1. Πειραματικός σχεδιασμός δεύτερης μελέτης. Οι αρχικές μετρήσεις έγιναν την περίοδο T1 και οι τελικές την περίοδο T2.

Η προπόνηση διήρκησε 10 εβδομάδες. Όλοι οι αθλητές/τριες είχαν ολοκληρώσει τη χειμερινή προετοιμασία με κορύφωση της αγωνιστικής ρίψης σε αγώνα. Πριν την έναρξη της δεύτερης μελέτης δόθηκε περίοδος 2 εβδομάδων ενεργητικής αποκατάστασης, ώστε να ξεκουραστούν οι αθλητές/τριες από την χειμερινή αγωνιστική περίοδο. Πριν και μετά την προπονητική παρέμβαση μετρήθηκαν: η αγωνιστική ρίψη, η ριπτική ικανότητα, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, η μέγιστη δύναμη, η αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και η σωματική σύσταση.

3.2.2 Περιγραφή δοκιμαζόμενων

Στη δεύτερη μελέτη συμμετείχαν 12 αθλητές/τριες των ρίψεων από το δυναμικό των αθλητών του ΣΕΓΑΣ. Συγκεκριμένα, οι αθλητές/τριες διακρίνονταν σε 5 αθλητές της δισκοβολίας (3 άρρενες, 2 θύλης), 4 αθλητές της σφυροβολία (2 άρρενες, 2 θύλης), 2 αθλητές της σφαιροβολίας (1 άρρεν, 1 θύλη) και 1 αθλήτρια του ακοντισμού. Οι προϋποθέσεις που είχαν οι αθλητές/τριες για να συμμετάσχουν έχουν αναφερθεί στην μεθοδολογία της πρώτης μελέτης. Οι αθλητές/τριες ενημερώθηκαν για το σκοπό της μελέτης και υπέγραψαν έντυπο συγκατάθεσης. Για τους αθλητές/τριες που ήταν ανήλικοι, ενημερώθηκαν κατόπιν προσωπικής συνάντησης οι κηδεμόνες και υπέγραψαν έντυπο συναίνεσης και συγκατάθεσης συμμετοχής του παιδιού τους στη μελέτη. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν ότι μπορούν να αποχωρήσουν από τη μελέτη όποτε αυτοί θελήσουν.

3.2.3 Προπόνηση

Η προπόνηση διήρκησε 10 εβδομάδες. Οι αθλητές/τριες ακολούθησαν ένα προπονητικό πρόγραμμα σχεδιασμένο με βάση τις αρχές του περιοδισμού, που στόχευε στην θερινή αγωνιστική περίοδο. Συγκεκριμένα, η προπόνηση χωρίστηκε σε δύο βασικούς μεσόκυκλους. Ο πρώτος μεσόκυκλος στόχευε στην ανάπτυξη της μυϊκής υπερτροφίας και της μυϊκής δύναμης, ενώ ο δεύτερος μεσόκυκλος στόχευε στην ανάπτυξη της κορυφαίας δύναμης και ισχύος. Η ατομική προπόνηση των αθλητών/τριων σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις κάθε αγωνίσματος (π.χ. οι δισκοβόλοι εφάρμοζαν περισσότερο ασκήσεις ενδυνάμωσης των θωρακικών μυών, ενώ οι σφυροβόλοι εκτελούσαν περισσότερες ασκήσεις ενδυνάμωσης των ώμων με ελκτική μορφή, όπως ο επωμισμός). Το ακριβές πρόγραμμα προπόνησης που εφαρμόστηκε στη διάρκεια των 10 εβδομάδων παρουσιάζεται στον πίνακα 3.2.1. Η επιλογή των ασκήσεων έγινε λόγω της

ευρείας χρήσης τους από τους αθλητές των ρίψεων (Stone et al., 2003, Judje et al., 2007, Kyriazis et al., 2009)

Πίνακας 3.2.1 Αναλυτικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την προπόνηση 10 εβδομάδων σε αθλητές/τριες ρίψεων για ανάπτυξη της δύναμης, της ισχύος και της αγωνιστικής ριπτικής επίδοσης.

Προπονητική Εβδομάδα	Προπόνηση Δύναμης (3-4 Προπ. / Εβδ.)			Αγωνιστικές Ρίψεις (2-3 Προπ. / Εβδ.)			
	Δομικές Ασκήσεις Πιέσεις ορ. Πάγκου, Βαθύ, Πιέσεις Ωμων, Άρσεις Θανάτου	Άρση Βαρών	Βοηθητικές Ασκήσεις	Βαρύτερο Όργανο. 1-2 kg	Αγωνιστικό Ριπτικό Όργανο	Ελαφρύτερο Όργανο. 1-2 kg	Πλειομετρική Προπόνηση (2 Προπ. / Εβδ.)
Εβδ. 0	Pre (T1)						
Εβδ. 1	4 x 6 MAE	4 x 4-5 (75% MAE)	4 x 10-12 MAE	-	40-50	-	(π.χ. άλματα άνευ φόρας, τριπλούν, περάσματα εμποδίων, ταχύτητες, ασκήσεις ευκινήσιας)
Εβδ. 2	4 x 5 MAE	4 x 4-5 (80% MAE)	4 x 10-12 MAE	20-30	40-50	-	
Εβδ. 3	4 x 5 MAE	4 x 4 (80% MAE)	4 x 10-12 MAE	20-30	50-60	-	
Εβδ. 4	4 x 4 MAE	4 x 3-4 (85% MAE)	3 x 10 MAE	20-30	50-60	-	
Εβδ. 5	4 x 4 MAE	3 x 3-4 (85% MAE)	3 x 8-10 MAE	30-40	50-60	-	
Εβδ. 6	Εβδομάδα αποκατάστασης (Προπόνηση Όμοια με την Εβδομάδα 2)						
Εβδ. 7	4 x 3 MAE	3 x 2-3 (85% MAE)	3 x 8-10 MAE	20-30	40-50	10-20	(π.χ. άλματα βάθους από 45cm, περάσματα εμποδίων ταχύτητες, ασκήσεις ευκινήσιας)
Εβδ. 8	2-3 x 3-4 MAE	3 x 2-3 (90% MAE)	3 x 8-10 MAE	10-20	50-60	20-30	
Εβδ. 9	3 x 2-3 MAE	2 x 2-3 (90% MAE)	3 x 6-8 MAE	8-10	30-40	20-30	
Εβδ. 10	2 x 2-3 MAE	2 x 2-3 (95% MAE)	3 x 6-8 MAE	8-10	20-30	15-25	
Εβδ. 11	2 x 2-3 MAE	2 x 1-2 (95% MAE)	2 x 6-8 MAE	-	15-20	15-20	
Εβδ. 12	Post (T2)						

3.2.4 Περιγραφή των οργάνων μέτρησης

Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν στη δεύτερη μελέτη ήταν ακριβώς τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη μελέτη. Για αναλυτική περιγραφή των οργάνων μέτρησης, δείτε το κεφάλαιο 3.1.4 της μεθόδου.

3.2.5 Περιγραφή των δοκιμασιών

Οι δοκιμασίες ρίψεων, ριπτικής ικανότητας, μέγιστης δύναμης στον επωμισμό και στο βαθύ κάθισμα αλλά και η προπόνηση των αθλητών/τριων των ρίψεων έγιναν στις αθλητικές εγκαταστάσεις του Εθνικού Γυμναστικού Συλλόγου. Οι σωματομετρήσεις και οι δοκιμασίες των αλμάτων, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της μέγιστης δύναμης στις πιέσεις κάτω άκρων και του υπερήχου έγιναν στο εργαστήριο κλασικού αθλητισμού της Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Τέλος, η αξιολόγηση της σωματικής σύστασης έγινε στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Όλες οι μετρήσεις παρουσιάζονται αναλυτικά στα παραπάνω υποκεφάλαια της μεθόδου της πρώτης μελέτης.

3.2.6 Στατιστική ανάλυση

Όλες οι μεταβλητές παρουσιάζονται με μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις (Mean \pm SD). Χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διασποράς επαναλαμβανόμενων μετρήσεων για να βρεθούν οι διαφορές στις μεταβλητές ανάμεσα στις περιόδους T1 και T2. Όπου υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά αυτή υπολογίζονταν μέσω του ελέγχου Bonferroni. Υπολογίστηκε το μέγεθος της επίδρασης της παρέμβασης μέσω του συντελεστή η^2 . Για τις συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης r-Pearson. Η αγωνιστική ριπτική επίδοση μετατράπηκε σε τιμές Z ώστε να πραγματοποιηθούν συσχετίσεις

με τις υπόλοιπες μεταβλητές στις κατανομές των απόλυτων τιμών. Η πολυμεταβλητή ανάλυση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της ριπτικής επίδοσης. Λόγω του μικρού δείγματος ($N = 12$), χρησιμοποιήθηκε το Adjusted R^2 για την εξήγηση των αποτελεσμάτων (Tabachnick και Fidell, 2007, σελ: 117-159). Για την αξιοπιστία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ICC. Σε όλες τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό σύστημα SPSS 17 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας καθορίστηκε σε $p \leq 0.05$. Στον πίνακα 3.2.2. παρουσιάζονται οι συντελεστές αξιοπιστίας όλων των μετρήσεων.

Πίνακας 3.2.2 Δείκτες αξιοπιστίας μετρήσεων, ICC.

	Δοκιμασία	ICC	Πηγή Αξιοπιστίας
	Σωματομετρήσεις	1	N = 22
Ριπτική	Ρίψη Σφαίρας Εμπρός	0,95	N = 13
Ικανότητα	Ρίψη Σφαίρας Πίσω	0,98	
	Ρίψη Σφαίρας με Μέτωπο	0,93	
	Ρίψη από Τελική Διπλή στήριξη	0,94	
Κατακόρυφα	Άλμα από Ημικάθισμα (SQJ)	0,90	N = 13
Άλματα	Άλμα με Αιώρηση (CMJ)	0,91	
RFD	Ισομετρική Δύναμη RFD	0,90	N = 13
	RFD	0,92	
	Impulse	0,93	
1-MAE	Πιέσεις Θώρακα με Μπάρα	0,92	N = 10
	Βαθύ Κάθισμα	0,96	N = 13
	Ωθήσεις Κάτω Άκρων	0,98	
	Επωμισμός	0,97	
	Αρασέ	0,95	
Υπερηχογραφία	Πάχος Μυός	0,97	N = 36
	Γωνία Μυϊκών Δεματίων	0,86	
	Μήκος Μυϊκών Δεματίων	0,83	
Σωματική Σύσταση	Άλιπη Μάζα	0,98	N = 13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Αποτελέσματα πρώτης μελέτης

Σκοπός της πρώτης μελέτης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της προπόνησης ισχύος με υψηλά και χαμηλά φορτία στη ριπτική επίδοση κατά τη περίοδο κορύφωσης της επίδοσης σε αθλητές ρίψεων. Ταυτόχρονα, να συγκριθούν τα δύο διαφορετικά προπονητικά προγράμματα ισχύος ως προς την αγωνιστική ρίψη, τη συνδυαστική ριπτική ικανότητα, τα κατακόρυφα άλματα, τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης, την μυϊκή δύναμη, την αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός, την άλιπη μάζα και τον δείκτη κόπωσης.

4.1.1 Σωματομετρικά χαρακτηριστικά

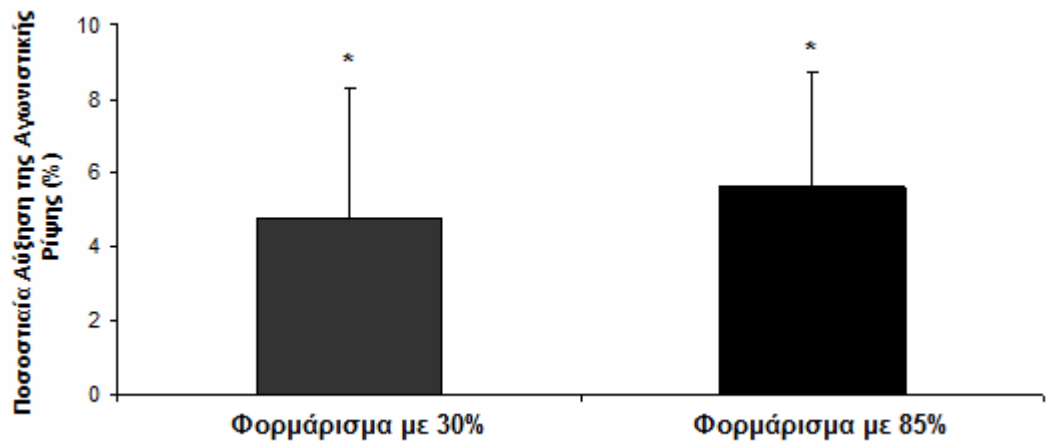
Δύο εβδομάδες προπόνησης ισχύος με διαφορετικά φορτία για την κορύφωσης της επίδοσης, δεν μετέβαλαν τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά των αθλητών όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1.1.1.

Πίνακας 4.1.1.1 Σωματομετρικά χαρακτηριστικά πριν και μετά από φορμάρισμα με χαμηλά και υψηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.

		Σωματικό Ανάστημα (m)	Σωματική Μάζα (kg)	Δείκτης Μάζας Σώματος ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)
Φορμάρισμα με 30%	Πριν	1,73 ± 0,08	80,39 ± 20,59	26,72 ± 5,16
	Μετά	1,73 ± 0,08	80,85 ± 20,86	26,93 ± 5,19
Φορμάρισμα με 85%	Πριν	1,73 ± 0,08	80,50 ± 21,39	26,83 ± 5,31
	Μετά	1,73 ± 0,08	80,57 ± 21,13	26,84 ± 5,29

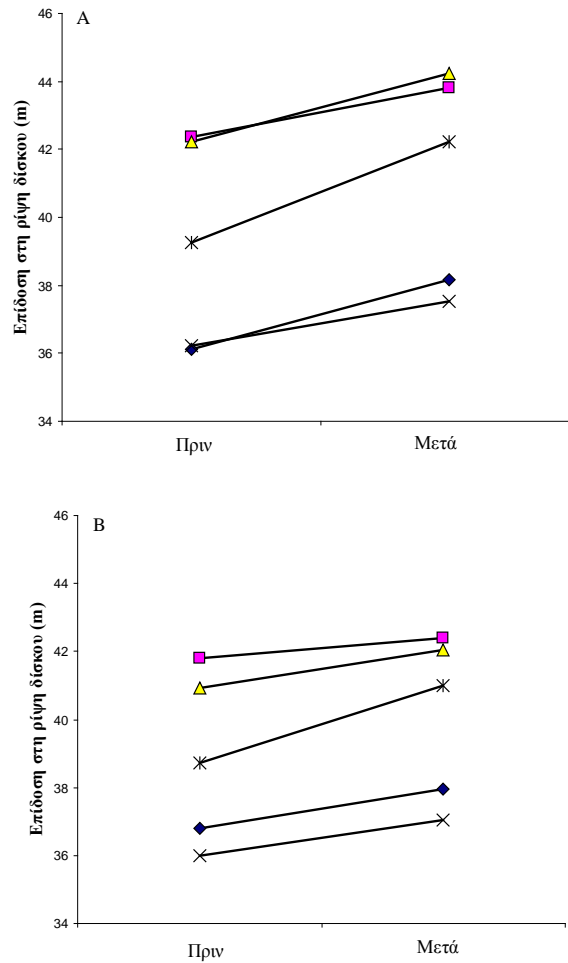
4.1.2 Αγωνιστική ρίψη

Μετά από 2 εβδομάδες προπόνησης ισχύος με χαμηλά και υψηλά φορτία η αγωνιστική ριπτική επίδοση όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα 4.1.2.1 αυξήθηκε παρόμοια κατά $4,8 \pm 3,5\%$ και $5,6 \pm 3,1\%$, αντίστοιχα ($p = 0,001$, $\eta^2 = 0,855$). Ωστόσο, δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο προπονητικές παρεμβάσεις ($p = 0,487$, $\eta^2 = 0,052$).



*Σχήμα 4.1.2.1 Ποσοστιαίες αυξήσεις στην αγωνιστική ριπτική ικανότητα μετά από 2 εβδομάδες φορμαρίσματος με χαμηλά και υψηλά φορτία, * $P < 0,01$.*

Μολονότι δεν βρέθηκε διαφορά ανάμεσα στα δύο φορμαρίσματα στο σύνολο το αθλητών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασαν οι αναλύσεις για τους 5 αθλητές/τριες της δυσκοβολίας (σχεδιάγραμμα 4.1.2.2, Α, Β). Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι μετά από το φορμάρισμα με τα χαμηλά φορτία η αγωνιστική επίδοση στη ρίψη δίσκου αυξήθηκε κατά $5,02 \pm 1,72\%$, περισσότερο σε σύγκριση με το φορμάρισμα με υψηλά φορτία που αύξησε την αγωνιστική ρίψη μόλις $3,24 \pm 1,62\%$ ($p = 0,005$, $\eta^2 = 0,891$).



Σχήμα 4.1.2.2 Ατομικές αλλαγές στην επίδοση στη δισκοβολία μετά από φορμάρισμα με 30% (A) και με 85% (B) της 1-MAE. Το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία αύξησε περισσότερο την αγωνιστική ρίψη στη δισκοβολία ($P = 0,005$).

4.1.3 Συνδυαστική ριπτική ικανότητα

Η συνδυαστική ριπτική ικανότητα ορίστηκε από τον συνδυασμό δύο βασικών ριπτικών δοκιμασιών που χρησιμοποιούνται από όλους τους αθλητές των ρίψεων: τη ρίψη σφαίρας πίσω και τη ρίψη σφαίρας εμπρός με δύο χέρια. Σε πολλές πιλοτικές μετρήσεις οι δύο αυτές ριπτικές δοκιμασίες είχαν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους ($r = 0,95$, $p = 0,001$). Οπότε, για τη πρώτη μελέτη, οι δύο αυτές δοκιμασίες ενώθηκαν σε μία με την ονομασία συνδυαστική ριπτική ικανότητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προπόνηση ισχύος με υψηλές και

χαμηλές αντιστάσεις δεν μετέβαλαν σημαντικά τη συνδυαστική ριπτική ικανότητα (από $13,09 \pm 1,4\text{m}$ σε $13,16 \pm 1,5\text{m}$ μετά από χαμηλά φορτία και από $12,84 \pm 1,7\text{m}$ σε $13,23 \pm 1,5\text{m}$ μετά από υψηλά φορτία). Ωστόσο, η ανάλυση των ποσοστιαίων μεταβολών έδειξε ότι η συνδυαστική ριπτική ικανότητα αυξήθηκε περισσότερο μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία ($3,3 \pm 3,8\%$ έναντι $0,6 \pm 2,9\%$, αντίστοιχα, $p = 0,048$, $\eta^2 = 0,256$).

4.1.4 Κατακόρυφα άλματα

Η αλτική ικανότητα στο άλμα από ημικάθισμα και στο άλμα με αιώρηση δεν μεταβλήθηκε μετά από τα δύο προπονητικά προγράμματα ισχύος. Συγκεκριμένα, στον πίνακα 4.1.4.1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων από τα κατακόρυφα άλματα, το ύψος και την παραγωγή ισχύος. Ωστόσο, σημαντική διαφορά βρέθηκε ανάμεσα στις ποσοστιαίες μεταβολές της ισχύος ανά κιλό σωματικής μάζας στο άλμα από ημικάθισμα. Συγκεκριμένα, μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία η ισχύς αυξήθηκε κατά $5,1 \pm 7,6\%$ σε σύγκριση με την αλλαγή που προκλήθηκε μετά από το φορμάρισμα με τα χαμηλά φορτία $-0,9 \pm 4,37\%$, $p = 0,042$, $\eta^2 = 0,388$.

Πίνακας 4.1.4.1 Αναλυτικά αποτελέσματα στα κατακόρυφα άλματα μετά από φορμάρισμα με χαμηλά και υψηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.

Κατακόρυφα Άλματα	Φορμάρισμα με 30%		Φορμάρισμα με 85%		P	η^2
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά		
	30,67	31,15	29,87	30,43	0,722	0,006
Άλμα από Ημικάθισμα (cm)	± 5,47	± 5,32	± 4,80	± 4,34		
Ισχύς από το άλμα από Ημικάθισμα (W)	775,85	784,20	761,57	785,55	0,942	0,000
	± 207,21	± 216,44	± 202,06	± 198,73		
Ισχύς από το άλμα από Ημικάθισμα ($P \cdot kg^{-1}$)	9,93	9,93	9,37	9,73	0,650	0,010
	± 2,26	± 2,29	± 1,75	± 1,65		
Άλμα με αιώρηση κορμού (cm)	33,40	33,44	31,99	32,57	0,611	0,013
	± 5,98	± 5,99	± 4,15	± 4,35		
Ισχύς από το άλμα με αιώρηση κορμού (W)	1049,71	1081,44	1060,36	1064,02	0,895	0,001
	± 275,08	± 312,14	± 268,48	± 260,63		
Ισχύς από το άλμα με αιώρηση κορμού ($P \cdot kg^{-1}$)	13,51	13,68	13,07	13,20	0,630	0,012
	± 3,28	± 3,28	± 2,23	± 2,45		

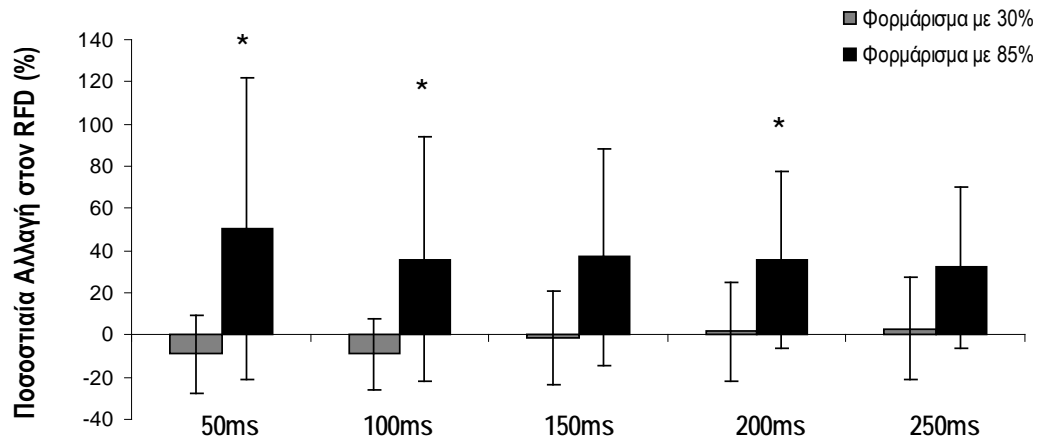
4.1.5 Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης (RFD)

Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης δεν μεταβλήθηκε μετά από τα δύο προγράμματα ισχύος όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.1.5.1. Ωστόσο, σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στις ποσοστιαίες μεταβολές, με τις αυξήσεις του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης μετά το φορμάρισμα με υψηλά φορτία να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές μετά από το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία. Συγκεκριμένα, οι διαφορές εντοπίστηκαν στα 50ms ($p = 0,038$, $\eta^2 = 0,516$), στα 100ms ($p = 0,042$, $\eta^2 = 0,418$) και στα 200ms ($p = 0,041$, $\eta^2 = 0,389$) (σχεδιάγραμμα 4.1.5.1). Ομοίως, για τον χώρο εμβαδού καμπύλης δύναμης/χρόνου, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μετά τα δύο προγράμματα ισχύος. Ωστόσο, η ανάλυση των ποσοστιαίων μεταβολών έδειξε ότι υπάρχει διαφορά ανάμεσα στα δύο προγράμματα με το φορμάρισμα με υψηλά

φορτία να υπερτερεί στα 100ms ($p = 0,045$, $\eta^2 = 0,411$), 150ms ($p = 0,038$, $\eta^2 = 0,512$), 200ms ($p = 0,044$, $\eta^2 = 0,401$) και 250ms ($p = 0,048$, $\eta^2 = 0,380$) σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία.

Πίνακας 4.1.5.1 Αναλυτικά αποτελέσματα στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στο εμβαδόν καμπύλης δύναμης / χρόνου μετά από φορμάρισμα με χαμηλά και υψηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.

	Φορμάρισμα με 30%		Φορμάρισμα με 85%		p	η^2
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά		
	Ρυθμός Εφαρμογής Δύναμης ($N \cdot sec^{-1}$)					
50ms	10490	9336	10622	13827	0,392	0,039
	± 4386	± 4195	± 6200	± 10208		
100ms	14899	13865	14914	16248	0,825	0,003
	± 5635	± 5827	± 9039	± 7467		
150ms	14384	14038	14066	15909	0,275	0,062
	± 5065	± 4808	± 7529	± 6659		
200ms	13086	12959	12584	14370	0,181	0,920
	± 4349	± 4274	± 6344	± 5613		
250ms	11552	11543	11274	12783	0,164	0,099
	± 3502	± 3409	± 5498	± 4849		
	Εμβαδόν Καμπύλης Δύναμης Χρόνου (N/sec)					
50ms	442	426	481	546	0,341	0,048
	± 185	± 178	± 249	± 273		
100ms	6104	5442	6369	7086	0,906	0,001
	± 2399	± 2325	± 4323	± 4227		
150ms	22906	21288	23186	25799	0,600	0,015
	± 8417	± 8289	± 14114	± 12827		
200ms	54572	51985	54121	60829	0,384	0,040
	± 19281	± 18822	± 30699	± 27539		
250ms	102669	99271	101131	114130	0,287	0,059
	± 34514	± 33975	± 54643	± 48717		



Σχήμα 4.1.5.1 Ποσοστιαίες αλλαγές στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης (RFD), * $P < 0,05$.

4.1.6 Μέγιστη δύναμη (1-MAE)

Η μέγιστη ισομετρική δύναμη παρέμεινε αμετάβλητη μετά τα δύο φορμαρίσματα όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1.6.1. Ωστόσο, οι ποσοστιαίες αυξήσεις ήταν σημαντικά μεγαλύτερες μετά το φορμάρισμα με υψηλά φορτία σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία ($17,8 \pm 15,9\%$ και $2,4 \pm 9,9\%$, αντίστοιχα, $p = 0,016$, $\eta^2 = 0,539$). Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και για τη δοκιμασία των ωθήσεων κάτω άκρων, χωρίς να υπάρχει κάποια σημαντική διαφορά μετά τα δύο προγράμματα. Ωστόσο, οι ποσοστιαίες αυξήσεις ήταν σημαντικά μεγαλύτερες μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία ($5,9 \pm 10,2\%$ και $-3,4 \pm 7,9\%$, αντίστοιχα, $p = 0,031$, $\eta^2 = 0,415$). Καμία αλλαγή δεν βρέθηκε στις ασκήσεις του αρασέ, του επωμισμού, των πιέσεων θώρακα με μπάρα και στο βαθύ κάθισμα μετά από τα δύο φορμαρίσματα (πίνακας 4.1.6.1).

Πίνακας 4.1.6.1 Αναλυτικά αποτελέσματα της μυϊκής δύναμης μετά από τα δύο φορμαρίσματα με υψηλά και χαμηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.

	Φορμάρισμα με 30%		Φορμάρισμα με 85%		P	η^2
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά		
	55,50	55,78	55,78	55,40		
Αρασέ (kg)	± 16,91	± 15,47	± 17,87	± 17,12	0,762	0,007
	76,09	79,00	77,67	77,50		
Επωμισμός (kg)	± 23,41	± 25,91	± 25,31	± 25,95	0,861	0,002
	93,22	94,44	94,44	97,56		
Πάγκος (kg)	± 30,84	± 29,10	± 30,87	± 29,11	0,129	0,138
	128,46	125,00	128,85	127,73		
Βαθύ (kg)	± 27,72	± 29,24	± 27,40	± 30,44	0,847	0,002
	341,36	331,82	324,09	339,09		
Πρέσα (kg)	± 73,38	± 81,71	± 91,67	± 87,34	0,584	0,015
	4092,54	4201,61	4133,32	4734,35		
Ισομετρική (N)	± 1006,01	± 1070,20	± 1843,32	± 2036,12	0,063	0,320

4.1.7 Αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός

Μετά από 2 εβδομάδες φορμαρίσματος είτε με χαμηλά φορτία είτε με υψηλά φορτία, η αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός δεν μεταβλήθηκε σημαντικά. Τα αναλυτικά αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.7.1.

Πίνακας 4.1.7.1. Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός μετά από 2 εβδομάδες φορμάρισμα με υψηλά και χαμηλά φορτία. Καμία αλλαγή μετά τα δύο φορμαρίσματα.

	Φορμάρισμα με 30%		Φορμάρισμα με 85%		p	η^2
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά		
Πάχος (cm)	2,56 ± 0,38	2,64 ± 0,32	2,52 ± 0,41	2,53 ± 0,37	0,626	0,012
Γωνία (μοίρες)	18,55 ± 2,16	17,74 ± 2,73	17,34 ± 1,58	17,05 ± 2,19	0,254	0,065
Μήκος (cm)	8,28 ± 1,44	8,58 ± 1,47	8,51 ± 1,15	8,81 ± 1,55	0,653	0,010

4.1.8 Άλιπη μάζα

Η άλιπη μάζα αξιολογήθηκε στην αρχή του προπονητικού μακρόκυκλου, μετά την πρώτη περίοδο φορμαρίσματος και αμέσως μετά τη δεύτερη περίοδο φορμαρίσματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η άλιπη μάζα αυξήθηκε σημαντικά μετά τις δύο προπονητικές περιόδους ($p = 0,004$, $\eta^2 = 0,706$) και σχεδόν το ίδιο μετά από τα δύο φορμαρίσματα όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.1.8.1.

Πίνακας 4.1.8.1 Σωματική σύσταση μετά τα δύο φορμαρίσματα.

	Αρχή προετοιμασίας	Φορμάρισμα με 30%	Φορμάρισμα με 85%
Λίπος (%)	29,58 ± 7,85	27,99 ± 8,17	27,64 ± 8,34
Άλιπη μάζα (kg)	54,85 ± 14,28	57,32 ± 13,41*	57,05 ± 15,21*
Οστική πυκνότητα ($\text{gr}\cdot\text{cm}^{-2}$)	1,31 ± 0,10	1,34 ± 0,09	1,34 ± 0,09

* $P < 0,01$, ανάμεσα στην έναρξη του προπονητικού μακρόκυκλου και των δύο περιόδων φορμαρίσματος

4.1.9 Αντίληψη κόπωσης

Μετά το τέλος των φορμαρισμάτων, οι αθλητές αξιολόγησαν τα δύο φορμαρίσματα ως προς την αντίληψη κόπωσης. Συγκεκριμένα, μετά από κάθε προπονητική μονάδα βαθμολογούσαν από το 1-10 το εκάστοτε φορμάρισμα που πραγματοποιούσαν σύμφωνα με την κλίμακα κόπωσης του Borg, (1982). Παράλληλα, υπολογίστηκαν ο όγκος προπόνησης, η προπονητική μονοτονία και το προπονητικό στρες μετά από κάθε προπόνηση σύμφωνα με τους McGuigan και Foster, (2004). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία ήταν σημαντικά ευκολότερο (Borg scale 1-10) σε σύγκριση με το φορμάρισμα με υψηλά φορτία: $4,0 \pm 1,5$ έναντι $6,7 \pm 0,9$ ($p = 0,01$, $\eta^2 = 0,757$). Πράγματι, τα δεδομένα αυτά επαληθεύτηκαν και από τις επόμενες αναλύσεις, όπου βρέθηκε ότι ο όγκος προπόνησης με τα υψηλά φορτία ήταν πολύ μεγαλύτερος σε σύγκριση με τα χαμηλά φορτία (12662 ± 2944 kg έναντι, 9360 ± 1373 kg, $p = 0,000$, $\eta^2 = 0,763$), ενώ η προπονητική μονοτονία και το προπονητικό στρες ήταν μεγαλύτερα μετά το φορμάρισμα με υψηλά φορτία (μονοτονία: $2,30 \pm 0,33$ έναντι $0,70 \pm 0,33$, $p = 0,000$, $\eta^2 = 0,945$, και στρες: 1114 ± 310 έναντι 424 ± 451 , $p = 0,000$, $\eta^2 = 0,659$).

4.2 Αποτελέσματα δεύτερης μελέτης

Σκοπός της δεύτερης μελέτης ήταν να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μύος και της ριπτικής επίδοσης πριν και μετά από 10 εβδομάδες προπόνησης δύναμης-ισχύος σε αθλητές ρίψεων. Τα αποτελέσματα της μελέτης δεν έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε αθλητές και αθλήτριες (πχ. για την αγωνιστική ριπτική επίδοση : $p = 0,565$, και για το μήκος των μυϊκών δεματίων: $p = 0,498$). Οπότε, τα αποτελέσματα της δεύτερης μελέτης θα παρουσιαστούν ως μία ομάδα αθλητών/τριων.

4.2.1 Σωματομετρικά χαρακτηριστικά

Μετά από 10 εβδομάδες προπόνησης δύναμης-ισχύος τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά των αθλητών/τριων δεν μεταβλήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα το σωματικό ανάστημα παρέμεινε αμετάβλητο ενώ η σωματική μάζα δεν άλλαξε σημαντικά (από $82,04 \pm 20,29$ kg σε $82,79 \pm 21,03$ kg, $p = 0,088$, $\eta^2 = 0,241$).

4.2.2 Αλλαγές στην αγωνιστική ρίψη, στη ριπτική ικανότητα, στη μυϊκή δύναμη και στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης

Η αγωνιστική ριπτική επίδοση αυξήθηκε μετά από 10 εβδομάδες προπόνησης κατά $6,76 \pm 4,31\%$ ($p = 0,000$, $\eta^2 = 0,705$). Αντίστοιχα, οι αλλαγές στη ριπτική ικανότητα, στη μυϊκή δύναμη και στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.2.1. Στις δοκιμασίες της ριπτικής ικανότητας βρέθηκε σημαντική αύξηση μόνο στη ρίψη από τελική διπλή στήριξη. Όλες οι δοκιμασίες δύναμης αυξήθηκαν μετά τις 10 εβδομάδες προπόνησης, ενώ

ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης αυξήθηκε σε όλες τις χρονικές περιόδους μετά την προπόνηση.

Πίνακας 4.2.2.1 Αλλαγές σε ριπτική ικανότητα, μυϊκή δύναμη και ρυθμό εφαρμογής της δύναμης σε χρονικές περιόδους από 50ms έως 250ms, μετά από 10 εβδομάδες προπόνηση δύναμης-ισχύος.

	Πριν (T1)	Μετά (T2)	% T1-T2	p	η^2
Ριπτική ικανότητα					
Ρίψη πίσω (m)	13,72 ± 1,58	13,71 ± 1,73	-0,31 ± 2,62	0,872	0,002
Ρίψη με μέτωπο (m)	9,38 ± 1,36	9,39 ± 1,37	1,54 ± 4,97	0,954	0,000
Ρίψη από τελική διπλή στήριξη (m)	9,65 ± 1,41	9,95 ± 1,34*	3,58 ± 4,97	0,019	0,408
Μυϊκή δύναμη					
Πρέσα (kg)	340,00 ± 80,00	360,00 ± 72,77 [#]	8,01 ± 6,01	0,008	0,492
Επωμισμός (kg)	77,00 ± 23,66	78,36 ± 27,63 [#]	4,72 ± 5,28	0,006	0,516
Βαθύ (kg)	125,00 ± 26,08	130,9 ± 25,96 [#]	4,68 ± 2,98	0,000	0,731
Ισομετρική (N)	3946,5 ± 1065,9	4612,1 ± 1338,2 [#]	22,65 ± 20,12	0,009	0,475
Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης					
RFD _{50ms} (N·sec ⁻¹)	10176 ± 4511	13320 ± 4542 [#]	42,40 ± 41,82	0,000	0,705
RFD _{100ms} (N·sec ⁻¹)	14664 ± 5555	19041 ± 6581*	37,72 ± 34,81	0,007	0,499
RFD _{150ms} (N·sec ⁻¹)	14107 ± 4162	17935 ± 4823*	30,66 ± 24,31	0,002	0,593
RFD _{200ms} (N·sec ⁻¹)	12761 ± 3434	16075 ± 4093*	28,66 ± 25,77	0,004	0,554
RFD _{250ms} (N·sec ⁻¹)	11272 ± 2826	14313 ± 3415 [#]	29,41 ± 24,83	0,001	0,616
Εμβαδόν καμπύλης δύναμης χρόνου					
Impulse _{50ms} (N·sec)	450 ± 182	590 ± 197 [#]	37,88 ± 32,19	0,001	0,652
Impulse _{100ms} (N·sec)	5814 ± 2363	7929 ± 3299*	43,80 ± 38,97	0,006	0,514
Impulse _{150ms} (N·sec)	22254 ± 7793	29365 ± 10118*	37,27 ± 30,73	0,003	0,556
Impulse _{200ms} (N·sec)	53134 ± 16644	68746 ± 20978*	33,11 ± 26,52	0,003	0,570
Impulse _{250ms} (N·sec)	100086 ± 28943	128577 ± 36319*	31,44 ± 25,23	0,002	0,581

* $P < 0,05$, [#] $P < 0,001$, RFD = ρυθμός εφαρμογής δύναμης, Impulse = εμβαδόν καμπύλης δύναμης χρόνου.

4.2.3 Αλλαγές στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και στη σωματική σύσταση

Στον πίνακα 4.2.3.1 παρουσιάζονται οι αλλαγές στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Μετά από 10 εβδομάδες προπόνησης βρέθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση στο πάχος του μυός αλλά και στο μήκος των μυϊκών δεματίων. Καμία σημαντική αλλαγή δεν βρέθηκε στη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών δεματίων. Αντίστοιχα, στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα από την εκτίμηση της σωματικής σύστασης. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μια τάση για αύξηση στην άλιπη μάζα των κάτω άκρων, ενώ καμία άλλη αλλαγή δεν βρέθηκε στις υπόλοιπες μεταβλητές της άλιπης μάζας. Παράλληλα, το ποσοστό λίπους παρέμεινε αμετάβλητο ($1,14 \pm 6,07\%$, $p = 0,625$, $\eta^2 = 0,028$) ενώ η οστική πυκνότητα δεν μεταβλήθηκε ($0,98 \pm 2,59\%$, $p = 0,238$, $\eta^2 = 0,151$).

Πίνακας 4.2.3.1 Αλλαγές στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και στην άλιπη μάζα.

	Πριν (T1)	Μετά (T2)	% T1 – T2	p	η^2
Πάχος (cm)	$2,57 \pm 0,32$	$2,71 \pm 0,29^*$	$5,95 \pm 7,13$	0,012	0,452
Γωνία (μοίρες)	$19,05 \pm 2,82$	$18,42 \pm 1,85$	$-1,28 \pm 18,14$	0,531	0,037
Μήκος (cm)	$7,85 \pm 0,89$	$8,84 \pm 1,16^*$	$13,41 \pm 16,15$	0,016	0,425
Άλιπη μάζα (kg)	$57,14 \pm 13,15$	$58,61 \pm 15,49$	$2,08 \pm 4,61$	0,208	0,170
Άλιπη μάζα άνω άκρων (kg)	$7,45 \pm 2,19$	$7,31 \pm 2,30$	$-2,07 \pm 5,74$	0,450	0,065
Άλιπη μάζα κορμού (kg)	$20,78 \pm 4,43$	$21,63 \pm 5,29$	$3,87 \pm 4,86$	0,087	0,290
Άλιπη μάζα κάτω άκρων (kg)	$25,60 \pm 6,45$	$26,73 \pm 7,69$	$3,72 \pm 5,75$	0,057	0,347

* $P < 0,05$

4.2.4 Συσχετίσεις και πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση ανάμεσα στην αγωνιστική ριπτική επίδοση και στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός

Για τη συσχέτιση της αγωνιστικής ριπτικής επίδοσης με τις υπόλοιπες μεταβλητές πραγματοποιήθηκε μετατροπή των αγωνιστικών ριπτικών επιδόσεων σε τιμές Z ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μεγάλο εύρος που προκύπτει από τις αγωνιστικές επιδόσεις. Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα στην αγωνιστική ριπτική επίδοση και στην άσκηση του επωμισμού τόσο πριν την προπόνηση ($r = 0,61$, $p < 0,05$) αλλά και μετά την προπόνηση ($r = 0,59$, $p < 0,05$). Αντίστοιχα, σημαντική συσχέτιση βρέθηκε στο τέλος της προπονητικής περιόδου (T2) ανάμεσα στην αγωνιστική ρίψη και στο μήκος των μυϊκών δεματίων ($r = 0,59$, $p < 0,05$). Καμία άλλη σημαντική συσχέτιση δεν βρέθηκε ανάμεσα στην αγωνιστική ριπτική επίδοση (Z τιμές) με τις υπόλοιπες μεταβλητές.

Η ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης έδειξε ότι ο γραμμικός συνδυασμός της ποσοστιαίας αύξησης του μήκους των μυϊκών δεματίων και του πάχους του έξω πλατύ μηριαίου μυός έτεινε να προβλέπει το 33% της ποσοστιαίας αύξησης στην αγωνιστική ριπτική επίδοση ($R^2 = 0,338$, $p = 0,06$, Beta μήκους δεματίων = 0,703, $p = 0,028$, Beta πάχους μυός = 0,511, $p = 0,09$). Ομοίως, ο γραμμικός συνδυασμός της ποσοστιαίας αύξησης του μήκους των μυϊκών δεματίων και της γωνίας των μυϊκών δεματίων του έξω πλατύ μηριαίου μυός έτεινε να προβλέπει το 33% της ποσοστιαίας αύξησης στην αγωνιστική ριπτική επίδοση ($R^2 = 0,335$, $p = 0,06$, Beta μήκους δεματίων = 1,605, $p = 0,034$, Beta πάχους μυός = 1,206, $p = 0,092$).

4.2.5 Συσχέτιση ριπτικής ικανότητας και μυϊκής δύναμης με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης

Οι δοκιμασίες ριπτικής ικανότητας και μυϊκής δύναμης παρουσίασαν σημαντικές υψηλές συσχετίσεις με την αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της

δύναμης, τόσο πριν την έναρξη της προπόνησης όσο και στο τέλος της προπονητικής περιόδου. Στον πίνακα 4.2.5.1 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των μεταβλητών. Καμία σημαντική συσχέτιση δεν βρέθηκε ανάμεσα στις ποσοστιαίες αλλαγές των δοκιμασιών ριπτικής ικανότητας, μυϊκής δύναμης και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ της ποσοστιαίας αύξησης στη μέγιστη ισομετρική δύναμη και στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2.7.2.

Πίνακας 4.2.5.1 Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ασκήσεων της ριπτικής ικανότητας και της μέγιστης δύναμης με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης.

		RFD ₅₀	RFD ₁₀₀	RFD ₁₅₀	RFD ₂₀₀	RFD ₂₅₀
Ρίψη πίσω	T1	,769**	,693*	,631*	,477	,453
	T2	,440	,604*	,589*	,598*	,522
Ρίψη με Μέτωπο	T1	,660*	,884**	,917**	,846**	,814**
	T2	,540	,732**	,794**	,798**	,772**
Ρίψη από τελική διπλή στήριξη	T1	,651*	,732**	,723**	,599*	,574
	T2	,334	,603*	,689*	,698*	,700*
Βαθύ κάθισμα	T1	,631*	,700*	,705*	,592*	,580
	T2	,438	,649*	,695*	,687*	,690*
Πρέσα	T1	,766**	,870**	,871**	,760**	,715**
	T2	,648*	,856**	,858**	,843**	,800**
Επωμισμός	T1	,758**	,767**	,763**	,636*	,578*
	T2	,621*	,766**	,728**	,710**	,617*
Μέγιστη ισομετρική	T1	,342	,592*	,723**	,731**	,735**
	T2	,384	,721**	,830**	,856**	,903**

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, RFD = Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης

4.2.6 Συσχέτιση ριπτικής ικανότητας και μυϊκής δύναμης με την αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός και την άλιπη μάζα

Στον πίνακα 4.2.6.1 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις δοκιμασίες ριπτικής ικανότητας και μυϊκής δύναμης, με την αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Ο πίνακας δείχνει σημαντικές συσχετίσεις ιδιαίτερα στις T2 μετρήσεις ανάμεσα στη ριπτική ικανότητα και το μήκος δεματίων. Μάλιστα, υψηλή συσχέτιση βρέθηκε ανάμεσα στο ποσοστό αύξησης στη ρίψη σφαίρας από τελική διπλή στήριξη και στο ποσοστό αύξησης του πάχους του έξω πλατύ μηριαίου μυός ($r = -0,607$, $p = 0,048$).

Πίνακας 4.2.6.1 Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις δοκιμασίες της ριπτικής ικανότητας και της μυϊκής δύναμης με τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός.

		Πάχος	Γωνία	Μήκος
Ρίψη πίσω	T1	,515	-,012	,546
	T2	,440	-,278	,635*
Ρίψη με μέτωπο	T1	,811**	,264	,565
	T2	,753**	,082	,594*
Ρίψη από τελική διπλή	T1	,556	-,002	,616*
	T2	,626*	,109	,683*
Βαθύ	T1	,544	-,073	,666*
	T2	,572	,044	,489
Πρέσα	T1	,761**	,256	,478
	T2	,682*	,043	,585*
Επωμισμός	T1	,572	,007	,635*
	T2	,713**	-,112	,729**
Μέγιστη ισομετρική	T1	,848**	,638*	,170
	T2	,636*	,051	,483

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$

Η ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης έδειξε ότι ο γραμμικός συνδυασμός της ποσοστιαίας αύξησης στο πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μυός και στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης στα 50ms προέβλεπε σημαντικά το 53% της ποσοστιαίας αύξησης στη ρίψη σφαίρας από τελική διπλή στήριξη ($R^2 = 0,533$, $p = 0,019$, Beta Πάχους έξω πλατύ = $-0,637$, $p = 0,019$ και Beta ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 50ms = $0,509$, $p = 0,046$).

Τέλος, στον πίνακα 4.2.6.2 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις δοκιμασίες ριπτικής ικανότητας και της μυϊκής δύναμης με τις παραμέτρους της άλιπης μάζας. Όπως ήταν αναμενόμενο παρουσιάστηκαν πολύ υψηλοί συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις μεταβλητές.

Πίνακας 4.2.6.2 Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις δοκιμασίες της ριπτικής ικανότητα και της μυϊκής δύναμης με τις παραμέτρους της άλιπης μάζας.

		Ολική άλιπη μάζα	Άνω άκρα	Κορμού	Κάτω άκρα
Ρίψη πίσω	T1	,770**	,713**	,809**	,722**
	T2	,713**	,654*	,760**	,666*
Ρίψη με μέτωπο	T1	,829**	,846**	,827**	,782**
	T2	,832**	,817**	,831**	,808**
Ρίψη από τελική διπλή	T1	,840**	,820**	,898**	,790**
	T2	,794**	,803**	,808**	,767**
Βαθύ	T1	,879**	,872**	,883**	,858**
	T2	,825**	,853**	,801**	,814**
Πρέσα	T1	,922**	,918**	,902**	,902**
	T2	,931**	,942**	,900**	,927**
Επωμισμός	T1	,945**	,923**	,933**	,929**
	T2	,905**	,866**	,882**	,899**
Μέγιστη ισομετρική	T1	,587	,629*	,547	,564
	T2	,747**	,759**	,720**	,753**

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$

4.2.7 Συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της άλιπης μάζας

Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντικούς συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στο ρυθμό εφαρμογής της δύναμης με τις βιολογικές παραμέτρους της αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της άλιπης μάζας. Συγκεκριμένα, στον πίνακα 4.2.7.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις παραπάνω μεταβλητές.

Πίνακας 4.2.7.1 Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της άλιπης μάζας με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης.

		RFD ₅₀	RFD ₁₀₀	RFD ₁₅₀	RFD ₂₀₀	RFD ₂₅₀
Πάχος	T1	,651*	,832**	,875**	,839**	,835**
	T2	,645*	,734**	,816**	,806**	,776**
Γωνία	T1	,168	,348	,391	,433	,442
	T2	,340	,243	,320	,340	,389
Μήκος	T1	,474	,475	,506	,425	,421
	T2	,456	,601*	,613*	,682*	,683*
Ολική άλιπη μάζα	T1	,602*	,694*	,772**	,710**	,713**
	T2	,633*	,822**	,849**	,858**	,872**
Άνω άκρα	T1	,538	,690*	,784**	,744**	,746**
	T2	,606*	,801**	,834**	,840**	,864**
Κορμού	T1	,659*	,706*	,762**	,682*	,685*
	T2	,612*	,807**	,841**	,861**	,881**
Κάτω άκρα	T1	,547	,641*	,728**	,671*	,673*
	T2	,621*	,818**	,839**	,842**	,854**

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, RFD = Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης

Ένα σημαντικό εύρημα της μελέτης ήταν οι υψηλές συσχετίσεις ανάμεσα στις ποσοστιαίες αλλαγές της άλιπης μάζας με την ισομετρική δύναμη, τον ρυθμό

εφαρμογής της δύναμης, αλλά και με το εμβαδόν καμπύλης δύναμη/χρόνου. Στον πίνακα 4.2.7.2 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις ανάμεσα στις παραπάνω μεταβλητές.

Πίνακας 4.2.7.2 Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις ποσοστιαίες μεταβολές της άλιπης μάζας, της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και του εμβαδόν καμπύλης δύναμης/χρόνου.

	RFD					
	IPF	RFD ₅₀	RFD ₁₀₀	RFD ₁₅₀	RFD ₂₀₀	RFD ₂₅₀
Ολική άλιπη μάζα	,786**	,099	,667*	,730**	,763**	,769**
Άνω άκρα	,674*	,121	,565	,717**	,756**	,814**
Κάτω άκρα	,821**	,241	,706*	,606*	,538	,530
Κορμού	,498	,002	,520	,690*	,775**	,757**
	Impulse					
	Impulse ₅₀	Impulse ₁₀₀	Impulse ₁₅₀	Impulse ₂₀₀	Impulse ₂₅₀	
Ολική άλιπη μάζα	,275	,646*	,733**	,797**	,817**	
Άνω άκρα	,121	,572	,656*	,747**	,789**	
Κάτω άκρα	,336	,648*	,702*	,686*	,655*	
Κορμού	,259	,501	,609*	,718**	,764**	

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, IPF = μέγιστη ισομετρική δύναμη, RFD = Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, Impulse = εμβαδόν καμπύλης δύναμης / χρόνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η συζήτηση των αποτελεσμάτων γίνεται με βάση τα τέσσερα ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν από τις δύο μελέτες:

Πρώτο ερευνητικό ερώτημα: Το φορμάρισμα πριν τον αγώνα-στόχο είναι καλύτερο να γίνεται με υψηλές ή χαμηλές αντιστάσεις σε αθλητές ρίψεων;

Δεύτερο ερευνητικό ερώτημα: Η προπόνηση ισχύος με χαμηλά και με υψηλά φορτία βελτιώνουν τις παραμέτρους δύναμης, ισχύος και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, σε αθλητές ρίψεων;

Τρίτο ερευνητικό ερώτημα: Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της ριπτική επίδοσης;

Τέταρτο ερευνητικό ερώτημα: Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών του έξω πλατύ μηριαίου μύος;

5.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων πρώτης μελέτης

5.1.1 Η επίδραση του φορμαρίσματος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις στην αγωνιστική ριπτική επίδοση και στη συνδυαστική ριπτική ικανότητα

Το κύριο εύρημα της πρώτης μελέτης ήταν ότι η προπόνηση ισχύος με χαμηλά και υψηλά φορτία διάρκειας δύο εβδομάδων, αυξάνει σχεδόν το ίδιο την αγωνιστική ριπτική επίδοση σε αθλητές ρίψεων. Πιο αναλυτικά, το φορμάρισμα με υψηλά φορτία (85% της 1-MAE) αύξησε την αγωνιστική ρίψη κατά 5,6%, ενώ αντίστοιχα, το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία (30% της 1-MAE) αύξησε την αγωνιστική ρίψη κατά 4,8%. Τα ποσοστά αύξησης της αγωνιστικής ριπτικής επίδοσης βρίσκονται σε συμφωνία με μελέτες σε αγωνίσματα ισχύος με παρόμοιες αυξήσεις στην επίδοση κατά $\approx 4,6\%$ (Mujika et al., 2004). Καμία στατιστικά σημαντική διαφορά δεν βρέθηκε ανάμεσα στα δύο φορμαρίσματα.

Ωστόσο, η ποσοστιαία διαφορά 0,8%, που δεν είναι στατιστικά σημαντική, μπορεί να έχει μεγάλη σημασία στην αθλητική πρακτική. Αυτό σημαίνει ότι στον κορυφαίο αγώνα της χρονιάς, όπου όλοι οι αθλητές επιθυμούν να μεγιστοποιήσουν τη ριπτική τους επίδοση, η διαφορά μεταξύ του πρώτου από τον δεύτερο μπορεί να είναι μικρότερη από 0,8%. Μάλιστα, τα αποτελέσματα από τους Ολυμπιακούς αγώνες του 2012 στο Λονδίνο δείχνουν ότι στα αγωνίσματα της σφαιροβολίας, της δισκοβολίας και του ακοντισμού η διαφορά του πρώτου νικητή από τον δεύτερο ήταν κάτω από 0,2% (0,14%, 0,13 και 0,08% αντίστοιχα, η διαφορά πρώτου και δεύτερου νικητή στους Ολυμπιακούς Αγώνες του Λονδίνου 2012). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η επιλογή του φορμαρίσματος ίσως έχει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη μέγιστης επίδοσης στον αγώνα-στόχο αλλά και στην κατάκτηση της πρώτης από τη δεύτερη θέση.

Ενδιαφέρον εύρημα της μελέτης ήταν ότι οι πέντε αθλητές/τριες της δισκοβολίας αύξησαν περισσότερο την επίδοσή τους μετά από το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία κατά 5,02% σε σύγκριση με το φορμάρισμα με υψηλά φορτία όπου η επίδοση αυξήθηκε μόλις κατά 3,24% ($p = 0,005$). Οι αθλητές της δισκοβολίας χρησιμοποιούν στη ρίψη ένα σχετικά ελαφρύ όργανο (δίσκος στους άνδρες 2kg, στις γυναίκες 1kg) κάτι το οποίο σημαίνει ότι η επίδοση στη ρίψη στηρίζεται περισσότερο στην ταχύτητα κίνησης και λιγότερο στην μέγιστη δύναμη. Περιγραφικά, εάν θέλουμε να κατατάξουμε τα ριπτικά αγωνίσματα στην ταχοδυναμική σχέση (κεφάλαιο ανασκόπησης, σχήμα 2.1.1) με βάση το βάρος του ριπτικού οργάνου, φαίνεται ότι τα αγωνίσματα της δισκοβολίας και του ακοντισμού έχουν υψηλότερες απαιτήσεις σε ταχύτητα ενώ αντίστοιχα η σφαίρα και η σφύρα (άνδρες 7,26kg, γυναίκες 4kg) έχουν υψηλότερες απαιτήσεις σε δύναμη. Αυτό σημαίνει ότι οι αθλητές της δισκοβολίας και του ακοντισμού στηρίζονται περισσότερο στην ανάπτυξη ταχύτητας και ίσως λιγότερο στην δύναμη. Ωστόσο, ο αριθμός των αθλητών της δισκοβολίας (μόλις 5) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την γενίκευση των αποτελεσμάτων.

Τα παραπάνω δεδομένα επαληθεύονται και από τα αποτελέσματα της συνδυαστικής ριπτικής ικανότητας ή οποία αυξήθηκε σημαντικά κατά 3,3% μόνο μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία και σημαντικά περισσότερο

συγκριτικά με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία. Οι ριπτικές δοκιμασίες (π.χ. ρίψη σφαίρας πίσω με δύο χέρια, ρίψη σφαίρας εμπρός με δύο χέρια, ρίψη σφαίρας από τελική διπλή στήριξη) θεωρούνται δοκιμασίες ισχύος ολόκληρου του σώματος και χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια ολόκληρου του προπονητικού έτους από τους ρίπτες ως δείκτες της ριπτικής ικανότητας. Μάλιστα, υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ αυτών των ριπτικών δοκιμασιών και της αγωνιστικής ρίψης (Terzis et al., 2010). Σε προηγούμενες μελέτες βρέθηκε ότι η ριπτική ικανότητα σε αυτές τις δοκιμασίες βελτιώνεται μετά από μακροχρόνια προπόνηση δύναμης (6-12%, Terzis et al., 2008, 7-13%, Zaras et al., 2013) ενώ παραμένει σε υψηλά επίπεδα ακόμη και μετά από 4 εβδομάδες αποπροπόνησης, ίσως εξαιτίας της σημαντικής αύξηση του ποσοστού των μυϊκών ιών τύπου ΙΙx μετά από τη διακοπή της προπόνησης, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη της μυϊκής ισχύος (Terzis et al., 2008). Με αυτό τον τρόπο η ριπτική ικανότητα παρέμεινε υψηλά μετά από την περίοδο διακοπής της συστηματικής προπόνησης σε μέτρια γυμνασμένου ασκούμενου. Ωστόσο, στη παρούσα μελέτη, η διάρκεια φορμαρίσματος ήταν μόλις 2 εβδομάδες, μικρή διάρκεια για να εντοπιστούν τυχόν αλλαγές στην κατανομή των μυϊκών ιών. Σε προηγούμενη μελέτη σε αθλητές σφυροβολίας βρέθηκε ότι ακόμη και μετά την βαριά χειμερινή περίοδο προετοιμασίας, οι σφυροβόλοι έχουν την ικανότητα να συντηρούν το ποσοστό των μυϊκών ιών τύπου ΙΙx σε υψηλά επίπεδα (Terzis et al., 2010). Αντίστοιχα, πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι μετά από 6 εβδομάδες προπόνησης ισχύος με 30% της 1-MAE αλλά και μετά από σύνθετη και συνδυαστική προπόνηση, το ποσοστό των μυϊκών ιών τύπου ΙΙx παραμένει αμετάβλητο (Zaras et al., 2013, Stasinaki et al., 2015), ενώ φαίνεται να υπάρχει επιλεκτική υπερτροφία της εγκάρσιας επιφάνειας αυτών των μυϊκών ιών μετά από τη βαλλιστική προπόνηση με 30% της 1-MAE (Zaras et al., 2013). Φαίνεται ότι το μοντέλο της προπόνησης που ακολουθούν οι αθλητές των ρίψεων δεν αλλάζει ιδιαίτερα το ποσοστό των μυϊκών ιών τύπου ΙΙx. Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη δεν αξιολογήθηκε η κατανομή μυϊκών ιών ούτε το επίπεδο της νευρικής ενεργοποίησης των κάτω άκρων, μετρήσεις οι οποίες θα μπορούσαν να δώσουν πληροφορίες για συγκεκριμένες προσαρμογές μετά από τα δύο φορμαρίσματα.

5.1.2. Σύγκριση της προπόνησης ισχύος με χαμηλά και υψηλά φορτία σε παραμέτρους ισχύος, δύναμης, ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και αντίληψης κόπωσης

Η μυϊκή ισχύς είναι σημαντικός παράγοντας για την μεγιστοποίηση της ριπτικής επίδοσης. Τα αποτελέσματα της πρώτης μελέτης έδειξαν ότι σε απόλυτες τιμές, δεν υπήρχε καμία σημαντική αλλαγή στις παραμέτρους ισχύος μετά από φορμάρισμα είτε με χαμηλά είτε με υψηλά φορτία. Ωστόσο, το φορμάρισμα με υψηλά φορτία βελτίωσε περισσότερο της παραμέτρους ισχύος σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία. Πράγματι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συνδυαστική ριπτική ικανότητα αυξήθηκε περισσότερο μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία. Αντίστοιχα, η μυϊκή ισχύς στο άλμα από ημικάθισμα αυξήθηκε περισσότερο μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία (5,1%) σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία (0,9%). Τα δεδομένα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με μελέτη των Kyriazis et al., (2009), όπου μετά από 12 εβδομάδες προπόνησης με στόχο την αύξηση της ριπτικής επίδοσης, η παραγωγή ισχύος στο κατακόρυφο αυξήθηκε κατά 9% ενώ παρουσιάστηκε υψηλή συσχέτιση με την αγωνιστική ρίψη ($r = 0,66$). Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα φαίνεται ότι η προπόνηση ισχύος με υψηλά φορτία στην περίοδο κορύφωσης της επίδοσης, οδηγεί σε σημαντική αύξηση της μυϊκής ισχύος στο κατακόρυφο άλμα, τουλάχιστον σε αθλητές ρίψεων, γεγονός το οποίο διαπιστώνεται για πρώτη φορά.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η μυϊκή δύναμη αυξήθηκε περισσότερο μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία. Συγκεκριμένα, η μέγιστη ισομετρική δύναμη στις ωθήσεις των κάτω άκρων αυξήθηκε κατά 17,9% μετά από προπόνηση με υψηλά φορτία και κατά 2,4% μετά από προπόνηση με χαμηλά φορτία. Αντίστοιχα, η μέγιστη δύναμη στις ωθήσεις κάτω άκρων αυξήθηκε κατά 5,9% μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία σε αντίθεση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία που βρέθηκε αλλαγή κατά 3,4%. Φαίνεται, ότι η απότομη ελάττωση του προπονητικού όγκου μετά το

φορμάρισμα με χαμηλά φορτία (προπόνηση με το 30% της 1-MAE) είχε ως συνέπεια την πτώση της μέγιστης δύναμης σε αυτές τις ασκήσεις. Αντίστοιχα, η προπόνηση με υψηλά φορτία (προπόνηση με το 85% της 1-MAE) φαίνεται να συντήρησε την ικανότητα των αθλητών στη μέγιστη δύναμη καθώς η πτώση του όγκου προπόνησης δεν ήταν τόσο απότομη. Ενδιαφέρον έχουν τα αποτελέσματα έρευνας των Hortobagyi et al., (1993), οι οποίοι έδειξαν ότι μετά από 14 ημέρες αποπροπόνησης σε αθλητές ισχύος παρατηρήθηκε ατροφία των μυϊκών ινών τύπου II κατά 6%. Είναι γνωστό ότι η μυϊκή δύναμη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την μυϊκή μάζα. Πράγματι, τα αποτελέσματα της ανάλυσης σύστασης σώματος έδειξαν παρόμοιες αυξήσεις στην άλιπη μάζα στο τέλος των δύο φορμαρισμάτων. Ομοίως, η μυϊκή υπερηχογραφία δεν έδειξε σημαντικές αλλαγές ή διαφορές ανάμεσα στα δύο φορμαρίσματα όσον αφορά το πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μύος. Φαίνεται ότι η αλλαγή του όγκου προπόνησης στο φορμάρισμα με τα χαμηλά φορτία να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα συντήρησης της μυϊκής δύναμης σε υψηλά επίπεδα.

Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης παρέμεινε αμετάβλητος μετά τα δύο φορμαρίσματα. Ωστόσο, οι ποσοστιαίες μεταβολές ανάμεσα στα δύο φορμαρίσματα έδειξαν ότι το φορμάρισμα με υψηλά φορτία αύξησε περισσότερο τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης σε σύγκριση με το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία. Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης αυξάνεται μετά από προπόνηση ισχύος τόσο με υψηλά όσο και με χαμηλά φορτία (Stone et al., 2003, Kyröläinen et al., 2005, Andersen et al., 2005). Ωστόσο, δεν υπάρχουν δεδομένα που να διερευνούν αλλαγές στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης σε αθλητές ρίψεων, ιδιαίτερα στην κρίσιμη περίοδο του φορμαρίσματος. Γνωρίζουμε ότι μετά από 8 εβδομάδες προπόνησης δύναμης-ισχύος ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης αυξάνεται σε αθλητές κολεγιακού επιπέδου (Stone et al., 2003). Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε ότι η προπόνηση με υψηλά φορτία αύξησε περισσότερο τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης σε σύγκριση με τη προπόνηση με χαμηλά φορτία, κυρίως λόγω της συντήρησης του προπονητικού όγκου σε υψηλά επίπεδα, αλλά και της εκούσιας

μέγιστης ταχύτητας στην εκτέλεση των ασκήσεων με υψηλά φορτία (Aagaard et al., 2002, Behm and Sale, 1993).

Σημαντικό ρόλο στη μεγιστοποίηση της ισχύος αλλά και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης μετά από το φορμάρισμα με υψηλά φορτία είχε η εντολή στους αθλητές/τριες να εκτελούν τις ασκήσεις αντιστάσεων με όσο το δυνατό μέγιστη ταχύτητα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι αθλητές προσπαθούσαν να κινούν τα φορτία, ιδιαίτερα στο μειομετρικό μέρος της κίνησης, με μέγιστη εκούσια ταχύτητα. Σε προηγούμενες μελέτες έχει βρεθεί ότι σημαντικότερο ρόλο έχει η ταχύτητα της κίνησης που ασκεί ο αθλητής παρά η συγκεκριμένη εξωτερική αντίσταση που καλείται να υπερνικήσει (Aagaard et al., 2002, Behm και Sale, 1993). Μάλιστα, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης δεν άλλαξε σχεδόν καθόλου ποσοστιαία μετά το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία. Παρά το γεγονός ότι και εδώ οι αθλητές πραγματοποιούσαν μέγιστες μυϊκές συστολές για γρήγορη υπερνίκηση της εξωτερικής αντίστασης, η απότομη πτώση του όγκου προπόνησης αλλά και το χαμηλότερο φορτίο προπόνησης, ίσως να επηρέασαν τη σύντομη παραγωγή δύναμης. Φαίνεται ότι για τους αθλητές των ρίψεων, όταν ο στόχος στο φορμάρισμα είναι η ταυτόχρονη ανάπτυξη της ριπτικής επίδοσης της δύναμης, της ισχύος και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, τότε θα πρέπει να επιλέγεται φορμάρισμα με υψηλά φορτία.

Ένας από τους βασικούς στόχους του φορμαρίσματος είναι η απότομη πτώση του προπονητικού όγκου και ταυτόχρονα η ξεκούραση του αθλητή από την κόπωση της προπόνησης, ώστε να αποδώσει καλύτερα στον αγώνα στόχο. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το φορμάρισμα με υψηλά φορτία είχε μεγαλύτερο όγκο προπόνησης και ήταν πιο κουραστικό από το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία. Η κόπωση επαληθεύτηκε και από τους δείκτες της προπονητικής μονοτονίας και του προπονητικού στρες με τους αθλητές να δείχνουν σημαντικά μεγαλύτερη κόπωση μετά το φορμάρισμα με υψηλά φορτία. Ωστόσο, και τα δύο φορμαρίσματα οδήγησαν σε παρόμοια αύξηση της ριπτικής επίδοσης. Πρακτικά, τα αποτελέσματα από τους δείκτες κόπωσης, μονοτονίας και στρες δείχνουν ότι όταν ο αθλητής φτάνει στον αγώνα στόχο με σημάδια κόπωσης από την

προπόνηση τότε θα πρέπει να επιλέγεται το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία αφού αυξάνει το ίδιο τη ριπτική επίδοση ενώ συντηρεί τις υπόλοιπες ικανότητες (δύναμη, ισχύς) σε σταθερά επίπεδα.

5.1.3 Αλλαγές στην άλιπη μάζα και στην αρχιτεκτονική δομή του μυός μετά από προπόνηση ισχύος με χαμηλές και υψηλές αντιστάσεις

Η άλιπη μάζα αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τα αγωνίσματα ισχύος. Μάλιστα η σχέση της άλιπης μάζας με την επίδοση στις αθλητικές ρίψεις είναι καλά θεμελιωμένη στη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, υπάρχει υψηλή συσχέτιση της άλιπης μάζας με τη ριπτική επίδοση τόσο σε αθλητές όσο και σε αρχάριους ρίπτες (Morrow et al., 1982, Terzis et al., 2008, Whittington et al., 2009, Terzis et al., 2010). Ωστόσο, οι αυξομειώσεις της άλιπης μάζας φαίνεται να μην αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για υψηλού επιπέδου αθλητές της σφαιροβολίας που αγωνίζονται με τον περιστροφικό παλμό (Kyriazis et al., 2010, Terzis et al., 2012). Μετά από 2 εβδομάδες φορμάρισμα είτε με χαμηλά είτε με υψηλά φορτία, η άλιπη μάζα αυξήθηκε κατά περίπου 3,5% από τις αρχικές μετρήσεις της προετοιμασίας. Όμοιες ποσοστιαίες αυξήσεις έχουν βρεθεί και σε προηγούμενη μελέτη με αθλητές ρίψεων (Kyriazis et al., 2010). Οι αυξήσεις στην άλιπη μάζα δείχνουν ότι το προπονητικό πρόγραμμα που ακολουθήθηκε σε ολόκληρο το προπονητικό έτος ήταν αποτελεσματικό.

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα από την ανάλυση των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών του έξω πλατύ μηριαίου μυός δεν έδειξαν κάποια σημαντική αλλαγή ή διαφορά ανάμεσα στα δύο φορμαρίσματα όσον αφορά το πάχος, τη γωνία έλξης και το μήκος των μυϊκών δεματίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μυός δεν άλλαξε σημαντικά μετά τα δύο φορμαρίσματα κάτι που θα μπορούσε να στηρίζει περισσότερο το ρόλο της ανάπτυξης της μυϊκής μάζας στη ριπτική επίδοση. Μελέτη έχει δείξει ότι μόλις 5 εβδομάδες προπόνησης ισχύος μπορεί να μεταβάλλει τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός σε αθλητές (Blazevich et al., 2009). Φαίνεται ότι η διάρκεια του φορμαρίσματος ίσως να μην ήταν επαρκής ώστε να παρατηρηθούν

σημαντικές αλλαγές στα χαρακτηριστικά του μυός. Ίσως μελέτες φορμαρίσματος με μεγαλύτερη διάρκεια να δείξουν αλλαγές στην αρχιτεκτονική δομή των μυών. Το συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση.

5.1.4 Συμπεράσματα και πρακτικές εφαρμογές

Συμπερασματικά, 2 εβδομάδες προπόνησης ισχύος με χαμηλά (= 30% της 1-MAE) και υψηλά φορτία (= 85% της 1-MAE), αυξάνουν την αγωνιστική ριπτική ικανότητα στην περίοδο κορύφωσης της επίδοσης σε αθλητές ρίψεων. Η προπόνηση ισχύος στο φορμάρισμα θα πρέπει να πραγματοποιείται με μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Η προπόνηση ισχύος με υψηλά φορτία αυξάνει περισσότερο τις παραμέτρους δύναμης, ισχύος και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης. Ωστόσο, η προπόνηση ισχύος με χαμηλά φορτία είναι πιο εύκολη καθώς προκαλεί λιγότερη κόπωση στους αθλητές ενώ ίσως να είναι κατάλληλη για τους αθλητές της δισκοβολίας και του ακοντισμού. Το φορμάρισμα διάρκειας 2 εβδομάδων δεν προκάλεσε αλλαγές στην αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Μελλοντικές μελέτες φορμαρίσματος με μεγαλύτερη διάρκεια μπορούν δώσουν χρήσιμες πληροφορίες αναφορικά με τις αλλαγές στα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των μυών αλλά και στα νευρομυϊκά χαρακτηριστικά που έχουν σημαντικό ρόλο στην αγωνιστική ρίψη. Πρακτικά, τα αποτελέσματα της πρώτης μελέτης δείχνουν:

- Το φορμάρισμα είτε με χαμηλά (< 30% της 1-MAE) είτε με υψηλά φορτία (> 85% της 1-MAE) αυξάνουν τη ριπτική επίδοση παρόμοια μετά από 2 εβδομάδες. Η προπόνηση με αντιστάσεις στη περίοδο φορμαρίσματος θα πρέπει να εκτελείται με μέγιστη δυνατή ταχύτητα.
- Όταν ο κεντρικός στόχος του φορμαρίσματος είναι η αύξηση της ριπτικής επίδοσης με την ταυτόχρονη αύξησης δύναμης και ισχύος, τότε προτείνεται το φορμάρισμα με υψηλά φορτία.
- Το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία προτείνεται για την κορύφωση της επίδοσης στο αγώνισμα της δισκοβολίας. Το βάρος του ριπτικού οργάνου

ίσως αποτελεί ένα παράγοντα επιλογής φορτίου στη προπόνηση ισχύος κατά την κρίσιμη περίοδο του φορμαρίσματος.

- Το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία είναι πολύ πιο εύκολο και ξεκούραστο σε σύγκριση με το φορμάρισμα με υψηλά φορτία. Έτσι, όταν ο αθλητής φτάνει στην περίοδο του φορμαρίσματος με έντονα συμπτώματα κόπωσης και προπονητικού στρες, θα πρέπει να επιλέγεται το φορμάρισμα με χαμηλά φορτία.
- Η διαφορά 0,8% ανάμεσα στα δύο φορμαρίσματα δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Ωστόσο, τέτοια διαφορά δεν θα πρέπει να μείνει απαρατήρητη καθώς στον αγώνα στόχο ακόμη και πιο μικρές διαφορές μπορούν να ξεχωρίσουν την πρώτη από τη δεύτερη θέση.

5.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων δεύτερης μελέτης

5.2.1 Σχέση ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και ριπτικής ικανότητας

Μετά από 10 εβδομάδες προπόνησης δύναμης-ισχύος η αγωνιστική ριπτική ικανότητα αυξήθηκε κατά 6,8% ενώ στις ριπτικές δοκιμασίες με τη σφαίρα βρέθηκε αύξηση μόνο στη ρίψη από τελική διπλή στήριξη κατά 3,6%. Ωστόσο, ακόμη και αυτές οι μικρές αλλαγές στις ριπτικές δοκιμασίες έχουν πρακτική αξία για τον προπονητή καθώς η επίδοση στις ριπτικές δοκιμασίες με τη σφαίρα σχετίζεται υψηλά με την αγωνιστική ρίψη (Terzis et al., 2010). Επίσης, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης αυξήθηκε σημαντικά μετά την προπονητική περίοδο γεγονός που ενισχύει την αποτελεσματικότητα της προπονητικής παρέμβασης. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με μελέτη σε ρίπτες κολεγιακού επιπέδου όπου βρέθηκε αύξηση της αγωνιστικής ρίψης κατά 5,5% και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά 19,6% μετά από 8 εβδομάδες προπόνησης (Stone et al., 2003).

Το κύριο εύρημα της δεύτερης μελέτης ήταν ότι ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης σχετίζεται με τη ριπτική ικανότητα σε αθλητές ρίψεων τόσο στην αρχή της προπόνησης όσο και μετά από 10 εβδομάδες προπόνησης δύναμης-ισχύος. Αυτές οι υψηλές συσχετίσεις παρουσιάστηκαν σε όλες τις χρονικές στιγμές της καμπύλης δύναμης/χρόνου ξεκινώντας από τα πρώτα 50ms έως τα 250ms. Οι ασκήσεις ριπτικής ικανότητας αποτελούν εκρηκτικές δοκιμασίες με μέγιστη δράση ιδιαίτερα των κάτω άκρων και με σχετικά χαμηλές τεχνικές απαιτήσεις. Μάλιστα, αυτές οι ριπτικές δοκιμασίες χρησιμοποιούνται από όλους τους αθλητές των ρίψεων σε όλες της προπονητικές περιόδους σαν βασική δοκιμασία αξιολόγησης της ριπτικής ικανότητας και της μυϊκής ισχύος. Η δοκιμασία του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, που αξιολογήθηκε από εδραία θέση ισομετρικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης πρόβλεψης της ριπτικής ικανότητας αλλά και σαν δοκιμασία αξιολόγησης της ετοιμότητας του αθλητή πριν τον αγώνα στόχο ή μετά από έναν προπονητικό μεσόκυκλο.

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν για πρώτη φορά ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με τις ριπτικές δοκιμασίες. Σε προηγούμενη μελέτη με ρίπτες κολεγιακού επιπέδου δεν βρέθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της ριπτικής ικανότητας (Stone et al., 2003). Αυτό μπορεί να οφείλεται στην επιλογή της δοκιμασίας αξιολόγησης του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης (έλξεις μπάρα από τους μηρούς, ισομετρικά). Η δοκιμασία αυτή ενεργοποιεί σε σημαντικό βαθμό το μυϊκό σύστημα των κάτω άκρων αλλά και των άνω άκρων, γεγονός που την καθιστά πιο δύσκολη από πλευράς τεχνικής. Αντίθετα, η δοκιμασία που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα μελέτη (ωθήσεις κάτω άκρων από εδραία θέση, ισομετρικά) ενεργοποιούσε κυρίως τις μυϊκές ομάδες των κάτω άκρων ενώ η τεχνική της δοκιμασίας ήταν αρκετά απλή ώστε οι αθλητές να εφαρμόζουν εύκολα τη μέγιστη δύναμή τους. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει τη σημαντικότητα της ενεργοποίησης των κάτω άκρων στην αγωνιστική ρίψη (Terzis et al., 2007, Kyriazis et al., 2009, Karampatsos et al., 2001). Οπότε, η δοκιμασία αξιολόγησης του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης από εδραία θέση μπορεί να αποτελέσει ένα αξιόπιστο και λειτουργικό δείκτη αξιολόγησης των εκρηκτικών ικανοτήτων των κάτω άκρων σε αθλητές ρίψεων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της δεύτερης μελέτης δεν έδειξαν καμία σημαντική συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με την αγωνιστική ρίψη (τιμές Z) καθώς και καμία συσχέτιση ανάμεσα στις ποσοστιαίες μεταβολές του ρυθμού εφαρμογής δύναμης και της ριπτικής επίδοσης. Αυτό ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι οι αθλητές/τριες εξειδικεύονταν σε διαφορετικά ριπτικά αγωνίσματα με μικρές αλλά σημαντικές διαφορές στη ρίψη αλλά και στην προπόνηση. Αυτές οι διαφορές στην προπόνηση είναι αναμενόμενο να προκαλούν αντίστοιχες προσαρμογές. Για παράδειγμα ένας αθλητής της δισκοβολίας χρησιμοποιεί περισσότερο τους θωρακικούς μύες σε αντίθεση με ένα αθλητή σφυροβολίας ο οποίος εστιάζει την προπόνηση περισσότερο στην ενδυνάμωση των κάτω άκρων και της πλάτης (Morrow et al., 1982, Terzis et al., 2010, Karampatsos et al., 2011). Οπότε, ενδεχομένως η σχέση μεταξύ των ποσοστών αλλαγής σε ρίψη και ρυθμό

εφαρμογής της δύναμης να επηρεάστηκε από τις διαφορές στις προπονητικές απαιτήσεις των αθλητών/τριων.

5.2.1.1 Σχέση της μυϊκής δύναμης με τη ριπτική ικανότητα και τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης

Η μυϊκή δύναμη στις ασκήσεις με αντιστάσεις αλλά και η μέγιστη ισομετρική δύναμη που καταγράφηκε κατά την αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, αυξήθηκαν σημαντικά μετά από 10 εβδομάδες προπόνηση. Πιο αναλυτικά, η μέγιστη δύναμη στις ωθήσεις κάτω άκρων αυξήθηκε κατά 8%, στον επωμισμό και στο βαθύ κάθισμα κατά 4,7%, ενώ η μέγιστη ισομετρική δύναμη αυξήθηκε κατά 22,7%. Όπως ήταν αναμενόμενο, υψηλές συσχετίσεις βρέθηκαν μεταξύ των ριπτικών δοκιμασιών και των δοκιμασιών μέγιστης δύναμης, δεδομένα που έχουν καταγραφεί και από άλλες μελέτες στη βιβλιογραφία (Morrow et al., 1982, Terzis et al., 2008, Kyriazis et al., 2009, Karampatsos et al., 2011, Terzis et al., 2010). Αξίζει να σημειωθεί ότι σημαντικές συσχετίσεις βρέθηκαν ανάμεσα στην αγωνιστική ρίψη (τιμές Z) και στη δοκιμασία του επωμισμού και στις δυο περιόδους μέτρησης. Ωστόσο, δεν βρέθηκαν συσχετίσεις μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών στις δοκιμασίες δύναμης και ρίψης.

Σημαντικές συσχετίσεις βρέθηκαν ανάμεσα στις δοκιμασίες μυϊκής δύναμης και στην αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης. Αναλυτικότερα, σημαντικές συσχετίσεις βρέθηκαν σε όλες τις χρονικές περιόδους του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με όλες τις ασκήσεις δύναμης. Οι συσχετίσεις αυτές δείχνουν ότι η μέγιστη δύναμη έχει ουσιαστικό ρόλο στην γρήγορη παραγωγή δύναμης στα πρώτα ms της μυϊκής συστολής σε αθλητές ρίψεων. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο προγραμματισμός της προπόνησης σε αθλητές ρίψεων θα πρέπει πρωταρχικά να στοχεύει κυρίως στην ανάπτυξη της μέγιστης δύναμης, ενώ όσο πλησιάζει η αγωνιστική περίοδος θα πρέπει να στοχεύει κυρίως στην αύξηση της μυϊκής ισχύος και στη βελτίωση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης.

5.2.1.2 Σχέση ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και άλιπης μάζας

Η άλιπη μάζα δεν μεταβλήθηκε σημαντικά μετά από 10 εβδομάδες προπόνηση. Ωστόσο, η άλιπη μάζα των κάτω άκρων και του κορμού είχαν την τάση να αυξηθούν. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων βρίσκονται σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες της βιβλιογραφίας όπου η άλιπη μάζα σχετίζεται με τη ριπτική επίδοση (Morrow et al., 1982, Whittington et al., 2009, Terzis et al., 2010, Kyriazis et al., 2010) αλλά και τη μυϊκή δύναμη (Ikai και Fukunaga, 1968, Morrow et al., 1982 Terzis et al., 2008). Επιπροσθέτως, τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το ποσοστό αλλαγής στις παραμέτρους της άλιπης μάζας παρουσίαζε υψηλές συσχετίσεις με το ποσοστό αύξησης στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και με το ποσοστό αύξησης στο εμβαδόν καμπύλης δύναμης/χρόνου. Φαίνεται, ότι η δοκιμασία του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης από εδραία θέση στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην άλιπη μάζα. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η άλιπη μάζα τόσο θα αυξάνεται και ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, τουλάχιστον μέχρι ένα σημείο. Μολονότι τα ευρήματα αυτά φαίνονται πολύ δελεαστικά, θα πρέπει να εξετάζονται με ιδιαίτερη προσοχή αφού δεν υπάρχουν άλλες μελέτες που να διερευνούν τη σχέση ανάμεσα στην άλιπη μάζα και τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης. Περισσότερη μελέτη χρειάζεται για ασφαλή συμπεράσματα σε αυτή τη σχέση.

5.2.2 Σχέση αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης

Τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός μεταβλήθηκαν μετά από 10 εβδομάδες προπόνησης δύναμης - ισχύος. Συγκεκριμένα, το πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μυός αυξήθηκε κατά 6%, το μήκος των μυϊκών δεματίων κατά 13,4% ενώ καμία σημαντική αλλαγή δεν βρέθηκε για τη γωνία των μυϊκών δεματίων (-1,3%). Ο μυϊκός ιστός παρουσιάζει πλαστικότητα και προσαρμόζεται μετά από προπονητικά ερεθίσματα. Τα αποτελέσματα της μελέτης βρίσκονται σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες

που έδειξαν αντίστοιχες προσαρμογές στον ίδιο μυ μετά από 5 εβδομάδες προπόνησης δύναμης - ισχύος σε αθλητές (Blazevich et al., 2009), αλλά και μετά από 14 εβδομάδες προπόνησης σε αθλήτριες softball (Nimphius et al., 2012). Τα παραπάνω ευρήματα υποστηρίζουν ξανά ότι το προπονητικό πρόγραμμα που εφαρμόστηκε στη μελέτη ήταν επιτυχημένο.

Το πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μυός παρουσίασε υψηλούς συντελεστές συσχέτισης με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης σε όλες τις χρονικές στιγμές, από 50ms έως 250ms, και στις δύο περιόδους αξιολόγησης (T1 και T2). Φαίνεται, ότι η μυϊκή μάζα του έξω πλατύ μηριαίου μυός έχει καθοριστικό ρόλο στο ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης στα πρώτα κιόλας ms της μυϊκής συστολής τουλάχιστον σε αθλητές ρίψεων. Σημαντικές συσχετίσεις βρέθηκαν ανάμεσα στο μήκος των μυϊκών δεματίων του έξω πλατύ μηριαίου μυός και στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης στην T2 περίοδο και στις χρονικές στιγμές από 100ms έως 250ms. Μάλιστα, οι συντελεστές συσχέτισης είχαν την τάση να αυξάνονται από T1 σε T2. Σε προηγούμενη μελέτη είχε βρεθεί συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης (10-30ms) στα άλματα βάθους με το μήκος των μυϊκών δεματίων ($r = 0,46$) και αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης στα άλματα με αιώρηση (0-10ms) και το μήκος δεματίων ($r = 0,48$, Earp et al., 2011). Ωστόσο, η πρακτική αξία αυτών των χρονικών στιγμών (μέχρι 30ms) ίσως να μην έχει ιδιαίτερη εφαρμογή στα αγωνίσματα των ρίψεων στα οποία ο χρόνος εφαρμογής της δύναμης υπολογίζεται από 120ms έως 240ms (Bartlett, 1991, Gutiérrez et al., 2002, Bartlett and Best, 1988, Zatsiorsky et al., 1981). Επίσης, τα ερευνητικά δεδομένα της σχέσης του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και του μήκους των μυϊκών δεματίων είναι ελάχιστα στη βιβλιογραφία και αφορούν κυρίως πειραματόζωα και όχι πραγματικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν για πρώτη φορά, ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών των μυών σε αθλητές ρίψεων.

Η ανάλυση των συσχετίσεων με τις ποσοστιαίες μεταβολές δεν έδειξε σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα στα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης. Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης μπορεί να

μεταβλήθηκε μέσω πολλών άλλων νευρομυϊκών προσαρμογών, όπως το μέγεθος της επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II ή το επίπεδο νευρικής ενεργοποίησης των μυών. Δυστυχώς, στη παρούσα μελέτη αυτοί οι παράγοντες δεν διερευνήθηκαν, κάτι που θα έδινε περισσότερες απαντήσεις στη σχέση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης με τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των μυών.

5.2.2.1 Σχέση αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της ριπτικής ικανότητας

Η ριπτική ικανότητα, όπως αξιολογήθηκε μέσω των ριπτικών δοκιμασιών με τη σφαίρα, παρουσίασε σημαντικές συσχετίσεις με τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Πιο αναλυτικά, οι συντελεστές συσχέτισης έτειναν να αυξάνουν από την T1 μέτρηση στην T2. Είναι γνωστό από μελέτες της βιβλιογραφίας ότι τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά μπορούν να εξηγήσουν, ως ένα βαθμό, την παραγωγή μυϊκής ισχύος τόσο σε δοκιμασίες ταχύτητας όσο και σε αλτικές δοκιμασίες (Abe et al., 2001, Kumagai et al., 2000, Nimphius et al., 2012, Earp et al., 2010, 2011). Σε πρόσφατη εργασία βρέθηκε ότι μετά από 6 εβδομάδες σύνθετη και συνδυαστική προπόνηση δύναμης - ισχύος, το ποσοστό αλλαγής στη ρίψη πίσω με δύο χέρια παρουσίασε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με το ποσοστό αλλαγής στο πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μυός ($r = 0,52$, $p < 0,05$, Stasinaki et al., 2015). Ωστόσο, στη συγκεκριμένη μελέτη συμμετείχαν μέτρια γυμνασμένοι δοκιμαζόμενοι και όχι αθλητές με προπονητική εμπειρία ετών. Αντίστοιχα, στη παρούσα μελέτη βρέθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού αύξησης του πάχους του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της ποσοστιαίας αύξησης της επίδοσης στη ρίψη σφαίρας από τελική διπλή στήριξη ($r = -0,61$). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η αύξηση του πάχους του έξω πλατύ μηριαίου μυός εξηγεί το 37% της διασποράς της ποσοστιαίας αύξησης στη ρίψη σφαίρας από τελική διπλή στήριξη.

Η μετατροπή της αγωνιστικής ρίψης σε τιμές Z έδειξε μια πολύ ενδιαφέρουσα συσχέτιση με το μήκος των μυϊκών δεματίων ιδιαίτερα στην T2 μέτρηση ($r = 0,59$). Η σχέση αυτή δείχνει τη σημαντικότητα του μήκους των

μυϊκών δεματίων στην παραγωγή ισχύος και ιδιαίτερα τη σύνδεσή με την αγωνιστική ρίψη. Είναι γνωστό ότι η επίδοση στις αθλητικές ρίψεις στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγή μυϊκής ισχύος. Τα δεδομένα από τις παραπάνω συσχετίσεις ενισχύουν το ρόλο της μυϊκής ισχύος στην ριπτική επίδοση ενώ δείχνουν για πρώτη φορά, ότι η αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός έχει ουσιαστικό ρόλο στη ριπτική επίδοση.

5.2.3 Σχέση ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών με την αγωνιστική ρίψη και τη ριπτική ικανότητα

Η ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης έδειξε ότι ο γραμμικός συνδυασμός του ποσοστού αύξησης στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης (50ms) και στο πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μυός, μπορούσαν να προβλέψουν το 53% της διασποράς στη ποσοστιαία αύξηση της ρίψης σφαίρας από τελική διπλή στήριξη. Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν τις παραπάνω συσχετίσεις μεταξύ των συγκεκριμένων μεταβλητών και φαίνεται να ισχυροποιούν τη σχέση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών και της ριπτικής ικανότητας. Αυξήσεις στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στο πάχος του έξω πλατύ μηριαίου μυός μπορούν να προβλέψουν αυξήσεις στη ριπτική δοκιμασία της ρίψης σφαίρας. Οπότε, με τη χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού, ο προπονητής μπορεί πρακτικά να ελέγχει τις προσαρμογές του αθλητή από τη προπόνηση αλλά και την αναμενόμενη επίδοση στον αγώνα.

Πολύ μεγάλο ενδιαφέρον παρουσίασαν τα αποτελέσματα από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών και της αγωνιστικής ρίψης. Συγκεκριμένα, ο γραμμικός συνδυασμός του ποσοστού αύξησης του πάχους και του μήκους των μυϊκών δεματίων του έξω πλατύ μηριαίου μυός, έτεινε να προβλέψει το ποσοστό αύξησης της αγωνιστικής ρίψης. Αντίστοιχα αποτελέσματα έδειξε και ο γραμμικός συνδυασμός του ποσοστού αλλαγής στο πάχος και στη γωνία μυϊκών δεματίων του έξω πλατύ με την ποσοστιαία αύξηση της αγωνιστικής ρίψης. Παρά το γεγονός ότι τα μοντέλα πρόβλεψης που προέκυψαν δεν είναι στατιστικά σημαντικά ($p = 0,09$), μπορούν

να αποτελέσουν ένα καλό δείκτη της σχέσης μεταξύ αρχιτεκτονικής δομής και αγωνιστικής ρίψης. Επιπρόσθετα, οι ποσοστιαίες αυξήσεις που προκλήθηκαν από τη προπόνηση στην αρχιτεκτονική δομή του μυός, φαίνεται να έχουν σημαντικό ρόλο στην ποσοστιαία αύξηση της αγωνιστικής ρίψης. Ωστόσο, θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο μικρός αριθμός των αθλητών, αλλά και η έλλειψη σημαντικότητας στην ανάλυση αλλά και στην ποσοστιαία αλλαγή της γωνίας των μυϊκών δεματίων, περιορίζουν σε σημαντικό βαθμό την γενίκευση των αποτελεσμάτων. Σίγουρα το συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση.

5.2.4 Συμπεράσματα και πρακτικές εφαρμογές

Συμπερασματικά, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης και η αρχιτεκτονική δομή του μυός συσχετίζονται με τη ριπτική ικανότητα (ριπτικές δοκιμασίες με τη σφαίρα) αλλά και με την αγωνιστική ρίψη. Η δοκιμασία του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης από εδραία θέση αποτελεί μία λειτουργική δοκιμασία για την αξιολόγηση των ταχοδυναμικών χαρακτηριστικών των κάτω άκρων σε αθλητές ρίψεων, την αξιολόγηση των προσαρμογών μετά από ένα προπονητικό μεσόκυκλο, αλλά και το επίπεδο ενεργοποίησης των αθλητών πριν από ένα σημαντικό αγώνα. Ταυτόχρονα, η αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης μπορεί να αποτελέσει και ένα καλό δείκτη πρόβλεψης της ριπτικής ικανότητας ανεξάρτητα από την προπονητική περίοδο. Αντίστοιχα, τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του έξω πλατύ μηριαίου μυός συσχετίζονται με τη ριπτική ικανότητα και την αγωνιστική ρίψη ιδιαίτερα προσεγγίζοντας τους αγώνες. Μάλιστα, αλλαγές στα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά ενδεχομένως να μπορούν να εξηγήσουν αλλαγές στην αγωνιστική ρίψη. Η μυϊκή υπερηχογραφία αποτελεί μια μη παρεμβατική μέθοδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε χρονική περίοδο ενός ετήσιου μακρόκυκλου, ενώ μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για τις προσαρμογές του αθλητή από την προπόνηση αλλά και την ετοιμότητά του πριν από αγώνες. Πρακτικά, τα αποτελέσματα της δεύτερης μελέτης δείχνουν:

- Το προπονητικό πρόγραμμα δύναμης - ισχύος διάρκειας 10 εβδομάδων που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη αύξησε σχεδόν όλες τις παραμέτρους που αξιολογήθηκαν. Οπότε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από προπονητές και αθλητές ρίψεων λίγο πριν την αγωνιστική περίοδο για την αύξηση της ριπτικής επίδοσης, αλλά και την ενίσχυση παραγόντων που σχετίζονται με αυτή (ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά μυών, κτλ).
- Τα προγράμματα προπόνησης με αντιστάσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται με μέγιστη εκούσια ταχύτητα, κυρίως στο μειομετρικό μέρος, ενώ η προσθήκη ασκήσεων που εκτελούνται με μέγιστη ταχύτητα, όπως άλματα βάθους από διάφορα ύψη, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο πλησιάζουν οι αγώνες.
- Τακτική αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης από εδραία θέση μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες στον προπονητή για το επίπεδο ενεργοποίηση του αθλητή πριν από σημαντικούς αγώνες αλλά και για τις προσαρμογές του μετά από ένα προπονητικό μεσόκυκλο. Αντίστοιχα, η αξιολόγηση του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης από εδραία θέση αποτελεί μια λειτουργική δοκιμασία για την εκτίμηση της ριπτικής επίδοσης του αθλητή/τριας.
- Με τη χρήση της υπερηχογραφίας μπορεί να εκτιμηθεί η προσαρμογή των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών των μυών σε αθλητές ρίψεων και κατά συνέπεια συγκεκριμένες μυϊκές προσαρμογές μετά από προπονητικούς μεσόκυκλους. Οπότε, η χρήση της μυϊκής υπερηχογραφίας, που είναι μια μη παρεμβατική μέθοδος, μπορεί να δώσει σημαντικά στοιχεία για την πρόοδο του αθλητή στη προπόνηση.

Βιβλιογραφία

Aagaard P., Andersen L.J., Dyhre-Poulsen P., Leffers M.A., Wagner, A., Magnusson P.S., Kristensen H.J., Simonsen B.E. (2001). A mechanism for increase contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *Journal of Physiology*, 534: 613-623.

Aagaard P., Simonsen E.B., Andersen J.L., Magnusson P., Duhre-Poulsen P. (2002). Increase rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology*, 93: 1318–1326.

Andersen L.J., Aagaard P. (2000). Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle and Nerve*, 23: 1095-1104.

Andersen L.L., Andersen J.L., Magnusson S.P., Suetta C., Madsen J., Christensen L.R., Aagaard P. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *Journal of applied physiology*, 99: 87-94.

Andersen L.L., Larsson B., Overgaard H., Aagaard P. (2007). Torque-velocity characteristics and contractile rates of force development in elite badminton players. *European journal of sports and science*, 7(3): 127-134.

Abe T., Fukashiro S., Harada Y., Kawamoto K. (2001). Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters. *Journal of physiology and anthropology*, 20: 141-147.

Bartlett R.M., Best J.R. (1988). The biomechanics of the javelin throwing: A review. *Journal of sports sciences*, 6: 1-38.

Bartlett R.M. (1992). The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of sports sciences*, 10: 467-510.

Badura M. (2010). Biomechanical analysis of the discus at the 2009 IAAF World Championship in Athletics. *New studies in athletics*, 25: 23-35.

Behm, D.G., and Sale G.D. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *Journal of applied physiology*, 74: 359–368..

Blazevich J.A., Gill N.D., Bronks R., Newton R.U. (2003). Training specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 35: 2013–2022.

Blazevich A.J. (2006). Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. *Sports medicine*, 36: 1003-1017.

Blazevich A.J., Coleman D.R., Horne S., Cannavan D. (2009). Anatomical predictors of maximum isometric and concentric knee extensor moments. *European journal of applied physiology*, 105: 869-878.

Bosquet L., Montpetit J., Arvisais D., Mujika I. (2007). Effects of tapering on performance: A meta analysis, *Medicine and science in sports and exercise*, 39(8): 1358-1365.

Borg, GA. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*, 5: 377–381.

Cormie P., McGuigan M.R., Newton R.U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(8): 1582-1598.

Cormie P., McGuigan M.R., Newton R.U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports medicine*, 41: 125–146.

Cohen J.W. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Earp J.E., Kraemer W.J., Newton R.U., Comstock B.A., Fragala M.S., Dunn-Lewis C., Solomon-Hill G., Penwell Z.R., Powell M.D., Volek J.S., Denegar C.R., Häkkinen K., Maresh C.M. (2010). Lower-body muscle structure and it's role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *Journal of strength and conditioning research*, 24: 722-729.

Earp J.E., Newton R.U., Cormie P., Kraemer W.J. (2011). The influence of muscle-tendon unit structure on the rate of force development, during the squat, countermovement, and the depth squat jumps. *Journal of strength and conditioning research*, 25: 340-347.

Edman K.A.P., Josephson R.K. (2007). Determinants of force rise time during isometric contraction of frog muscle fibres. *Journal of physiology*, 580: 1007-101.

Fleck J.S. (1999). Periodized strength training: A critical review, *Journal of strength and conditioning research*, 13(1): 82- 89.

Gutiérrez M., Soto M.V., Rojas J.F. (2002). A biomechanical analysis of the individual techniques of hammer throw finalists in the Seville Athletics World Championship 1999. *New studies in athletics*, 17: 15-26.

Haff G.G., Carlock J.M., Hartman M.J., Kilgore J.L., Kawamori N., Jackson J.R., Morris R.T., Sands W.A., Stone M.H. (2005). Force-time curve characteristics of

dynamic and isometric muscle action of elite women Olympic weightlifters.

Journal of strength and conditioning research, 19(4), 741-748.

Häkkinen K., Komi P.V., Alen M., Kauhanen H. (1987). EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weightlifters. *European journal of applied physiology*, 56: 419-427.

Harridge S.D.R. (1996). The muscle contractile system and its adaptation to training. Human muscular function during dynamic exercise. *Medicine in Sport and Science*, 46: 82-94.

Holtermann A., Roeleveld K., Vereijken B., Ettema G. (2007). The effect or rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *European journal of applied physiology*, 99: 605-613.

Hubbard M., Mestre N.J., Scott J. (2001). Dependence of variables in the shot put. *Journal of biomechanics*, 34: 449-456.

Ikai M., Fukunaga T. (1968). Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *International journal of physiology*, 26: 26-32.

Judge L.W. (2007) Developing speed and strength: In-season training program for the collegiate thrower. *National strength and condition association*, 29, 42-54.

Karampatsos G., Terzis G., Georgiadis G. (2011). Muscular strength, neuromuscular activation and performance in discus throwers, *Journal of physical education and sport*, 11(4): 369-375.

Kawamori N., Rossi S.J., Justice B.D., Haff E.E., Pistilli E.E., O'Bryan H.S., Stone M.H., Haff G.G. (2006). Peak force and rate of force development during

isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities.

Journal of strength and conditioning research, 20(3), 483-491.

Kumagai K., Abe T., Brechue W., Ryushi T., Takano S., Mizuno M. (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of applied physiology*, 88: 811-816.

Kyriazis T., Terzis G., Karampatsos G., Kavvouras S., Georiadis G. (2010). Body composition and performance in shot put athletes at preseason and at competition period. *International journal of sports physiology performance*, 5: 417-421.

Kyriazis T.A., Terzis G., Boudolos K., Georgiadis G. (2009). Muscular power, neuromuscular activation, and performance in shot put athletes at preseason and at competition period. *Journal of strength and conditioning research*, 23: 1773–1779.

Kyröläinen H., Avela J., McBride J., Koskinen S., Andersen J., Sipilä S., Takala T., Komi P. (2005). Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scandinavia journal of medicine and science in sports*, 15: 58-64.

Lamas L., Aoki M.S., Ugrinowitsch C., Campos G.E.R., Regazzini M., Moriscot A.S., Tricoli V. (2010). Expression of genes to muscle plasticity after strength and power training. *Scandinavia journal of medicine and science in sports*, 20: 216-225.

Le Meur Y., Hausswirth C., Mujika I. (2012). Tapering for competition: A review. *Science in sports*, 27: 77–87.

Lichtenberg D.B., Wills J.G. (1997). Maximizing the range of the shot put. *American journal of physics*, 46: 546-549.

Marcora S., Miller K.M. (1999). The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *Journal of sports science*, 18: 313-319.

McBride J.M., Triplett-McBride T., Davie A., Newton U.R. (2002). The effect of heavy vs. light jump squats on the development of strength, power and speed. *National strength and conditioning association*, 16(1): 75-82.

McGuigan, RM and Foster, C. (2004). A new approach to monitor resistance training. *National strength and conditioning association*, 26: 42–47.

McGuigan M.R., Winchester J.B., Erickson T. (2006). The importance of isometrics maximum strength in college wrestlers. *Journal of sports science and medicine*, CSSI: 108-113.

Mikkola S.J., Rusko H.K., Nummela A.T., Paavolainen L.M., Häkkinen K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscle in endurance athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 21(2): 613-620.

Moritani T. (2002) Motor unit and motoneurone excitability during explosive movement. In: *Strength and Power in Sport*. 2nd edition. Oxford, Blackwell Scientific Publications.

Morrow R.J., Disch J.G., Ward E.P., Donovan T.J., Katch I.F., Katch L.V., Weltman L.A., Tellez T. (1982). Anthropometric, strength and performance characteristics of American world class throwers. *Journal of sports medicine*, 22: 73-79.

Mujika I., Padilla S. (2003). Scientific Bases for Precompetition Tapering Strategies. *Medicine and science in sports and exercise*; 35, 1182–1187, 2003.

Mujika I., Padilla S., Pyne D., Busso T. (2004). Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Journal of sports medicine*, 34: 891–927.

Nimpus S., McGuigan R.M., Newton U.R. (2012). Changes in muscle architecture and performance during a competitive season in female softball players. *Journal of strength and condition research*, 26(10): 2655–2666.

Plisk S., Stone M. (2003). Periodization strategies. *National strength and condition association*, 25: 19-37.

Potteiger J.A., Lockwood R.H., Haub M.D., Dolezal B.A., Almuzaini K.S., Schroeder J.M., Zebas C.J. (1999). Muscle power and fiber characteristics following 8 weeks of plyometric training. *Journal of strength and conditioning research*, 13(3): 275-279.

Prestes J., Frollini A.B., Lima C., Donatto F.F., Foschini D., Cassia Marqueti R., Figueira A., Fleck S. (2009). Comparison between linear and daily undulating periodized resistance training to increase strength. *Journal of strength and conditioning research*, 23(9): 2437-2442.

Sale DG. (2004). Postactivation potentiation: Role in performance. *British journal of sports medicine*, 38: 386–387.

Schaa W. (2010). Biomechanical analysis of the shot put at the 2009 IAAF World Championship in Athletics. *New studies in athletics*, 25: 9-21.

Schilling B.K., Fry A.C., Chiu L.Z.F., Weiss L.W. (2005). Myosin heavy chain isoform expression and in vivo isometric performance: a regression model. *Journal of strength and conditioning research*, 19(2), 270-275.

Stasinaki A., Gloumi G., Spengos K., Blazevich A., Zaras N., Georgiadis G., Karampatsos G., Terzis G. (2015). Muscle strength, power and morphological adaptations after 6 weeks of compound vs. complex training in healthy men. *Journal of strength and conditioning research*, Ahead of Print.

Stone H.M., Sanborn K., O'Bryant H.S., Hartman M., Stone M.E., Proulx C., Ward B., Hruby J. (2003). Maximum strength power performance relationships in collegiate throwers. *Journal of strength and conditioning research*, 17: 739–745.

Stone M.H., Sands W.A., Carlock J., Callan S., Dickie D., Daigle K., Cotton J., Smith S.L., Hartman M. (2004) The importance of isometric maximum strength and peak rate of force development in sprint- cycling. *Journal of strength and conditioning research*, 18(4): 878- 884

Tabachnick, BG, and Fidell, LS. *Multivariate regression*. In: Using multivariate statistics (5th Edition) Boston: Pearson Education, 2007, pp: 117-159.

Terzis, G, Karampatsos, G, and Georgiadis, G. (2007). Neuromuscular control and performance in shot put athletes. *Journal of medicine in physical fitness* 47: 284-290.

Terzis G., Stratakos G., Manta P., Georgiadis G. (2008) Throwing performance after resistance training and detraining. *Journal of strength and conditioning research*, 22, 1-7.

Terzis G., Spengos K., Kavouras S., Manta P., Georgiadis G. (2010). Muscle fiber type composition in hammer throwers. *Journal of sports science and medicine*, 9: 104–109.

Terzis G., Kyriazis T., Karampatsos G., Georgiadis G. (2012). Muscular strength, body composition and performance of an elite shot putter. *International journal of sports physiology and performance*, 7: 394-396.

Turner A. (2011). The science and practise of periodization: A brief review. *National strength and condition association*, 33: 34–46.

Whittington J., Schoen E., Hamdy R., Ramsey M.W., Stone M.E., Sands W.A., Haff G.G., Stone M.H. (2009). Bone mineral density and content of collegiate throwers: influence of maximum strength. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 49: 464-473.

Wilson G.J., Lyttle A.D., Ostrowski K.J., Murphy A.J. (1995) Assessing dynamic performance: A comparison of rate of force development tests. *Journal of strength and conditioning research*, 9(3): 176-181.

Winchester J.B., McBride J.M., Maher M.A., Mikat R.P., Allen B.K., Kline D.E., McGuigan M.R. (2008). Eight weeks of ballistic exercise improves power independently of changes in strength and muscle fiber type expression. *Journal of strength and conditioning research*, 22: 1728-1734.

Young W.B., Bilby G.E. (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *Journal of strength and conditioning research*, 7: 172–178.

Zaras N., Spengos K., Methenitis S., Papadopoulos C., Karampatsos G., Georgiadis G., Stasinaki A., Manta P., Terzis G. (2013). Effects of strength vs.

ballistic power training on throwing performance. *Journal of sport science and medicine*, 12: 130-137.

Zatsiorsky V., Lanka G., Shalmanov A. (1981). Biomechanical analysis of shot putting technique. *Exercise in sports science review*, 9: 353-389.

Zatsiorsky V.M., Kraemer W.J. (2005). Science and practice of strength training. Second edition, Human Kinetics.

Παράρτημα

Στο παράρτημα περιλαμβάνονται:

- Το έντυπο συγκατάθεσης αθλητή/τριας καθώς και το έντυπο συγκατάθεσης γονέα.
- Τα πρωτόκολλα που θα χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των αρχικών και τελικών μετρήσεων στις σωματομετρήσεις, στην αγωνιστική ρίψη, στις ρίψεις σφαίρας, στα άλματα SQJ και CMJ, στον RFD και στις δοκιμασίες δύναμης.
- Οι δύο δημοσιευμένες εργασίες από την παρούσα διδακτορική διατριβή.

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ** Επιστημονικός υπεύθυνος της έρευνας: Γεράσιμος Τερζής,
Αναπληρωτής Καθηγητής Αθλητικών Ρίψεων

ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η αθλητική επιστήμη έχει προχωρήσει με γοργά βήματα. Ωστόσο, θεμελιώδη ερωτήματα παραμένουν ακόμη αναπάντητα. Ένα από αυτά τα ερωτήματα αναφέρεται σε προπονητικές μεθόδους βελτίωση της ριπτικής επίδοσης κατά τη διάρκεια της αγωνιστικής περιόδου. Σκοπός της μελέτης είναι να συγκριθεί η επίδραση δύο διαφορετικών προγραμμάτων άσκησης με αντίσταση κατά την αγωνιστική περίοδο ως προς τη βελτίωση της ριπτική ικανότητα.

Μεθοδολογία

Νεαροί ρίπτες θα υποβληθούν σε ένα προπονητικό πρόγραμμα ειδικά σχεδιασμένο για αθλητές ρίψεων διάρκειας 14 εβδομάδων μέχρι τη χειμερινή αγωνιστική περίοδο. Το ίδιο προπονητικό πρόγραμμα θα επαναληφθεί μέχρι την καλοκαιρινή αγωνιστική περίοδο. Στην αρχή της αγωνιστικής περιόδου (χειμερινής και καλοκαιρινής) θα πραγματοποιηθεί συγκεκριμένο προπονητικό πρόγραμμα με στόχο την αύξηση της ριπτικής ικανότητας. Κατά τη διάρκεια ολόκληρου του προπονητικού έτους θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις ρίψεων, μέγιστης δύναμης και ισχύος καθώς και αξιολόγηση της σωματικής σύστασης με τη μέθοδο της απορροφησιομετρίας διπλής ενέργειας.

Κίνδυνοι και ενοχλήσεις

Οι μετρήσεις δύναμης και ισχύος είναι γνωστές σε όλους τους ρίπτες από την συμμετοχή τους στις προπονήσεις των τελευταίων ετών. Είναι απλές δοκιμασίες οι οποίες δεν παρουσιάζουν σοβαρή επικινδυνότητα. Η τεχνική ανάλυση της σωματικής σύστασης δεν έχει καμία απολύτως παρενέργεια καθώς οι νέοι θα εκτεθούν σε ποσοστό ακτινοβολίας πολλές φορές μικρότερο από αυτό της ακτινογραφίας θώρακα.

Ζήτηση Πληροφοριών

Μη διστάσετε να κάνετε ερωτήσεις γύρω από κάθε διαδικασία. Αν έχετε κάποιες αμφιβολίες ή ερωτήσεις ζητήστε μας να σας δώσουμε πρόσθετες εξηγήσεις (Ζάρας Νίκος, κιν: 6945 630581). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα είναι στη διάθεσή σας μετά το τέλος των αναλύσεων. Δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων (π.χ. σε επιστημονικές μελέτες) μπορεί να γίνει μόνο ανώνυμα. Να θυμάστε ότι **είστε ελεύθεροι να αποσυρθείτε από τη μελέτη όποτε εσείς θέλετε.**

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΣΥΝΑΙΝΕΣΗΣ

Δηλώνω υπεύθυνα ότι έλαβα σαφείς γραπτές και προφορικές πληροφορίες για τη μελέτη και τις δοκιμασίες στις οποίες θα υποβληθώ και συγκατατίθεμαι να συμμετάσχω αβίαστα. Διατηρώ το δικαίωμα να σταματήσω ή να αποσύρω τη συμμετοχή μου όποτε εγώ κρίνω.

Ημερομηνία : ___/___/2015

Όνοματεπώνυμο :

(Υπογραφή) _____

Ο υπεύθυνος Ερευνητής,

Ζάρας Νικόλαος, Διδακτορικός Φοιτητής

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ** Επιστημονικός υπεύθυνος της έρευνας: Γεράσιμος Τερζής,
Αναπληρωτής Καθηγητής Αθλητικών Ρίψεων

ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΓΟΝΕΑ

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η αθλητική επιστήμη έχει προχωρήσει με γοργά βήματα. Ωστόσο, θεμελιώδη ερωτήματα παραμένουν ακόμη αναπάντητα. Ένα από αυτά τα ερωτήματα αναφέρεται σε προπονητικές μεθόδους βελτίωση της ριπτικής επίδοσης κατά τη διάρκεια της αγωνιστικής περιόδου. Σκοπός της μελέτης είναι να συγκριθεί η επίδραση δύο διαφορετικών προγραμμάτων άσκησης με αντίσταση κατά την αγωνιστική περίοδο ως προς τη βελτίωση της ριπτική ικανότητα.

Μεθοδολογία

Νεαροί ρίπτες θα υποβληθούν σε ένα προπονητικό πρόγραμμα ειδικά σχεδιασμένο για αθλητές ρίψεων διάρκειας 14 εβδομάδων μέχρι τη χειμερινή αγωνιστική περίοδο. Το ίδιο προπονητικό πρόγραμμα θα επαναληφθεί μέχρι την καλοκαιρινή αγωνιστική περίοδο. Στην αρχή της αγωνιστικής περιόδου (χειμερινής και καλοκαιρινής) θα πραγματοποιηθεί συγκεκριμένο προπονητικό πρόγραμμα με στόχο την αύξηση της ριπτικής ικανότητας. Κατά τη διάρκεια ολόκληρου του προπονητικού έτους θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις ρίψεων, μέγιστης δύναμης και ισχύος καθώς και αξιολόγηση της σωματικής σύστασης με τη μέθοδο της απορροφησιμετρίας διπλής ενέργειας.

Κίνδυνοι και ενοχλήσεις

Οι μετρήσεις δύναμης και ισχύος είναι γνωστές σε όλους τους νεαρούς ρίπτες από την συμμετοχή τους στις προπονήσεις των τελευταίων ετών. Είναι απλές δοκιμασίες οι οποίες δεν παρουσιάζουν σοβαρή επικινδυνότητα. Η τεχνική ανάλυσης της σωματικής σύστασης δεν έχει καμία απολύτως παρενέργεια καθώς οι νέοι θα εκτεθούν σε ποσοστό ακτινοβολίας πολλές φορές μικρότερο από αυτό της ακτινογραφίας θώρακα.

Ζήτηση Πληροφοριών

Μη διστάσετε να κάνετε ερωτήσεις γύρω από κάθε διαδικασία. Αν έχετε κάποιες αμφιβολίες ή ερωτήσεις ζητήστε μας να σας δώσουμε πρόσθετες εξηγήσεις (Ζάρας Νίκος, κιν: 6945 630581). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα είναι στη διάθεσή σας μετά το τέλος των αναλύσεων. Δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων (π.χ. σε επιστημονικές μελέτες) μπορεί να γίνει μόνο ανώνυμα. Να θυμάστε ότι **είστε ελεύθεροι να αποσύρετε από τη μελέτη το παιδί σας όποτε εσείς θέλετε ή όποτε εκείνο θελήσει.**

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΣΥΝΑΙΝΕΣΗΣ

Δηλώνω υπεύθυνα ότι έλαβα σαφείς γραπτές και προφορικές πληροφορίες για τη μελέτη και τις δοκιμασίες στις οποίες θα υποβληθεί το παιδί μου και συγκατατίθεμαι να συμμετάσχει αβίαστα. Διατηρώ το δικαίωμα να σταματήσω ή να αποσύρω τη συμμετοχή του όποτε εγώ κρίνω ή όποτε εκείνο θελήσει.

Ημερομηνία : ___/___/2015

Όνοματεπώνυμο γονέα:.....

(Υπογραφή)_____

Ο υπεύθυνος Ερευνητής,

Ζάρας Νικόλαος, Διδακτορικός Φοιτητής

*Προπόνηση ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις:
Αλλαγές στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στη ριπτική επίδοση*

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΣΩΜΑΤΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ημερομηνία:
Χώρος διεξαγωγής:
Ώρα αξιολόγησης:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΣΩΜΑΤΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ			
	ΗΛΙΚΙΑ (ΕΤΗ)	ΒΑΡΟΣ (kg)	ΎΨΟΣ(cm)	BMI

Παρατηρήσεις:

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΡΙΨΕΩΝ

Ημερομηνία:
Χώρος διεξαγωγής:
Ώρα αξιολόγησης:

Όνοματεπώνυμο	Ριπτικές προσπάθειες					
	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	5 ^η	6 ^η

Παρατηρήσεις:

Προπόνηση ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις:
Αλλαγές στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στη ριπτική επίδοση

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΡΙΨΕΩΝ ΣΦΑΙΡΑΣ

Ημερομηνία:
Χώρος διεξαγωγής:
Ώρα αξιολόγησης:

Ονοματεπώνυμο	Ρίψη εμπρός (m)				Ρίψη πίσω(m)				Ρίψη με μέτωπο (m)				Ρίψη από τελική διπλή (m)			
	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η

Παρατηρήσεις:

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΘΕΤΩΝ ΑΛΜΑΤΩΝ

Ημερομηνία:
Χώρος διεξαγωγής:
Ώρα αξιολόγησης:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΚΑΘΕΤΟ ΆΛΜΑ ΑΠΟ ΗΜΙΚΑΘΙΣΜΑ			ΚΑΘΕΤΟ ΆΛΜΑ ΜΕ ΑΙΩΡΗΣΗ		
	Προσπάθειες			Προσπάθειες		
	1 ^η	2 ^η	3 ^η	1 ^η	2 ^η	3 ^η

Παρατηρήσεις:

Προπόνηση ισχύος με υψηλές και χαμηλές αντιστάσεις:
Αλλαγές στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στη ριπτική επίδοση

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ RFD

Ημερομηνία:
Χώρος διεξαγωγής:
Ώρα αξιολόγησης:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	RFD			
	Θέση Καθίσματος	Προσπάθειες		
		1 ^η	2 ^η	3 ^η

Παρατηρήσεις:

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ (1-ΜΑΕ)

Ημερομηνία:

Χώρος διεξαγωγής:

Ώρα αξιολόγησης:

Όνοματεπώνυμο	Δοκιμασίες				
	Πρέσα	Πάγκος	Βαθύ	Επολέ	Αρασέ

Παρατηρήσεις:

EFFECTS OF TAPERING WITH LIGHT VS. HEAVY LOADS ON TRACK AND FIELD THROWING PERFORMANCE

NIKOLAOS D. ZARAS,¹ ANGELIKI-NIKOLETTA E. STASINAKI,¹ ARGYRO A. KRASE,¹
SPYRIDON K. METHENITIS,¹ GIORGOS P. KARAMPATOS,¹ GIORGOS V. GEORGIADIS,¹
KONSTANTINOS M. SPENGOS,² AND GERASIMOS D. TERZIS¹

¹*Athletics Laboratory, School of Physical Education and Sport Science, University of Athens, Greece; and* ²*First Department of Neurology, Eginition Hospital, University of Athens Medical School, Athens, Greece*

ABSTRACT

Zaras, ND, Stasinaki, A-NE, Krase, AA, Methenitis, SK, Karampatos, GP, Georgiadis, GV, Spengos, KM, and Terzis, GD. Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance. *J Strength Cond Res* 28(12): 3484–3495, 2014—The purpose of the study was to investigate the effects of power training with light vs. heavy loads during the tapering phases of a double periodized training year on track and field throwing performance. Thirteen track and field throwers aged 16–26 years followed 8 months of systematic training for performance enhancement aiming at 2 tapering phases during the winter and the spring competition periods. Athletes performed tapering with 2 different resistance training loads (counterbalanced design): 7 athletes used 30% of 1 repetition maximum (1RM) light-load tapering (LT), and 6 athletes used the 85% of 1RM heavy-load tapering (HT), during the winter tapering. The opposite was performed at the spring tapering. Before and after each tapering, throwing performance, 1RM strength, vertical jumping, rate of force development (RFD), vastus lateralis architecture, and rate of perceived exertion were evaluated. Throwing performance increased significantly by $4.8 \pm 1.0\%$ and $5.6 \pm 0.9\%$ after LT and HT, respectively. Leg press 1RM and squat jump power increased more after HT than LT ($5.9 \pm 3.2\%$ vs. $-3.4 \pm 2.5\%$, and $5.1 \pm 2.4\%$ vs. $0.9 \pm 1.4\%$, respectively, $p \leq 0.05$). Leg press RFD increased more in HT ($38.1 \pm 16.5\%$) compared with LT ($-2.9 \pm 6.7\%$), but LT induced less fatigue than HT (4.0 ± 1.5 vs. 6.7 ± 0.9 , $p \leq 0.05$). Muscle architecture was not altered after either program. These results suggest that performance increases similarly after tapering with LT or HT in track and field throwers, but HT leads to greater increases in strength, whole body power, and RFD.

KEY WORDS strength/power training, shot put, discus, hammer, javelin, rate of force development

Address correspondence to Nikolaos Zaras, nikzar@phed.uoa.gr.
28(12)/3484–3495

Journal of Strength and Conditioning Research
© 2014 National Strength and Conditioning Association

3484 ^{the}Journal of Strength and Conditioning Research™

INTRODUCTION

Track and field throwing events are the shot put, the discus, the hammer, and the javelin throw. Performance in these events depends largely on power production, which can be developed with the combination of strength and power exercises (13). Accordingly, throwers regularly perform resistance training programs that include a combination of strength/power exercises to induce specific neuromuscular adaptations (1,10) and increase their muscle power output and throwing performance (12,19).

Year-round training is planned according to the principles of periodization aiming to peak performance at the most important competition (26). The training phase before an important athletic event is called tapering. The tapering phase before the main competition usually includes a significant reduction in training load, and an increase or stabilization of the training intensity, which presumably leads to attenuation of fatigue and an increase in athletic performance (21,27,32,33). The potential increase in performance after the tapering period in swimming, running, rowing, triathlon, and cycling sport events is about 3% (0.5–6% (27)). However, the effects of tapering on track and field throwing performance remain unclear.

Various combinations of resistance loads may be used in strength/power training to enhance power performance (5,10,17). For example, strength and power training with heavy loads (>80% of 1 repetition maximum [1RM]) may enhance muscle force and throwing performance (3,15,29). Nevertheless, it remains uncertain whether training with heavy resistance loads is effective at enhancing throwing performance during the tapering period in trained track and field throwers. However, training with light loads (0–60% of 1RM) allows athletes to train at higher movement velocities and may increase the rate of force development (RFD) and muscle power output (10,28). Anecdotal data and communications with throwers and throwing coaches reveal that during the tapering phase, the use of specific throwing equipment, such as lighter weight implements or medicine balls, seems to favor throwing performance and increase fundamental parameters of a throw, such as the angle and the velocity of release (16). Recently, it was also shown

that ballistic-power training with 30% of 1RM increases power production and throwing performance in novice throwers after a 6 weeks mesocycle (35). However, it remains uncertain whether tapering with light or heavy loads is more effective in enhancing track and field throwing performance. Thus, the purpose of this study was to investigate the effect of 2 different tapering methods with light vs. heavy loads on throwing performance.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

Although tapering is a common strategy to increase performance in many sports, the effect of different resistance tapering training programs on performance in track and field throwing events has not been investigated yet. Thirteen throwers (7 boys and 6 girls) with 4.6 ± 1.5 years experience in throwing training and competitions completed 2 different tapering programs with light loads (30% of 1RM, light-load tapering [LT]) and heavy loads (85% of 1RM, heavy-load tapering [HT]) following a counterbalanced design (Figure 1). The athletes were randomly assigned into the LT and HT training (lottery between athletes competing in the same event) for the winter tapering. The opposite assignment was used for the spring tapering. Athletes followed an exercise training program for 15 weeks before the first tapering period (February), and another training program of 12 weeks before the second tapering period (May) designed according to the principles of periodization and the demands of each throwing event (19,29). Two weeks tapering is the usual training duration for peaking performance in swimming, cycling, and strength trained individuals (27). Thus, the same training duration was used in this study. Measurements were performed 1 week before and the week after each tapering period. Track and field competitive throwing performance was measured on a single day for each athlete. Shot throws (squat underhead and backward overhead throws) were measured the next day. Alterations in power performance were evaluated with vertical jumping and leg press RFD, whereas

maximum strength (1RM) was evaluated in leg press. Vastus lateralis architecture was evaluated with ultrasonography before and after the tapering periods to provide possible explanations of the performance results. Because of the counterbalanced design, each athlete was compared between the 2 tapering methods as a control of each self. Results of the measurements before and after the 2 tapering periods were statistically compared.

Subjects

Thirteen throwers (men: 19.3 ± 4.4 years [age range between 16 and 25 years], body height = 1.77 ± 0.06 m, body mass = 85.7 ± 23.6 kg; women: 18.0 ± 2.8 years [age range between 16 and 22 years], body height = 1.66 ± 0.05 m, body mass = 74.1 ± 19.4 kg) gave their written consent to participate in the study after being informed about the experimental procedures. Parental consent was also obtained in participants under 18 years of age. Five of the participants were discus throwers (3 men and 2 women), 4 hammer throwers (2 men and 2 women), 2 shot put throwers (1 man and 1 woman), and 2 javelin throwers (1 man and 1 woman). The personal best performance of the athletes is presented in Table 1. The mean performance of the athletes was at 67% of the national records and 75% of the best performance in state, achieved in 2013. All throwers were in good health and received no medication or nutritional supplements during the training period. All procedures were performed in accordance with the principles outlined in the Declaration of Helsinki and were approved by the local ethics committee.

Procedures

Training. Athletes followed a 15-week training program before the winter tapering period and another 12-week training program before the spring tapering period (Figure 1). The winter preparation phase was longer in duration to achieve the appropriate adaptations with resistance training and skills training, after the long summer transition phase. The spring training phase was shorter (12 weeks) compared with the winter preparation phase because the transition

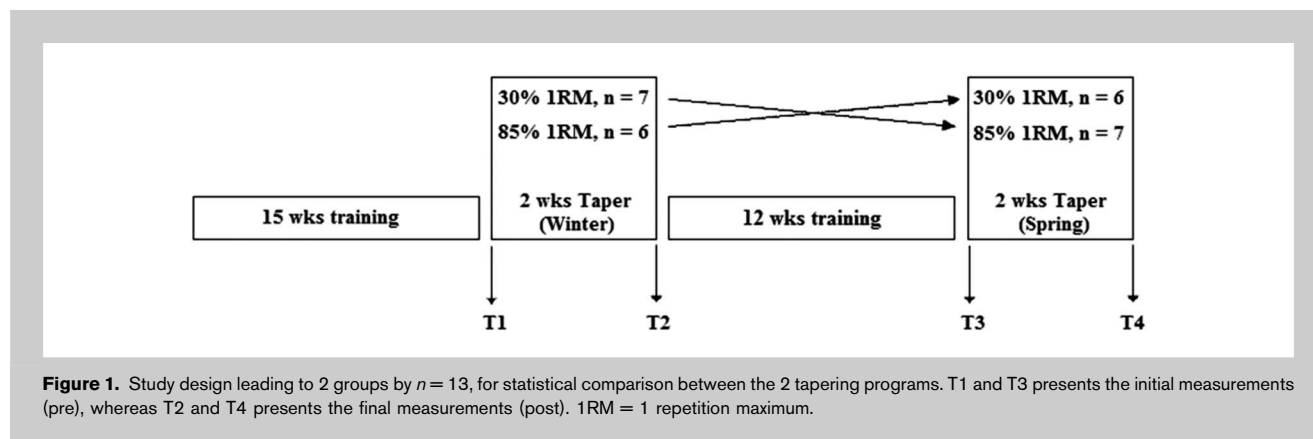


TABLE 1. Personal best performances and individual percent change in performance of the athletes participating in the study.*

Throwing event	Athlete no.	LT or HT winter taper	Personal best (m)	Gender/implement (kg)	Performance change	
					LT (%)	HT (%)
Discus	1	LT	45.87	Male/1.75	3.40	1.44
	2	LT	42.81	Male/2	4.73	2.79
	3	HT	40.10	Male/2	5.71	3.13
	4	HT	40.12	Female/1	3.62	2.94
	5	LT	43.61	Female/1	7.62	5.89
Hammer	1	HT	52.68	Male/5	-2.57	8.05
	2	LT	46.50	Male/5	9.13	9.06
	3	HT	43.03	Female/4	6.64	4.74
	4	LT	44.05	Female/4	2.74	9.19
Shot put	1	LT	12.28	Female/4	4.63	2.25
	1	HT	13.05	Male/5	0.70	4.68
Javelin	1	LT	32.56	Female/0.6	4.47	10.19
	2	HT	41.58	Male/0.6	11.20	8.87

*LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering.

phase between the winter tapering and the spring preparation phase was shorter than the summer transition phase. Athletes started the spring training phase at a higher level of performance, thus, they needed less time of general preparation. During the winter preparation and during the spring preparation, athletes followed an almost identical periodized training program, designed for each individual needs, and according to the demands of the throwing event of each athlete. Additionally, the 2 training periods before tapering were counterbalanced regarding the training volume, intensity, and frequency of every training unit. The general characteristics of the training programs followed by the athletes are presented in Table 2.

About 8% of all the planned training sessions were not completed because of small injuries. Ballistic training with 30% of 1RM has been shown to increase throwing performance by 6–12% in novice throwers (35), whereas 8 weeks of periodized resistance training increases shot put performance by 5.4% in collegiate throwers (29). Thus, 2 tapering programs with either light or heavy loads were implemented in this study. Light-load tapering was performed with 30% of 1RM where the throwers were instructed to project the loads as far as possible or jump as high as possible. Heavy-load tapering was performed with 85% of 1RM, and throwers were instructed to perform

TABLE 2. General characteristics of the year-round training followed by the athletes.

Training period	Training mesocycles (wk)	Mesocycle emphasis	Volume of resistance training	Intensity of resistance training (%)
General preparation	3	Muscle endurance	4 × 8–12	75
Specific period	5	Hypertrophy	4–5 × 6–8	80–85
	5	Maximum strength	4 × 3–4	90–95
Competitive period	2	Power	3–4 × 1–2	95–100
Tapering	2	Peak performance		30 or 85
Transition		Rest between seasons		65
General preparation	2	Muscle endurance	4 × 8–12	75
Specific period	4	Hypertrophy	4–5 × 6–8	80–85
	4	Maximum strength	4 × 3–4	90–95
Competitive period	2	Power	3–4 × 1–2	95–100
Tapering	2	Peak performance		30 or 85

each repetition with maximum intentional speed of movement (34). The acute parameters of the tapering programs are presented in Table 3. Training was performed with maximal intensity in every training session during both LT and HT tapering. Training intensity was set at 30% of 1RM for LT and 85% of 1RM for HT. Throws during training and plyometric training were also performed with maximum intensity both for LT and HT. Training frequency was the same for all athletes in each tapering program. Immediately after the end of the second tapering period, athletes provided a rated scale of perceived exertion (RPE) for LT and HT (0: very-very light to 10: very-very heavy (7)). Training load was calculated as the sum of the weights lifted in a training session. Furthermore, training monotony was calculated from the mean training load (repetitions × RPE) divided by the SD of the training load over 1-week training period, which represents the variability of LT and HT. The product of training load and training monotony was used to yield training strain, which presents the overall stress imposed on athletes (23,25).

Throwing Performance. Throwing performance in shot put, javelin, hammer, and discus throw was measured outdoors (each athlete performed his/her own specialty), as previously described (11). Ambient temperature was 13–18° C at the winter tapering phase and 20–23° C at the spring tapering phase. Weather was calm and sunny during all throwing measurements. Briefly, after a short warm-up (jogging,

stretching, and 2–4 near maximum throws) athletes performed 6 maximum throws. The best throwing performance was used in further analysis. To achieve competition conditions, we organized 2 regional competitions for all throwing events inviting also groups of track and field throwers from other clubs. This created a competitive spirit among the athletes leading them to achieve personal best or season best performances.

Shot Throws. “Shot throws” is defined here as the combined performance of 2 shot put throws, which are regularly performed by all throwers: the backward overhead throw and the squat underhead throw (11). There is a strong relationship between these shot put throws and competitive throwing performance (30). These basic shot put throws were performed outdoors at similar conditions as described above. Athletes performed 4 maximum throws from each throwing test, and the best performance was used in statistical analysis. Pilot data showed a close correlation between the overhead and the underhead shot put throw ($r = 0.97, p < 0.001$). Thus, we decided to combine the results of these 2 tests in 1, and define it as shot throws. The intraclass correlation coefficient (ICC) for these tests was ICC = 0.91 (95% confidence interval [CI], 0.89–0.98), $n = 13$.

Vertical Jumps. One day after performing the shot throws (described above), throwers visited the laboratory for the vertical jump tests: the squat jump (SQJ) and the counter-movement jump (CMJ). All measurements were performed

TABLE 3. Training variables of the tapering programs with either 30% 1RM (LT) or 85% 1RM (HT).*†

Training modalities	LT	HT
Resistance training (3× per week)‡	Close grip snatch§	4 × 6 or
	Bench press throw	4 × 8
	Jump squat‡	4 × 8
	Clean pull jumps‡	4 × 8
	Medicine ball upward throws‡	3 × 6
Throws (common for LT and HT) (3× per week)‡	15–20 throws with competition implement, max intensity	Midhigh snatch§
	12–15 throws with lighter implement, max intensity	Bench press
	Backward overhead throws × 8	Half squats‡
	Squat underhead throws × 8	Midhigh pulls‡
Plyometric training (common for LT and HT) (2× per week)‡	10–15 throws with competition implement, max intensity emphasis on technique	Box jumps (50 cm)‡
	Standing long jumps × 8	
	Standing triple jumps × 6	
	Jumping hurdles	5 × 5
	Sprints	3 × 30 m

*LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering.

†Rest between sets = 1–2 minutes; Rest between exercises = 2–3 minutes.

‡Exercise for all throwers.

§Exercise for hammer throwers.

||Exercise for shot put, discus, and javelin throwers.

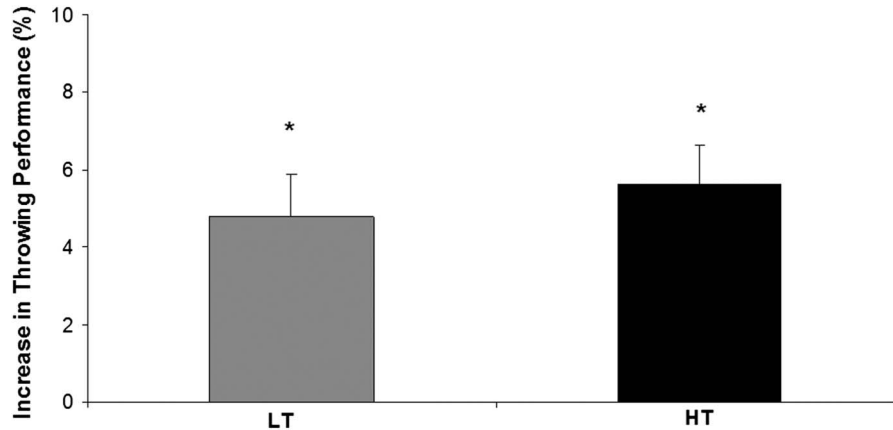


Figure 2. Changes in throwing performance after 2 weeks tapering with light and heavy loads. Track and field throwing performance significantly increased after both tapering programs ($*p = 0.001$). However, no significant difference was found between LT and HT (mean difference 0.8%, $p = 0.487$). LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering.

on a force platform (WP800, 80 × 80 cm, sampling frequency 1 kHz; Applied Measurements Ltd Co., Aldermaston, United Kingdom). Throwers started with 5 minutes warm-up on a stationary bicycle and 5 minutes stretching of the lower extremities' major muscle groups. Then, 3 CMJs with sub-maximal but progressively higher intensity were performed. Subsequently, 3 SQJ with maximal effort were performed (2 minutes rest between attempts) followed by 5 minutes rest and 3 CMJ with maximal effort (again, 2 minutes rest between attempts). In all attempts, hands were placed on hips. Data from the force platform were recorded and analyzed (Kyowa sensor interface PCD-320 A) to calculate the maximum vertical jump height and power output during the push off phase

(8,22). The signal was filtered using a secondary low-pass Butterworth filter with a cutoff frequency of 20 Hz. The best performance in jump height was used for further analysis. The ICC for the SQJ and the CMJ were 0.90, (95% CI, 0.89–0.99) and 0.91, (95% CI, 0.90–0.99), respectively, $n = 13$.

Rate of Force Development. Assessment of RFD was performed 15 minutes after the vertical jump tests. Throwers were seated on a custom made steel leg press chair and placed both their feet on the force platform (WP800-1,000 kg weighting platform, 80 × 80 cm, sampling frequency 1 kHz, Applied Measurements Ltd Co.), which was positioned perpendicular, on the laboratory wall. Knee angle was set at

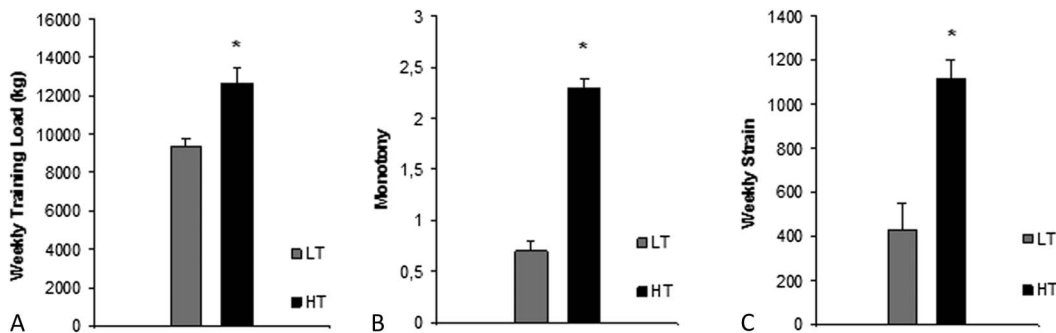


Figure 3. Weekly training load was significant higher for HT compared with LT ($*p = 0.000$) (A). Additionally, monotony (B) and training strain (C) were significantly higher for HT compared to LT ($*p < 0.000$). LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering.

TABLE 4. Performance characteristics after LT and HT training programs.*

Performance tests	LT		HT		ρ	η^2
	Pre	Post	Pre	Post		
Shot throws (m)	13.09 ± 0.4	13.53 ± 0.4	12.84 ± 0.5	13.23 ± 0.4	0.881	0.001
Squat jump height (cm)	30.67 ± 1.65	31.15 ± 1.06	29.87 ± 1.45	30.43 ± 1.31	0.722	0.006
Squat jump power (P·kg ⁻¹)	9.93 ± 0.68	9.92 ± 0.69	9.37 ± 0.53	9.73 ± 0.50	0.650	0.010
Countermovement jump height (cm)	33.40 ± 1.81	33.44 ± 1.81	31.99 ± 1.25	32.57 ± 1.31	0.611	0.013
Countermovement jump power (P·kg ⁻¹)	13.51 ± 0.99	13.68 ± 0.99	13.07 ± 0.67	13.20 ± 0.74	0.630	0.012
Isometric peak force (N)	4,092.62 ± 30.33	4,201.60 ± 32.27	4,133.27 ± 55.58	4,734.36 ± 61.39	0.707	0.008
1RM leg press strength (kg)	341.36 ± 22.11	331.82 ± 24.63	324.09 ± 27.64	339.09 ± 26.35	0.889	0.001

*LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering; 1RM = 1 repetition maximum.

120° and hip angle was set at 100° (24). Athletes were instructed to apply their maximum force as fast as possible for 3 seconds. Two maximum attempts were performed with 3 minutes interval, and throwers were vocally encouraged to perform their best in each attempt. Data from the force platform were recorded (Kyowa sensor interface PCD-320 A) and analyzed. The signal was filtered using a secondary low-pass Butterworth filter with a cutoff frequency of 20 Hz. Calculations from the force-time curve included: the maximum isometric peak force, the RFD, and the impulse. Maximum isometric peak force was calculated as the greater force generated from the force-time curve. Rate of force development was calculated as the mean tangential slope of the force-time curve in specific time windows of 0–50, 0–100, 0–150, 0–200, and 0–250 milliseconds (RFD = $\Delta\text{Force}/\Delta\text{Time}$). Time intervals were chosen because of the potential relationship to force production during throwing (4,36). Impulse was calculated as the area under the force-time curve, and it represents the total force-time integral in a given time period ($\text{Impulse}_{0-kms} = \sum F_{0-kms} \times \Delta\text{Time}_{kms}$, [K_{ms} = 50, 100, 150, 200, 250]) (1). The best performance according to overall RFD was used for further statistical analysis. The ICC for the isometric peak force the RFD overall, and the impulse was ICC = 0.90, (95% CI, 0.86–0.96), 0.92, (95% CI, 0.87–0.98) and 0.93, (95% CI, 0.88–0.98), respectively, $n = 13$.

Repetition Maximum Strength Test. Thirty minutes after the RFD test, throwers performed the 1RM strength test on a leg press machine according to previous reports (31). Briefly, after a short warm-up, throwers performed incremental maximum efforts until they were unable to lift a heavier weight. Approximately, 3-minute rest was allowed between the trials. In all cases, 2 of the researchers were

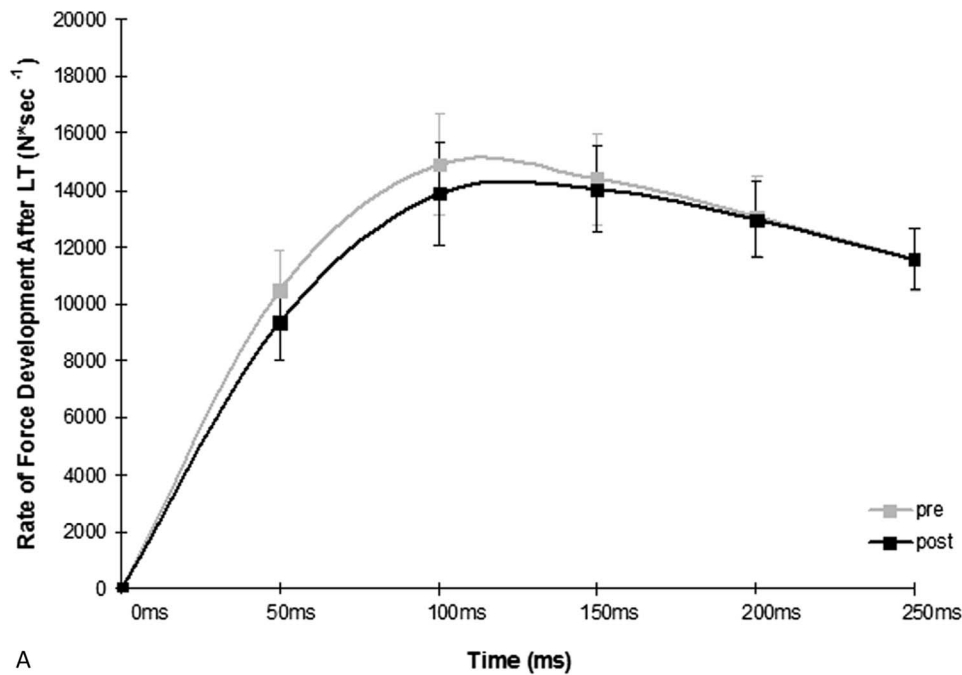
present and vocally encourage all throwers. The ICC for 1RM strength test was 0.98, (95% CI, 0.94–0.99) $n = 13$.

Ultrasonography. B-mode ultrasound images were recorded from the right vastus lateralis to determine its architectural characteristics (6.5 MHz Transducer; MicroMaxx Ultrasound System and Sonosite Inc., Bothell, WA, USA). Throwers were lying at a supine position with both knees extended at a resting position (18). Images were taken at 50% of the distance between the greater trochanter, and the lateral condyle of the femur and analyzed for vastus lateralis thickness, pennation angles, and fascicle lengths (Moti Images Plus, 2.0). The ICC for muscle architecture was 0.97, (95% CI, 0.91–0.99), $n = 13$.

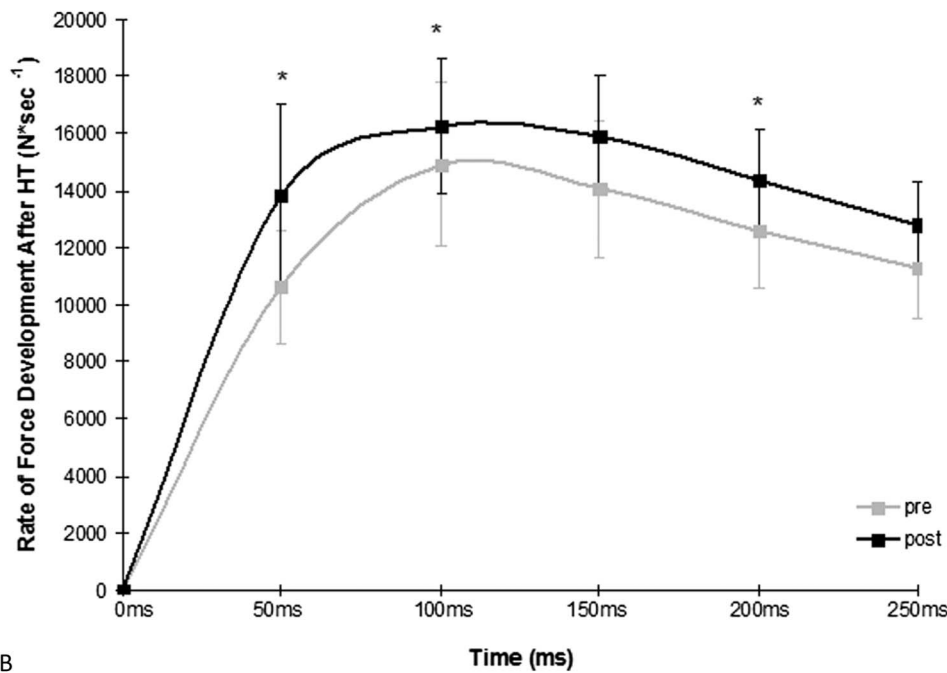
Body Composition Analysis. A total body scan was performed (Dual X-ray Absorptiometry model DPX-L; LUNAR Radiation, Madison, WI, USA) to evaluate body composition (DXA). All measurements were analyzed using the LUNAR radiation body composition program. Fat mass, lean body mass, and bone mineral density were determined for the total body in 3 different periods: at the beginning of the year-round training, after the first tapering period, and after the second tapering period. The ICC for body composition analysis was determined from 2 different researchers ICC = 0.98, (95% CI, 0.95–0.99), $n = 13$.

Statistical Analyses

All data are represented as mean and SE. A 2-way analysis of variance for repeated measures was used to test differences before and after the tapering periods. Whenever a significant *F*-value was obtained, the main effects were compared with Bonferroni confidence interval adjustment. Paired samples T-Test was used to detect percent alternations differences between the LT and HT. Calculation of



A

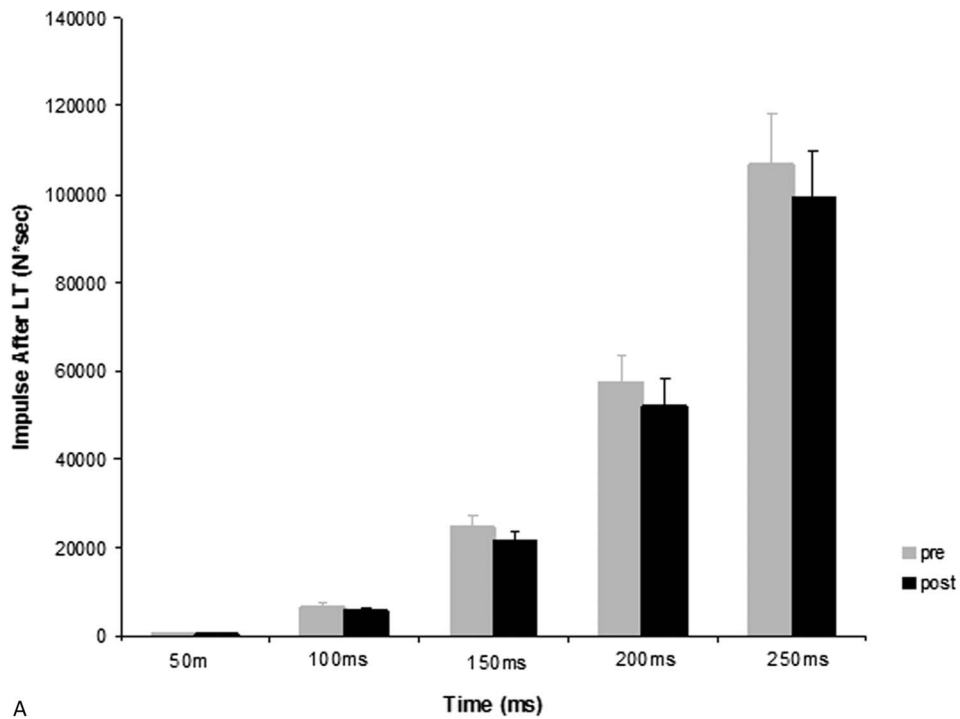


B

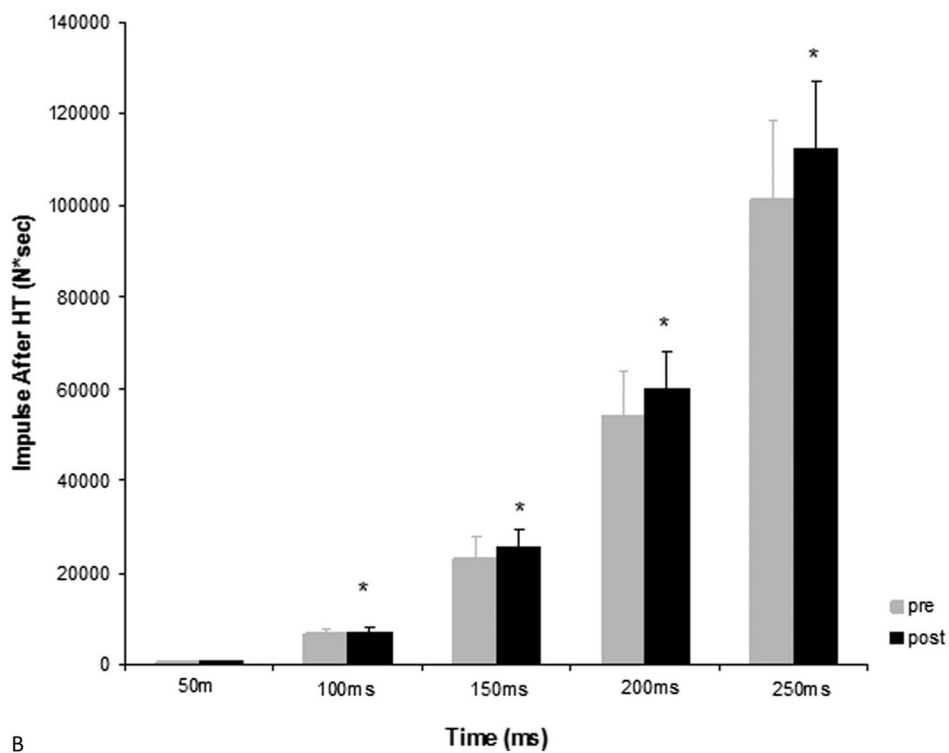
Figure 4. A and B) Alternations in isometric leg press RFD ($N \cdot s^{-1}$) before (gray line) and after 2 weeks of tapering (black line). No significant changes were found after LT (A) or HT (B). However, HT induced greater percentage increases at 50, 100, and 200 milliseconds in contrast to LT ($*p \leq 0.05$). RFD = rate of force development; LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering.

effect sizes (η^2) was followed (9). Additionally, a 1-way repeated measures analysis of variance and Bonferroni post hoc was performed to test differences between 3-time point DXA measurements. Pearson's product moment correlation

coefficient was used to explore the relationships between shot throws as well as between the initial performance and the percentage increase in performance tests of the throwers. Within subjects, variation and reliability were determined for



A



B

Figure 5. A and B) Changes in isometric leg press impulse (N·s) before (gray column) and 2 weeks after tapering (black column). No significant differences were found after both LT (A) and HT (B) tapering. Nevertheless, HT induced greater percentage increases at 100, 150, 200, and 250 milliseconds in comparison with LT (* $p \leq 0.05$). LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering.

TABLE 5. Changes in muscle architecture of vastus lateralis after LT and HT training programs.*

Vastus lateralis ultrasonography	LT		HT		<i>p</i>	η^2
	Pre	Post	Pre	Post		
Muscle thickness (cm)	2.56 ± 0.12	2.64 ± 0.11	2.52 ± 0.14	2.53 ± 0.12	0.626	0.012
Pennation angle (degrees)	18.55 ± 0.71	17.74 ± 0.91	17.34 ± 0.53	17.05 ± 0.73	0.254	0.065
Fascicle lengths (cm)	8.28 ± 0.48	8.58 ± 0.49	8.51 ± 0.38	8.81 ± 1.25	0.653	0.010

*LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering.

all variables by calculating the confidence limits (95% CI) and ICC as described by Hopkins, (14). Significance was accepted at $p \leq 0.05$. All statistical analysis was performed using SPSS version 17.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTS

Throwing performance increased significantly after LT by $4.8 \pm 1.0\%$ and after HT by $5.6 \pm 0.9\%$ ($p = 0.001$, $\eta^2 = 0.855$) (Figure 2), but the difference between the 2 programs was not significant ($p = 0.487$, $\eta^2 = 0.052$). Light-load tapering was significantly easier to perform (RPE = 4.0 ± 1.5 in LT, vs. 6.7 ± 0.9 in HT, $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.757$), whereas weekly training load, monotony, and strain were significantly higher for HT compared with LT ($12,662 \pm 816$ vs. $9,360 \pm 380$ kg, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.763$; 2.30 ± 0.01 vs. 0.71 ± 0.01 , $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.945$; and $1,114.5 \pm 86.2$ vs. 424.3 ± 125.2 , $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.659$, respectively) (Figures 3A–C). The percentage increase in shot throws was significantly different between the 2 tapering programs ($0.6 \pm 1.7\%$ vs. $3.3 \pm 1.9\%$ for LT and HT, respectively, $p = 0.048$, $\eta^2 = 0.256$; Table 4).

Jump height and power output at the SQJs and CMJs were not statistically different after tapering. However, HT induced significantly greater percentage increases in SQJ power output compared with LT ($5.1 \pm 2.4\%$ vs. $0.9 \pm 1.4\%$, $p = 0.042$, $\eta^2 = 0.388$). No significant difference was found

for leg press 1RM after LT or HT. However, the percentage increase after HT was significantly greater in comparison with LT ($5.9 \pm 3.2\%$ vs. $-3.4 \pm 2.5\%$, $p = 0.031$, $\eta^2 = 0.415$; Table 4).

No significant change was observed on isometric peak force, though, HT induced greater percentage increase in contrast to LT ($17.9 \pm 5.0\%$ vs. $2.4 \pm 3.1\%$, $p = 0.016$, $\eta^2 = 0.539$, respectively, Table 3). In accordance, RFD and impulse remained unaltered after both tapering programs. However, HT induced greater percentage increases on RFD at 50 milliseconds ($p = 0.038$, $\eta^2 = 0.516$), 100 milliseconds ($p = 0.042$, $\eta^2 = 0.418$), and 200 milliseconds ($p = 0.041$, $\eta^2 = 0.389$) in comparison with LT (Figures 4A, B), whereas, analysis of impulse demonstrated greater percentage increases after HT at 100 milliseconds ($p = 0.045$, $\eta^2 = 0.411$), 150 milliseconds ($p = 0.038$, $\eta^2 = 0.512$), 200 milliseconds ($p = 0.044$, $\eta^2 = 0.401$), and 250 milliseconds ($p = 0.048$, $\eta^2 = 0.380$, Figures 5A, B).

Muscle architecture was not altered after either tapering methods (Table 5). Lean body mass was increased significantly by $3.3 \pm 0.9\%$ after LT and $3.9 \pm 0.9\%$ after HT ($p = 0.004$, $\eta^2 = 0.706$), compared with the measurement at the initiation of the year-round training (Table 6). There was no difference in the percentage adaptations between male and female athletes (e.g., track and field throwing performance:

$p = 0.87$ for LT and $p = 0.81$ for HT). In addition, no significant correlation was found between the initial performance and the percentage increase in performance.

TABLE 6. Changes on body composition characteristics after the 2 tapering training periods.*

	Preparation phase	LT	HT
Fat (%)	29.58 ± 2.36	27.99 ± 2.46	27.64 ± 2.52
Fat free mass (kg)	54.85 ± 4.31	57.32 ± 4.04†	57.05 ± 4.58†
Bone mineral content (gr · cm ⁻²)	1.31 ± 0.03	1.34 ± 0.03	1.34 ± 0.03

*LT = light-load tapering; HT = heavy-load tapering.

† $p < 0.01$, between preparation phase and tapering periods.

DISCUSSION

The main finding of this study was that track and field throwing performance increased similarly after 2 weeks of tapering either with light or heavy resistance loads in track and field throwers. Tapering with heavy loads induced, to some extent,

larger increases in strength, vertical jumping, and the RFD; however, these alterations were not adequate to induce greater increases in sport-specific throwing performance compared with the LT. Training with heavy resistances also resulted in greater percentage increases in shot throws (considered as reliable tests of throwing ability, (31)) compared with LT. The latter throwing tests are simple tests with limited demands on technical skills (11,30) in contrast to the elevated technical skills necessary for sport-specific throwing performance such as the javelin or the hammer throw (11). The present results suggest that 2 weeks of tapering with HT induces somewhat better increases in strength/power compared with LT, which cannot be revealed during the performance of a technically demanding test, such as the sport-specific throwing performance. In concert with this notion, it has been shown that the increase in muscle mass/strength is not a prerequisite for an increase in performance in technically demanding efforts such as the rotational shot put throw in well-trained athletes (20). In contrast, the linear shot put throw, which is a slower and less technically demanding movement compared with the rotational shot put throw, depends to a larger degree on muscle mass/strength in well-trained shot putters (19,20).

Tapering with both 30% of 1RM and 85% of 1RM was performed with maximum intentional speed of movement. Training with 30% of 1RM increases throwing performance, muscle strength and power, and the cross-sectional area (CSA) of type IIX quadriceps muscle fibers, whereas the percentage of these fibers remains unchanged, at least in novice throwers (35). In a similar context, it has been described that training with heavy loads (>80% of 1RM) and maximum intentional movement velocity increases strength, power, and RFD in untrained subjects (34). This type of training has been also linked to an increase in the recruitment of high threshold motor units, which suggests specific neural adaptations (10), although the complete neuromuscular adaptations induced by this type of training remain largely unexplored. It is obvious that both of these training intensities can induce significant adaptations leading to muscle power development. Indeed, the present results reveal that despite small differences in power development, both LT and HT can be effective in increasing track and field throwing performance after only 2 weeks of tapering. Unfortunately, we were not able to evaluate specific neuromuscular adaptations such as the muscle fiber composition or the electromyographic activity after the HT and LT, which it would provide valuable information for the interpretation of the current results.

Tapering with 85% of 1RM induced greater percentage increases in leg press strength compared with LT, although it should be considered that the leg press may not be the best test to evaluate muscular strength in throwers, regarding movement specificity. This might be attributed to the sudden reduction in training volume and intensity with 2 weeks of LT compared with the precompetition training, which has been linked to type II muscle fibers' atrophy (e.g., after 14

days of detraining in power athletes, 15). In contrast, in HT the training volume and intensity remained comparable with the precompetition training period. Similar to the changes in muscle strength, HT resulted in greater increases in RFD compared with LT. Rate of force development is thought to be depended on muscle mass, muscle fiber composition, and neural drive (1). Andersen et al. (2) suggested that the principal training stimulus for increasing RFD is high resistance with the highest intended movement velocity, as performed in the HT program of this study. This might explain the small difference in RFD in favor of the HT program. As shown before, power production during vertical jumping is increased between the preseason and the competition phase in well-trained throwers (19). Actually, a significant correlation has been found between shot put throwing performance and vertical jump power output in trained shot putters ($r = 0.66, p \leq 0.05$ (19)). In this study, the percentage increase of power output during the SQJ after HT was significantly greater in contrast to LT, which again reveals a closer link between HT and throwing performance. Unfortunately, scarce data exist on the alternations of RFD after short-term tapering in athletes. Alterations in RFD after tapering need further investigation.

Muscle mass is a crucial factor, which contributes to performance in power demanding sports. Lean body mass correlates well with track and field throwing performance in novice throwers (31), although it cannot predict performance among experienced shot put athletes (20). The year-round training increased the total body lean mass by approximately 3.5%, similarly to previous reports in throwers (20), which states the effectiveness of the total training program. However, measurement of the vastus lateralis thickness with ultrasound before and after the tapering periods did not reveal significant alterations, whereas DXA was not performed before and after these periods. Although small changes in muscle mass cannot be excluded, it seems that 2 weeks of tapering is a short period to detect such changes in trained individuals, thus it cannot be a valid measure of muscle adaptations in similar cases.

Moreover, muscle architecture did not reveal any differential effects between the 2 tapering modes. Ultrasonography revealed no significant changes in vastus lateralis muscle architecture after either tapering methods. It is possible that 2 weeks of training was a short time to detect differences in muscle architecture, if any. In a previous study with 5 weeks of resistance training, fascicle length and fascicle angle were slightly increased, whereas the opposite results were found with high-velocity training in vastus lateralis (6). However, in this study, the short training duration might have rendered impossible to detect such changes in muscle architecture.

The magnitude of performance increases after tapering, which was found in this study (4.8% after LT and 5.6% after HT [95% CI, -3.48 to 1.76]) was similar to that found in previous studies in different sport events such as swimming, running, and rowing (27). Similar increases in shot put

performance in experienced athletes (4.7% (19)), or college athletes (5.4% (29)) have been reported before and after several weeks of training, which included the preparatory training phase and the tapering phase. As a final point regarding the performance enhancement found in this study, the difference in improvements after LT and HT was non-significant (0.8%). However, this difference in the training response might be of importance for the coach and athlete because it might make the difference between the first and the second place in the major competition. Considering this, as well as the somewhat larger effect of the HT on muscular strength, jumping, and RFD, more research should be focused on the effectiveness of LT vs. HT in power events such as the track and field throws, perhaps including longer tapering periods and well-trained athletes competing in the same event.

In conclusion, 2 weeks of tapering with 30% of 1RM or 85% of 1RM, performed with maximum intentional velocity, leads to similar increases on throwing performance in young track and field throwers. Tapering with heavy loads induces superior increases in muscular strength, jumping performance, and RFD, but tapering with lower loads is easier to perform.

PRACTICAL APPLICATIONS

The results of this study suggest that 2 weeks of tapering with 30% of 1RM or 85% of 1RM increases performance in track and field throwers similarly by 4–6%. Training with either light or heavy loads should be performed with maximal intentional movement velocity. Additionally, when one of the central training goals of the tapering period is to increase strength and power (in addition to the increase in throwing performance) training with 85% of 1RM should be preferred over 30% of 1RM. Tapering with 30% of 1RM is easier to perform than tapering with 85% of 1RM, hence this method can be used effectively to increase the throwing performance when the athlete is experiencing light injuries or has the feeling of tiredness after the long preparation phase. As a final point, it should be noted that the expected performance changes after tapering are the result of both the preparatory training period preceding the taper and the training during tapering itself. Therefore, these 2 training periods should be considered as a continuum and at an individualized manner to achieve the best possible performance increase at competition.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors express our gratitude to the athletes who participated in the study. The authors also thank Dr. Stavros Kavouras for the DXA measurements.

REFERENCES

- Aagaard, P, Simonsen, EB, Andersen, JL, Magnusson, P, and Duhre-Poulsen, P. Increase rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985) 93: 1318–1326, 2002.
- Andersen, LL, Larsson, B, Overgaard, H, and Aagaard, P. Torque-velocity characteristics and contractile rates of force development in elite badminton players. *Eur J Sports Sci* 7: 127–134, 2007.
- Baker, D. Acute and long-term power responses to power training: Observations on the training of an elite power athlete. *Natl Strength Cond Assoc* 23: 47–56, 2001.
- Bartlett, GM. The biomechanics of the discus throw: A review. *J Sports Sci* 10: 467–510, 1992.
- Bevan, RH, Bunce, JP, Owen, JN, Bennet, AM, Cook, JC, Cunningham, JD, Newton, RU, and Kilduff, L. Optimal loading for the development of peak power output in professional rugby players. *J Strength Cond Res* 24: 43–47, 2010.
- Blazevich, JA, Gill, ND, Bronks, R, and Newton, RU. Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 35: 2013–2022, 2003.
- Borg, GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 5: 377–381, 1982.
- Bosco, C, Luhtanen, P, and Komi, PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50: 273–282, 1983.
- Cohen, JW. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- Cormie, P, McGuigan, MR, and Newton, RU. Developing maximal neuromuscular power. *Sports Med* 41: 125–146, 2011.
- Dunn, G and McGill, K. *The Throws Manual*. Mountain View, CA: Tafnews Press, 1991.
- Haff, GG and Nimphius, S. Training principles for power. *Natl Strength Cond Assoc* 34: 2–12, 2012.
- Harris, RG, Stone, HM, O'Bryan, SH, Proux, MC, and Johnson, LR. Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight training methods. *J Strength Cond Res* 14: 14–20, 2000.
- Hopkins, WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30: 1–15, 2000.
- Hortobagay, T, Houmard, JA, Stevenson, JR, Fraser, DD, Johns, RA, and Israel, RD. The effects of detraining on power athletes. *Med Sci Sports Exerc* 25: 929–935, 1993.
- Hubbard, M, Mestre, NJ, and Scott, J. Dependence of variables in the shot put. *J Biomech* 34: 449–456, 2001.
- Kawamori, N and Haff, G. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res* 18: 675–684, 2004.
- Kumagai, K, Abe, T, Brechue, W, Ryushi, T, Takano, S, and Mizuno, M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol* 88: 811–816, 2000.
- Kyriazis, TA, Terzis, G, Boudolos, K, and Georgiadis, G. Muscular power, neuromuscular activation, and performance in shot put athletes at pre-season and at competition period. *J Strength Cond Res* 23: 1773–1779, 2009.
- Kyriazis, T, Terzis, G, Karampatsos, G, Kavouras, S, and Georgiadis, G. Body composition and performance in shot put athletes at pre-season and competition. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 417–421, 2010.
- Le Meur, Y, Hausswirth, C, and Mujika, I. Tapering for competition: A review. *Sci Sports* 27: 77–87, 2012.
- Linthorne, NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am J Phys* 69: 1198–1204, 2001.
- Malisoux, L, Frisch, A, Urhausen, A, Seil, R, and Theisen, D. Monitoring a sport participation and injury risk in young athletes. *J Sci Med Sports* 16: 504–508, 2013.
- Marcora, S and Miller, KM. The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *J Sports Sci* 18: 313–319, 1999.

25. McGuigan, RM and Foster, C. A new approach to monitor resistance training. *Natl Strength Cond Assoc* 26: 42–47, 2004.
26. Mujika, I and Padilla, S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1182–1187, 2003.
27. Mujika, I, Padilla, S, Pyne, D, and Busso, T. Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *J Sports Med* 34: 891–927, 2004.
28. Newton, RU, Kraemer, WJ, and Hakkinen, J. Kinematics kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech* 12: 31–43, 1996.
29. Stone, HM, Sanborn, K, O'Bryant, HS, Hartman, M, Stone, ME, Proulx, C, Ward, B, and Hruby, J. Maximum strength power performance relationships in collegiate throwers. *J Strength Cond Res* 17: 739–745, 2003.
30. Terzis, G, Spengos, K, Kavouras, S, Manta, P, and Georgiadis, G. Muscle fiber type composition in hammer throwers. *J Sports Sci Med* 9: 104–109, 2010.
31. Terzis, G, Stratakos, G, Manta, P, and Georgiadis, G. Throwing performance after resistance training and detraining. *J Strength Cond Res* 22: 1–7, 2008.
32. Turner, A. The science and practise of periodization: A brief review. *Natl Strength Cond Assoc* 33: 34–46, 2011.
33. Wilson, JM and Wilson, GJ. A practical approach to the taper. *Natl Strength Cond Assoc* 30: 10–16, 2008.
34. Young, WB and Bilby, GE. The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *J Strength Cond Res* 7: 172–178, 1993.
35. Zaras, N, Spengos, K, Methenitis, S, Papadopoulos, C, Karampatos, G, Georgiadis, G, Stasinaki, A, Manta, P, and Terzis, G. Effects of strength vs. ballistic-power training on throwing performance. *J Sports Sci Med* 12: 130–137, 2013.
36. Zatsiorsky, V, Lanka, G, and Shalmanov, A. Biomechanical analysis of shot putting technique. *Exerc Sports Sci Rev* 9: 353–389, 1981.

AUTHOR QUERIES

DATE 6/19/2015

JOB NAME JSCR

ARTICLE JSCR-08-5699

QUERIES FOR AUTHORS Zaras et al

THIS QUERY FORM MUST BE RETURNED WITH ALL PROOFS FOR CORRECTIONS

- AU1) Please note that there is discrepancy between the pdf and the original manuscript in the “Running head.” The author manuscript has been followed. Please check.
- AU2) Please note that there is discrepancy between the pdf and the original manuscript regarding the middle initials of all the authors. The author manuscript has been followed. Please check.
- AU3) Please check edits to affiliation 2.
- AU4) Please provide the age ranges for all subjects mentioned in the Subjects section if you have not already. If any subjects were <18 years of age, please confirm that parental consent was obtained. Please also confirm, if you have not already, that informed consent documents were signed for all subjects.
- AU5) Please check edits to the sentence “The intraclass correlations”
- AU6) Please check if the confidence interval values can be represented in range (e.g., “lower = 0.92, upper = 0.99” to “0.92–0.99”) in all the occurrences in text.
- AU7) Please note that “and/or” constructions are not preferred. Please consider rewording the same.
- AU8) Please note that the value “0953” has been changed to “0.953” in Table 1. Please check and correct if necessary.
- AU9) Please check edits made to table layout in Tables 3, 4, and 5.

RATE OF FORCE DEVELOPMENT, MUSCLE ARCHITECTURE, AND PERFORMANCE IN YOUNG COMPETITIVE TRACK AND FIELD THROWERS

NIKOLAOS D. ZARAS,¹ ANGELIKI-NIKOLETTA E. STASINAKI,¹ SPYRIDON K. METHENITIS,¹ ARGYRO A. KRASE,¹ GIORGOS P. KARAMPATSOS,¹ GIORGOS V. GEORGIADIS,¹

AU2 KONSTANTINOS M. SPENGOS,² AND GERASIMOS D. TERZIS¹

¹*Athletics Laboratory, School of Physical Education and Sport Science, University of Athens, Athens, Greece; and* ²*First*

AU3 *Department of Neurology, Eginition Hospital, University of Athens Medical School, Athens, Greece*

ABSTRACT

Zaras, ND, Stasinaki, A-NE, Methenitis, SK, Krase, AA, Karampatsos, GP, Georgiadis, GV, Spengos, KM, and Terzis, GD. Rate of force development, muscle architecture, and performance in young competitive track and field throwers. *J Strength Cond Res XX(X): 000–000, 2015*—The rate of force development (RFD) is an essential component for performance in explosive activities, although it has been proposed that muscle architectural characteristics might be linked with RFD and power performance. The purpose of the study was to investigate the relationship between RFD, muscle architecture, and performance in young track and field throwers. Twelve young track and field throwers completed 10 weeks of periodized training. Before (T1) and after (T2) training performance was evaluated in competitive track and field throws, commonly used shot put tests, isometric leg press RFD, 1 repetition maximum (1RM) strength as well as vastus lateralis architecture and body composition. Performance in competitive track and field throwing and the shot put test from the power position increased by $6.76 \pm 4.31\%$ ($p < 0.001$) and $3.58 \pm 4.97\%$ ($p = 0.019$), respectively. Rate of force development and 1RM strength also increased ($p \leq 0.05$). Vastus lateralis thickness and fascicle length increased by $5.95 \pm 7.13\%$ ($p = 0.012$) and $13.41 \pm 16.15\%$ ($p = 0.016$), respectively. Significant correlations were found at T1 and T2, between performance in the shot put tests and both RFD and fascicle length ($p \leq 0.05$). Close correlations were found between RFD, muscle thickness, and fascicle length ($p \leq 0.05$). Significant correlations were found between the % changes in lean body mass and the % increases in RFD. When calculated together, the % increase in muscle thickness and RFD could predict the

% increase in shot put throw test from the power position ($p = 0.019$). These results suggest that leg press RFD may predict performance in shot put tests that are commonly used by track and field throwers.

KEY WORDS resistance training, shot put, force-time curve, muscle thickness, fascicle length

INTRODUCTION

Track and field throwing events are explosive activities with complex technical characteristics requiring rapid force production. The delivery phase and the final thrust of the throw are powerful movements, with short duration of roughly 150–240 milliseconds (4,5,18,35). Therefore, the ability to produce large amounts of force rapidly, that is, the rate of force development (RFD), should be essential for throwing performance. Strength and power are directly related to RFD, at least in strength trained individuals (19,22,23). However, data regarding the relationship among these variables in track and field throwers are rare (28). Stone et al. (28) showed that midhigh pull RFD increased after 8 weeks of training by 19.6%, whereas no significant correlation was found with shot put throwing performance or with any other strength and power variables in collegiate throwers. To the best of our knowledge, no other investigation has examined the relationship between the RFD and the performance in track and field throwing events.

Muscle strength and power are influenced by a number of neuromuscular and morphological characteristics, including muscle thickness, fascicle angle, and fascicle length (1,7,11,29). Previous studies revealed that heavy resistance and power training may alter muscle architectural characteristics. For instance, periodized resistance training induces increase in muscle thickness, fascicle angle, and length in well-trained athletes (6,27). Track and field throwers spend a large part of their preparation using resistance training programs to increase strength and power; however, the effect of these training routines on their muscle architectural

Address correspondence to Nikolaos D. Zaras, nikzar@phed.uoa.gr.

00(00)/1–12

Journal of Strength and Conditioning Research

© 2015 National Strength and Conditioning Association

characteristics and RFD has not been addressed yet. Moreover, it has been suggested that fascicle length may influence the RFD. Data from the study by Edman and Josephson (15) suggest that longer fibers tend to produce force slower than shorter fibers in the early force production (<30 milliseconds) in frog muscles, perhaps because longer fascicles need longer time to stretch the intramuscular series elastic elements. Blazevich et al. (10) found that after 5 weeks of strength training, subjects with initially longer fascicles had the least improvement or even a reduction in force in the first few milliseconds of force production. Earp et al. (14) showed a positive relationship between RFD (10–30 milliseconds) and gastrocnemius fascicle length in drop jumps and a negative relationship (0–10 milliseconds) in counter-movement jumps. Thus, it remains debated whether fascicle length and RFD are related, especially later in the force-time curve, at 100–250 milliseconds, which is more relevant in sports, especially in track and field throwing events.

The purpose of the present study was to investigate the relationship between RFD, muscle architecture, and throwing performance and to investigate the potential changes in these relationships after long-term periodized training in a group of young competitive track and field throwers.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

The relationship between the RFD, muscle architecture, and track and field throwing performance remains largely unclear. The correlation among these variables was evaluated in 12 young competitive throwers (6 male and 6 female throwers). Because systematic exercise training induces significant neuromuscular adaptations, the relationship between the aforementioned variables was evaluated at 2 different time points during the athletic year round training: before (T1) and after (T2) 10 week of periodized training aiming at the summer national track and field competition period. Training was designed according to the principles of periodization and was separated into two 5-week mesocycles aiming to enhance maximum strength and strength-power, respectively. Changes in performance were statistically compared with analysis of variance for repeated measures. The relationships between variables were determined using Pearson's product moment correlation.

Subjects

AU4 Six male (21.3 ± 7.5 years, 1.78 ± 0.07 m, 90.4 ± 20.8 kg) and 6 female (18.0 ± 2.8 years, 1.66 ± 0.06 cm, 73.7 ± 17.5 kg) young throwers gave their written consent to participate in the study after being informed about the experimental procedures. Written parental consent was also obtained in participants younger than 18 years. Five of the participants were discus throwers (3 males, 2 females), 4 hammer throwers (2 males, 2 females), 2 shot put throwers (1 male, 1 female), and 1 javelin thrower (1 female). Ten of the participants were officially qualified for the national

championship, and their performance was among the top 15 of the nation. All throwers were in good health and received no medication or nutritional supplements during the training period. All procedures were performed in accordance with the principles outlined in the Declaration of Helsinki and were approved by the local ethics committee.

Procedures

Training. Before the initiation of the 10-week summer training period related to the present study, all athletes completed 15 weeks of winter preparation aiming to increase performance for the winter competition. That winter training program was similar to the 10-week program used in this study (Table 1), but it was 5 weeks longer because of the preceded summer transition phase. By the end of the winter phase, all athletes participated in a winter competition with throwers from other track and field clubs. Two weeks of transition phase followed and then athletes were trained as described in Table 1, aiming for the summer national event. Training was designed into two 5-week mesocycles according to the principles of periodization (17,33). During the first mesocycle, hypertrophy and maximum strength were the main targets of resistance training, whereas during the second mesocycle, maximum strength and power development were the main targets. The acute training variables are presented in Table 1. The training program was designed to each individual needs according to the demands of the throwing event of each athlete. About 5% of all the planned training sessions were not completed because of small injuries. All efforts were performed with maximum possible movement velocity especially during the second mesocycle when strength-power was developed. Training also included plyometrics with various jumping bounds, agility exercises, and short-distance sprinting with maximum velocity.

Track and Field Throws. Shot put, javelin, hammer, and discus throwing performance was measured outdoors (each athlete performed his/her own specialty) following the official rules of the International Amateur Athletics Federation. Ambient temperature was always 20–24° C while weather was calm and sunny during all throwing measurements. Briefly, after a short warm-up (jogging, stretching, 2–4 near-maximum effort throws), athletes performed 6 throws with maximum effort (13). After each attempt, technical feedback was provided by a certified coach. The best throwing performance was used in further analysis.

Shot Put Tests. The next day, all athletes performed 3 different shot put tests: (a) the backward overhead shot throw, (b) the front shot put throw, and (c) the shot put throw from the power position (12,16). All athletes were very well familiar with these shot put tests as they all used them regularly during training over the years. Athletes performed 4 attempts of each test with maximum effort, with 2 minutes

TABLE 1. General characteristics for the strength, throwing, and plyometric training of the athletes during the spring preparation phase.*

Training wk	Strength training (3–4 sessions per wk)			Track and field throws (2–3 sessions per wk)		
	Structural exercises	Weightlifting	Assistance exercises	Heavy implement	Light implement	
	Bench press, squat, shoulder press, dead lifts	Snatch, clean, and jerk	Assistance exercises (dumbbells and machines)	1–2 kg heavier to the competition implement	1–2 kg lighter to the competition implement	Plyometric training (2 sessions per wk)
Wk 0	Pretest (T1)					
Wk 1	4 × 6 RM	4 × 4–5 (75% RM)	4 × 10–12 RM			(e.g., standing broad jumps and triple jumps, hurdles, sprints, and agility sprints)
Wk 2	4 × 5 RM	4 × 4–5 (80% RM)	4 × 10–12 RM	20–30	40–50	
Wk 3	4 × 5 RM	4 × 4 (80% RM)	4 × 10–12 RM	20–30	40–50	
Wk 4	4 × 4 RM	4 × 3–4 (85% RM)	3 × 10 RM	20–30	50–60	
Wk 5	4 × 4 RM	3 × 3–4 (85% RM)	3 × 8–10 RM	30–40	50–60	
Wk 6	Transition period (similar to wk 2)					
Wk 7	4 × 3 RM	3 × 2–3 (85% RM)	3 × 8–10 RM	20–30	40–50	
Wk 8	2–3 × 3–4 RM	3 × 2–3 (90% RM)	3 × 8–10 RM	10–20	50–60	
Wk 9	3 × 2–3 RM	2 × 2–3 (90% RM)	3 × 6–8 RM	8–10	30–40	
Wk 10	2 × 2–3 RM	2 × 2–3 (95% RM)	3 × 6–8 RM	8–10	20–30	
Wk 11	2 × 2–3 RM	2 × 1–2 (95% RM)	2 × 6–8 RM		15–20	
Wk 12	Posttest (T2)					

*RM = repetition maximum.

rest between each attempt. The best performance for each test was used in statistical analysis. The intraclass correlations (ICCs) for the shot put tests were as follows: 0.98 (95% confidence interval [CI]: lower = 0.92, upper = 0.99, $n = 13$) for backward overhead shot throw, 0.93 (95% CI: lower = 0.80, upper = 0.99, $n = 13$) for front shot put throw, and 0.94 (95% CI: lower = 0.83, upper = 0.98, $n = 13$) for shot put throw from the power position.

Rate of Force Development. All athletes performed at least 3 familiarization sessions with multiple submaximal and maximal isometric leg press efforts in the laboratory set up used for testing, during the month before the initial measurements (T1). The day after the shot throw tests, athletes came to the laboratory for the assessment of maximum isometric force and RFD during leg press. Throwers were seated on a custom-made steel leg press chair and placed both their feet on the force platform (Applied Measurements Ltd Co., Reading, United Kingdom; WP800, 1,000 kg weighting platform, 80 × 80 cm, sampling frequency 1,000 Hz) that was positioned perpendicular on a concrete laboratory wall.

Knee angle was set at 120°, and hip angle was set at 100° (25,34). Athletes were instructed to apply their maximum force as fast as possible for 3 seconds. Two maximum trials were performed with 3 minutes interval. Throwers were vocally encouraged to perform their best effort during the measurement. Data from the force platform were recorded (Kyowa sensor interface PCD-320A) and analyzed. The signal was filtered using a secondary low pass Butterworth filter with a cutoff frequency of 20 Hz. Variables calculated from the force-time curve included the maximum isometric peak force (IPF), the RFD, and the impulse. Maximum IPF was calculated as the greater force generated from the force-time curve. Rate of force development was calculated as the mean tangential slope of the force-time curve in specific time windows of 0–50, 0–100, 0–150, 0–200, and 0–250 milliseconds (RFD = $\Delta\text{Force}/\Delta\text{Time}$). These time intervals were chosen because of the potential relationship to force production during throwing (5,35). Impulse was calculated as the area under the force-time curve, which represents the total force-time integral in a given period ($\text{Impulse}_{0-k} = \sum F_{0-k} \times \Delta\text{Time}_k$ [$k = 50, 100, 150, 200, 250$ milliseconds]) (2,34). The best performance according to

AU8

TABLE 2. Changes in shot put tests, 1 repetition maximum strength, rate of force development, and body composition before and after 10 weeks of specific track and field throwing training, in 12 young throwers (mean ± SD).*

	Pre (T1)	Post (T2)	% T1 – T2	p	η^2	Power
Shot put tests						
Backward overhead (m)	13.72 ± 1.58	13.71 ± 1.73	-0.31 ± 2.62	0.872	0.002	0.053
Front shot put throw (m)	9.38 ± 1.36	9.39 ± 1.37	1.54 ± 4.97	0.954	0.000	0.050
Power position (m)	9.65 ± 1.41	9.95 ± 1.34†	3.58 ± 4.97	0.019	0.408	0.708
Strength tests						
Leg press (kg)	340 ± 80	360 ± 72.77‡	8.01 ± 6.01	0.008	0.492	0.844
Hang power clean (kg)	77.00 ± 23.66	78.36 ± 27.63‡	4.72 ± 5.28	0.006	0.516	0.876
Back squat (kg)	125 ± 26.08	130.9 ± 25.96‡	4.68 ± 2.98	0.000	0.731	0.997
IPF (N)	3,946.5 ± 1,065.9	4,612.1 ± 1,338.2‡	22.65 ± 20.12	0.009	0.475	0.819
RFD and impulse						
RFD _{50ms} (N·s ⁻¹)	10,176 ± 4,511	13,320 ± 4,542‡	42.40 ± 41.82	0.000	0.705	0.996
RFD _{100ms} (N·s ⁻¹)	14,664 ± 5,555	19,041 ± 6,581‡	37.72 ± 34.81	0.007	0.499	0.853
RFD _{150ms} (N·s ⁻¹)	14,107 ± 4,162	17,935 ± 4,823‡	30.66 ± 24.31	0.002	0.593	0.953
RFD _{200ms} (N·s ⁻¹)	12,761 ± 3,434	16,075 ± 4,093‡	28.66 ± 25.77	0.004	0.554	0.919
RFD _{250ms} (N·s ⁻¹)	11,272 ± 2,826	14,313 ± 3,415‡	29.41 ± 24.83	0.001	0.616	0.968
Impulse _{50ms} (N·s)	450 ± 182	590 ± 197‡	37.88 ± 32.19	0.001	0.652	0.985
Impulse _{100ms} (N·s)	5,814 ± 2,363	7,929 ± 3,299‡	43.80 ± 38.97	0.006	0.514	0.873
Impulse _{150ms} (N·s)	22,254 ± 7,793	29,365 ± 10,118‡	37.27 ± 30.73	0.003	0.556	0.921
Impulse _{200ms} (N·s)	53,134 ± 16,644	68,746 ± 20,978‡	33.11 ± 26.52	0.003	0.570	0.934
Impulse _{250ms} (N·s)	100,086 ± 28,943	128,577 ± 36,319‡	31.44 ± 25.23	0.002	0.581	0.944
Body composition						
Body fat (%)	27.92 ± 8.12	27.67 ± 8.41	1.14 ± 6.07	0.625	0.028	0.074
BMD (g·cm ⁻²)	1.33 ± 0.08	1.35 ± 0.11	0.98 ± 2.59	0.238	0.151	0.205
Total lean (kg)	57.14 ± 13.15	58.61 ± 15.49	2.08 ± 4.61	0.208	0.170	0.229
Lean arms (kg)	7.45 ± 2.19	7.31 ± 2.30	-2.07 ± 5.74	0.450	0.065	0.109
Lean trunk (kg)	20.78 ± 4.43	21.63 ± 5.29	3.87 ± 4.86	0.087	0.290	0.403
Lean legs (kg)	25.60 ± 6.45	26.73 ± 7.69	3.72 ± 5.75	0.057	0.347	0.497

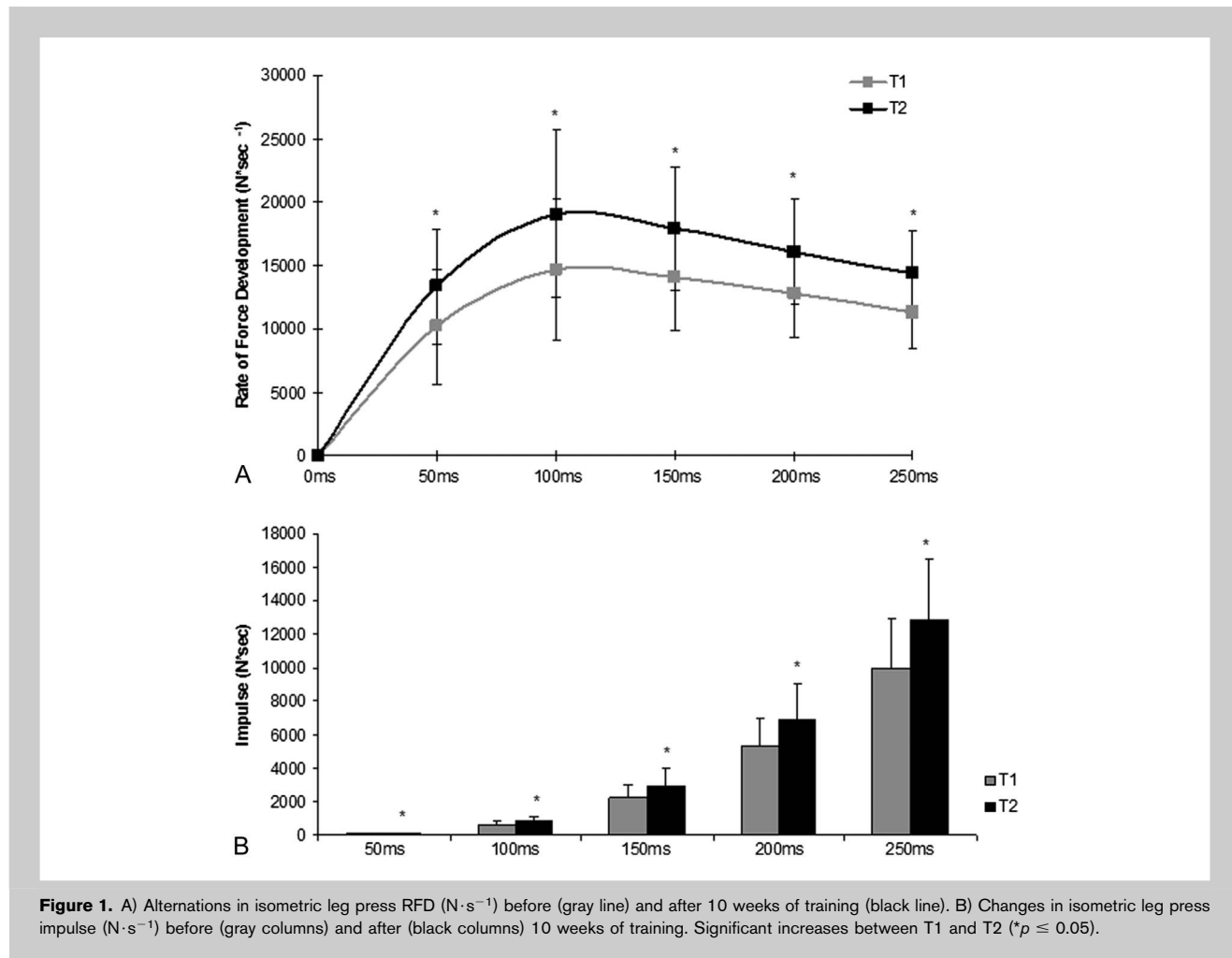
*IPF = isometric peak force; RFD = rate of force development; BMD = bone mineral density.
 † $p \leq 0.05$.
 ‡ $p < 0.001$.

overall RFD was used for statistical analysis. The ICCs for the IPF, the RFD (overall), and the impulse were as follows: 0.90 (95% CI: lower = 0.86, upper = 0.96), 0.92 (95% CI: lower = 0.80, upper = 0.98), and 0.93 (95% CI: lower = 0.85, upper = 0.98), respectively ($n = 13$).

One Repetition Maximum Strength Test. Thirty minutes after the isometric RFD leg press test, throwers performed the 1 repetition maximum (1RM) strength test on a 45° incline leg press machine. After a 5-minute warm-up on a stationary bicycle and static stretching exercises, athletes performed incremental efforts until they were unable to lift a heavier load. Ten repetitions with moderate resistance were performed in the first warm-up set, and 3–5 repetitions in the next 2 sets with approximately 10% load increment in each of these sets. Then single-repetition sets were performed with 2.5–5% load increments until athletes were unable to lift a heavier load (6–7 multiple repetition and single-repetition sets in total). Three minutes of rest was allowed between sets. In all cases, 2 of the researchers were present and vocally encouraged all throwers. The ICC for 1RM leg

press strength test was 0.98 (95% CI: lower = 0.94, upper = 0.99, $n = 13$).

The following day, athletes reported to the gym to perform 1RM strength tests for the hang power clean and the back squat. All measurements were performed on a weightlifting plateau using an Olympic bar. Athletes were familiar with Olympic-style weight lifts because they used them regularly during training over the years. After a short warm-up (5-minute running and static stretching exercises), athletes began the testing session with the hang power clean. Three warm-up sets of 8, 4, and 2 repetitions with 50, 75, and 90% of 1RM, respectively, were given to the athletes. Then 3 trials were given until the athletes were unable to lift the bar. The hang power clean was initiated from the standing position, with the athlete holding the bar using hand straps. The movement begun by lowering the bar to midhigh above the knees and then lifted the bar explosively upward with the effort to place the bar on the shoulders with a quarter squat position (21). In addition, back squat was initiated from the standing position with the bar placed on the trapezoids and the shoulders. Then, the athlete began to



bend the knees and squat until the deepest point of the movement was reached. From this position, the athlete lifted the bar upward to the starting position. At all times, 2 researchers were present to evaluate the technique of the lifts and vocally encourage the athletes. The ICCs for 1RM hang power clean and back squat tests in our laboratory are 0.97 (95% CI: lower = 0.77, upper = 0.94) and 0.96 (95% CI: lower = 0.81, upper = 0.94), respectively ($n = 13$).

Ultrasonography. On a separate day, B-mode ultrasound images (6.5 MHz; MicroMaxx Ultrasound System, Sonosite, Bothell, WA, USA) were recorded from the right vastus lateralis (VL) using a 45-mm linear probe to determine its architectural characteristics. Throwers laid supine with their knees fully extended and their muscles relaxed. Sonographs were taken in the middle of the muscle at 50% of the distance from the central palpable point of the greater trochanter to the lateral condyle of the femur (8). A water-soluble gel was applied to the transducer to aid acoustic coupling. The transducer was placed longitudinal at femur oriented in parallel to the muscle fascicles and perpendicular to the skin. The transducer's alignment was considered appropriate when several fascicles could be easily outlined without interruption across the image (8). Images were analyzed for muscle thickness, fascicle angle, and fascicle length with image analysis software (Motic Images Plus, 2.0). Muscle thickness was defined as the

mean of the distances between the superficial and deep aponeurosis measured at the ends of each 45-mm wide sonograph, fascicle angle as the angle of insertion of muscle fascicles onto the deep aponeurosis, and fascicle length as the fascicular path between the insertions of the fascicle onto the upper and deeper aponeurosis. When the fascicle extended off the image, the length of the missing portion of the fascicle was estimated by linear extrapolation of both the fascicular path and the aponeurosis (9). The reliability for the measurement of muscle thickness (ICC = 0.976 [95% CI: lower = 0.954, upper = 0.988], $p = 0.000$), fascicle angle (ICC = 0.862 [95% CI: lower = 0.746, upper = 0.928], $p = 0.000$), and fascicle length (ICC = 0.834 [95% CI: lower = 0.700, upper = 0.911], $p = 0.000$) was determined on another occasion, on 2 consecutive days by the same investigator ($n = 36$).

Body Composition Analysis. After the ultrasound evaluation, a total body scan was performed with Dual X-Ray Absorptiometry (model DPX-L; LUNAR Radiation, Madison, WI, USA) to evaluate lean body mass (LBM). All measurements were analyzed using the LUNAR radiation body composition program. Analysis include fat mass, bone mineral density (BMD) and LBM for total body, arms, trunk, and legs. The ICC for body composition analysis was determined from 2 different researchers (0.98 [95% CI: lower = 0.95, upper = 0.99], $n = 13$).

AU9

TABLE 3. Correlation coefficients between shot put tests and 1 repetition maximum strength with isometric leg press rate of force development.*

	RFD ₅₀	RFD ₁₀₀	RFD ₁₅₀	RFD ₂₀₀	RFD ₂₅₀
Backward overhead throw					
T1	0.769†	0.693‡	0.631‡	0.477	0.453
T2	0.440	0.604‡	0.589‡	0.598‡	0.522
Shot put: front throw					
T1	0.660‡	0.884†	0.917†	0.846†	0.814†
T2	0.540	0.732†	0.794†	0.798†	0.772†
Shot put: power position					
T1	0.651‡	0.732†	0.723†	0.599‡	0.574
T2	0.334	0.603‡	0.689‡	0.698‡	0.700‡
Back squat					
T1	0.631‡	0.700‡	0.705‡	0.592‡	0.580
T2	0.438	0.649‡	0.695‡	0.687‡	0.690‡
Leg press					
T1	0.766†	0.870†	0.871†	0.760†	0.715†
T2	0.648‡	0.856†	0.858†	0.843†	0.800†
Hang power clean					
T1	0.758†	0.767†	0.763†	0.636‡	0.578‡
T2	0.621‡	0.766†	0.728†	0.710†	0.617‡
IPF					
T1	0.342	0.592‡	0.723†	0.731†	0.735†
T2	0.384	0.721†	0.830†	0.856†	0.903†

*RFD = rate of force development; IPF = isometric peak force.
 † $p < 0.01$.
 ‡ $p \leq 0.05$.

Statistical Analyses

All data are represented as mean ± SD. Analysis of variance for repeated measures was used to test differences between T1 and T2 in all raw data. Bonferroni's CI adjustment was used to compare the main effects between T1 and T2. Effect sizes were calculated using the η² statistic while statistical power was also calculated to obtain the power of the test. Pearson's *r* product moment correlation coefficient was used to explore the relationships between performance in shot put tests and RFD, 1RM strength, muscle architecture, and LBM. Performance in track and field throws was transformed into Z scores to examine possible correlations with the rest of the variables at T1 and T2. Standard multiple regression analysis was performed for the % change of variables between T1 and T2. Because of the small sample size (*n* = 12), adjusted R² was used for the interpretation of the multiple regression analysis results (30). Within-subject variation and reliability were determined for all variables by calculating the confidence limits (95% CI) and ICC coefficient as described before (20). Significance was accepted at *p* ≤ 0.05. All statistical analyses were performed using SPSS version 17.0 software (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTS

There were no statistically significant differences between male and female athletes in training-induced performance and morphological changes (e.g., for track and field throws: *p* = 0.565, and for muscle fascicle length: *p* = 0.498). Thus, data are presented as 1 group.

Training

Performance in track and field throws (hammer, discus, javelin, and shot put) was increased from T1 to T2 by 6.76 ± 4.31% (*p* = 0.000, η² = 0.705, power = 0.996). Shot put test from the power position increased from T1 to T2 by 3.58 ± 4.97% (*p* = 0.019, η² = 0.408), whereas no significant alternations were observed for the backward and the front shot put tests. In addition, 1RM strength in leg press, hang power clean, and back squat increased from T1 to T2 by 8.01 ± 6.01% (*p* = 0.008, η² = 0.492), 4.72 ± 5.28% (*p* = 0.006, η² = 0.516), and 4.68 ± 2.98% (*p* = 0.000, η² = 0.731), respectively (Table 2). Leg press IPF was also increased from T1 to T2 by 22.65 ± 20.12% (*p* = 0.009, η² = 0.475, Table 2).

Rate of force development and impulse were increased between T1 and T2 in all time frames (Figures 1A, B and

TABLE 4. Correlation coefficients between shot put tests and 1 repetition maximum strength with vastus lateralis muscle architecture and lean body mass before (T1) and after (T2) the training period.*

	Muscle thickness	Fascicle angle	Fascicle length	Total lean mass	Arms lean mass	Trunk lean mass	Legs lean mass
Backward overhead throw							
T1	0.515	-0.012	0.546	0.770†	0.713†	0.809†	0.722†
T2	0.440	-0.278	0.635‡	0.713†	0.654‡	0.760†	0.666‡
Shot put: front throw							
T1	0.811†	0.264	0.565	0.829†	0.846†	0.827†	0.782†
T2	0.753†	0.082	0.594‡	0.832†	0.817†	0.831†	0.808†
Shot put: power position							
T1	0.556	-0.002	0.616‡	0.840†	0.820†	0.898†	0.790†
T2	0.626‡	0.109	0.683‡	0.794†	0.803†	0.808†	0.767†
Back squat							
T1	0.544	-0.073	0.666‡	0.879†	0.872†	0.883†	0.858†
T2	0.572	0.044	0.489	0.825†	0.853†	0.801†	0.814†
Leg press							
T1	0.761†	0.256	0.478	0.922†	0.918†	0.902†	0.902†
T2	0.682‡	0.043	0.585‡	0.931†	0.942†	0.900†	0.927†
Hang power clean							
T1	0.572	0.007	0.635‡	0.945†	0.923†	0.933†	0.929†
T2	0.713†	-0.112	0.729†	0.905†	0.866†	0.882†	0.899†
IPF							
T1	0.848†	0.638‡	0.170	0.587	0.629‡	0.547	0.564
T2	0.636‡	0.051	0.483	0.747†	0.759†	0.720†	0.753†

*IPF = isometric peak force.
 †*p* < 0.01.
 ‡*p* ≤ 0.05.

TABLE 5. Correlation coefficients between vastus lateralis muscle architecture and lean body mass with isometric leg press rate of force development before (T1) and after (T2) the training period.*

	RFD ₅₀	RFD ₁₀₀	RFD ₁₅₀	RFD ₂₀₀	RFD ₂₅₀
Muscle thickness					
T1	0.651†	0.832‡	0.875‡	0.839‡	0.835‡
T2	0.645†	0.734‡	0.816‡	0.806‡	0.776‡
Fascicle angle					
T1	0.168	0.348	0.391	0.433	0.442
T2	0.340	0.243	0.320	0.340	0.389
Fascicle length					
T1	0.474	0.475	0.506	0.425	0.421
T2	0.456	0.601†	0.613†	0.682†	0.683†
Total lean mass					
T1	0.602†	0.694†	0.772‡	0.710‡	0.713‡
T2	0.633†	0.822‡	0.849‡	0.858‡	0.872‡
Arms lean mass					
T1	0.538	0.690†	0.784‡	0.744‡	0.746‡
T2	0.606†	0.801‡	0.834‡	0.840‡	0.864‡
Trunk lean mass					
T1	0.659†	0.706†	0.762‡	0.682†	0.685†
T2	0.612†	0.807‡	0.841‡	0.861‡	0.881‡
Legs lean mass					
T1	0.547	0.641†	0.728‡	0.671†	0.673†
T2	0.621†	0.818‡	0.839‡	0.842‡	0.854‡

*RFD = rate of force development.
 † $p \leq 0.05$.
 ‡ $p < 0.01$.

Table 2). Vastus lateralis thickness increased between T1 and T2 by $5.95 \pm 7.13\%$ (from 2.57 ± 0.32 cm to 2.71 ± 0.29 cm, $p = 0.049$, $\eta^2 = 0.452$, power = 0.783). Fascicle angle

remained unaltered between T1 and T2 (from $19.05 \pm 2.82^\circ$ to $18.42 \pm 1.85^\circ$, $p = 0.531$, $\eta^2 = 0.037$, power = 0.091), whereas fascicle length was increased from T1 to

TABLE 6. Correlation coefficients between % changes in isometric leg press rate of force development, isometric peak force, and lean body mass.*

Lean body mass	IPF	RFD				
		RFD ₅₀	RFD ₁₀₀	RFD ₁₅₀	RFD ₂₀₀	RFD ₂₅₀
Total lean mass	0.786†	0.099	0.667‡	0.730†	0.763†	0.769†
Lean arms	0.674‡	0.121	0.565	0.717†	0.756†	0.814†
Lean legs	0.821†	0.241	0.706‡	0.606‡	0.538	0.530
Lean trunk	0.498	0.002	0.520	0.690‡	0.775†	0.757†

Lean body mass	Impulse	Impulse				
		Impulse ₅₀	Impulse ₁₀₀	Impulse ₁₅₀	Impulse ₂₀₀	Impulse ₂₅₀
Total lean mass	0.275	0.646‡	0.733†	0.797†	0.817†	
Lean arms	0.121	0.572	0.656‡	0.747†	0.789†	
Lean legs	0.336	0.648‡	0.702‡	0.686‡	0.655‡	
Lean trunk	0.259	0.501	0.609‡	0.718†	0.764†	

*RFD = rate of force development.
 † $p < 0.01$.
 ‡ $p \leq 0.05$.

T2 by $13.41 \pm 16.15\%$ (from 7.85 ± 0.89 cm to 8.84 ± 1.16 cm, $p = 0.016$, $\eta^2 = 0.425$, power = 0.738). Total lean mass remained unaltered after training, whereas legs lean mass tended to increase from T1 to T2 by $3.72 \pm 5.75\%$ ($p = 0.057$, $\eta^2 = 0.347$, Table 2). No significant alternations were observed for arms and trunk lean mass or for fat and BMD.

Correlations

Track and field throws (Z scores) were significantly correlated with fascicle length only at T2 ($r = 0.59$, $p \leq 0.05$) and with 1RM strength in hang power clean at T1 and T2 ($r = 0.61$ and 0.59 , respectively, $p \leq 0.05$). Performance in shot put tests and 1RM strength were significantly correlated with RFD at both T1 and T2 in almost all RFD time frames (Table 3). Shot put tests and 1RM strength were also correlated with muscle thickness and fascicle length (Table 4). In addition, shot put tests and 1RM strength were correlated with LBM at both T1 and T2 (Table 4). Significant correlations were found between RFD and muscle thickness and fascicle length at both T1 and T2 (Table 5). Significant correlation was found between the % increase in VL thickness and % increase in shot put test from the power position ($r = -0.607$, $p = 0.048$). In accordance, strong correlations were found between the % change in LBM variables and % increase in IPF, RFD, and impulse (Table 6).

T3

T4

T5

T6

Multiple Regression Analysis

Standard multiple regression analysis revealed a significant regression model between the % increase in shot put test from the power position and the linear combination of the % increase in VL muscle thickness and the % increase in RFD_{50ms} (adjusted $R^2 = 0.533$, $p = 0.019$; thickness beta = -0.637 , $p = 0.019$; and RFD_{50ms} beta = 0.509 , $p = 0.046$). Interestingly, the linear combination of the % increase in VL fascicle length and the % increase in VL muscle thickness tended to explain 33% of the % increase in track and field throws (adjusted $R^2 = 0.338$, $p = 0.06$; length beta = 0.703 , $p = 0.028$; thickness beta = 0.511 , $p = 0.09$). Also, the linear combination of the % increase in VL fascicle length and the % change in VL fascicle angle had the tendency to explain 33% of the % increase in track and field throws (adjusted $R^2 = 0.335$, $p = 0.06$; length beta = 1.605 , $p = 0.034$; angle beta = 1.206 , $p = 0.092$).

DISCUSSION

The main finding of the study was that shot put tests were significantly correlated with isometric leg press RFD in young track and field throwers both at the beginning and at the end of a 10-week training period aiming to increase performance for the summer national competition. This close link was revealed in all RFD time frames starting from the first 50 milliseconds up to 250 milliseconds of the isometric leg press test. Shot put tests are explosive activities with simple technical characteristics requiring rapid force production especially of the lower limbs. These tests are commonly used by all track and field throwers regardless of

their competitive event, although performance in these tests has been shown to correlate well with top-level track and field throwing performance (31). The present data suggest that the rate of force production of the lower extremities may predict performance of a shot put test in experienced throwers, regardless of the training period. Nevertheless, no significant correlation was observed between the % change in any of the shot put tests and the % increase in RFD after the 10-week training period. This might be because of the fact that the participants were competing in different track and field throwing events, with small but important differences in performance demands and training stimuli. These differences are expected to induce different training adaptations. For example, athletes competing in javelin throw use lower absolute loads and higher movement velocities in training compared with athletes competing in hammer throw. Moreover, there is a different use of the upper body during training in these different throwing events. These training differences might have induced different neuromuscular adaptations, leading to an uncoupling between changes in performance and RFD.

Besides muscular power, performance in track and field throws depends also on technical and psychological characteristics of each athlete. Thus, it is expected that the RFD and muscle architecture may only partly predict performance in track and field throws. Interestingly, only when track and field throws were calculated as Z scores, they were significantly correlated with VL fascicle length, especially at T2. Likewise, the % increase in track and field throws between T1 and T2 was not correlated with the % changes either in muscle architecture or 1RM strength and RFD. Nevertheless, the linear combination of the % increase in fascicle length with the % increase in muscle thickness could explain approximately 34% of the variation of the % increase in track and field throws ($p = 0.06$). Also, the linear combination of the % increase in fascicle length with the % change in fascicle angle could explain approximately 33% of the variation of the % increase in track and field throws ($p = 0.06$). These results should be interpreted with caution because of the small sample size and the lack of statistical significance in training-induced fascicle angle increase.

Although RFD is thought to be a major contributor to power performance, there is only scarce data regarding its relationship with track and field throwing performance. Stone et al. (28) showed that after 8 weeks of strength and power training, no significant correlation was observed between midhigh pulls RFD and shot put throwing or 1RM strength. In the present study, a close relationship was found between shot put testing from the power position and isometric leg press RFD, whereas strong relationships were also observed with 1RM strength. Close correlations were also found between leg press RFD and the backward shot put throw test as well as the front shot put throw test. We can speculate that the discrepancy between the 2 studies

might be because of the differences in the exercise used for the evaluation of RFD: both lower and upper leg muscles are recruited during isometric midthigh pulls while the upper body musculature is attempting to pull a mass from a low position, which is biomechanically more similar to the hammer throw. Instead, the isometric leg press used here recruited only the lower musculature in a manner biomechanically similar to all 4 track and field throwing events. Our results are also in agreement with other studies showing that strength and power are directly related to RFD at least in strength trained individuals (19,22,23). The present data suggest that isometric leg press RFD₁₀₀₋₂₀₀ may be used to evaluate shot put testing performance in throwers regardless of the training period, and it is closely linked with strength and power capacity in young track and field throwers. Moreover, performance in shot put tests was significantly correlated with LBM, as shown before (26,31), although the % changes in shot put tests and lean mass were not correlated. However, significant relationships were found between the % changes in LBM and RFD for the time frames 100–250 milliseconds. This suggests that LBM is important for rapid force development in young track and field throwers.

Vastus lateralis thickness increased significantly after training, suggesting gains in muscle mass and strength. In concert, lower extremities' lean mass tended to increase after training ($p = 0.057$) while strength increased significantly in all performance tests. Performance in shot put tests was closely linked with VL thickness while a strong relationship was found between the % increase in muscle thickness and shot put throw test from the power position, suggesting that gains in muscle mass may explain approximately 37% of the variation in shot put test performance change after training. Fascicle length was also correlated with performance in shot put tests both pretraining and posttraining. Previous studies have also reported significant correlations between fascicle length and sprinting and jumping (3,13,24,27). In the present study, the correlation coefficients between shot put tests and fascicle length were larger at T2 compared with T1, implying that increased fascicle length contribute to increases in muscle power and thus increases in performance during the shot put tests. Although attractive, the current results might be interpreted with caution because no other data exist regarding the relationship between throwing performance and muscle architecture.

Earp et al. (14) showed a positive relationship between RFD (10–30 milliseconds) and gastrocnemius fascicle length in drop jumps and a negative relationship (0–10 milliseconds) in countermovement jumps. However, most of the sports activities require the force application later in the force-time curve: 100–250 milliseconds. In particular, in track and field throws, it has been calculated that the force application at the power position of all 4 Olympic events extends between 150 and 250 milliseconds (4,18,32,35).

The present results suggest that longer fascicle may produce higher power later in the isometric leg press force-time curve (e.g., 200 milliseconds). Nevertheless, no link was found between the % increase in isometric leg press RFD and VL fascicle length because of the training intervention. The RFD may be altered because of a number of neuromuscular adaptations to resistance training, such as the synchronization of neural activation or changes in muscle fiber types/area (2), thus blurring the connection between changes in RFD and fascicle length.

Data analysis revealed that the linear combination of % increase in RFD₅₀ with % increase in VL thickness may explain 53% of the variation of shot put throw test from the power position. This relationship shows a connection between RFD and muscle architecture with performance in shot put tests, as performed here. Thus, when the appropriate instruments are available to coaches, an increase in leg press RFD and gains in VL thickness might predict increases in overall throwing performance as tested here with the shot put tests.

All the performance measures and the RFD were significantly increased with training, which underpins the effectiveness of the training program. Unfortunately, we were not able to evaluate possible neural or intramuscular training adaptations that would have provided a better insight of the performance results. Moreover, the number of athletes, their performance level, and the fact that they were competing in different track and field throwing events might limit the generalization of the present data. Year-round data in elite athletes are needed to make certain conclusions about the relationship between RFD and throwing performance. In conclusion, the present data suggest that performance in commonly used shot put tests is closely linked with isometric leg press RFD in young track and field throwers. In addition, leg press RFD seems to be an appropriate functional performance test for throwers because it is linked with muscle strength and power in throwers. Moreover, VL fascicle length and thickness are related with shot put tests in young throwers.

PRACTICAL APPLICATIONS

The training stimulus, as described in Table 1, induced significant increases in sports performance, strength, and the RFD in young track and field throwers; thus, it may be a useful training approach for track and field coaches. The present results also show a significant correlation between leg press RFD and muscle architecture with commonly used shot put tests that are used by all throwers in training and are well correlated with competitive throwing performance. It seems that positive changes in the RFD, muscle thickness, and fascicle length would be linked with improvements in shot put throwing tests. Therefore, increases in performance in shot put tests may reveal increases in leg RFD, which provide feedback about the effectiveness of the training stimulus.

Alternatively, when the appropriate instruments are available to coaches, an increase in leg press RFD and gains in VL thickness might predict increases in overall throwing performance, as tested here with the shot put tests. Additionally, training programs should focus on the development of rapid force production, especially when approaching the competition period. Also, isometric leg press RFD at 100–250 milliseconds may be used as a simple laboratory test to monitor performance in track and field throws in young track and field throwers and to evaluate the athlete's swift-

AU7

ness before a competition and/or after every training meso-cycle. When ultrasound equipment is available, regular examination of muscle architecture characteristics might provide insights into training adaptation induced by strength/power training programs.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their gratitude to the athletes who participated in the study. The authors also thank Prof. Dr. Stavros Kavouras for the provision of the DXA equipment. No funding was received for the study and there was no conflict of interest from the results of this study.

REFERENCES

- Aagaard, P, Andersen, LJ, Dyhre-Poulsen, P, Leffers, MA, Wagner, A, Magnusson, PS, Kristensen, HJ, and Simonsen, BE. A mechanism for increase contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: Changes in muscle architecture. *J Physiol* 534: 613–623, 2001.
- Aagaard, P, Simonsen, EB, Andersen, JL, Magnusson, P, and Duhre-Poulsen, P. Increase rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985) 93: 1318–1326, 2002.
- Abe, T, Fukashiro, S, Harada, Y, and Kawamoto, K. Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters. *J Physiol Anthropol Appl Human sci* 20: 141–147, 2001.
- Bartlett, RM. The biomechanics of the discus throw: A review. *J Sports Sci* 10: 467–510, 1992.
- Bartlett, RM and Best, JR. The biomechanics of the javelin throwing: A review. *J Sports Sci* 6: 1–38, 1988.
- Blazevich, AJ. Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. *Sports Med* 36: 1003–1017, 2006.
- Blazevich, AJ, Cannavan, D, Coleman, DR, and Horne, S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol* (1985) 103: 1565–1575, 2007.
- Blazevich, AJ, Cannavan, D, Horne, S, Coleman, DR, and Aagaard, P. Changes in muscle force-length properties affect the early rise of force in vivo. *Muscle Nerve* 39: 512–520, 2009.
- Blazevich, AJ, Coleman, DR, Horne, S, and Cannavan, D. Anatomical predictors of maximum isometric and concentric knee extensor moments. *Eur J Appl Physiol* 105: 869–878, 2009.
- Blazevich, AJ, Gill, ND, Bronks, R, and Newton, RU. Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 35: 2013–2022, 2003.
- Cormie, P, McGuigan, MR, and Newton, RU. Developing maximal neuromuscular power. *Sports Med* 41: 125–146, 2011.
- Dunn, G and McGill, K. *The Throws Manual*. California, CA: Tafnews Press, 1991.
- Earp, JE, Kraemer, WJ, Newton, RU, Comstock, BA, Fragala, MS, Dunn-Lewis, C, Solomon-Hill, G, Penwell, ZR, Powell, MD, Volek, JS, Denegar, CR, Häkkinen, K, and Maresh, CM. Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *J Strength Cond Res* 24: 722–729, 2010.
- Earp, JE, Newton, RU, Cormie, P, and Kraemer, WJ. The influence of muscle-tendon unit structure on the rate of force development, during the squat, countermovement, and the depth squat jumps. *J Strength Cond Res* 25: 340–347, 2011.
- Edman, KAP and Josephson, RK. Determinants of force rise time during isometric contraction of frog muscle fibres. *J Physiol* 580: 1007–1019, 2007.
- Ekstrand, LG, Battaglini, CL, McMurray, RG, and Shields, EW. Assessing explosive power production using the backward overhead shot throw and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance. *J Strength Cond Res* 27: 101–106, 2013.
- Fleck, JS. Periodized strength training: A critical review. *J Strength Cond Res* 13: 82–89, 1999.
- Gutierrez, M, Soto, MV, and Rojas, JF. A biomechanical analysis of the individual techniques of hammer throw finalists in the Seville Athletics World Championship 1999. *New Stud Athl* 17: 15–26, 2002.
- Haff, GG, Carlock, JM, Hartman, MJ, Kilgore, JL, Kawamori, N, Jackson, JR, Morris, RT, Sands, WA, and Stone, MH. Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle action of elite women Olympic weightlifters. *J Strength Cond Res* 19: 741–748, 2005.
- Hopkins, WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30: 1–15, 2000.
- Kawamori, N, Crum, AJ, Blumert, PA, Kulik, JR, Childers, JT, Wood, JA, Stone, MH, and Haff, GG. Influence of different relative intensities on power output during the hang power clean: Identification of the optimum load. *J Strength Cond Res* 19: 698–708, 2005.
- Kawamori, N, Rossi, SJ, Justice, BD, Haff, EE, Pistilli, EE, O'Bryan, HS, Stone, MH, and Haff, GG. Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *J Strength Cond Res* 20: 483–491, 2006.
- Kraska, JM, Ramsey, MW, Haff, GG, Fethke, N, Sands, WA, Stone, ME, and Stone, MH. Relationship between strength characteristics and unweighted and weighted vertical jump height. *Int J Sports Physiol Perform* 4: 461–473, 2009.
- Kumagai, K, Abe, T, Brechue, W, Ryushi, T, Takano, S, and Mizuno, M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol* (1985) 88: 811–816, 2000.
- Marcora, S and Miller, KM. The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *J Sports Sci* 18: 313–319, 1999.
- Morrow, JR, Disch, JG, Ward, PE, Donovan, TJ, Katch, FI, Katch, VL, Weltman, AL, and Tellez, T. Anthropometric, strength, and performance characteristics of American world class throwers. *J Sports Med Phys Fitness* 22: 73–79, 1982.
- Nimphius, S, McGuigan, RM, and Newton, RU. Changes in muscle architecture and performance during a competitive season in female softball players. *J Strength Cond Res* 26: 2655–2666, 2012.
- Stone, HM, Sanborn, K, O'Bryant, HS, Hartman, M, Stone, ME, Proulx, C, Ward, B, and Hruby, J. Maximum strength power performance relationships in collegiate throwers. *J Strength Cond Res* 17: 739–745, 2003.
- Storey, A, Wong, S, Smith, KH, and Marshall, P. Divergent muscle functional and architectural responses to two successive high intensity resistance exercise sessions in competitive weightlifters and resistance trained adults. *Eur J Appl Physiol* 112: 3629–3639, 2012.

30. Tabachnick, BG and Fidell, LS. Multivariate regression. In: *Using Multivariate Statistics* (5th ed.). Boston, MA: Pearson Education, 2007. pp. 117–159.
31. Terzis, G, Karampatsos, G, and Georgiadis, G. Neuromuscular control and performance in shot put athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 47: 284–290, 2007.
32. Terzis, G, Spengos, K, Kavouras, S, Manta, P, and Georgiadis, G. Muscle fiber type composition in hammer throwers. *J Sports Sci Med* 9: 104–109, 2010.
33. Turner, A. The science and practise of periodization: A brief review. *J Strength Cond Res* 33: 34–46, 2011.
34. Zaras, ND, Stasinaki, A-NE, Krase, AA, Methenitis, SK, Karampatsos, GP, Georgiadis, GV, Spengos, KM, and Terzis, GD. Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance. *J Strength Cond Res* 28: 3484–3495, 2014.
35. Zatsiorsky, V, Lanka, G, and Shalmanov, A. Biomechanical analysis of shot putting technique. *Exerc Sport Sci Rev* 9: 353–389, 1981.