



Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή & τον Αθλητισμό  
τόμος 7(2), 171 - 178  
Δημοσιεύτηκε: 30 Σεπτεμβρίου 2009



Inquiries in Sport & Physical Education  
Volume 7(2), 171 - 178  
Released: September 30, 2009

[www.hape.gr/emag.asp](http://www.hape.gr/emag.asp)

ISSN 1790-3041

## Η Επίδραση της Συνδυαστικής Προπόνησης Πλειομετρικών και Πολυαρθρικών Ασκήσεων με Βάρη σε Βιοχημικούς Δείκτες Μυϊκού Τραυματισμού

Αθανάσιος Χατζηνικολάου<sup>1</sup>, Μιχάλης Τσιαβτάρης<sup>1</sup>, Αλεξάνδρα Αυλωνίτη<sup>1</sup>, Ιωάννης Κατραμπασάς<sup>3</sup>, Αντώνης Καμπάς<sup>1</sup>, Ιωάννης Μιχαηλίδης<sup>1</sup>, Ιωάννης Ντουρουντός<sup>1</sup>, Κωνσταντίνος Μαργώνης<sup>1</sup>, Κυριάκος Ταξιλάρης<sup>1</sup>, Αθανάσιος Τζιαμούρτας<sup>2,4</sup>, & Ιωάννης Φατούρος<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

<sup>2</sup>Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

<sup>3</sup>Μονάδα Ορθοπεδικής, Ασκληπιείο Νοσοκομείο Βούλας, Αθήνα

<sup>4</sup>Ινστιτούτο Σωματικής Απόδοσης & Αποκατάστασης, Κέντρο Έρευνας Τεχνολογίας και Ανάπτυξης Θεσσαλίας, Τρίκαλα, Ελλάδα.

### Περίληψη

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξετάσει την επίδραση της συνδυαστικής προπόνησης (πλειομετρικών ασκήσεων και ασκήσεων με αντιστάσεις), σε βιοχημικούς δείκτες που υποδηλώνουν το μυϊκό τραυματισμό έως και 96 ώρες μετά την άσκηση. Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν τυχαία σε μια από τις τρεις πειραματικές ομάδες. Την ομάδα ελέγχου (E=8), την πρώτη ομάδα άσκησης (Π1 : η ένταση στην άσκηση με αντιστάσεις ήταν 90% της μιας μέγιστης επανάληψης, όγκος προπόνησης: 3 σειρές, 3 επαναλήψεις και 4 λεπτά διάλειμμα μεταξύ των σετ) και την δεύτερη ομάδα άσκησης (Π2: η ένταση στην άσκηση με αντιστάσεις ήταν 50% της μιας μέγιστης επανάληψης, όγκος προπόνησης: 3 σειρές, 8 επαναλήψεις και 4 λεπτά διάλειμμα μεταξύ των σετ). Η δραστηριότητα της κρεατινικής κινάσης (CK) και της γαλακτικής αφυδρογονάσης (LDH), η συγκέντρωση της κορτιζόλης και της τεστοστερόνης, καθώς και ο λόγος τεστοστερόνης προς κορτιζόλη, αξιολογήθηκαν τις χρονικές στιγμές πριν την άσκηση αμέσως μετά, 24, 48, 72, 96 ώρες μετά την άσκηση. Η δραστηριότητα της CK αυξήθηκε 75% και 82% στις ομάδες Π1 και Π2 ( $p<.05$ ) αντίστοιχα στις 24 ώρες μετά την άσκηση. Η δραστηριότητα της LDH αυξήθηκε 60 -70% και 60 -65% στις ομάδες Π1 και Π2 ( $p<.05$ ) από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την άσκηση μέχρι και τις 72 ώρες μετά. Η συγκέντρωση της κορτιζόλης αυξήθηκε σε όλες τις χρονικές στιγμές μετά την άσκηση στις ομάδες Π1 και Π2. Η συγκέντρωση της τεστοστερόνης για την ομάδα Π1 αυξήθηκε από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την άσκηση και παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα μέχρι τις 72 ( $p<.05$ ). Στην ομάδα Π2, η αύξηση παρατηρήθηκε από τις 48 έως τις 72 ώρες. Συμπερασματικά, η συνδυαστική προπόνηση προκάλεσε αξιοσημειώτες μεταβολές στους βιοχημικούς δείκτες του μυϊκού τραυματισμού και ενδεχομένως να προκάλεσε ανοσοκαταστολή.

Λέξεις κλειδιά: *πλειομετρική προπόνηση, άσκηση με βάρη, μυϊκός τραυματισμός, κρεατινική κινάση, γαλακτική αφυδρογονάση, κορτιζόλη, τεστοστερόνη*

### The Effects of Acute Training with a Combination of Plyometrics and Multijoint Resistance Exercise on Biochemical Markers of Muscle Damage

Athanasios Chatzinikolaou<sup>1</sup>, Michalis Tsiavtaris<sup>1</sup>, Alexandra Avloniti<sup>1</sup>, Ioannis Katrabasas<sup>3</sup>, Antonis Kampas<sup>1</sup>, Ioannis Michailidis<sup>1</sup>, Ioannis Douroudos<sup>1</sup>, Konstantinos Margonis<sup>1</sup>, Konstantinos Kallinis<sup>1</sup>, Kyriakos Taxildaris<sup>1</sup>, Athanasios Z. Jamurtas<sup>2,4</sup>, & Ioannis Fatouros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education and Sport Science, Democritus University of Thrace, Komotini, Hellas

<sup>2</sup>Department of Physical Education and Sport Science Sports Science, University of Thessaly, Trikala, Hellas

<sup>3</sup>Unit of Orthopaedics, Asklepion Hospital at Voula, Athens, Hellas

<sup>4</sup>Institute of Human Performance & Rehabilitation, Center for Research and Technology, Thessaly, Trikala, Hellas

## Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of acute complex training (combination of plyometrics and multi-joint resistance exercises) on muscle damage markers. Twenty-four young, healthy men were randomly assigned to one of three groups: a) Complex training group with high-intensity resistance exercise (CH, N=8, plyometrics: 100 total foot contacts; resistance exercise: 90% 1RM, 3 sets/exercise of 3 repetitions each), b) Complex training group with low-intensity resistance exercise (CL, N=8, plyometrics: 100 total foot contacts; resistance exercise: 50% 1RM, 3 sets of 3 repetitions each), and c) a control group (C=8). Creatine kinase (CK) activity, lactate dehydrogenase (LDH) activity, cortisol, testosterone and testosterone to cortisol ratio were assessed at rest, immediately post-exercise as well as 24h, 48h, 72h, and 96h of recovery. CK activity was markedly increased ( $p<.05$ ) by 75% and 82% 24h post-exercise in CL and CH, respectively and returned to baseline thereafter. LDH activity increased in both exercise groups (60-70%) throughout recovery. Cortisol concentration increased ( $p<.05$ ) throughout recovery in both groups. Testosterone concentration increased ( $p<.05$ ) for as long as 72h post in CH and between 48h and 72h of recovery in CL. In conclusion, it appears that complex training produced a marked rise of muscle damage markers which may be related to a cortisol-mediated immunosuppression.

Key words: *plyometrics, weight training, muscle damage, performance, creatine kinase, lactate dehydrogenase, cortisol, testosterone*

## Εισαγωγή

Η ισχύς αποτελεί βασικό παράμετρο για την απόδοση σε αθλήματα που απαιτείται γρήγορη αλλαγή κατεύθυνσης, μέγιστη ταχύτητα και άλματα (Newton et al., 1997). Η πλειομετρική προπόνηση, αποτελεί μια μορφή άσκησης που χρησιμοποιείται ευρέως στην αθλητική πρακτική με σκοπό την ανάπτυξη της ισχύος. Βασικό συστατικό των πλειομετρικών ασκήσεων αποτελούν οι έκκεντρες συσπάσεις. Ο συνδυασμός της έκκεντρης και σύγκεντρης σύσπασης αναφέρεται και ως κύκλος διάτασης βράχυνσης (Fatouros et al., 2000). Η ένταση των πλειομετρικών ασκήσεων στην προπόνηση έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της αλτικής ικανότητας (Fatouros et al., 2000), της δρομικής οικονομίας (Turner, Owings, & Schwane, 2003) και γενικότερα τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης (Rimmer, & Sleivert, 2000). Επιπρόσθετα, στη βιβλιογραφία αναφέρεται πως ο συνδυασμός της πλειομετρικής προπόνησης με τις ασκήσεις αντιστάσεων (ιδιαίτερα τις ολυμπιακές τεχνικές άρσης βαρών), έχει τη θετικότερη επίδραση στην αλτική ικανότητα (Fatouros et al., 2000; Baker, 1996). Ερευνητές αναφέρονται στη συνδυαστική προπόνηση, εννοώντας το συνδυασμό των δύο μορφών προπόνησης από σετ σε σετ, στην ίδια προπονητική μονάδα, ή από προπονητική μονάδα σε προπονητική μονάδα (Chu, 1996; Ebben & Watts, 1998), επίσης, ορισμένοι αναφέρουν και την εναλλαγή της υψηλής έντασης στις αντιστάσεις με σετ στα οποία η ένταση είναι μέτρια αλλά η ταχύτητα εκτέλεσης υψηλή (Duthi, Young, Warren, & Aitken, 2002). Σχετικά με την άσκηση αντιστάσεων, αναφέρεται η χρησιμοποίηση υψηλών εντάσεων (90% της 1 Μέγιστης Επανάληψης: M.E.), αλλά και χαμηλών εντάσεων (30 – 50% 1 M.E.) με μεγάλη, όμως, ταχύτητα εκτέλεσης (Newton et al., 1997; Baker, 1996).

Έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία ότι η άσκηση που περιέχει έκκεντρες συσπάσεις (όπως οι πλε-

ιομετρικές) μπορεί να προκαλέσει μυϊκό τραυματισμό (Newham, Jones, & Clarkson, 1987). Η άσκηση που προκαλεί μυϊκό τραυματισμό συνδέεται με συμπτώματα όπως την παροδική μείωση στην ισχύ και στο εύρος κίνησης των αρθρώσεων, καθώς και την εμφάνιση οιδήματος στην τραυματισμένη περιοχή. Τα συμπτώματα αυτά διαρκούν για αρκετές ημέρες μετά την άσκηση (Clarkson, 1988; Nikolaidis et al., 2007). Η πτώση της μυϊκής δύναμης μπορεί να κυμανθεί από 20 έως 60% σε σύγκριση με τις τιμές πριν την άσκηση (Nosaka & Clarkson, 1996; Nikolaidis et al., 2008). Ο μυϊκός τραυματισμός προκαλείται κυρίως λόγω της μηχανικής καταπόνησης και της διατάραξης της ομοιοστασίας του ασβεστίου (Armstrong & Warren, 1991). Συνεπακόλουθη είναι η αίσθηση μυϊκού πόνου που κορυφώνεται 24 έως 72 ώρες μετά την άσκηση, ενώ μπορεί να διαρκέσει μέχρι και επτά ημέρες (Clarkson, 1988). Αν και στις πλειομετρικές ασκήσεις περιέχονται έκκεντρες συσπάσεις, λίγες είναι οι μελέτες που έχουν εξετάσει την επίδραση τους σε δείκτες του μυϊκού τραυματισμού. Σε μελέτη των Jamurtas et al. (2000), διαπιστώθηκε αύξηση της κρεατινικής κινάσης (CK) και σε μελέτη των Tofas et al. (2008) αύξηση των συστατικών του κολλαγόνου (η υδροξυπρολίνη και η υδροξυλισίνη χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες). Ακόμη, διαπιστώθηκε πως η πλειομετρική άσκηση προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση στην αίσθηση μυϊκού πόνου σε σύγκριση με τις έκκεντρες συσπάσεις, αλλά μικρότερη σε σύγκριση με τις σύγκεντρες συσπάσεις (Jamurtas et al., 2000).

Παρά το ότι η συνδυαστική προπόνηση χρησιμοποιείται ευρέως στην προπονητική διαδικασία, δεν υπάρχουν μελέτες οι οποίες να εξετάζουν εάν προκαλεί ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό. Συνεπώς, σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξετάσει την επίδραση της συνδυαστικής προπόνησης σε βιοχημικούς δείκτες που υποδεικνύουν την ύπαρξη του μυϊκού τραυματισμού.

## Μέθοδος και Διαδικασία

### Δοκιμαζόμενοι

Το δείγμα της μελέτης αποτέλεσαν 24 εθελοντές φοιτητές του ΤΕΦΑΑ Κομοτηνής (ηλικίας: 18 – 23 ετών), οι οποίοι εντάχθηκαν με τυχαία επιλογή σε μία από τις τρεις ερευνητικές ομάδες της παρούσας μελέτης (Ε: Ελέγχου, ύψος: 184.1±4.8 εκατοστά, βάρος: 93.7±6.1 κιλά ποσοστό σωματικού λίπους: 14.3±1.6. Π1 Συνδυαστική Προπόνησης πλειομετρικές ασκήσεις και αντιστάσεων υψηλής έντασης: ύψος: 187.3±3.47. βάρος: 77.9±14.2, ποσοστό σωματικού λίπους: 10.7±5.1. Π2 Συνδυαστική Προπόνησης πλειομετρικές ασκήσεις και αντιστάσεων μέτριας έντασης ύψος: 180.4±5.3, βάρος: 83.1±9.3, ποσοστό σωματικού λίπους: 11.1±3.1. τα δεδομένα αναφέρονται ως μέσοι όροι ± τυπικές αποκλίσεις).

Το επίπεδο φυσικής κατάστασης των συμμετεχόντων ήταν ικανοποιητικό ώστε να εφαρμοστούν οι προπονητικές επιβαρύνσεις των προγραμμάτων άσκησης. Ακόμη, δε συμμετείχαν σε κανένα άλλο πρόγραμμα άσκησης πλην της πειραματικής διαδικασίας.

### Πειραματικός σχεδιασμός

Συνολικά οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν επτά επισκέψεις στο εργαστήριο φυσικής αγωγής του ΤΕΦΑΑ Κομοτηνής. Στην πρώτη επίσκεψη ενημερώθηκαν αναλυτικά περί της διαδικασίας της έρευνας και για το σκοπό αυτής. Στη συνέχεια τους ζητήθηκε η έγγραφη συγκατάθεση, το ιατρικό ιστορικό, ενώ μετρήθηκαν τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά. Στη δεύτερη επίσκεψη πραγματοποιήθηκε η αιμοληψία ηρεμίας. Την τρίτη ημέρα της συμμετοχής τους στην έρευνα, οι δοκιμαζόμενοι προσήλθαν στις εγκαταστάσεις του πανεπιστημιακού γυμναστηρίου, όπου και πραγματοποίησαν την αντίστοιχη προπονητική μονάδα, ανάλογα με την ομάδα στην οποία συμμετείχαν. Με το πέρας της προπόνησης οι δοκιμαζόμενοι προσήλθαν στο εργαστήριο του ΤΕΦΑΑ, όπου πραγματοποιήθηκε αιμοληψία. Η τέταρτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκε 24h μετά την εφαρμογή της προπονητικής μονάδας, καθώς επίσης και οι επόμενες τρεις επισκέψεις πραγματοποιήθηκαν 48h, 72h και 96h αντίστοιχα, στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου του ΤΕΦΑΑ- ΔΠΘ.

Όπως αναφέρθηκε, ο σχεδιασμός της έρευνας περιελάμβανε συνολικά τρεις ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελούσε την ομάδα ελέγχου, στην οποία οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν όλο το υπόλοιπο πρωτόκολλο, εκτός από την άσκηση. Η δεύτερη ομάδα ήταν η πρώτη πειραματική ομάδα (Π1), η οποία πραγματοποίησε στην τρίτη επίσκεψη συνδυαστική προπόνηση αλμάτων και πολυαρθρικών ασκήσεων με βάρη των οποίων η ένταση ήταν στο 90% της μιας μέγιστης επανάληψης (1Μ.Ε.). Την τρίτη ομάδα αποτέλεσε η δεύτερη πειραματική (Π2), όπου οι συμμετέχοντες, κατά την τρίτη επίσκεψη τους πραγματοποίησαν συνδυαστική προπόνηση αλμάτων και πολυαρθρικών ασκήσεων με βάρη των οποίων η ένταση ήταν στο 50% της 1 Μ.Ε.. Η πλειομετρική προπόνηση στις ομάδες Π1 και Π2 είχε τα εξής χαρακτηριστικά: Ασκήσεις: α) Άλματα βάθους από ύψος 50 εκατοστών με επακόλουθη σύγκεντρη φάση β) Υπερπήδηση εμποδίων ύψους 50 εκατοστών Ποσότητα: 5 σετ των 10 επαναλήψεων και στις δύο ασκήσεις Διάλειμμα: 4 λεπτά ανάμεσα στα σετ. Τα χαρακτηριστικά της προπόνησης με αντιστάσεις περιγράφονται στον Πίνακα 1.

### Αξιολόγηση ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών

Η σωματική μάζα μετρήθηκε με ακρίβεια 0.5 kg (Beam Balance 710, Seca, UK), με τους δοκιμαζόμενους να φορούν σορτς και να είναι ξυπόλητοι. Το ύψος από όρθια θέση μετρήθηκε με ακρίβεια 0.5 cm (Stadiometer 208, Seca, UK). Το ποσοστό σωματικού λίπους υπολογίστηκε από επτά δερματοπιτυχές (μέσος όρος δύο μετρήσεων σε κάθε πιτυχή), με τη χρησιμοποίηση δερματοπιυχόμετρου τύπου Harpenden (John Bull, UK).

### Αιμοληψία

Όλες οι αιμοληψίες πραγματοποιήθηκαν από τις 08:00 έως τις 10:00 π.μ.. Κατά την αιμοληψία ελήφθησαν 10 ml φλεβικού αίματος, το οποίο τοποθετήθηκε σε σωλήνες με αντιπηκτικό EDTA. Στη συνέχεια οι σωλήνες με το EDTA φυγοκεντρήθηκαν για διαχωρισμό πλάσματος (15 λεπτά στις 4000 στροφές/ λεπτό). Το πλάσμα τοποθετήθηκε σε σωλήνες τύπου erpendorf που στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν σε βαθιά κατάψυξη (-80°C), μέχρι την ανάλυση τους. Η φυγοκέντρηση πραγματοποιήθηκε σε φυγόκεντρο τύπου Heltich Universal 16.

**Πίνακας 1:** Χαρακτηριστικά προπόνησης δύναμης με πολυαρθρικές ασκήσεις, όπως εκτελέστηκε από τις πειραματικές ομάδες. Ε, ελέγχου. Π1, αντιδραστικής δύναμης και αντιστάσεων υψηλής έντασης. Π2, αντιδραστικής δύναμης και αντιστάσεων μέτριας έντασης.

Ομάδα	Επολέ			Βαθιά καθίσματα			Διαλείμματα
	% 1 Μ.Ε	Σετ	Επαν.	% 1 Μ.Ε	Σετ	Επαν.	
Ε	-	-	-	-	-	-	-
Π1	90	3	2-3	90	3	2-3	4min
Π2	50	3	8	50	3	8	4min

**Βιοχημικοί Δείκτες**

Για τη διερεύνηση του μυϊκού τραυματισμού μετρήθηκαν οπεκτοφωτομετρικά (HITACHI U- 2001 UV/ VIS, Tokyo Japan) οι δραστικότητες των ενζύμων κρεατινική κίναση (CK) και γαλακτική αφυδρογονάση (LDH) στα 340nm (Sigma Diagnostics St. Louis, MO), καθώς και η συγκέντρωση των ορμονών κορτιζόλη, τεστοστερόνη με τη μέθοδο του ενζυμικού ανοσοπροσδιορισμού (EIA) και αντιδραστήρια της εταιρείας DRG (Marburg, Germany), σε φωτόμετρο (ELISA ELX- 800 universal Microplate Reader, USA) στα 450 nm. Τέλος αξιολογήθηκε ο λόγος των συγκεντρώσεων τεστοστερόνης κορτιζόλης.

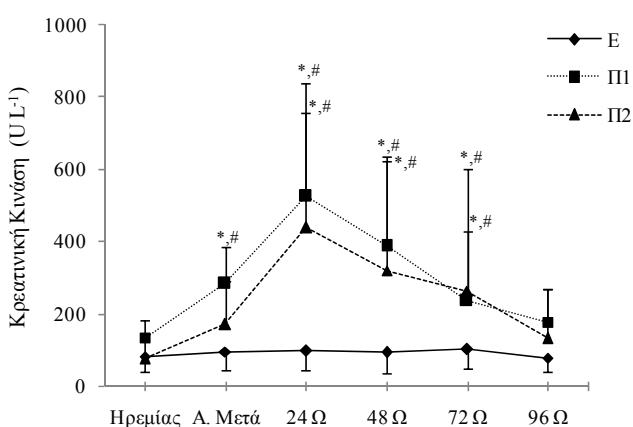
**Στατιστική ανάλυση**

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι ± τυπικές αποκλίσεις. Οι διαφορές μεταξύ των χρονικών στιγμών και των ομάδων εντοπίστηκαν με τη χρήση της ανάλυσης διακύμανσης ως προς δύο παράγοντες, εκ των οποίων ο ένας επαναλαμβανόμενος. Όπου εντοπίστηκαν διαφορές, χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni για τον εντοπισμό των επιμέρους διαφορών. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο  $p=0.05$ .

**Αποτελέσματα**

**Κρεατινική Κίναση (CK)**

Από την ανάλυση διακύμανσης, διαπιστώθηκε σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων ομάδα και χρονική στιγμή ( $F_{(5,100)}= 11,98$ ). Αναλύοντας την αλληλεπίδραση οι διαφορές εντοπίστηκαν μεταξύ της ομάδας ελέγχου και των ομάδων Π1 και Π2 μέχρι τις 72 ώρες μετά την άσκηση (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1.** Δραστικότητα της CK. \*Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας ( $p<0.05$ ), # Σημαντικές διαφορές με την ομάδα E. E: Ομάδα Ελέγχου Π1:Πειραματική Ομάδα 1, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με υψηλή ένταση Π2: Πειραματική Ομάδα 2, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με μέτρια ένταση, Α. Μετά: αμέσως μετά την άσκηση Ω: ώρες μετά την άσκηση.

**Γαλακτική Αφυδρογονάση (LDH)**

Παρόμοια αποτελέσματα με την CK παρατηρήθηκαν και στην LDH. Σημαντικές διαφορές εντοπίστηκαν ( $F_{(5,100)}= 22,1$ ) μεταξύ της ομάδας ελέγχου και των ομάδων Π1 και Π2 σε όλες τις χρονικές στιγμές μετά την ηρεμία (Σχήμα 2).

**Κορτιζόλη**

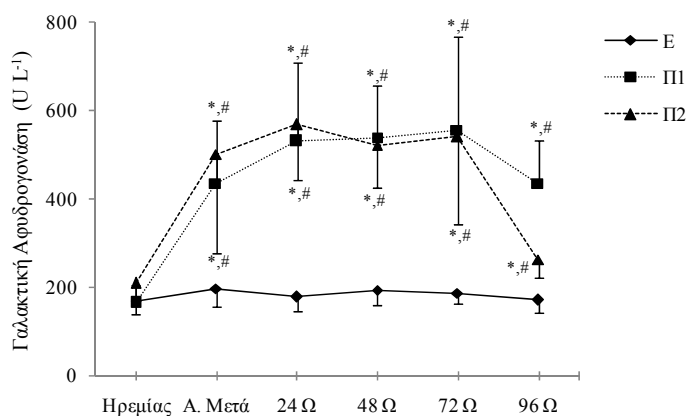
Η συγκέντρωση της κορτιζόλης αυξήθηκε ( $F_{(5,100)}= 14.41, p<0.05$ ) αμέσως μετά την άσκηση και στις δύο ομάδες που εκτέλεσαν τα πρωτόκολλα άσκησης και παρέμειναν υψηλά μέχρι το πέρας των μετρήσεων στις 96 ώρες (Σχήμα 3).

**Τεστοστερόνη**

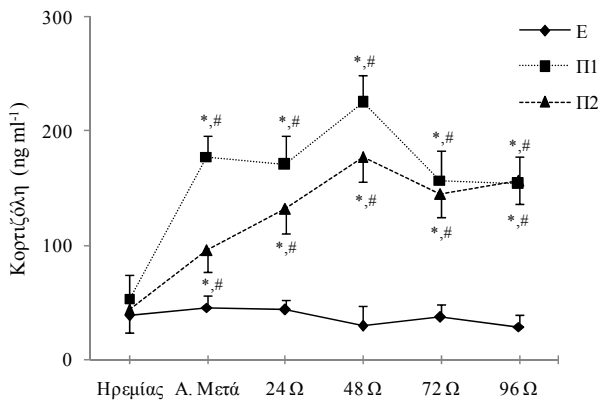
Από την ανάλυση διακύμανσης διαπιστώθηκε σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων ομάδα και χρονική στιγμή ( $F_{(5,100)}= 14.32, p<0.05$ ). Η συγκέντρωση της τεστοστερόνης αυξήθηκε και στις δύο πειραματικές ομάδες. Οι διαφορές της ομάδας Π1, με την ομάδα ελέγχου, εντοπίστηκαν από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την άσκηση μέχρι και τις 72 ώρες μετά την άσκηση. Στην ομάδα Π2 οι διαφορές εντοπίστηκαν στις 48 και 72 ώρες μετά την άσκηση (Σχήμα 4).

**Λόγος Τεστοστερόνης/ Κορτιζόλης**

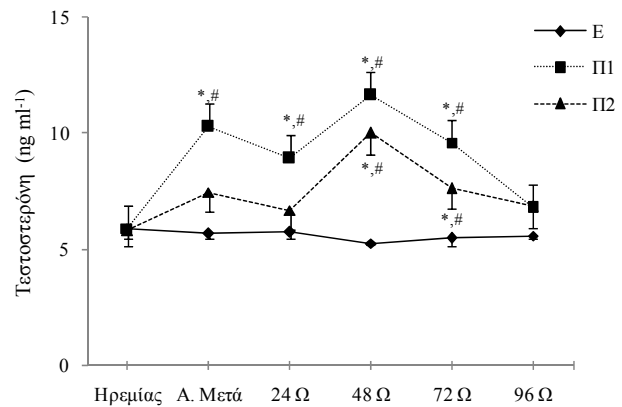
Τόσο στην ομάδα Π1 όσο και στην ομάδα Π2, διαπιστώθηκε μείωση του λόγου τεστοστερόνη/ κορτιζόλη, από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την άσκηση έως και τις 96 ώρες μετά ( $F_{(5,100)}= 5.8, p<0.05$ ), υποδεικνύοντας τη μεγαλύτερη μεταβολή στη συγκέντρωση της κορτιζόλης τις ημέρες μετά την άσκηση (Σχήμα 5).



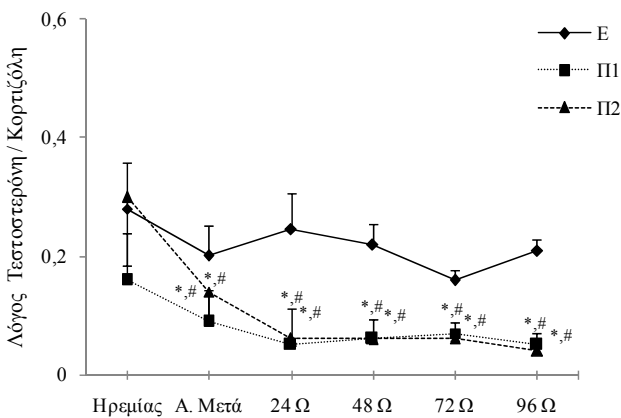
**Σχήμα 2.** Δραστικότητα της LDH. \*Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας ( $p<0.05$ ), # Σημαντικές διαφορές με την ομάδα E. E: Ομάδα Ελέγχου Π1:Πειραματική Ομάδα 1, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με υψηλή ένταση Π2: Πειραματική Ομάδα 2, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με μέτρια ένταση, Α. Μετά: αμέσως μετά την άσκηση Ω: ώρες μετά την άσκηση.



**Σχήμα 3.** Συγκέντρωση κορτιζόλης. \*Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας ( $p < .05$ ), # Σημαντικές διαφορές με την ομάδα E. E: Ομάδα Ελέγχου Π1:Πειραματική Ομάδα 1, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με υψηλή ένταση Π2: Πειραματική Ομάδα 2, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με μέτρια ένταση, A. Μετά: αμέσως μετά την άσκηση Ω: ώρες μετά την άσκηση



**Σχήμα 4.** Συγκέντρωση τεστοστερόνης. \*Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας ( $p < .05$ ), # Σημαντικές διαφορές με την ομάδα E. E: Ομάδα Ελέγχου Π1:Πειραματική Ομάδα 1, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με υψηλή ένταση Π2: Πειραματική Ομάδα 2, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με μέτρια ένταση, A. Μετά: αμέσως μετά την άσκηση Ω: ώρες μετά την άσκηση.



**Σχήμα 5.** Λόγος τεστοστερόνης/ κορτιζόλης. \*Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας ( $p < .05$ ), # Σημαντικές διαφορές με την ομάδα E. E: Ομάδα Ελέγχου Π1:Πειραματική Ομάδα 1, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με υψηλή ένταση Π2: Πειραματική Ομάδα 2, πλειομετρικές και πολυαρθρικές με μέτρια ένταση, A. Μετά: αμέσως μετά την άσκηση Ω: ώρες μετά την άσκηση.

**Συζήτηση**

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξετάσει την επίδραση της συνδυαστικής προπόνησης πλειομετρικών ασκήσεων και ασκήσεων με αντιστάσεις, η δεύτερη σε δύο διαφορετικές εντάσεις, όπως χρησιμοποιούνται στην προπονητική διαδικασία, σε βιοχημικούς δείκτες μυϊκού τραυματισμού. Τα βασικά ευρήματα αυτής της μελέτης ήταν η αύξηση της δραστηριότητας των ενζύμων CK και LDH, η αύξηση της κορτιζόλης και της τεστοστερόνης, η μείωση του λόγου τεστοστερόνης/ κορτι-

ζόλης για αρκετές ώρες μετά την εφαρμογή συνδυαστικής προπόνησης πλειομετρικών ασκήσεων και ασκήσεων με αντιστάσεις, ανεξάρτητα από ένταση που χρησιμοποιήθηκε στις ασκήσεις με αντιστάσεις.

Η CK παρουσίασε τη μέγιστη δραστηριότητα της στις 24 ώρες μετά την άσκηση και στις δύο πειραματικές ομάδες, οι οποίες παρουσίασαν παρόμοιο μοτίβο εξέλιξης του ενζύμου κατά τη διάρκεια του πειράματος. Η διαρροή της CK στην κυκλοφορία του αίματος υποδηλώνει την αύξηση στη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης των μυϊκών κυττάρων (Cannon, Orencole, & Fielding, 1990). Οι τιμές που παρατηρήθηκαν στην παρούσα μελέτη κυμάνθηκαν από 70 έως 550 (U L<sup>-1</sup>). Σε σύγκριση με άλλες μελέτες, οι τιμές αυτές ήταν μεγαλύτερες από αυτές που μετρήθηκαν σε μελέτες με πρωτόκολλο πλειομετρικών ασκήσεων (Tofas et al., 2008), μικρότερες όμως ή και περίπου ίσες ανάλογα με τη χρονική στιγμή σε σύγκριση με πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν έκκεντρες συσπάσεις σε ισοκινητικό δυναμόμετρο (Nosaka & Clarkson 1996; Paschalis, Koutedakis, Jamurtas, Mougios, & Baltzouroulos, 2005). Η μυϊκή καταστροφή αποδίδεται στις έκκεντρες συσπάσεις που υπόκεινται κυρίως οι εκτεινόντες μύες του γόνατος στη φάση της προσγείωσης (Miyama & Nosaka, 2004) και στην ενδεχομένως ασυνήθιστη άσκηση με ασκήσεις όπως τα ημικαθίσματα και το επολέ.

Η LDH είναι ένα ένζυμο το οποίο βρίσκεται στο κυτταρόπλασμα και καταλύει τη χημική αντίδραση της μετατροπής του πυροσταφυλικού οξέος σε γαλακτικό οξύ, ενδεχόμενη λοιπόν, διαρροή στη κυκλοφορία του αίματος διατυπώνει τη διάρρηξη στη κυτταρική μεμβράνη (Cannon, Orencole, &

Fielding, 1990). Οι τιμές που παρουσιάστηκαν στη παρούσα μελέτη ήταν από 160 έως και 600 ( $U L^{-1}$ ). Σημαντικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι και οι δύο ομάδες ακολούθησαν παρόμοιο μοτίβο εξέλιξης στη δραστηριότητα του ενζύμου. Σε σύγκριση με την CK, η LDH παρέμεινε σε υψηλές τιμές δραστηριότητας μέχρι και τις 96 ώρες μετά την άσκηση, σε αντίθεση με την CK που επέστρεψε στις τιμές ηρεμίας μετά τις 72 ώρες, υποδηλώνοντας πιθανώς ότι αποτελεί πιο ευαίσθητο δείκτη του μυϊκού τραυματισμού. Από την διακύμανση των τιμών τόσο στη CK όσο και στην LDH, καθίσταται σαφές πως ο συνδυασμός των πλειομετρικών ασκήσεων με τις ασκήσεις αντιστάσεων, μπορεί να προκαλέσει μυϊκό τραυματισμό. Ο μυϊκός τραυματισμός αποδίδεται κυρίως στις έκκεντρες συσπάσεις και κατ' επέκταση στην υψηλότερη τάση που δέχονται οι μυϊκές ίνες στην εγκάρσια διατομή (Armstrong & Warren 1991; Clarkson & Tremblay, 1988). Επιπρόσθετα, σε άλλη μελέτη αναφέρεται αύξηση στη συγκέντρωση υδροξυπρολίνης και υδροξυλυσίνης (Tofas et al., 2008), συστατικών του κολλαγόνου, μετά από πλειομετρική άσκηση, αναδεικνύοντας την αυξημένη πιθανότητα τραυματισμού του συνδετικού ιστού που υπάρχει στην άρθρωση του γόνατος (Clarkson & Tremblay, 1988).

Η κορτιζόλη είναι μια καταβολική ορμόνη η οποία αυξάνεται αμέσως μετά την άσκηση, ιδιαίτερα μετά από άσκηση με αντιστάσεις (Kraemer, 2000). Σε μελέτη των Nosaka και Clarkson (1996), δεν διαπιστώθηκε σημαντική αύξηση στη συγκέντρωση της κορτιζόλης μετά από άσκηση που προκάλεσε σημαντική αύξηση στην CK και την LDH, υποδηλώνοντας την ύπαρξη του μυϊκού τραυματισμού. Οι ερευνητές απέδωσαν το γεγονός αυτό στο ότι χρησιμοποιήθηκε μικρή μυϊκή μάζα, αφού η άσκηση ήταν 24 μέγιστες έκκεντρες συσπάσεις στους καμπτήρες του αγκώνα. Στην παρούσα μελέτη ενεργοποιήθηκαν μεγάλες μυϊκές ομάδες και συνεπώς ίσως να είναι ένας από τους λόγους που παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση της κορτιζόλης. Ωστόσο, η κορτιζόλη έχει και άλλους βιολογικούς ρόλους. Πολλές από τις αλλαγές στη φυσική ανοσία έχουν συσχετιστεί με ορμόνες του στρες και ειδικότερα την κορτιζόλη, η οποία θεωρείται ανοσοκατασταλτικός και αντιφλεγμονώδης παράγοντας (Avloniti et al., 2007). Έχει παρατηρηθεί αύξηση της κορτιζόλης μετά από έντονη άσκηση, η οποία αποδόθηκε στην αντιφλεγμονώδη δράση της κορτιζόλης (Malm, Nyberg, & Engstrom 2004, Avloniti et al. 2007) ενδεχομένως λοιπόν και στην παρούσα μελέτη, που η ένταση ήταν υψηλή, να υπήρξε αύξηση στη συγκέντρωση της κορτιζόλης, λόγω ενδεχόμενης φλεγμονής, η οποία ωστόσο δεν αξιολογήθηκε.

Αναφορικά με την τεστοστερόνη, δεν υπάρχουν μελέτες οι οποίες να την εξετάζουν ως παράμετρο

μετά από άσκηση που προκάλεσε μυϊκό τραυματισμό. Η τεστοστερόνη είναι αναβολική ορμόνη και διαπιστώνεται αύξηση στη συγκέντρωσή της μετά από άσκηση με αντιστάσεις (Kraemer, 1988). Στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε αύξηση στη συγκέντρωσή της τεστοστερόνης στις δύο ομάδες που εκτέλεσαν συνδυαστική προπόνηση. Όπως η κορτιζόλη, έτσι και η τεστοστερόνη, είναι μια ορμόνη η οποία δεν έχει μελετηθεί κατά τον μυϊκό τραυματισμό. Το ερώτημα στο οποίο απαντά η τεστοστερόνη είναι αν υπάρχουν αναβολικές διαδικασίες παράλληλα με την ύπαρξη του μυϊκού τραυματισμού. Η αύξηση στη συγκέντρωση τεστοστερόνης στο ορό, έχει παρατηρηθεί τόσο σε οξεία φάση, μετά από έντονη προπόνηση με αντιστάσεις 85%- 95% της μέγιστης δύναμης (Kraemer, Deschenes, & Fleck, 1988; Kraemer et al., 1991), όσο και μετά από προγράμματα διάρκειας μηνών ή και χρόνων. Οι Staron et al. (1994), διαπίστωσαν αύξηση στη συγκέντρωση τεστοστερόνης, στις τιμές ηρεμίας σε άτομα που δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία από άσκηση με αντιστάσεις. Παρόμοια αποτελέσματα διατύπωσε ο Kraemer και οι συν. (1998), όπου μετά από 8 εβδομάδες προπόνησης με αντιστάσεις, διαπιστώθηκε αύξηση στις τιμές ηρεμίας, τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες. Τέλος, αύξηση στα επίπεδα ηρεμίας διαπιστώθηκε, σε αθλητές υψηλού επιπέδου άρσης βαρών, μετά από δύο χρόνια προπόνησης (Hakkinen, Parakinen, Alen, Kauhanen, & Komi, 1988). Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των ερευνών του Kraemer και των συνεργατών του (1988, 1991), τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν αύξηση στα επίπεδα τεστοστερόνης στις δύο ομάδες που πραγματοποίησαν συνδυαστική προπόνηση.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι οι ομάδες Π1 και Π2 σημείωσαν αύξηση τόσο στην κορτιζόλη όσο και στην τεστοστερόνη, συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου, συμπεραίνοντας έτσι ότι υπήρξαν ταυτόχρονα, τόσο αναβολικές όσο και καταβολικές διαδικασίες με την άσκηση και στις δύο πειραματικές ομάδες, ανεξάρτητα από την ένταση στις ασκήσεις με αντιστάσεις. Ο λόγος της συγκέντρωσης τεστοστερόνης δια τη συγκέντρωση της κορτιζόλης χρησιμοποιείται συχνά για να δηλώσει εάν ο οργανισμός βρίσκεται σε καταβολική ή αναβολική κατάσταση (Kraemer, 2000). Ωστόσο, ένα τέτοιο συμπέρασμα θα ήταν παρακινδυνευμένο λόγω των πολλών βιολογικών δράσεων που έχει κυρίως η κορτιζόλη (Kraemer, 2000). Επιπρόσθετα, δεν έχουν σχεδιαστεί μελέτες που να εξετάζουν τη διακύμανση του λόγου για αρκετές ημέρες έπειτα από άσκηση που να προκάλεσε μυϊκό τραυματισμό.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι στις πειραματικές ομάδες οι καταβολικές διαδικασίες επικράτησαν των αναβολικών, ενώ είναι ενδιαφέρον ότι στις πειραματικές ομάδες δεν παρουσιάσ-

τηκαν σημαντικές διαφορές ως προς το λόγο τεστοστερόνης κορτιζόλης, σε καμία από τις χρονικές στιγμές. Ενδιαφέρον, επίσης, παρουσιάζει το εύρημα ότι η τεστοστερόνη αυξήθηκε ετεροχρονισμένα στην ομάδα Π2 σε σύγκριση με την ομάδα Π1. Σύμφωνα με τους Malm, Ekblom, & Ekblom (2000), η μεταβολή στη συγκέντρωση της τεστοστερόνης συνδυάζεται με τις μεταβολές του αριθμού των λευκοκυττάρων στον τραυματισμένο μυϊκό ιστό και τη δράση του ανοσοποιητικού συστήματος μετά από οξεία άσκηση. Αυτή, λοιπόν, η καθυστερημένη αύξηση στη συγκέντρωση της τεστοστερόνης ενδεχομένως να εξηγείται από την προσπάθεια του ανοσοποιητικού συστήματος να αντιδράσει στην καταβολική κατάσταση μετά την άσκηση.

Συμπερασματικά, η συνδυαστική προπόνηση και στις δύο ομάδες, προκάλεσε σημαντικές μεταβολές στους δείκτες του μυϊκού τραυματισμού, υποδεικνύοντας πως μπορεί να επιφέρει ασκησιογε-

νή μυϊκό τραυματισμό, ανεξάρτητα από την ένταση στις ασκήσεις με αντιστάσεις. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στις πλειομετρικές ασκήσεις, που περιέχονται στη συνδυαστική προπόνηση. Από την εφαρμογή διαφορετικών εντάσεων στις ασκήσεις με αντιστάσεις, διαπιστώθηκε πως επηρεάστηκε σημαντικά μόνο η διακύμανση στη συγκέντρωση της τεστοστερόνης. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορεί να οφείλονται στη φυσική κατάσταση των ασκουμένων, οι οποίοι ήταν σε θέση να εκτελέσουν τα πρωτόκολλα άσκησης, ωστόσο τους έξι τελευταίους μήνες δε συμμετείχαν παρά μόνο στα μαθήματα του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού και όχι σε κάποιο συγκεκριμένο προπονητικό πρόγραμμα. Περαιτέρω μελέτη απαιτείται για την επίδραση αυτού του είδους άσκησης σε δείκτες του ανοσοποιητικού συστήματος, του οξειδωτικού στρες ή και σε αθλητές υψηλού επιπέδου.

### Σημασία για την Ποιότητα Ζωής

Η συνδυαστική προπόνηση είναι ένα είδος το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην αθλητική πρακτική. Από τη παρούσα μελέτη συμπεραίνεται πως προκαλεί ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό, με επακόλουθη την αίσθηση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου. Οι προπονητές θα πρέπει να είναι προσεκτικοί στο σχεδιασμό των προπονητικών μονάδων και σε κάθε περίπτωση να τηρούν τις αρχές της προπονητικής, κυρίως αυτήν της προοδευτικής αύξησης της επιβάρυνσης. Σε διαφορετική περίπτωση, οι αθλητές κινδυνεύουν από υπέρμετρο ασκησιογενή μυϊκό τραυματισμό και από καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος, που αν και δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα μελέτη, φαίνεται να υφίσταται έπειτα από έντονη άσκηση.

### Βιβλιογραφία

- Armstrong, B., & Warren, G. (1991). Mechanisms of exercise-induced muscle fiber injury. *Sports Medicine*, 12, 184-20
- Avloniti, A., Douda H., Tokmakidis, S., Kortsaris A., Papadopoulou, E., & Spanoudakis E. (2007). Acute effects of soccer training on white blood cell count in elite female players. *International Journal of sports physiology and performance* 2(3), 223 - 249
- Baker, D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 10, 131-136.
- Cannon, J., Orencole, R., & Fielding, R. (1990). Acute phase response in exercise: interaction of age and vitamin E on neutrophils and muscle enzyme release. *American Journal of Physiology*, 259, R1214-R1219.
- Chu, D.A. (1996). *Explosive Power and Strength: Complex Training for Maximum Results*. Champaign, Ill: Human Kinetics.
- Clarkson, P.M., & Tremblay I. (1988). Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptations in humans. *Journal of Applied Physiology*, 65, 1-6.
- Duthie, G.M., Young, W.B., Warren, B., & Aitken, D.A. (2002). The acute effects of heavy loads on jump squat performance: an evaluation of the complex and contrast methods of power. *Journal of Strength and Conditioning Research* 16, 530-538.
- Ebben, W.P., & Watts, P.B. (1998). A review of combined weight training and plyometric training modes: complex training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20, 18-27.
- Fatouros, I., Jamurtas, A., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N. et al. (2000). Evaluation of plyometric exercise training weight training and their combination on vertical jump performance and leg strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14, 470-476.
- Häkkinen, K., Parakinen, A., Alen, M., Kauhanen H., & Komi, P.V. (1988). Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two year. *Journal of Applied Physiology*, 65, 2406-2412
- Jamurtas, A., Fatouros, I., Buckenmeyer, P., Kokki-



- midis, E., Taxildaris, K., Kambas, A., et al. (2000). Effects of plyometric exercise on muscle soreness and plasma creatine kinase levels and its comparison with eccentric and concentric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(1), 68-74.
- Kraemer, W.J., Deschenes, M.R., & Fleck, S.J. (1988). Physiological adaptations to resistance exercise: Implications for athletic conditioning. *Sports Medicine*, 6, 246-256
- Kraemer, W.J., Gordon, S.E., Fleck, S.J., Martchitelli, L.G., Mello, R., Dziados, J.E., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C., & Fry, A.C. (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *International Journal of Sports Medicine*, 12(2), 228-235
- Kraemer, W.J. (2000). Endocrine responses to resistance exercise. In Baechle, T., & Earle, R. (Eds.), *Essentials of strength and conditioning* (pp. 91-114). Unites States: Human Kinetics.
- Malm, C., Ekblom, O., & Ekblom, B. (2004). Immune system alteration in response to two consecutive soccer games. *Acta Physiologica Scandinavica*, 180, 143-155.
- Malm, C., Nyberg, P., & Engstrom, M. (2000). Immunological changes in human skeletal muscle and blood after eccentric exercise and multiple biopsies. *The Journal of Physiology* 52, 243-262.
- Miyama, M., & Nosaka, K. (2004). Influence of surface on muscle damage and soreness induced by consecutive drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 206-211.
- Newham, D.J., Jones, D.A., & Clarkson, P. (1987). Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology*, 63(4), 1381-6
- Newton, R.U, Murphy, A.J., Humphries, B.J., Wilson, G.J., Kraemer, W.J., & Hakkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 5, 333-342.
- Nikolaidis, M.G., Jamurtas, A.Z., Paschalis, V., Fatouros, I.G., & Kouretas, D. (2008). The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations. *Sports Medicine*, 38(7), 579-606.
- Nikolaidis, M.G., Paschalis, V., Giakas, G., Fatouros, I.G., Koutedakis, Y., Kouretas D., et al. (2007). Decreased blood oxidative stress after repeated eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(7), 1080-1089.
- Nosaka, K., & Clarkson, P. (1996). Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(8), 953-961.
- Paschalis, V., Koutedakis, Y., Jamurtas, A.Z., Mougios, V., & Baltzopoulos, V. (2005). Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19, 184-188.
- Rimmer, E., & Sleivert, G. (2000). Effects of a plyometric intervention program on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 14, 295-301.
- Tofas, T., Jamurtas, A.Z., Fatouros, I., Nikolaidis, G. M., Koutedakis, Y., Sinouris, E.A., et al. (2008). Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 490-496.
- Turner, A.M., Owings, M., & Schwane, J.A. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17, 60-67.

