



Η Συμβολή της Συν-Διέγερσης των Αγωνιστών και Ανταγωνιστών Μυών στις Νευρικές Προσαρμογές μετά από Προπόνηση Δύναμης

Θεμιστοκλής Τσαταλάς^{1,2}, Γιάννης Σπυρόπουλος¹, Παρασκευή Σιλελόγλου³, Βασιλης Σιδέρης¹, & Γιάννης Γιάκας^{1,2}

¹ΤΕΦΑΑ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

²Ινστιτούτο Σωματικής Απόδοσης και Αποκατάστασης, Κέντρο Έρευνας Τεχνολογίας & Ανάπτυξης Θεσσαλίας

³ΤΕΦΑΑ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη

Οι νευρικές (νευρομυϊκές) προσαρμογές που επιφέρει η προπόνηση δύναμης μπορούν να μελετηθούν με βάση τις μεταβολές στα επίπεδα διέγερσης των αγωνιστών, συναγωνιστών και ανταγωνιστών μυών. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανασκόπηση και αξιολόγηση των σημαντικότερων ερευνητικών εργασιών που ασχολήθηκαν με τη συμβολή της συν-διέγερσης των ανταγωνιστών μυών στις νευρικές προσαρμογές μετά από προπόνηση δύναμης. Ως συνδιέγερση ή συν-ενεργοποίηση ορίζεται η ενεργοποίηση των αγωνιστών, που συνοδεύεται από ταυτόχρονη χαμηλότερη ενεργοποίηση των ανταγωνιστών μυών μιας άρθρωσης. Μεταξύ άλλων, η συνδιέγερση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της σταθερότητας της άρθρωσης, καθώς και στην παραγωγή κινήσεων που χαρακτηρίζονται από συντονισμό και ακρίβεια. Σε γενικές γραμμές, η προπόνηση δύναμης φαίνεται να ρυθμίζει την ανταγωνιστική δραστηριότητα με δύο τρόπους: α) μειώνοντάς την, σε συνδυασμό με αύξηση ή όχι της δραστηριότητας του αγωνιστή μύος και β) διατηρώντας την σταθερή και αυξάνοντας τη δραστηριότητα του αγωνιστή, με τελικό αποτέλεσμα την μείωση του λόγου ανταγωνιστικής/αγωνιστικής ενεργοποίησης. Από την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας φαίνεται ότι μετά από προπόνηση δύναμης η συμβολή της συνδιέγερσης των ανταγωνιστών στις νευρομυϊκές προσαρμογές είναι μικρή σε σχέση με τη συνολική παρατηρούμενη βελτίωση της δύναμης. Ωστόσο, το ερευνητικό πεδίο γύρω από την συνδιέγερση και γενικότερα τις νευρομυϊκές προσαρμογές χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Λέξεις κλειδιά: *νευρικές προσαρμογές, νευρομυϊκές προσαρμογές, προπόνηση δύναμης, συν-διέγερση, συν-ενεργοποίηση*

The Role of Co-Activation of Agonist and Antagonist Muscles in Neural Adaptations of Strength Training

Themistoklis Tsatalas^{1,2}, Giannis Spyropoulos¹, Paraskevi Sileloglou³, Vasilis Sideris¹, & Giannis Giakas^{1,2}

¹Department of Physical Education and Sports Sciences, University of Thessaly, Trikala, Hellas

²Institute of Human Performance and Rehabilitation, Center for Research and Technology, Thessaly, Hellas

³Department of Physical Education and Sports Sciences, Aristoteles University of Thessaloniki, Hellas

Abstract

Strength training induces neural adaptations that can be studied according to the modification in the activation levels of the agonist, synergist and antagonist muscles. The aim of this study is to review and evaluate the most important studies that investigated the role of antagonist muscles' coactivation in neural adaptations of strength training. Muscular coactivation or co-contraction is defined as the activity of the agonist muscles, simultaneously with a low level activity of the antagonist muscles of the same joint. Among others, coactivation plays an important role in the stability of a joint and also in the production of accurate, smooth and coordinated movements. Generally, strength training is believed to control the antagonist activation by: a) reducing it, in combination to an augmentation or not of the agonist muscle activation and b) by keeping it stable and increasing the agonist activation, resulting in a reduction of the antagonist/agonist activation ratio. According to the present review, the role of antagonist coactivation in the neuromuscular adaptations of strength training is not considerable compared to the observed strength enhancement. Further research concerning coactivation and more general neuromuscular adaptations is necessary.

Key words: *neural adaptations, neuromuscular adaptations, strength training, co-activation, co-contraction, muscle coordination*

Γενική εισαγωγή

Η παραγωγή μυϊκής δύναμης είναι προϊόν συνεργασίας των μυών και του νευρικού συστήματος. Ο Sale (2003) παρομοιάζει τους μυς με μια «μηχανή» που έχει τη δυνατότητα να παράγει δύναμη και το νευρικό σύστημα με το μηχανισμό που ρυθμίζει τη λειτουργία αυτής της μηχανής. Η αύξηση που παρατηρείται στη δύναμη μετά από εφαρμογή προπονητικού προγράμματος μπορεί να οφείλεται σε μεταβολές (προσαρμογές) στη μηχανή (μυς) ή στο ρυθμιστή της (νευρικό σύστημα). Ο Enoka (1988) επισημαίνει τη συνεισφορά του νευρικού παράγοντα στη βελτίωση της δύναμης μετά από προπονητική παρέμβαση, αναφέροντας ότι η βελτίωση μπορεί να επέλθει χωρίς την ύπαρξη μυϊκής υπερτροφίας, όχι όμως και χωρίς την ανάπτυξη νευρικών (νευρομυϊκών) προσαρμογών.

Τρεις είναι οι κυριότερες «αποδείξεις» πρόκλησης νευρικών προσαρμογών μετά από προπόνηση δύναμης (Enoka, 1997, 2002; Gabriel, Kamen, & Frost, 2006; Sale, 2003; Semmler & Enoka, 2000). Η πρώτη απόδειξη βασίζεται στο γεγονός ότι η αύξηση της δύναμης στις πρώτες εβδομάδες εφαρμογής της προπόνησης δε συνοδεύεται από μορφολογικές μεταβολές του μυός (Blazevich, Gill, Deans, & Zhou, 2007; Hakkinen, Alen, & Komi, 1985; Hakinnen & Komi, 1983; Komi, 1986; Moritani & deVries, 1979; Narici, 1989). Οι Moritani και deVries (1979), σε μια κλασική μελέτη όσον αφορά στην χρονική ακολουθία των προσαρμογών δύναμης, έδειξαν ότι στα αρχικά στάδια της προπόνησης πρωταγωνιστικό ρόλο στη βελτίωση της δύναμης παίζει ο νευρικός παράγοντας. Στη συνέχεια και αφού οι νευρικές προσαρμογές αρχίσουν να σταθεροποιούνται, τον πρωταγωνιστικό ρόλο αναλαμβάνει η μυϊκή υπερτροφία. Μετά από ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας ο Philips (2000) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι χρειάζονται τουλάχιστον 6 εβδομάδες πριν παρατηρηθεί σημαντική συμμετοχή της μυϊκής υπερτροφίας στη βελτίωση της δύναμης. Στην περίπτωση που η προπόνηση είναι παρατεταμένη διάρκειας (πάνω από 12 μήνες), η βελτίωση μέσω της μυϊκής υπερτροφίας σταματάει και πιθανά παρατηρείται (στο χρονικό διάστημα μεταξύ των 6-12 μηνών μετά την έναρξη της προπόνησης) μια δεύτερη φάση νευρικών προσαρμογών (Deschenes & Kraemer, 2002).

Η δεύτερη και η τρίτη απόδειξη πρόκλησης νευρικών προσαρμογών, μετά από προπονητική παρέμβαση, βασίζονται στα ερευνητικά δεδομένα γύρω από το φαινόμενο cross education (γνωστό και με τις ονομασίες cross-training ή cross transfer effect) (Carroll, Herbert, Munn, Lee, & Gandevia, 2006; Kamen, 2004; Lee & Carroll, 2007; Semmler, & Enoka, 2000; Zhou, 2000) και το φαινόμενο της εξειδίκευσης των προσαρμογών δύναμης (specifici-

ty of strength gains) (Behm & Sale, 1993; Judge, Moreau, & Burke, 2003). Σύμφωνα με το πρώτο φαινόμενο, όταν γίνεται προπόνηση δύναμης μόνο στο ένα άκρο παρουσιάζονται προσαρμογές, τόσο σε αυτό, όσο και στο άκρο που δεν προπονείται. Κατά μέσο όρο η βελτίωση της δύναμης στο άκρο που δεν ασκείται είναι 60 % σε σχέση με το άκρο που ασκείται (Enoka, 2002) και δεν μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη μυϊκής υπερτροφίας. Χαρακτηριστικό στοιχείο του δεύτερου φαινομένου είναι η εξειδικευμένη βελτίωση της δύναμης στις συνθήκες που ακολουθήθηκαν κατά την προπόνηση. Οι συνθήκες αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν τη θέση του σώματος κατά την προπόνηση, τον τρόπο δράσης των μυών, καθώς επίσης την αντίσταση (load) και την ταχύτητα της συστολής (Duchateau & Hainaut, 2003).

Παρά την ύπαρξη επαρκών ενδείξεων-αποδείξεων σημαντικής συμμετοχής του νευρικού παράγοντα στις προσαρμογές μετά από προπόνηση δύναμης, υπάρχει δυσκολία από την πλευρά των ερευνητών στον επακριβή προσδιορισμό των μηχανισμών που διέπουν τις νευρικές προσαρμογές. Τα ευρήματα προγενέστερων ερευνών, σύμφωνα με τα οποία η αρχική αύξηση της δύναμης χωρίς παρουσία μυϊκής υπερτροφίας οφείλεται στη λεγόμενη «νευρική οδό» (Komi, Viitasalo, Rauramaa, & Vihko, 1978; Cannon & Cafarelli, 1987; Enoka, 1988), δε φαίνεται να ερμηνεύουν το σύνολο των νευρικών προσαρμογών που επιφέρει η προπόνηση.

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει προσπάθεια από μια σειρά ανασκοπικών κυρίως εργασιών να επεξηγηθούν και να κατηγοριοποιηθούν οι νευρικές προσαρμογές κάτω από το πρίσμα ποικίλων μηχανισμών του νευρικού συστήματος, όπως είναι τα ανώτερα και κατώτερα κέντρα του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού (Aagaard, 2003; Bawa, 2002; Carroll, Riek, & Carson, 2001a,b; Duchateau & Enoka, 2002; Enoka, 1997; Griffin & Cafarelli, 2005). Μια περισσότερο προσιτή προσέγγιση του θέματος για την προπονητική πρακτική γίνεται από τον Sale (2003), σύμφωνα με την οποία οι νευρικοί μηχανισμοί διερευνώνται με βάση τα αποτελέσματα που επιφέρει η προπόνηση στα επίπεδα διέγερσης των αγωνιστών, συναγωνιστών και ανταγωνιστών μυών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανασκόπηση και αξιολόγηση των σημαντικότερων παλαιών και νέων ερευνητικών εργασιών, που μελέτησαν το τρίτο στοιχείο της προσέγγισης του Sale (2003), τη συμβολή δηλαδή της συνδιέγερσης (co-activation, co-contraction) των αγωνιστών/ ανταγωνιστών μυών στις νευρικές (νευρομυϊκές) προσαρμογές μετά από προπόνηση δύναμης. Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται επιλεκτική αναφορά στην πληθώρα εργασιών που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία και χρησιμοποιήσαν διάφορα είδη πρωτοκόλλων, για

να δώσουν εξήγηση όσον αφορά στον ρόλο του φαινομένου της συνδιέγερσης, στους παράγοντες που το επηρεάζουν και στους μηχανισμούς που το προκαλούν. Στο δεύτερο μέρος γίνεται εμπεριστατωμένη αναφορά στο μικρό (αναλογικά με τις εργασίες του πρώτου μέρους) αριθμό εργασιών που ασχολήθηκαν μέχρι σήμερα με την καθεαυτή επίδραση της προπόνησης δύναμης στην ανταγωνιστική δραστηριότητα των μυών.

Σχετικές θεωρίες

Γενικά στοιχεία του φαινομένου της συνδιέγερσης των αγωνιστών και ανταγωνιστών μυών

Ως συν-διέγερση ή συν-ενεργοποίηση (co-activation ή co-contraction) ορίζεται η ενεργοποίηση των αγωνιστών που συνοδεύεται από ταυτόχρονη και χαμηλότερη ενεργοποίηση των ανταγωνιστών μυών μιας άρθρωσης (Solomonow & Krogsgaard, 2001). Ωστόσο, οι παραπάνω όροι χρησιμοποιούνται και από πολλούς συγγραφείς με την έννοια, όχι της συν-διέγερσης, αλλά της διέγερσης μόνο των ανταγωνιστών μυών κατά τη διάρκεια βουλητικής σύσπασης (Psek & Cafarelli, 1993). Συνήθως, η αγωνιστική και ανταγωνιστική δραστηριότητα μιας άρθρωσης οφείλεται σε ξεχωριστούς μύες (για παράδειγμα οι καμπτήρες και εκτείνοντες του αγκώνα). Μπορεί όμως να παρατηρηθεί το φαινόμενο η ανταγωνιστική δραστηριότητα να προέρχεται από διαφορετικό τμήμα του ίδιου μυ, που αποτελεί και τον πρωταγωνιστή της κίνησης (για παράδειγμα η έξω και έσω κεφαλές του δελτοειδή μυ).

Η κατανόηση των μηχανισμών πρόκλησης του φαινομένου της συνδιέγερσης των μυών τράβηξε από πολύ νωρίς το ερευνητικό ενδιαφέρον. Ο Sherrington (1909; cited in Smith, 1981) ήταν ο πρώτος ερευνητής που απέδωσε την πρόκληση της συνδιέγερσης σε ανώτερα κέντρα του εγκεφάλου. Συγκεκριμένα έκανε λόγο για την αρχή της αντίστροφης νεύρωσης (double reciprocal innervation), σύμφωνα με την οποία προκαλείται διέγερση των κινητικών νεύρων του αγωνιστή και ταυτόχρονη αναστολή της δράσης των ανταγωνιστών μυών. Τη θεωρία του Sherrington (1909) ήρθαν να συμπληρώσουν οι DeLuca και Mambritto (1987) με τη θεωρία της κοινής οδού (The common drive theory). Οι παραπάνω μελετητές διατύπωσαν την άποψη ότι το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) στέλνει κοινή εντολή για να διεγείρει τόσο τους κινητικούς νεύρωνες του αγωνιστή όσο και τους αντίστοιχους νεύρωνες του ανταγωνιστή. Κάτι τέτοιο όμως θα προκαλούσε ταυτόχρονη σύσπαση αγωνιστών και ανταγωνιστών, με αποτέλεσμα την αδυναμία παραγωγής κίνησης. Έτσι, τελικά φαίνεται ότι παρεμβαίνει η αμοιβαία (αλληλένδετη) αναστολή (reciprocal inhibition), που αποτελεί μηχανισμό του Νωτιαίου Μυελού, και περιορίζει την ανταγωνισ-

τική δραστηριότητα (Nielsen & Kagamihara, 1992).

Η συνδιέγερση των ανταγωνιστών μυών έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη αρνητικής ροπής σε σχέση με την αντίστοιχη των αγωνιστών, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τη συνολική ροπή της άρθρωσης (Maganaris, Baltzopoulos, & Sargeant, 1998). Κατά τη μέγιστη έκταση του γόνατος σε μειομετρικές συνθήκες, οι καμπτήρες μύες του γόνατος μπορούν να αναπτύξουν ανταγωνιστική ροπή της τάξης του 10-75 % της συνολικής ροπής των εκτεινόντων μυών, ανάλογα με το μετρούμενο σημείο του εύρους κίνησης (Aagaard et al., 2000a; Baratta et al., 1988; Kellis & Baltzopoulos, 1997). Έχει ακόμα βρεθεί ότι οι ανταγωνιστές μύες μέσω του μηχανισμού της αμοιβαίας αναστολής (reciprocal inhibition) παρεμποδίζουν το νευρικό σύστημα να διεγείρει πλήρως τους αγωνιστές της κίνησης (Milner, Cloutier, Leger, & Franklin, 1995; Tyler & Hutton, 1986).

Με την πρώτη ματιά λοιπόν, φαίνεται ότι η συνδιέγερση των ανταγωνιστών μυών διαδραματίζει ανασταλτικό ρόλο στην παραγωγή δύναμης και γενικότερα στην απόδοση των αθλητών. Πέρα όμως από τα μειονεκτήματα, η συνδιέγερση παρουσιάζει και εμφανή πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της σταθερότητας της άρθρωσης (Aagaard et al., 2000; Carpentier, Duchateau, & Hainaut, 1996; Kellis, 1998; Kellis & Baltzopoulos, 1999; Solomonow & Krogsgaard, 2001), στην εξισορρόπηση της κατανομής της πίεσης στις αρθρικές επιφάνειες (Baratta et al., 1988; Solomonow, Baratta, Zhou, & D'Ambrosia, 1988), καθώς και στην παραγωγή κινήσεων που χαρακτηρίζονται από συντονισμό και ακρίβεια (DeLuca & Mambritto, 1987; Solomonow & Krogsgaard, 2001).

Επιπρόσθετα, η ανασταλτική δράση των ανταγωνιστών μυών, ίσως αποτελεί προστατευτικό μηχανισμό σε δραστηριότητες που απαιτούν μεγάλη ή γρήγορη παραγωγή δύναμης (Tyler & Hutton, 1986). Η διαπίστωση των Tyler και Hutton (1986), όσον αφορά στις δραστηριότητες με απαιτήσεις μεγάλης παραγωγής δύναμης, φαίνεται να επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα (Kellis & Baltzopoulos, 1998), καθώς και η ροπή των καμπτήρων του γόνατος που δρουν ως ανταγωνιστές, είναι μεγαλύτερη στις μειομετρικές (όπου οι καμπτήρες δρουν πλειομετρικά), από ότι στις πλειομετρικές εκτάσεις του γόνατος (Kellis & Baltzopoulos, 1997; 1999).

Οι δραστηριότητες που απαιτούν γρήγορες, βαλλιστικές κινήσεις αποτελούν μια ιδιαίτερη περίπτωση εμφάνισης ανταγωνιστικής δραστηριότητας. Σε βαλλιστικές κινήσεις, στις οποίες ο ασκούμενος έχει προγραμματίσει από πριν να διακόψει σε κάποιο σημείο την κίνηση, παρατηρείται μια χαρακτηριστική αλληλουχία ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας, που χωρίζεται σε τρία εμφανή τμήματα.

Στο πρώτο από αυτά παρατηρείται υψηλή αγωνιστική δραστηριότητα, στο δεύτερο ανταγωνιστική δραστηριότητα και στο τελευταίο ένα δεύτερο κύμα ενεργοποίησης των αγωνιστών μυών (triphasic EMG pattern, Marsden, Obeso, & Rothwell, 1983; Zehr & Sale, 1994). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει πρόθεση από τον ασκούμενο για διακοπή της κίνησης, η ενεργοποίηση αγωνιστών και αναταγωνιστών είναι ταυτόχρονη (Carpentier et al., 1996).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός της εμφάνισης διαφορετικών τιμών ανταγωνιστικής δραστηριότητας, ανάλογα με τον τύπο της κίνησης. Οι Osternig, Hamill, Lander και Robertson (1986) διαπίστωσαν μεγαλύτερα επίπεδα συνδιέγερσης κατά την έκταση του γόνατος σε σχέση με την κάμψη. Απέδωσαν αυτό τους το εύρημα στην ανισοροπία δύναμης που υπάρχει μεταξύ εκτεινόντων και καμπτήρων μυών του γόνατος. Οι αδύναμοι καμπτήρες πρέπει να ενεργοποιήσουν περισσότερες μυϊκές ίνες, ώστε να εμποδίσουν τη σύσπαση του τετρακεφάλου. Στον τετρακέφαλο από την άλλη πλευρά, επαρκεί η μεγαλύτερη του μυϊκή μάζα και η αντίσταση που προκαλούν τα ελαστικά του στοιχεία, ώστε να εμποδιστεί μια ισχυρή κάμψη του γόνατος. Ενδιαφέρουσα είναι και η παρατήρηση του Aagaard και των συνεργατών του (2000), σύμφωνα με την οποία δε φαίνεται να είναι απαραίτητη η ισότιμη συμμετοχή μιας ανταγωνιστικής ομάδας μυών κατά τη συνδιέγερση. Για παράδειγμα, σε αργή ισοκίνητική μειομετρική έκταση του γόνατος, βρέθηκε ότι η συμμετοχή του δικέφαλου μηριαίου ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του ημιτενοντώδους μυός (Aagaard et al., 2000). Τέλος, έχει αναφερθεί ότι η στρατηγική επιστράτευσης των κινητικών μονάδων ενός μυός, μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το εάν δρα σαν αγωνιστής ή ανταγωνιστής (Bernardi, Solomonow, & Baratta, 1997; Carpentier, Duchateau, & Hainaut, 1999).

Είναι προφανές από τα ευρήματα των παραπάνω εργασιών ότι η ανταγωνιστική δραστηριότητα δεν είναι ίδια σε όλες τις περιπτώσεις, αλλά εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων. Οι σημαντικότεροι από αυτούς που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι: ο τρόπος δράσης των μυών (ισομετρικός, μειομετρικός, πλειομετρικός, Kellis & Baltzopoulos, 1996, 1997; Snow, Cooper, Quanbury, & Anderson, 1993, 1995), η ένταση της συστολής (Grabiner & Weiker, 1993; Solomonow et al., 1988), η ταχύτητα της συστολής (Carpentier, Duchateau, & Hainaut, 1999; Hagood, Solomonow, Baratta, Zhou, & D'Ambrosia, 1990; Kellis & Baltzopoulos, 1996; Snow et al., 1993), η άρθρωση που ασκείται (Eloranta, 1989; Solomonow et al., 1988), οι μύες που εμπλέκονται (Bazzucchi, Sbriccoli, Marzattinocci, & Felici, 2006; Carpentier, Duchateau, & Hainaut, 1999; Lee, Granata, & Moorhouse, 2007; Snow, et al., 1993, 1995; Solomonow et al., 1988), η γωνία

της άρθρωσης που εξετάζεται η κίνηση (Eloranta, 1989; Mademli, Arampatzis, Morey-Klapsing, & Bruggemann, 2004), το εύρος της κίνησης (Hannaford & Stark, 1985; Karst & Hazan, 1987), οι τραυματισμοί (Da Fonseca et al., 2004; Grabiner & Weiker, 1993; Osternig, Caster, & James, 1995), η ηλικία, διαφορές παρατηρούνται μόνο μεταξύ ενηλίκων και ηλικιωμένων (Hakkinen et al., 1998a; Klein, Rice, & Marsh, 2001; Macaluso, Nimmo, Foster, Cockburn, McMillan, & De Vito, 2002; Valkeinen, Ylinen, Malkia, Alen, & Hakkinen, 2002) και όχι μεταξύ ενηλίκων και ατόμων παιδικής και εφηβικής ηλικίας (Kellis & Unnithan, 1999) και η νευρομυϊκή κόπωση (Hassani et al., 2006; Miller, Croce, & Hutchins, 2000; Psek & Cafarelli, 1993; Weir, Keefe, Eaton, Augustine, & Tobin, 1998).

Στην ενότητα που ακολουθεί, επιχειρείται η ανασκόπηση των σχετικών ερευνών με την επίδραση δύο ακόμα παραγόντων στα επίπεδα συνδιέγερσης των ανταγωνιστών μυών. Οι παράγοντες αυτοί είναι η προπόνηση δύναμης που απασχολεί κύρια την παρούσα εργασία, αλλά και η κινητική μάθηση (μέσω της εξάσκησης δεξιοτήτων), λόγω της άμεσης συνδρομής της τελευταίας στις μεταβολές της ανταγωνιστικής δραστηριότητας μετά από προπόνηση δύναμης.

Ανασκόπηση σχετικών ερευνών

Η κινητική μάθηση και η ανταγωνιστική δραστηριότητα φαίνεται να παρουσιάζουν αμφίδρομη σχέση. Από τη μια πλευρά, η μεταβολή της συνδιέγερσης των μυών μετά από προπόνηση δύναμης μπορεί να οφείλεται σε μαθησιακές προσαρμογές, λόγω βελτίωσης του συντονισμού ή ανάπτυξης της επιδεξιότητας (skill, Jones & Rutherford, 1986). Από την άλλη πλευρά, η σταδιακή και επιλεκτική αναστολή της ανταγωνιστικής δραστηριότητας, που είναι αντιοικονομική για την παραγωγή κίνησης, μπορεί να θεωρηθεί ως δείκτης επίτευξης της μάθησης μιας κινητικής δεξιότητας (Basmajian, 1977; cited in Falconer & Winter, 1985).

Το γεγονός ότι η ανάπτυξη της επιδεξιότητας επηρεάζει σημαντικά την ανταγωνιστική δραστηριότητα των μυών είναι γνωστό από πολύ παλιά. Πρώτη η Ρωσίδα φυσιολόγος Person (1958; cited in Basmajian & DeLuca, 1985) και αργότερα άλλοι ερευνητές (Bratanova, 1966; Kozmyan, 1965; Lloyd & Voor, 1973; all cited in Basmajian & DeLuca, 1985; Patton & Motensen, 1971; cited in Maganaris et al., 1998), έδειξαν ότι η συνεχής εξάσκηση της ίδιας κινητικής δεξιότητας αυξάνει την εκτελεστική ικανότητα της άρθρωσης, μειώνοντας σταδιακά την ανταγωνιστική δραστηριότητα των μυών. Στη συνέχεια, τόσο ο Ciriello (1982; cited in Solomonow & Krogsgaard, 2001) σε δυναμική, όσο και ο Kamen (1983) σε ισομετρική δράση των μυών, παρατήρησαν

ότι η καθημερινή βραχύβια αλλά έντονη εξάσκηση της κάμψης και έκτασης του γόνατος οδήγησε σε σταδιακή αύξηση της ροπής ή της δύναμης των ασκουμένων, στις πρώτες 6 μέρες του προγράμματος. Τελικά, παρατηρήθηκε ένα πλάτω στη βελτίωση της απόδοσης (Ciriello, 1982; cited in Solomonow & Krogsgaard, 2001).

Ωστόσο, υπήρξαν μελέτες που βρήκαν αντίθετα αποτελέσματα. Τέτοιες μελέτες είναι εκείνες του Engelhorn (1983) και του McGrain (1980), στις οποίες παρατηρήθηκε το φαινόμενο της αύξησης της συνδιέγερσης κατά τη διαδικασία εκμάθησης δεξιοτήτων με απαιτήσεις υψηλής ταχύτητας κίνησης. Τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών αποτέλεσαν για τον Behm (1995) ένδειξη ότι η ανταγωνιστική δραστηριότητα πιθανά μεταβάλλεται, ανάλογα με τον τύπο της δεξιότητας προς μάθηση. Λογικά, λοιπόν, η εκμάθηση βαλλιστικών καθώς και εναλλασσόμενων κινήσεων συνοδεύεται από υψηλή ενεργοποίηση των ανταγωνιστών μυών, ενώ η εκμάθηση πιο αργών κινήσεων, που δεν έχουν συγκεκριμένο στόχο-διεύθυνση, συνοδεύεται από μειωμένη συμμετοχή των ανταγωνιστών (Behm, 1995).

Τα νεώτερα πάντως ερευνητικά δεδομένα γύρω από τη σχέση εξάσκησης και συνδιέγερσης των ανταγωνιστών μυών (Clement & Rezzette, 1985; Milner, 2002; Gribble, Mullin, Cothros, & Mattar, 2003; Osu, Gomi, Domen, Yoshioka, & Kawato, 1999; cited in Suzuki, Shiller, Gribble, & Ostry, 2001), τάσσονται υπέρ της αρχικής άποψης της Person (1958; cited in Basmajian & DeLuca, 1985). Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των Bernardi, Solomonow, Nguyen, Smith και Baratta (1996), στην οποία παρατηρήθηκαν οι μεταβολές της στρατηγικής επιστράτευσης των κινητικών μονάδων κατά την εκμάθηση μιας δεξιότητας κάμψης του αγκώνα. Συγκεκριμένα, σε ένα διάστημα 6 εβδομάδων, τα απροπύνητα άτομα που πήραν μέρος στην έρευνα εκτέλεσαν συνολικά 360 κάμψεις του αγκώνα, διάρκειας 3s η κάθε μία, με προοδευτική εφαρμογή από 0 έως 100% της μέγιστης βουλητικής δύναμης (MVC). Αν και τα αποτελέσματα έδειξαν μη σημαντικές διαφορές ($p > .05$), ωστόσο παρατηρήθηκε τάση για μείωση της διάρκειας επιστράτευσης των κινητικών μονάδων του ανταγωνιστή μυός (τρικέφαλος βραχιόνιος), καθώς και γενική μείωση της ηλεκτρομυογραφικής του δραστηριότητας. Τελικό συμπέρασμα ήταν ότι η επανειλημμένη εξάσκηση μιας δεξιότητας κάτω από τις ίδιες πάντα συνθήκες δράσης του μυός οδηγεί σε πιο αργή, παρατεταμένη επιστράτευση των κινητικών μονάδων στο αρχικό στάδιο του κύκλου παραγωγής δύναμης, επιτρέποντας έτσι έναν πιο ακριβή και εκλεπτυσμένο κινητικό έλεγχο κατά την εκτέλεση της κίνησης.

Από την κατηγορία των εργασιών που ασχολήθηκαν με την καθεαυτή επίδραση της προπόνησης δύναμης στην ανταγωνιστική δραστηριότητα, «κλασι-

κή» μπορεί να θεωρηθεί εκείνη των Carolan και Cafarelli (1992). Σε αυτή τη μελέτη εφαρμόστηκε σε απροπύνητους φοιτητές μέγιστη ισομετρική προπόνηση δύναμης στο ένα κάτω άκρο, που περιελάμβανε 30 εκτάσεις του γόνατος, 3 φορές την εβδομάδα, για ένα διάστημα 8 εβδομάδων. Στο τέλος αυτής της περιόδου, παρατηρήθηκε αύξηση της μέγιστης ισομετρικής έκτασης του γόνατος της τάξης του 32,8%, χωρίς όμως μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας των αγωνιστών μυών. Η παραπάνω βελτίωση αποδόθηκε από τους συγγραφείς στη μείωση της ενεργοποίησης των ανταγωνιστών μυών (δικέφαλος μηριαίος), που πλησίασε το 20% στην πρώτη μόλις εβδομάδα προπόνησης, συνεισφέροντας με αυτό τον τρόπο στο 1/3 της βελτίωσης της εκτατικής δύναμης του γόνατος. Η ανταγωνιστική δραστηριότητα δε μεταβλήθηκε περαιτέρω, με αποτέλεσμα για το σύνολο των 8 εβδομάδων, η συμμετοχή των οπίσθιων μηριαίων στη συνολική βελτίωση να υπολογιστεί από τους συγγραφείς γύρω στα 10%.

Με τα αποτελέσματα της μελέτης των Carolan και Cafarelli (1992) δε συμφωνούν δυο προγενέστερες μελέτες, που πραγματοποιήθηκαν όμως σε ειδή προπονημένους αθλητές. Στην πρώτη από αυτές, ο Osternig και οι συνεργάτες του (1986) σύγκριναν τη συμπεριφορά των ανταγωνιστών μυών θηλαίων δρομέων ταχύτητας και αντοχής. Παρατήρησαν ότι οι σπρίντερς είχαν τετραπλάσιες τιμές συνδιέγερσης, σε σχέση με τους δρομείς αντοχής στις ισοκινητικές εκτάσεις του γόνατος. Ωστόσο, στην υψηλή γωνιακή ταχύτητα ($400^\circ/s$), η συνδιέγερση στους δρομείς αντοχής ήταν μεγαλύτερη στα τελευταία 25% της έκτασης. Οι συγγραφείς απέδωσαν τα ευρήματα τους στο γεγονός ότι οι μετρήσεις έγιναν στην περίοδο διακοπών των σπρίντερς, με αποτέλεσμα να έχει δημιουργηθεί πιθανή τάση των δικέφαλων μηριαίων, αυξάνοντας την ευαισθησία τους στις διατάσεις. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί το γεγονός ότι στο τελευταίο 25% της κίνησης η άρθρωση βρίσκεται σε φάση επιβράδυνσης, με πιθανό αποτέλεσμα η πραγματική γωνιακή ταχύτητα να υπολείπεται των $400^\circ/s$ (Iossifidou & Baltzopoulos, 1996).

Τα ευρήματα του Osternig και των συνεργατών του (1986) επαλήθευσαν ο Baratta και οι συνεργάτες του (1988). Οι συγγραφείς αυτοί αξιολόγησαν την ανταγωνιστική δραστηριότητα κατά την ισοκινητική κάμψη και έκτασης του γόνατος με αργή γωνιακή ταχύτητα ($15^\circ/s$), σε τρεις πειραματικές ομάδες. Η πρώτη ήταν η ομάδα ελέγχου και αποτελούνταν από αγύμναστα άτομα. Η δεύτερη αποτελούνταν από καλαθοσφαιριστές, αθλητές βόλεϊ και αθλητές άλματος σε ύψος υψηλού επιπέδου, οι οποίοι δεν περιελάμβαναν στην προπόνησή τους ασκήσεις ενδυνάμωσης των οπίσθιων μηριαίων. Η τελευταία ομάδα περιελάμβανε καλαθοσφαιριστές, αθλητές βόλεϊ και τριαθλητές, που χρησιμοποιούσαν

όμως για ενδυνάμωση κάμψεις των δικεφάλων μηριαίων σε μηχανήματα πριν τις πειραματικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τελευταία ομάδα είχε τα μεγαλύτερα επίπεδα συνδιέγερσης συγκριτικά με τις άλλες ομάδες. Ακολούθησε η ομάδα ελέγχου, ενώ τα μέλη της δεύτερης ομάδας που συμμετείχαν σε αθλήματα που αναπτύσσουν υψηλή επιδεξιότητα παρουσίασαν την μικρότερη ενεργοποίηση των ανταγωνιστών. Ωστόσο, όταν δύο άτομα από αυτήν την ομάδα προπονήθηκαν με κάμψεις δικεφάλων καθημερινά επί 2 ή 3 εβδομάδες, αύξησαν τα επίπεδα συνδιέγερσης των ανταγωνιστών, πλησιάζοντας τα αντίστοιχα επίπεδα της ομάδας ελέγχου.

Σε μια νεότερη μελέτη, με ήδη προπονημένους αθλητές, των Osternig, Robertson, Troxel και Hansen (1990), τα αποτελέσματα ήταν διαφορετικά από την προηγούμενη μελέτη του Osternig και των συνεργατών του (1986). Στη μελέτη αυτή έγινε αξιολόγηση της επίδρασης ορισμένων τεχνικών διάταξης των μυών στην ανταγωνιστική δραστηριότητα των οπίσθιων μηριαίων. Σε αυτή την περίπτωση, οι δρομείς αντοχής παρουσίασαν υψηλότερα επίπεδα συνδιέγερσης από τους αθλητές βόλει και σπριντ. Πιθανότατα τα ευρήματα αυτά να οφείλονται στο γεγονός ότι οι διατακτικές ασκήσεις διαφέρουν σε σχέση με τις δυναμικές στο μηχανισμό νευρικής ενεργοποίησης και αναστολής.

Συνεχίζοντας την ανασκόπηση των εργασιών που έγιναν σε ήδη προπονημένους αθλητές, χωρίς εφαρμογή προπονητικής παρέμβασης, ενδιαφέρον παρουσιάζουν δυο μελέτες που επιχειρήσαν να κάνουν σύγκριση μεταξύ αθλητών και μη αθλητών. Ο Amiridis και οι συνεργάτες του (1996) σύγκριναν την ανταγωνιστική δραστηριότητα των οπίσθιων μηριαίων αθλητών υψηλής τεχνικής κατάρτισης και επιδόσεων (άλτες του ύψους), με την αντίστοιχη δραστηριότητα απροπονητών ατόμων, κατά την ισοκινητική έκταση του γόνατος, κάτω από βουλητικές και ηλεκτρικά προκλητές συνθήκες. Σε όλες τις γωνιακές ταχύτητες που χρησιμοποιήθηκαν, οι αθλητές εμφάνισαν χαμηλότερα επίπεδα συνδιέγερσης. Στη δεύτερη μελέτη, οι Zehr, Sale και Dowling (1997) σύγκριναν την ανταγωνιστική δραστηριότητα μεταξύ αθλητών του καράτε (που είναι άθλημα με απαιτήσεις σε εκτέλεση βαλλιστικών κινήσεων) και απροπονητών ατόμων. Μολονότι οι αθλητές παρουσίασαν υψηλότερη ανταγωνιστική δραστηριότητα στις ισομετρικές συνθήκες, δεν υπήρξαν διαφορές μεταξύ των ομάδων στις βαλλιστικές κινήσεις.

Στη βιβλιογραφία παρατηρείται μια σειρά εργασιών που προσπάθησαν να εξαγουν έμμεσα συμπεράσματα σχετικά με τη συμμετοχή του φαινομένου της συνδιέγερσης στις νευρομυϊκές προσαρμογές μετά από προπόνηση δύναμης, βασιζόμενες στην προαναφερθείσα μελέτη των Carolan και Cafarelli

(1992). Τέτοιες εργασίες είναι αυτές των: Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, Halkjaer-Kristensen και Dyhre-Poulsen (2000b), Brandenburg και Docherty (2002), Ebersole, Housh, Johnson, Perry, Bull και Cramer (2002), Evetovich, Housh, Johnson, Housh, Ebersole και Smith (1998) και Highbie, Cureton, Warren και Prior (1996). Πολλές από τις παραπάνω μελέτες επικαλέστηκαν αδυναμία στο σχεδιασμό τους και έτσι άφησαν ανοιχτό το ενδεχόμενο οι νευρομυϊκές προσαρμογές που παρατήρησαν μετά από προπόνηση δύναμης, να οφείλονται εν μέρει σε μεταβολή της συμμετοχής της ανταγωνιστικής δραστηριότητας.

Εκτός από τις παραπάνω εργασίες στη βιβλιογραφία, παρατηρούνται και περιπτώσεις εργασιών με πιο άμεσα ευρήματα όσον αφορά στη σχέση συνδιέγερσης και προπόνησης δύναμης. Άξια αναφοράς είναι μια σειρά εργασιών που ασχολήθηκε με την επίδραση της προπόνησης με έμφαση την πλειομετρική δράση των μυών στην ανταγωνιστική δραστηριότητα. Από αυτές τις εργασίες, άλλες παρατήρησαν αύξηση (Leger & Milner, 2001), άλλες μείωση (Pensini, Martin, & Maffiuletti, 2002) και οι περισσότερες καμία μεταβολή της ανταγωνιστικής δραστηριότητας, μετά την προπονητική παρέμβαση (Colson, Pousson, Martin, & Van Hoecke, 1999; Hortobagyi, Devita, Money, & Barrier, 2001; Hortobagyi, Hill, Houmard, Fraser, Lambert, & Israel, 1996; Rutherford, Purcell, & Newham, 2001).

Αξιολογες είναι μερικές ακόμα μελέτες που χρησιμοποιήσαν κάποιο προπονητικό πρωτόκολλο για να διερευνήσουν το φαινόμενο της συνδιέγερσης κάτω από ποικίλες συνθήκες. Οι Pousson, Amiridis, Cometti και Van Hoecke (1999) προσπάθησαν να διαπιστώσουν εάν υφίσταται σχέση μεταξύ της εξειδικευμένης ως προς την ταχύτητα προπόνησης και της ανταγωνιστικής δραστηριότητας των μυών της άρθρωσης του αγκώνα. Τελικά, παρατήρησαν ότι η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα (συγκεκριμένα το σχετικοποιημένο Root Mean Square, RMS) των ανταγωνιστών, ήταν σημαντικά μικρότερη ($p < .05$) μόνο για τη γωνιακή ταχύτητα των $300^\circ/s$. Οι Bencke, Naesborg, Simonsen και Klausen (2000), λαμβάνοντας υπόψη τον κίνδυνο που υπάρχει σε αθλητές ομαδικών αθλημάτων (κυρίως της χειροσφαίρισης), για τραυματισμό του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου (Anterior Cruciate Ligament, ACL), κατά την εκτέλεση διάφορων πλάγιων «κοψιμάτων» και απότομων κινήσεων, πήραν το ερέθισμα να εξετάσουν την επίδραση ενός «προληπτικού» προγράμματος δύναμης (παράλληλα με τη καθιερωμένη προπόνηση του αθλήματος) στην ανταγωνιστική δραστηριότητα των μυών του γόνατος Ευρωπαϊκών αθλητών χειροσφαίρισης. Αν και κατάφεραν να μεταβάλλουν το χρονικό σημείο εμφάνισης της συνδιέγερσης κατά την εκτέλεση του κοψιματος, ωστόσο δεν κατάφεραν να αυξήσουν τα

επίπεδα συνδιέγερσης με την προπόνηση που χρησιμοποιούσαν.

Σε μια άλλη πρωτότυπη μελέτη, ο Hakkinen και οι συνεργάτες του (2003) παρατήρησαν μεταξύ άλλων μεταβλητών την ανταγωνιστική δραστηριότητα των οπίσθιων μηριαίων, μετά από εφαρμογή απλής προπόνησης δύναμης ή συνδυασμένης με προπόνηση αντοχής. Τελικά, η συνδιέγερση έμεινε αμετάβλητη στην ομάδα που ακολούθησε αποκλειστικά προπόνηση δύναμης, ενώ μειώθηκε στην ομάδα που ακολούθησε συνδυαστική προπόνηση. Λόγω της χρησιμοποίησης εργοποδηλάτου στη συνδυαστική προπόνηση, οι συγγραφείς απέδωσαν το εύρημα τους στο σημαντικό ρόλο που παίζει ο δικέφαλος μηριαίος στην κάμψη και έκταση του γόνατος και του ισχίου, αντίστοιχα, κατά τη φάση ώθησης και επαναφοράς στο χτύπημα του πεντάλ (Gregor & Rugg, 1986; Cited in Hakkinen et al., 2003).

Όλες οι εργασίες που αναλύθηκαν μέχρι αυτό το σημείο εστιάστηκαν σε ενήλικα άτομα ηλικίας περίπου 18-40 ετών. Τα τελευταία όμως χρόνια το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει στραφεί και στα άτομα της μέσης και τρίτης ηλικίας. Η εκτενής παρουσίαση των σχετικών εργασιών ξεφεύγει από τους στόχους της παρούσας ανασκόπησης. Σε γενικές γραμμές, υποστηρίζονται δύο απόψεις, σύμφωνα με τις οποίες, η προπόνηση δύναμης φέρεται να μειώνει (Hakkinen, Alen, Kallinen, Newton, & Kraemer, 2000; Hakkinen et al., 1998b; Hakkinen, Kraemer, Newton, & Alen, 2001; Kuruganti, Parker, Rickards, & Tingley, 2006; Simoneau, Martin, Porter, & Van Hoecke, 2006), ή να μην επηρεάζει (Hortobagyi και DeVita, 2000; Morse et al., 2005; Reeves, Narici, & Maganaris, 2003, 2004, 2006) τα επίπεδα συνδιέγερσης της συγκεκριμένης ομάδας του πληθυσμού.

Σχόλια και συζήτηση

Σε αδρές γραμμές, η προπόνηση δύναμης φαίνεται να ρυθμίζει την ανταγωνιστική δραστηριότητα με δύο τρόπους: α) μειώνοντάς τη σε συνδυασμό με αύξηση (Hakkinen et al., 1998b, 2000) ή όχι (Carolan & Cafarelli, 1992) της δραστηριότητας του αγωνιστή μυός και β) διατηρώντας την σταθερή και αυξάνοντας τη δραστηριότητα του αγωνιστή, με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση του λόγου ανταγωνιστικής/αγωνιστικής ενεργοποίησης (Colson et al., 1999; Hortobagyi & DeVita, 2000).

Επιπρόσθετα, η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι η σχέση προπόνησης δύναμης και ανταγωνιστικής δραστηριότητας διαφοροποιείται με βάση κάποιους παράγοντες, που εξηγούν εν μέρει τα διαφορετικά ευρήματα των ερευνών. Για παράδειγμα, τα χαμηλότερα επίπεδα συνδιέγερσης που

βρέθηκαν μετά την προπόνηση δύναμης από τους Carolan και Cafarelli (1992), πιθανά να οφειλονταν σε εξειδικευμένες προσαρμογές στις αργές κινήσεις, οι οποίες δεν απαιτούσαν την υψηλή προστατευτική λειτουργία των ανταγωνιστών μυών που παρατηρήθηκε στις γρήγορες κινήσεις των σπρίντερ, στην εργασία του Osternig και των συνεργατών του (1986). Πιθανοί, λοιπόν, παράγοντες επιρροής της σχέσης προπόνησης δύναμης και ανταγωνιστικής δραστηριότητας είναι: ο τύπος της κίνησης που χρησιμοποιείται κατά την προπόνηση (Behm, 1995; Colson et al., 1999), η ταχύτητα κίνησης (Pousson et al., 1999), η διάρκεια της προπόνησης (Colson et al., 1999), ο τύπος προπόνησης (για παράδειγμα προπόνηση μέγιστης δύναμης ή προπόνηση ισχύος) (Ferri, Scaglioni, Pousson, Capodaglio, Van Hoecke, & Narici, 2003), η προπονητική ηλικία και το επίπεδο επιδεξιότητας (Amiridis et al., 1996; Baratta et al., 1988) και άλλοι.

Πρακτικές εφαρμογές και προτάσεις

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία, μπορεί να υποστηριχθεί με βάση τις σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές (Amiridis et al., 1996; Carolan & Cafarelli, 1992; Hakkinen et al., 1998), ότι μετά από προπόνηση δύναμης, η συμβολή (της μείωσης) της συνδιέγερσης των ανταγωνιστών στις νευρομυϊκές προσαρμογές είναι μικρή, αναλογικά με τη συνολική βελτίωση της δύναμης. Ωστόσο, δεν πρέπει να υποτιμάται η σπουδαιότητα του ρόλου της συνδιέγερσης στη διατήρηση της σταθερότητας της άρθρωσης με απώτερο στόχο την αποφυγή τραυματισμών. Επιπρόσθετα, προτείνεται στην προπονητική πρακτική να λαμβάνονται υπόψη οι προαναφερθέντες παράγοντες επιρροής της σχέσης προπόνησης δύναμης και ανταγωνιστικής δραστηριότητας.

Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες

Μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί η ιδανική τεχνική μέτρησης της ανταγωνιστικής δραστηριότητας. Τόσο η μέθοδος της ηλεκτρομυογραφίας, όσο και οι χρησιμοποιούμενοι τρόποι σχετικοποίησης του EMG, παρουσιάζουν πολλά μειονεκτήματα και δεν εμφανίζουν κοινή αποδοχή μεταξύ των ερευνητών. Νέοι μέθοδοι μέτρησης, όπως η λεγόμενη διακρανιακή μαγνητική διέγερση (transcranial magnetic stimulation), πιθανά να μπορέσουν να ερμηνεύσουν την επίδραση της προπόνησης, τόσο στους αγωνιστές, όσο και στους ανταγωνιστές μύες (Caroll et al., 2001a; Griffin & Cafarelli, 2007; Jensen, Marstrand, & Nielsen, 2005).

Σημασία για τον Αγωνιστικό Αθλητισμό

Η μεταβολή της ανταγωνιστικής δραστηριότητας θέτει το κεντρικό νευρικό σύστημα σε δίλημμα. Από τη μια πλευρά, μια νευρική προσαρμογή με τη μορφή μείωσης της ανταγωνιστικής δραστηριότητας θα μπορούσε να αυξήσει τη συνολική ροπή της άρθρωσης. Από την άλλη πλευρά, η διατήρηση μιας ισορροπημένης σχέσης μεταξύ αγωνιστών και ανταγωνιστών, μέσω της αυξημένης ενεργοποίησης των τελευταίων, ίσως είναι προτιμότερη για την επίτευξη της προστασίας της άρθρωσης, απέναντι στις εφαρμοζόμενες δυνάμεις. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να λαμβάνονται υπόψη από τον προπονητή του κάθε αθλήματος, ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση των αθλητών, προφυλάσσοντας τους παράλληλα από πιθανούς τραυματισμούς.

Βιβλιογραφία

- Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(2), 61-67.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Bojsen-Moller, F., & Dyhre-Poulsen, P. (2000a). Antagonist muscle coactivation during isokinetic knee extension. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(2), 58-67.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Halkjaer-Kristensen, J., & Dyhre-Poulsen, P. (2000b). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 89(6), 2249-2257.
- Amiridis, I. G., Martin, A., Morlon, B., Martin, L., Cometti, G., Pousson, M., et al. (1996). Coactivation and tension-regulating phenomena during isokinetic knee extension in sedentary and highly skilled humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(1-2), 149-156.
- Baratta, R., Solomonow, M., Zhou, B. H., Letson, D., Chuinard, R., & D'Ambrosia, R. (1988). Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *American Journal of Sports Medicine*, 16(2), 113-122.
- Basmajian, J. V., & DeLuca, C. J. (1985). *Muscles Alive. Their Function Revealed by Electromyography* (5th ed.). Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
- Bawa, P. (2002). Neural control of motor output: Can training change it? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(2), 59-63.
- Bazzucchi, I., Sbriccoli, P., Marzattinocci, G., & Felici, F. (2006). Coactivation of the elbow antagonist muscles is not affected by the speed of movement in isokinetic exercise. *Muscle & Nerve*, 33(2), 191-199.
- Behm, D. G. (1995). Neuromuscular implications and applications or resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9(4), 264-274.
- Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine*, 15(6), 374-388.
- Bencke, J., Naesborg, H., Simonsen, E. B., & Klausen, K. (2000). Motor pattern of the knee joint muscles during side-step cutting in European team handball. Influence on muscular co-ordination after an intervention study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(2), 68-77.
- Bernardi, M., Solomonow, M., & Baratta, R. V. (1997). Motor unit recruitment strategy of antagonist muscle pair during linearly increasing contraction. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 37(1), 3-12.
- Bernardi, M., Solomonow, M., Nguyen, G., Smith, A., & Baratta, R. (1996). Motor unit recruitment strategy changes with skill acquisition. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(1-2), 52-59.
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., Deans, N., & Zhou, S. (2007). Lack of human muscle architectural adaptation after short-term strength training. *Muscle & Nerve*, 35(1), 78-86.
- Brandenburg, J. P., & Docherty, D. (2002). The effects of accentuated eccentric loading on strength, muscle hypertrophy, and neural adaptations in trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 25-32.
- Cannon, R. J., & Cafarelli, E. (1987). Neuromuscular adaptations to training. *Journal of Applied Physiology*, 63(6), 2396-2402.
- Carolan, B., & Cafarelli, E. (1992). Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 73(3), 911-917.
- Carpentier, A., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1996). Velocity-dependent muscle strategy during plantarflexion in humans. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 6(4), 225-233.
- Carpentier, A., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1999). Load-dependent muscle strategy during plantarflexion in humans. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(1), 1-11.
- Carroll, T. J., Herbert, R. D., Munn, J., Lee, M., & Gandevia, S. C. (2006). Contralateral effects of unilateral strength training: Evidence and possible mechanisms. *Journal of Applied Physi-*

- ology, 101(5), 1514-1522.
- Carroll, T. J., Riek, S., & Carson, R. G. (2001a). Corticospinal responses to motor training revealed by transcranial magnetic stimulation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(2), 54-59.
- Carroll, T. J., Riek, S., & Carson, R. G. (2001b). Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. *Sports Medicine*, 31(12), 829-840.
- Clement, G., & Rezette, D. (1985). Motor behavior underlying the control of an upside-down vertical posture. *Experimental Brain Research*, 59(3), 478-484.
- Colson, S., Pousson, M., Martin, A., & Van Hoecke, J. (1999). Isokinetic elbow flexion and coactivation following eccentric training. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(1), 13-20.
- Da Fonseca, S. T., Silva, P. L., Ocarino, J. M., Guimaraes, R. B., Oliveira, M. T., & Lage, C. A. (2004). Analyses of dynamic co-contraction level in individuals with anterior cruciate ligament injury. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(2), 239-247.
- De Luca, C. J., & Mambrito, B. (1987). Voluntary control of motor units in human antagonist muscles: coactivation and reciprocal activation. *Journal of Neurophysiology*, 58(3), 525-542.
- Deschenes, M. R., & Kraemer, W. J. (2002). Performance and physiologic adaptations to resistance training. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11 Suppl), S3-16.
- Duchateau, J., & Enoka, R. M. (2002). Neural adaptations with chronic activity patterns in able-bodied humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11 Suppl), S17-27.
- Duchateau, J., & Hainaut, K. (2003). Mechanisms of muscle and motor unit adaptation to explosive power training. In D. G. Sale (Ed.), *Strength and power in sports* (2nd ed.). Oxford, UK: Blackwell Science.
- Ebersole, K. T., Housh, T. J., Johnson, G. O., Perry, S. R., Bull, A. J., & Cramer, J. T. (2002). Mechanomyographic and electromyographic responses to unilateral isometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 192-201.
- Eloranta, V. (1989). Coordination of the thigh muscles in static leg extension. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 29(4), 227-233.
- Engelhorn, R. (1983). Agonist and antagonist muscle EMG activity pattern changes with skill acquisition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(4), 315-323.
- Enoka, R. M. (1988). Muscle strength and its development. New perspectives. *Sports Medicine*, 6(3), 146-168.
- Enoka, R. M. (1997). Neural adaptations with chronic physical activity. *Journal of Biomechanics*, 30(5), 447-455.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of Human Movement* (3rd ed). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Evetovich, T. K., Housh, T. J., Johnson, G. O., Housh, D. J., Ebersole, K. T., & Smith, D. B. (1998). The effects of concentric isokinetic strength training of the quadriceps femoris on mechanomyography and muscle strength. *Isokinetics and Exercise Science*, 7(3), 123-128.
- Falconer, K., & Winter, D. A. (1985). Quantitative assessment of co-contraction at the ankle joint in walking. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 25(2-3), 135-149.
- Ferri, A., Scaglioni, G., Pousson, M., Capodaglio, P., Van Hoecke, J., & Narici, M. V. (2003). Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training in old age. *Acta Physiologica Scandinavica*, 177(1), 69-78.
- Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: Mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Medicine*, 36(2), 133-149.
- Grabiner, M. D., & Weiker, G. G. (1993). Anterior cruciate ligament injury and hamstrings coactivation. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 8, 215-219.
- Gribble, P. L., Mullin, L. I., Cothros, N., & Mattar, A. (2003). Role of cocontraction in arm movement accuracy. *Journal of Neurophysiology*, 89(5), 2396-2405.
- Griffin, L., & Cafarelli, E. (2005). Resistance training: cortical, spinal, and motor unit adaptations. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(3), 328-340.
- Griffin, L., & Cafarelli, E. (2007). Transcranial magnetic stimulation during resistance training of the tibialis anterior muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(4), 446-452.
- Hagood, S., Solomonow, M., Baratta, R., Zhou, B. H., & D'Ambrosia, R. (1990). The effect of joint velocity on the contribution of the antagonist musculature to knee stiffness and laxity. *American Journal of Sports Medicine*, 18(2), 182-187.
- Hakkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., et al. (1998a). Muscle CSA, force production, and activation of leg extensors during isometric and dynamic actions in middle-aged and elderly men and women. *Journal of Aging and Physical Activity*, 6(3), 232-247.
- Hakkinen, K., Alen, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4), 573-585.

- Hakkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiza, E., Izquierdo, M., Rusko, H., et al. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 42-52.
- Hakkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Malkia, E., et al. (1998b). Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology*, 84(4), 1341-1349.
- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1983). Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(6), 455-460.
- Hakkinen, K., Kraemer, W. J., Newton, R. U., & Alen, M. (2001). Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171(1), 51-62.
- Hannaford, B., & Stark, L. (1985). Roles of the elements of the triphasic control signal. *Experimental Neurology*, 90(3), 619-634.
- Hassani, A., Patikas, D., Bassa, E., Hatzikotoulas, K., Kellis, E., & Kotzamanidis, C. (2006). Agonist and antagonist muscle activation during maximal and submaximal isokinetic fatigue tests of the knee extensors. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 16(6), 661-668.
- Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren, G. L., 3rd, & Prior, B. M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2173-2181.
- Hortobagyi, T., Barrier, J., Beard, D., Braspeninx, J., Koens, P., Devita, P., et al. (1996). Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1677-1682.
- Hortobagyi, T., & DeVita, P. (2000). Favorable neuromuscular and cardiovascular responses to 7 days of exercise with an eccentric overload in elderly women. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(8), B401-410.
- Hortobagyi, T., Devita, P., Money, J., & Barrier, J. (2001). Effects of standard and eccentric overload strength training in young women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(7), 1206-1212.
- Hortobagyi, T., Hill, J. P., Houmard, J. A., Fraser, D. D., Lambert, N. J., & Israel, R. G. (1996). Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 765-772.
- Iossifidou, A. N., & Baltzopoulos, V. (1996). Angular velocity in eccentric isokinetic dynamometry. *Isokinetics and Exercise Science*, 6(1), 65-70.
- Jensen, J. L., Marstrand, P. C., & Nielsen, J. B. (2005). Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system. *Journal of Applied Physiology*, 99(4), 1558-1568.
- Judge, L. W., Moreau, C., & Burke, J. R. (2003). Neural adaptations with sport-specific resistance training in highly skilled athletes. *Journal of Sports Sciences*, 21(5), 419-427.
- Kamen, G. (1983). The acquisition of maximal isometric plantar flexor strength: a force-time curve analysis. *Journal of Motor Behavior*, 15(1), 63-73.
- Kamen, G. (2004). Neural issues in the control of muscular strength. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75(1), 3-8.
- Karst, G. M., & Hasan, Z. (1987). Antagonist muscle activity during human forearm movements under varying kinematic and loading conditions. *Experimental Brain Research*, 67(2), 391-401.
- Kellis, E. (1998). Quantification of quadriceps and hamstring antagonist activity. *Sports Medicine*, 25(1), 37-62.
- Kellis, E., & Baltzopoulos, V. (1996). The effects of normalization method on antagonistic activity patterns during eccentric and concentric isokinetic knee extension and flexion. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 6(4), 235-245.
- Kellis, E., & Baltzopoulos, V. (1997). The effects of antagonist moment on the resultant knee joint moment during isokinetic testing of the knee extensors. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76(3), 253-259.
- Kellis, E., & Baltzopoulos, V. (1998). Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(11), 1616-1623.
- Kellis, E., & Baltzopoulos, V. (1999). The effects of the antagonist muscle force on intersegmental loading during isokinetic efforts of the knee extensors. *Journal of Biomechanics*, 32(1), 19-25.
- Kellis, E., & Unnithan, V. B. (1999). Co-activation of vastus lateralis and biceps femoris muscles in pubertal children and adults. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(6), 504-511.
- Klein, C. S., Rice, C. L., & Marsh, G. D. (2001). Normalized force, activation, and coactivation in the arm muscles of young and old men. *Journal of Applied Physiology*, 91(3), 1341-1349.
- Komi, P. V. (1986). Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertro-

- phic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*, 7 Suppl 1, 10-15.
- Komi, P. V., Viitasalo, J. T., Rauramaa, R., & Vihko, V. (1978). Effect of isometric strength training of mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40(1), 45-55.
- Kuruganti, U., Parker, P., Rickards, J., & Tingley, M. (2006). Strength and muscle coactivation in older adults after lower limb strength training. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(9), 761-766.
- Lee, M., & Carroll, T. J. (2007). Cross education: Possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Medicine*, 37(1), 1-14.
- Lee, P. J., Granata, K. P., & Moorhouse, K. M. (2007). Active trunk stiffness during voluntary isometric flexion and extension exertions. *Human Factors*, 49(1), 100-109.
- Leger, A. B., & Milner, T. E. (2001). Muscle function at the wrist after eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(4), 612-620.
- Macaluso, A., Nimmo, M. A., Foster, J. E., Cockburn, M., McMillan, N. C., & De Vito, G. (2002). Contractile muscle volume and agonist-antagonist coactivation account for differences in torque between young and older women. *Muscle & Nerve*, 25(6), 858-863.
- Mademli, L., Arampatzis, A., Morey-Klapsing, G., & Bruggemann, G. P. (2004). Effect of ankle joint position and electrode placement on the estimation of the antagonistic moment during maximal plantarflexion. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(5), 591-597.
- Maganaris, C. N., Baltzopoulos, V., & Sargeant, A. J. (1998). Differences in human antagonistic ankle dorsiflexor coactivation between legs; can they explain the moment deficit in the weaker plantarflexor leg? *Experimental Physiology*, 83(6), 843-855.
- Marsden, C. D., Obeso, J. A., & Rothwell, J. C. (1983). The function of the antagonist muscle during fast limb movements in man. *The Journal of Physiology*, 335, 1-13.
- McComas, A. J. (1994). Human neuromuscular adaptations that accompany changes in activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 26(12), 1498-1509.
- McGrain, P. (1980). Trends in selected kinematic and myoelectric variables associated with learning a novel motor task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(3), 509-520.
- Miller, J. P., Croce, R. V., & Hutchins, R. (2000). Reciprocal coactivation patterns of the medial and lateral quadriceps and hamstrings during slow, medium and high speed isokinetic movements. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(4), 233-239.
- Milner, T. E. (2002). Adaptation to destabilizing dynamics by means of muscle cocontraction. *Experimental Brain Research*, 143(4), 406-416.
- Milner, T. E., Cloutier, C., Leger, A. B., & Franklin, D. W. (1995). Inability to activate muscles maximally during cocontraction and the effect on joint stiffness. *Experimental Brain Research*, 107(2), 293-305.
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58(3), 115-130.
- Morse, C. I., Thom, J. M., Mian, O. S., Muirhead, A., Birch, K. M., & Narici, M. V. (2005). Muscle strength, volume and activation following 12-month resistance training in 70-year-old males. *European Journal of Applied Physiology*, 95(2-3), 197-204.
- Narici, M. V., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., et al. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta physiologica scandinavica*, 157(2), 175-186.
- Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4), 310-319.
- Nielsen, J., & Kagamihara, Y. (1992). The regulation of disynaptic reciprocal Ia inhibition during co-contraction of antagonistic muscles in man. *The Journal of Physiology*, 456, 373-391.
- Osternig, L. R., Caster, B. L., & James, C. R. (1995). Contralateral hamstring (biceps femoris) coactivation patterns and anterior cruciate ligament dysfunction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(6), 805-808.
- Osternig, L. R., Hamill, J., Lander, J. E., & Robertson, R. (1986). Co-activation of sprinter and distance runner muscles in isokinetic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(4), 431-435.
- Osternig, L. R., Robertson, R. N., Troxel, R. K., & Hansen, P. (1990). Differential responses to proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretch techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(1), 106-111.
- Pensini, M., Martin, A., & Maffiuletti, N. A. (2002). Central versus peripheral adaptations following eccentric resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 23(8), 567-574.
- Phillips, S. M. (2000). Short-term training: When do repeated bouts become training? Introduction

- to the symposium. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 25(3), 182-184.
- Pousson, M., Amiridis, I. G., Cometti, G., & Van Hoecke, J. (1999). Velocity-specific training in elbow flexors. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(4), 367-372.
- Psek, J. A., & Cafarelli, E. (1993). Behavior of coactive muscles during fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 74(1), 170-175.
- Reeves, N. D., Narici, M. V., & Maganaris, C. N. (2003). Strength training alters the viscoelastic properties of tendons in elderly humans. *Muscle & Nerve*, 28(1), 74-81.
- Reeves, N. D., Narici, M. V., & Maganaris, C. N. (2004). Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans. *Journal of Applied Physiology*, 96(3), 885-892.
- Reeves, N. D., Narici, M. V., & Maganaris, C. N. (2006). Musculoskeletal adaptations to resistance training in old age. *Manual Therapy*, 11(3), 192-196.
- Rutherford, O. M., & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(1), 100-105.
- Rutherford, O. M., Purcell, C., & Newham, D. J. (2001). The human force:velocity relationship; activity in the knee flexor and extensor muscles before and after eccentric practice. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 84(1-2), 133-140.
- Sale, D. G. (2003). Neural adaptation to strength training. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sports* (2nd ed.). Oxford, UK: Blackwell Science.
- Semmler, J. G., & Enoka, R. M. (2000). Neural contributions to changes in muscle strength. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in sport: The scientific basis of performance* (pp. 3-20). Oxford, UK: Blackwell Science.
- Simoneau, E., Martin, A., Porter, M. M., & Van Hoecke, J. (2006). Strength training in old age: Adaptation of antagonist muscles at the ankle joint. *Muscle & Nerve*, 33(4), 546-555.
- Smith, A. M. (1981). The coactivation of antagonist muscles. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 59(7), 733-747.
- Snow, C. J., Cooper, J., Quanbury, A. O., & Anderson, J. E. (1993). Antagonist cocontraction of knee flexors during constant velocity muscle shortening and lengthening. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 3, 78-86.
- Snow, C. J., Cooper, J., Quanbury, A. O., & Anderson, J. E. (1995). Antagonist cocontraction of knee extensors during constant velocity muscle shortening and lengthening. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5, 185-192.
- Solomonow, M., Baratta, R., Zhou, B. H., & D'Ambrosia, R. (1988). Electromyogram coactivation patterns of the elbow antagonist muscles during slow isokinetic movement. *Experimental Neurology*, 100(3), 470-477.
- Solomonow, M., & Krogsgaard, M. (2001). Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11(2), 64-80.
- Suzuki, M., Shiller, D. M., Gribble, P. L., & Ostry, D. J. (2001). Relationship between cocontraction, movement kinematics and phasic muscle activity in single-joint arm movement. *Experimental Brain Research*, 140(2), 171-181.
- Tyler, A. E., & Hutton, R. S. (1986). Was Sherrington right about co-contractions? *Brain Research*, 370(1), 171-175.
- Valkeinen, H., Ylinen, J., Malkia, E., Alen, M., & Hakkinen, K. (2002). Maximal force, force/time and activation/coactivation characteristics of the neck muscles in extension and flexion in healthy men and women at different ages. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 88(3), 247-254.
- Weir, J. P., Keefe, D. A., Eaton, J. F., Augustine, R. T., & Tobin, D. M. (1998). Effect of fatigue on hamstring coactivation during isokinetic knee extensions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(6), 555-559.
- Zehr, E. P., & Sale, D. G. (1994). Ballistic movement: muscle activation and neuromuscular adaptation. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19(4), 363-378.
- Zehr, E. P., Sale, D. G., & Dowling, J. J. (1997). Ballistic movement performance in karate athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(10), 1366-1373.
- Zhou, S. (2000). Chronic neural adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. *Exercise and sport sciences reviews*, 28(4), 177-184.

