

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Νευρομυϊκές Αλλαγές κατά τη Γήρανση

Θεοδώρα Πλαβούκου¹, Σ. Παναγιώτης¹, Π. Σωφρονιάδη¹, Α. Σπυράνης¹

¹ Φυσικοθεραπευτές

Επικοινωνία: Σωφρονιάδη Πηνελόπη, Αιγαίου 25, Τ.Κ. 12136

Email: sofroniadi_pinelopi@yahoo.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για πολύ καιρό υπήρχε η άποψη ότι η διαδικασία της γήρανσης είναι αυστηρώς προγραμματισμένη στο γενετικό αρχείο κάθε είδους, το οποίο έχει ορισμένο χρόνο ζωής. Το γεγονός αυτό παραλληλίζεται με την προγραμματισμένη γενετική ανάπτυξη των φάσεων του κύκλου της ζωής.

Η διαδικασία της γήρανσης παραμένει και σήμερα ένα αίνιγμα, αποτελεί αντικείμενο έρευνας αλλά είναι δύσκολο να καθιερωθεί μια αρχική αιτία και να διατυπωθεί μια θεωρία ενοποίησης, που να εξηγεί τη μοριακή βάση πίσω από τη διαδικασία αυτή (Vandervoort 2002), καθώς οι ερευνητικές προσπάθειες στο πεδίο αυτό βρίσκονται σε νηπιακό στάδιο. Για αυτό το λόγο τα αίτια της γήρανσης ερευνώνται σε διάφορα συστήματα του οργανισμού μας. Το φάσμα αυτών των συστημάτων είναι μεγάλο. Από τη λειτουργία, για παράδειγμα, του ανοσοποιητικού συστήματος -η εκφύλιση του οποίου οδηγεί σε ελλιπή αντιμετώπιση μολυσματικών νόσων, γεγονός το οποίο αποδίδεται σε ανώμαλα πρωτεϊνικά επίπεδα, που φαίνεται να αυξάνονται σε συχνότητα με την ηλικία- μέχρι την ενδοκρινολογία της γήρανσης, τις δομικές αλλαγές στον εγκέφαλο, τη μνήμη κ.α.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια ανασκόπησης της διεθνούς αρθρογραφίας με σκοπό να καταστεί κατανοητή, σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα, η διαδικασία της γήρανσης, ο τρόπος με τον οποίο επιδρά στο μυϊκό ιστό και η κατάλληλη φυσικοθεραπευτική προσέγγιση και αντιμετώπιση των ελλειμμάτων που προκύπτουν.

Παρατίθενται στοιχεία για την επίδραση της γήρανσης σε επίπεδο μυϊκού κυττάρου, στον νευρικό ιστό, στη δομή ολόκληρου του μυός και στις παραμέτρους της μυϊκής απόδοσης και της λειτουργικότητας.

Σε γενικές γραμμές, παρατηρείται πτώση στις βασικές κυτταρικές λειτουργίες (πρωτεϊνοσύνθεση, ενζυμική δραστηριότητα, αντιγραφή mtRNA, ROS), που οδηγεί σε αύξηση των καταβολικών και μείωση των αναβολικών δραστηριοτήτων του κυττάρου. Επίσης, παρατηρείται εκφύλιση του κινητικού νευρικού συστήματος (μείωση αριθμού κινητικών νευρώνων, μείωση της ταχύτητας αγωγής ερεθίσματος, βλάβες στις νευρομυϊκές συνάψεις), με συνεπαγόμενες αλλοιώσεις στη δομή ολόκληρου του μυός. Οι διαδικασίες αυτές, με τη σειρά τους, προκαλούν εμφανείς αλλαγές στις συνιστώσες της μυϊκής απόδοσης (δύναμη, αντοχή, ισχύς), οι οποίες θέτουν σοβαρούς περιορισμούς στις λειτουργικές ικανότητες των ηλικιωμένων.

Επιπροσθέτως, γίνεται μια αναφορά στη φυσικοθεραπευτική παρέμβαση, η οποία, με κύριο μέσο την άσκηση, συμβάλλει στην πρόληψη και την μερική αποκατάσταση των κινητικών λειτουργικών ελλειμμάτων κατά τη γήρανση και επιβραδύνει τους ρυθμούς των εκφυλιστικών διαδικασιών.

Λέξεις κλειδιά: γήρανση, μυϊκός ιστός, νευρομυϊκές αλλαγές, άσκηση

Τα τελευταία χρόνια έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες, για να καταστεί η διαδικασία της γήρανσης περισσότερο κατανοητή. Έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μιτοχονδριακή θεωρία, σύμφωνα με την οποία είναι αποδεκτό ότι η γήρανση σχετίζεται με τη συσσώρευση αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS-reactive oxygen species), την προκληθείσα οξειδωτική ζημιά και τη λειτουργική έκπτωση στα μιτοχόνδρια (Marzani et al 2005). Κατά τους Melon et al (2000), έχει παρουσιαστεί ότι η ενδογενής παραγωγή ROS σε φυσιολογικές διαδικασίες είναι ένα σημαντικό μέτρο για την διάρ-

κεια της ζωής.

Η μιτοχονδριακή θεωρία είναι, επίσης, βασισμένη στη συσσώρευση των καταστρεπτικών μεταλλαγών του mtRNA κατά τη διάρκεια της ζωής (Melon et al 1995, Wei et al 1996, Kovalenko et al 1998, Holliday 2000, Wang et al 2001). Τέτοιες μεταλλαγές του mtRNA προκαλούν διαγραφές, αντικαταστάσεις βάσεων, σύντομους διπλασιασμούς, οξειδωτική ζημιά, παρεμποδίζουν την κυτταρική παραγωγή ATP και προκαλούν παρέμβαση στην αναπνευστική λειτουργία των αλυσίδων των μιτοχονδρίων και των μυών (Kunz et al 2000).

Επιπροσθέτως, η γήρανση

Neuromuscular changes during aging**ABSTRACT**

The aim of the present study is to review the current data concerning aging, the way it affects the muscle tissue and the proper therapeutic approach in order to deal with the age-related deficits.

Information is focused on the effect of aging on the muscle cell, the nervous system, the muscle morphology and on the parameters of muscle function and functional ability.

Generally, reductions take place at the basic cellular functions (protein synthesis, enzyme activities, mtRNA transcription, ROS), that cause an increase of catabolic and a decrease of anabolic cellular activities. Moreover, degenerative procedures of the nervous system take place (a decrease in the number of motor neurons, a decrease in nerve conduction velocity, neuromuscular junction degeneration), that cause changes at the muscle function and morphology. These procedures severely alter the parameters of muscle function (muscle strength, endurance, power), and set important limitations on the functional abilities of the elderly.

Moreover, a report about the physiotherapist's intervention is made, who, by means of exercise, contributes in the prevention and the partial rehabilitation of kinetic functional deficits and decelerates the degenerative processes.

Key words: aging, muscle tissue, neuromuscular changes, exercise

γίνεται κατανοητή με τον εξελικτικό τρόπο –θεωρία, σύμφωνα με τον οποίο η φυσική επιλογή ευνοεί έντονα τη γενετική παραλλαγή μέσω των μεταλλάξεων (Cortopassi and Wong 1999). Άλλη μια θεωρία είναι η τελομεριδική, σύμφωνα με την οποία τα τελομερή -τα άκρα των χρωμοσωμάτων τα οποία έχουν σταθερό μήκος- σταδιακά χάνουν το μήκος τους με αποτέλεσμα την προοδευτική μείωση της ικανότητας διαίρεσης, η οποία οδηγεί σε κυτταρικές αλλαγές, οι οποίες σχετίζονται με την γήρανση (Bodnar et al 1998).

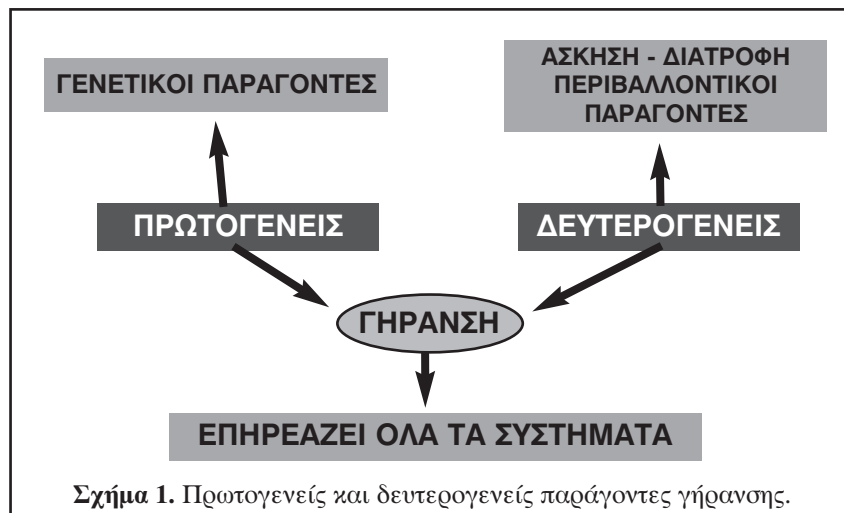
Εν τέλει, η γήρανση ευθύνεται για έναν αριθμό φυσιολογικών τροποποιήσεων στο ανθρώπινο σώμα που περιλαμβάνουν μείωση των αερόβιων και λειτουργικών ικανοτήτων, έχει μια χαρακτηριστική επίδραση στους σκελετικούς μύς και σχετίζεται με μείωση στη μάζα, τη δύναμη και την ταχύτητα συστολής (Fulle et al 2004).

Οι γενετικοί παράγοντες, από

τους οποίους εξαρτάται η γήρανση, αποτελούν τους πρωτογενείς παράγοντες, οι οποίοι όχι μόνο δεν είναι δυνατό να επηρεαστούν, αλλά ούτε καν να κατανοηθούν πλήρως, τουλάχιστον προς το παρόν. Αντίθετα, οι παράγοντες, που αναφέρονται ως δευτερογενείς (περιβαλλοντικοί παράγοντες, άσκηση, διατροφή κ.ά.), αν και δεν μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την αναπόφευκτη εκφυλιστική διαδικασία της γήρανσης, ωστόσο επηρεά-

ζουν σαφώς το προσδόκιμο ζωής, την ποιότητα ζωής και το καλώς ή κακώς «λειτουργούν» κάθε συστήματος του οργανισμού.

Στους δευτερογενείς αυτούς παράγοντες είναι που επεμβαίνουν όλοι οι επαγγελματίες υγείας, και ανάμεσα τους οι φυσικοθεραπευτές. Συγκεκριμένα, οι τελευταίοι επεμβαίνουν στον παράγοντα φυσική δραστηριότητα ως θεραπευτικό και ως προληπτικό μέσο. Βέβαια, για να είναι επιτυχημένο ένα πρόγραμμα φυσικοθεραπείας σε άτομα τρίτης ηλικίας, θα πρέπει ο φυσικοθεραπευτής να έχει πλήρη γνώση του πώς επηρεάζει η γήρανση όλους τους βιολογικούς ιστούς, πώς τα μέσα που διαθέτει μπορούν να περιορίσουν ή να καθυστερήσουν τις συνέπειες της γήρανσης στον οργανισμό και σε ποιες περιπτώσεις μπορεί πραγματικά να επέμβει. Οι συνέπειες της γήρανσης, που περισσότερο ενδιαφέρουν τους φυσικοθεραπευτές, είναι αυτές που λαμβάνουν χώρα στο μυϊκό ιστό κυρίως, αλλά και στο νευρικό ιστό, στον οστίτη και στο καρδιαγγειακό σύστημα.



ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΕ ΚΥΤΤΑΡΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Η γήρανση σχετίζεται με μια σειρά βιοχημικών αλλαγών, οι οποίες έχουν πολλαπλά αποτελέσματα και σε αδρές γραμμές πλήττουν βασικά στοιχεία του μεταβολισμού, δομικά και ενεργειακά μόρια όπως οι πρωτεΐνες και το DNA, και οδηγούν στη συσσώρευση αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS).

Τέτοια αντιδραστικά στοιχεία, διαμορφώνονται σε όλους τους ιστούς, οδηγούν σε οξειδωτική πίεση, η οποία βλάπτει κυτταρικά στοιχεία - DNA, πρωτεΐνες και λιπίδια - με συνέπεια ζημιά σε κύτταρα και ιστούς, διακυτταρικές και μεσοκυττάρειες μεμβράνες μυϊκών ινών. Κατά τη γήρανση η παραγωγή ROS αυξάνεται λόγω μιας μεταλλαγμένης λειτουργίας της αναπνευστικής αλυσίδας και μιας ανεπαρκούς λειτουργίας αντιοξειδωτικών κυψελών (Fulle et al 2004).

Η συσσώρευση αυτή ROS και η οξειδωτική ζημιά προκαλεί αλλαγή στους ρυθμιστικούς μηχανισμούς μυών όπως ο μηχανισμός συζεύξεων συστολής-διέγερσης, που ελέγχει τις μετακινήσεις ασβεστίου μέσα και έξω από το σαρκοπλασματικό δίκτυο (Meydani and Evans 1993). Προκαλεί επίσης, την αύξηση των οξειδωτικών προϊόντων (Mecocci et al 1999) με την ηλικία και μια χαρακτηριστική αύξηση στον αριθμό και την ποικιλία των μιτοχονδριακών αναδιοργανώσεων DNA (Melon et al 1995).

Οι Kent-Braun και Ng (2000) διαπίστωσαν μείωση στην οξειδωτική ικανότητα του ανθρωπί-

νου σκελετικού μυός, ως αποτέλεσμα γήρανσης, ενώ και οι Hepple et al (2003) διαπίστωσαν μειωμένη οξειδωτική ικανότητα στον σκελετικό μυ αρουραίων, που προκάλεσε μια ελάττωση στην αεροβική δραστηριότητα και αυτό θα μπορούσε να συνδεθεί με μια ηλικιακή μείωση στην αναπνευστική δραστηριότητα των μιτοχονδρίων.

Οι σκελετικοί μύες είναι μοναδικοί στις απαιτήσεις τους, και η δυνατότητα να αναληφθούν οι πολύ γρήγορες αλλαγές στον ενεργειακό ανεφοδιασμό και στη παραγωγή οξυγόνου στη διάρκεια της συστολής, τους καθιστά επιρρεπείς στην αύξηση αντιδραστικών ειδών οξυγόνου, ως αποτέλεσμα αύξησης της ροής ηλεκτρονίων στην αναπνευστική αλυσίδα, που οδηγεί σε μειωμένη αντιοξειδωτική ικανότητα, της οποίας, πιθανότατα, μέγιστος παραγωγός είναι η αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων (Lee and Wie 1997).

Έχοντας, λοιπόν, ήδη αναφερθεί στη μείωση της αεροβικής δραστηριότητας, σχετικά με τα ενεργειακά συστήματα παρατηρείται μείωση με την ηλικία στο μεταβολισμό της γλυκόζης και των λιπαρών οξέων (Johnson et al 1999) και γενικότερα σε ενεργειακά μόρια όπως το κιτρικό άλας και το ATP, αλλά και στις καρβοξυλάσες, δηλαδή στην ενζυμική δραστηριότητα στον κύκλο του Krebs. Επίσης παρατηρούνται μειωμένες δραστηριότητες αλκαλικής φωσφατάσης και αυξημένα επίπεδα όξινης φωσφατάσης, τα οποία ευρήματα καταδεικνύουν τις αυξανόμενες καταβολικές διαδικασίες στους

γηραιούς μύες (Carmeli et al 1993, Safadi et al 1997). Οι μειωμένες, επίσης, δραστηριότητες της αλκαλικής φωσφατάσης ενδέχεται να προκαλέσουν διάσπαση ή ζημιά στο σαρκείλημα, προοδευτική απώλεια των πρωτεϊνών στο μυ, η οποία οδηγεί σε μείωση στον αριθμό και το μέγεθος των σαρχομερίων (Fruhbeck et al 1996).

Συνεχίζοντας την αναφορά μας σε ενζυμικά μόρια και στην ενζυμική δραστηριότητα, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αλλαγές στις διεργασίες του πρωτεϊνικού κύκλου (σύνθεση, υποβάθμιση, επισκευή) στον μυ που γερνά και αυτό επιδρά στις μεταβολικές ικανότητες και στην πρωτεϊνοσύνθεση. Μείωση στην πρωτεϊνοσύνθεση με την ηλικία έχουν διαπιστώσει πολλοί ερευνητές (Viner et al 1999, Nair 2000, Welle et al 1995). Έχει, επίσης, βρεθεί και μείωση κατά 40% του ποσοστού της μιτοχονδριακής πρωτεϊνοσύνθεσης (Kwong and Sohal 2000) και κατά τους Rooyackers et al. (1997) αναφέρεται μικρότερο ποσοστό σύνθεσης μιτοχονδριακών πρωτεϊνών στους σκελετικούς μύς με την πάροδο της ηλικίας. Τέλος, οι Florini et al (1985) και Willis et al (1998) διαπίστωσαν ότι η αυξητική ορμόνη η οποία υποκινεί τη σύνθεση HSCFi, συστατικό που είναι βιολογικός μεσολαβητής για την πρωτεϊνοσύνθεση, μειώνεται στους γερασμένους μύς, γεγονός το οποίο εν μέρει οδηγεί στη μειωμένη πρωτεϊνοσύνθεση.

Σε μια έρευνα τους οι Short et al. (2004) κατέγραψαν ότι η καταστροφή των πρωτεϊνών

αυξάνεται 4-5% ανά δεκαετία με μείωση 3% της μυϊκής μάζας, η οποία παρατηρείται μετά την τέταρτη δεκαετία της ζωής. Οι Balagopal et al (1997) διαπίστωσαν ότι το ποσοστό σύνθεσης μικτών πρωτεϊνών των μυών και πρωτεϊνών ολόκληρου του σώματος είναι μικρότερο στους ηλικιωμένους άνω των 65 ετών από ότι στους μεσήλικες 45-55 ετών και τους νέους 18-30 ετών. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σαρκοπλασματική πρωτεϊνοσύνθεση δεν διέφερε στις τρεις πληθυσμιακές ομάδες. Ενδιαφέρον είναι ότι ο ρυθμός σύνθεσης μυοσίνης, η οποία είναι πρωτεΐνη κλειδί για τη σύσπαση, μπορεί να καθορίσει τη μυϊκή δύναμη. Επιπροσθέτως, η σύνθεση της βαριάς αλυσίδας μυοσίνης (MHC), πρωτεΐνης αρμόδιας για την υδρόλυση του ATP μειώνεται στους ηλικιωμένους (Balagopal et al 2001). Παρόμοια μελέτη καταδεικνύει μείωση και στον ρυθμό σύνθεσης ακτίνης (Barazzoni et al 2000).

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η γήρανση επιφέρει αλλαγές στη δραστηριότητα της Na,K-ATPάσης στους σκελετικούς μυς, οι οποίες έχουν σημαντικές φυσιολογικές και παθολογικές συνέπειες. Επειδή η Na,K-ATPάση έμμεσα διαμορφώνει τη συσταλτική λειτουργία του σκελετικού μυός, οπότε οι αλλαγές στη δραστηριότητά της μπορεί να παίξουν ρόλο στη σχετιζόμενη με την ηλικία πρόωγη μυϊκή κόπωση, μια παθολογική κατάσταση με σύνθετη αιτιολογία. Ακόμη, μείωση της δραστηριότητας της Na,K-ATPάσης στο σκελετικό μυ μπορεί να εκθέσει το μυοκάρδιο σε υψηλότερα εξωκυτταρικά επί-

πεδα Καλίου, γεγονός που θα μπορούσε να επηρεάσει την ηλεκτροφυσιολογία του μυοκαρδίου (Zhang et al 2006).

Για τα δομικά τώρα μόρια οι Barazzoni et al (2000), μετά από έρευνα σε τρωκτικά, παρατήρησαν ότι υπάρχει μείωση στον αριθμό αντιγραφών μιτοχονδριακού DNA με την γήρανση και μεγαλύτερες αλλαγές συντελούνται στους οξειδωτικούς μυς (μύες που αποτελούνται κυρίως

**Το ποσοστό σύνθεσης
μικτών πρωτεϊνών των
μυών και πρωτεϊνών
ολόκληρου του
σώματος είναι μικρότε-
ρο στους ηλικιωμένους
άνω των 65 ετών από ότι
στους μεσήλικες 45-55
ετών και τους νέους
18-30 ετών**

από μυϊκές ίνες τύπου I και στους οποίους παράγεται ενέργεια κυρίως με αερόβιο τρόπο). Έρευνες δείχνουν, επίσης, διαγραφή μιτοχονδριακού DNA αλλά και μείωση με την ηλικία στα επίπεδα mRNA των μιτοχονδριακών πρωτεϊνών, που κωδικοποιούνται από μιτοχονδριακά και πυρηνικά γονίδια (Balagopal et al 1997, Short et al 2004).

Τέλος, επισημαίνεται ότι οι Volpi et al (2001) δε βρήκαν καμία διαφορά (ή υποβάθμιση) ανάμεσα στους ηλικιωμένους και

τους νέους στην πρωτεϊνοσύνθεση ολόκληρου του σώματος και στην μικτή πρωτεϊνοσύνθεση των μυών. Πιθανός παράγοντας που οδήγησε σε αυτό το αποτέλεσμα, το οποίο έρχεται σε αντίθεση με ότι έχει προαναφερθεί, είναι η έλλειψη τυποποίησης της διατροφής και φυσικών δραστηριοτήτων του δείγματος κατά τη διάρκεια της μελέτης.

Ένας άλλος πιθανός παράγοντας, που θα μπορούσε να επηρεάσει τις μετρήσεις της μυϊκής πρωτεϊνοσύνθεσης, είναι η περιοχή των επαναλαμβανόμενων βιοψιών. Θεωρητικά, επαναλαμβανόμενες βιοψίες από την ίδια περιοχή, μεταβάλλουν τη διαδικασία πρωτεϊνοσύνθεσης, εξαιτίας της αντίδρασης στον τραυματισμό, το οποίο σημαίνει ερέθισμα για αναδιαμόρφωση της διαδικασίας. Η αναδιαμόρφωση αυτή περιλαμβάνει αυξημένη πρωτεϊνοσύνθεση (Karakelides and Nair 2005).

Ένα άλλο σύνθημα πρόβλημα σε όλες τις cross-sectional ανθρώπινες μελέτες, είναι ότι μελετώνται διαφορετικές γενιές ανθρώπων, οι οποίοι είναι εκτεθειμένοι σε διαφορετικές περιβαλλοντικές επιρροές. Είναι πιθανό, ότι όλες οι παρατηρούμενες αλλαγές, δεν είναι αποκλειστικά εξαιτίας της επίδρασης του γήρατος, αλλά και εξαιτίας των αλλαγών στο περιβάλλον που η κάθε γενιά έζησε. Επίσης, αλλαγές στους παράγοντες διατροφής, ασθένειες, επίπεδο άσκησης και άλλοι άγνωστοι παράγοντες μπορεί να συμβάλλουν και στην μυϊκή έκπτωση (Karakelides and Nair 2005).

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΝ ΝΕΥΡΙΚΟ ΙΣΤΟ

Πολλές είναι οι εκφυλιστικές αλλαγές λόγω ηλικίας που παρατηρούνται στο νευρικό σύστημα και επηρεάζουν τους σκελετικούς μύες. Αυτές, αν και ξεκινάνε αμέσως μετά την ολοκλήρωση της ωρίμανσης του αισθητικό-κινητικού νευρικού ιστού (15 έτη), διατηρούνται σε σταθερά επίπεδα μέχρι τα 60 έτη (Thomas et al 1997, Booth et al 1994).

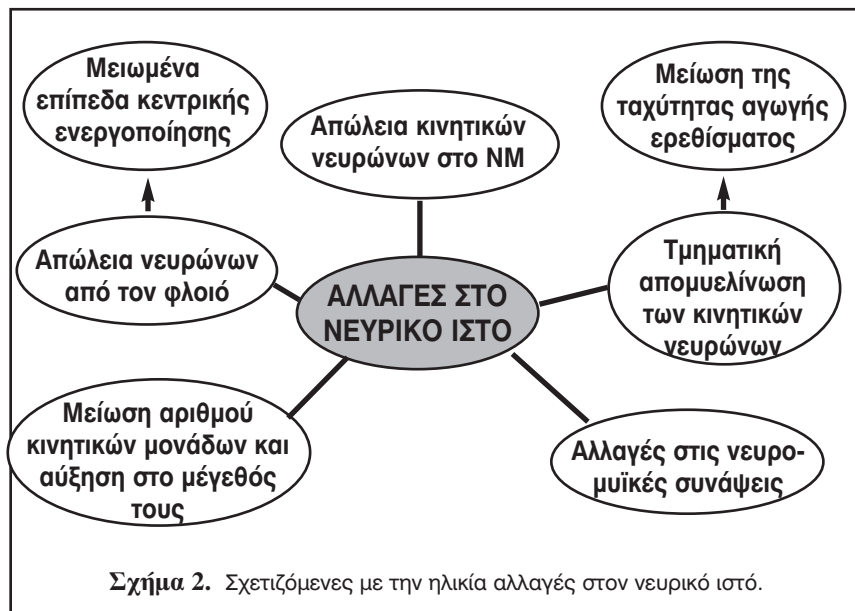
Όσον αφορά στο κεντρικό νευρικό σύστημα, σε πληθυσμό που εξετάστηκε από τους Stevens et al (2001), βρέθηκε πως τα επίπεδα κεντρικής ενεργοποίησης του νευρικού συστήματος για την παραγωγή συστολής ήταν μειωμένα στο 40% του ηλικιωμένου πληθυσμού. Οι Yue et al (1999) υποστηρίζουν πως η μείωση αυτή οφείλεται, εν μέρει, και στην απώλεια νευρώνων από τον φλοιό. Στο επόμενο επίπεδο, στο νωτιαίο μυελό, παρατηρείται σημαντική μείωση στον αριθμό των κινητικών νευρώνων σε ηλικιωμένα άτομα (Lexell et al 1986). Συγκεκριμένα, οι Tomlinson και Irving (1977) παρατήρησαν αυξημένο αριθμό νεκρών νευρώνων στη σπονδυλική στήλη ηλικιωμένων άνω των 60, που έφτανε μέχρι το 50%.

Σε επίπεδο περιφερικού νευρικού συστήματος, οι αλλαγές περιλαμβάνουν τμηματική απομυελίνωση των κινητικών νευρώνων (Fuglsang- Frederiksen 1997) που οδηγεί σε μείωση της ταχύτητας αγωγής ερεθίσματος (Wang et al 1999) και απώλεια κινητικών νευρώνων (Doherty et al 1993, Monemi et al 1998, Galea 1996). Η απώλεια κινητικών νευ-

ρώνων λαμβάνει χώρα ανεξάρτητα από τον τύπο των μυϊκών ινών που νευρώνουν (Doherty et al 1993). Το νευρικό σύστημα, πάντως, με σκοπό να μειώσει τον ρυθμό απώλειας της μυϊκής δύναμης, που προκαλείται από τη μείωση του αριθμού των κινητικών νευρώνων, χρησιμοποιεί έναν αντισταθμιστικό μηχανισμό. Μετά την απώλεια κάποιων κινητικών νευρώνων ενός μυ και την έλλειψη νευρώσεως των αντίστοιχων μυϊκών ινών, κάποιιοι από τους γειτονικούς εναπομείναντες νευρώνες παράγουν επιπλέον αξονικές διακλαδώσεις, οι οποίες συνδέονται με μερικές από αυτές τις "ορφανές" μυϊκές ίνες (Vandervoort 2002). Την υπόθεση αυτή υποστηρίζει και η ομα-

στο 50% και οι McNeil et al (2005) στο 40% σε πολύ ηλικιωμένα άτομα. Επίσης παρατηρείται αύξηση στο μέγεθος των κινητικών μονάδων (δηλαδή κάθε κινητική μονάδα εμπεριέχει περισσότερες μυϊκές ίνες) (Stalberg and Fawcett 1982).

Τέλος, στις αλλαγές στον νευρικό ιστό πρέπει να αναφερθούν και οι αλλαγές στην νευρομυϊκή σύναψη. Οι Lexell et al (1994) αναφέρουν μείωση στην απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών και μείωση του αριθμού των υποδοχέων ακετυλοχολίνης, ενώ ο Oda (1984) αναφέρει αύξηση στο μήκος της τελικής κινητικής πλάκας (ΤΚΠ), τεμαχισμό αυτής και αυξημένο αριθμό διακλαδώσεων στους προσυναπτικούς άξονες.



δοποίηση 'κατά τύπο' μυϊκών ινών που παρατήρησαν οι Lexell et al (1986). Λόγω αυτών των αλλαγών παρατηρείται μείωση στον αριθμό των κινητικών μονάδων (Brown 1972, Campbell et al 1973, Sica et al 1976), την οποία οι Brown et al (1988) υπολόγισαν

Επίσης ανέφερε πως η ΤΚΠ αποτελείται από μεγαλύτερο αριθμό μικρότερων ομάδων υποδοχέων ακετυλοχολίνης, ενώ εντοπίστηκαν διάσπαρτοι περιυναπτικοί υποδοχείς, κάτι που δεν παρατηρείται σε νέους ανθρώπους.

ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΜΥΟΣ

Οι προαναφερθείσες αλλαγές στη σύσταση του μυϊκού κυττάρου και στο νευρικό σύστημα, καθώς και η συνήθης μείωση της δραστηριότητας που επέρχεται με την αύξηση της ηλικίας, αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τη μορφολογία των μυών. Εμφανείς και υψηλής σημασίας αλλαγές συμβαίνουν στον αριθμό και το μέγεθος των μυϊκών ινών, στην αναλογία του τύπου των μυϊκών ινών, στην μυϊκή μάζα, στην αναλογία συνδεδεμένου ιστού στον μυ κ.λ.π.

Όσον αφορά στον αριθμό των μυϊκών ινών, αυτός μειώνεται με βάση μηχανισμούς που είναι εξειδικευμένοι για κάθε μυ, λόγω γενετικού ελέγχου, φυσικής δραστηριότητας, νευρικών και ορμονικών προσαρμογών (Monemi et al 1996). Έτσι στον έξω πλατύ μυ παρατηρείται μείωση του συνολικού αριθμού των ινών κατά 39% από τα 20 στα 80 έτη (μέγιστος αριθμός ινών στα 24.2 έτη), χωρίς σημαντική αλλαγή στην αναλογία ινών τύπου I και τύπου II (Lexell et al 1988) ή με αύξηση στην αναλογία ινών τύπου I (Larsson et al 1978). Αντίθετα, στο δικέφαλο βραχιόνιο η μείωση αφορά περισσότερο τις ίνες τύπου IIβ, προκαλώντας έτσι μια μείωση στην αναλογία "γρήγορων" ινών (Monemi et al 1996). Γενικά, οι ερευνητές συμφωνούν πως η μείωση του αριθμού των ινών αφορά περισσότερο στις ίνες τύπου II παρά τύπου I (Lexell 1995, Coggan et al 1990, Kirkendall and Garrett 1998, Larsson et al 1978), με συνεπαγόμενη αύξηση στην αναλογία ινών τύπου I (Golnick et al 1972,

Holloszy et al 1991).

Αυτό το πρότυπο αλλαγής, αν και το πιο σύνηθες, δεν ισχύει για όλους τους μυς. Σε αντίθεση με τους μυς των άκρων, λοιπόν, στον μασητήρα η μείωση του αριθμού των ινών αφορά κυρίως ίνες τύπου I, η αναλογία των

Εμφανείς και υψηλής σημασίας αλλαγές συμβαίνουν στον αριθμό και το μέγεθος των μυϊκών ινών, στην αναλογία του τύπου των μυϊκών ινών, στην μυϊκή μάζα, στην αναλογία συνδεδεμένου ιστού στον μυ κλπ.

οποίων μειώνεται από 79% στους νέους σε 57% στους ηλικιωμένους, ενώ παράλληλα παρατηρείται αύξηση στον αριθμό ινών τύπου IIα και IIβ (οι οποίες είναι σπάνιες ως ελάχιστες στους νέους). Η πιθανή εξήγηση, που παρέχεται από τους συγκεκριμένους ερευνητές, για το φαινόμενο της αλλαγής στην αναλογία των ινών είναι η επιλεκτική απώλεια των "αργών" κινητικών νευρώνων και η επανανεύρωση των ινών τύπου I από "γρήγορους" κινητικούς νευρώνες, για τον μασητήρα (Monemi et al 1996), ενώ το αντίστροφο φαίνεται να ισχύει για τους μυς των άκρων (Lexell 1995). Η μείωση του αριθμού των ινών είναι αργή μέχρι τα 50 έτη και μετά επιταχύνεται, προκαλώντας στα 80 έτη απώλειες μέχρι και 50% στον

αριθμό των ινών (Lexell 1995).

Εκτός από τις αλλαγές στον αριθμό και την αναλογία των ινών, με την αύξηση της ηλικίας επηρεάζεται σημαντικά και η διάμετρος των ινών. Παρατηρείται μείωση στο μέγεθος των ινών, η οποία αφορά περισσότερο τις ίνες τύπου II (Coggan et al 1990), αν και αυτή η μείωση είναι διαφορετική για κάθε μυ. Έτσι, στον έσω πλατύ, οι ίνες τύπου I δεν επηρεάστηκαν σε μέγεθος από την αύξηση της ηλικίας, ενώ οι τύπου II μειώθηκαν σημαντικά, κατά 26% από τα 20 στα 80 έτη (Lexell et al 1988). Οι Lexell & Downham (1992) υποστηρίζουν πως, αν και η αναλογία στον τύπο ινών στον έξω πλατύ δεν αλλάζει με την ηλικία, το μέγεθος των ινών τύπου II μειώνεται πολύ, προκαλώντας εμφανή απώλεια συστατικού ιστού ταχείας συστολής. Στον δικέφαλο βραχιόνιο και τον μασητήρα ηλικιωμένων η μείωση στη διάμετρο αφορούσε εξίσου τις ίνες τύπου I και τύπου II (Monemi et al 1996). Στο μακρό πελματικό μειώθηκε κατά 37% το μέγεθος των ινών τύπου IIβ, μείωση που προκάλεσε το μεγαλύτερο μέρος από τη μείωση στη μάζα του μυός (30%) (Holloszy et al 1991). Οι Husom et al (2005) αναφέρουν μείωση 15% στο πάχος των ινών τύπου I του υποκνημιδίου σε ηλικιωμένα ποντίκια και καμία μείωση στις αντίστοιχες ίνες του γαστροκνημίου. Σημειώνουν, επίσης, πως κατά την έλλειψη δραστηριότητας οι ίνες των ηλικιωμένων εμφανίζουν μικρότερη μείωση στη διάμετρο από τις "νεαρές" ίνες (10% και 23% αντιστοίχως). Οι Monemi et al (1999) αναφέρουν πως η διάμετρος των ινών του έξω πτερυγοειδή ήταν μικρό-

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

τερη για όλες τις ίνες, κυρίως τις Ιβ, ενώ και για τον διγάστορα η μείωση στη διάμετρο αφορούσε όλες τις ίνες. Τα αποτελέσματα της έρευνας των Fraysse et al (2006) έδειξαν πως η μείωση στη διάμετρο των ινών του γαστροκνημίου (ο οποίος αποτελείται κυρίως από τύπου ΙΙ) ήταν 31% και του υποκνημιδίου (κυρίως από τύπου Ι) 10%. Φαίνεται, λοιπόν, πως και από αυτή την αλλαγή επηρεάζονται περισσότερο οι ίνες τύπου ΙΙ.

Η μείωση στον αριθμό (Lexell et al 1988) και το μέγεθος των ινών (Roubenoff and Castaneda 2001, Lexell 1985), οι νευρολογικές αλλαγές που προαναφέρθηκαν, σε συνδυασμό με την αδράνεια και τη μείωση της δραστηριότητας (Lexell et al 1988, Fitts et al 2001) οδηγούν σε γρήγορη και σημαντική απώλεια μάζας και δύναμης. Το φαινόμενο ονομάζεται σαρκοπενία και, όπως και τα αίτια που το προκαλούν, διαφέρει από μυ σε μυ. Γενικά επηρεάζει εντονότερα τους άνδρες από ότι τις γυναίκες (Janssen et al 2000) και έχει μεγαλύτερη επίδραση στους μυς των κάτω άκρων από ότι σε αυτούς των άνω άκρων (Dutta and Hadley 1995, Mizuno 1991).

Η απώλεια της μυϊκής μάζας υπολογίστηκε στο 20%-30% από τα 20 στα 80 έτη (Carmeli et al 2002) ενώ οι Frontera et al (2000) μέτρησαν την ίδια μείωση σε άτομα 70 ετών. Από τους μυς των άκρων, περισσότερο επηρεάζονται αυτοί με μεγαλύτερη αναλογία σε ίνες τύπου ΙΙ (Fraysse et al 2006, Thompson, 2002, Frontera et al 2000, Kirkendall and Garrett 1998, Lexell and Downham 1992). Έτσι, ο γαστροκνήμιος

χάνει περισσότερη μάζα και δύναμη από τον υποκνημίδιο (Thompson et al 1998). Οι Holloszy et al (1991), με πειράματα σε ποντίκια, υπολόγισαν την απώλεια μάζας τετρακεφάλου και γαστροκνημίου στο 27% (οι μύες αυτοί έχουν πολύ μεγάλη αναλογία σε ίνες τύπου ΙΙ), ενώ αυτή του υποκνημιδίου (89% τύπου Ι) μόλις στο 11%. Οι Lexell et al (1988) υπολόγισαν την μείωση στην επιφάνεια διατομής του έξω πλατύ στο 40% από τα 20 στα 80 έτη. Στα 50 έτη, η αντίστοιχη μείωση ήταν 10% και στη συνέχεια επιταχύνθηκε.

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε και τις αλλαγές που σχετίζονται με τα υπόλοιπα είδη ιστών που βρίσκονται στον μυ. Η εναπόθεση ενδομυϊκώς λιπώδους και συνδετικού ιστού αυξάνεται στους ηλικιωμένους μυς (Kent-Braun and Ng 2000). Συγκεκριμένα, ενώ σε νεαρά άτομα οι άλλοι ιστοί (εκτός του μυϊκού) καλύπτουν το 30% της επιφάνειας διατομής του μυός, σε ηλικιωμένους καλύπτουν μέχρι και το 50% της επιφάνειας διατομής (Lexell et al 1988). Η αύξηση σε αυτούς τους ιστούς στο μυοτενόντιο σύνολο αυξάνει την ανελαστικότητά του (Valour and Pousson 2003).

ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΜΥΪΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ

Οι αλλαγές στη σύσταση και τη δομή του μυός, που συμβαίνουν κατά τη γήρανση, επηρεάζουν όλες τις συνιστώσες της μυϊκής απόδοσης, αλλά και τη λειτουργικότητα. Συγκεκριμένα, προκαλείται απώλεια δύναμης, ταχύτη-

τας συστολής, αντοχής και μυϊκής απόδοσης (Evans 1995).

Μυϊκή δύναμη

Η δύναμη ενός μυ αυξάνεται καθ' όλη τη διάρκεια της παιδικής ηλικίας καθώς οι μυϊκές ίνες μεγαλώνουν σε διάμετρο και μήκος (Fuglsang- Frederiksen 1997), ενώ από την τέταρτη δεκαετία ζωής, οπότε και ξεκινά η γήρανση, προοδευτικά μειώνεται ο αριθμός των μυϊκών ινών (Lexell, 1995) και η επιφάνεια διατομής του μυός και ως επακόλουθο η μυϊκή δύναμη (Kent-Braun and Ng 1999, Frontera et al 2000). Η μείωση στην κεντρική ενεργοποίηση μπορεί να εξηγήσει την απώλεια δύναμης που δεν μπορεί να αποδοθεί στην απώλεια μάζας και μόνο (Harridge et al 1999, Roos et al 1997, Hopp 1993). Συνεπώς, όσο αυξάνεται η ηλικία, οι αλλαγές σε ολόκληρο το νευρομυϊκό σύνολο προκαλούν μείωση της ικανότητας παραγωγής δύναμης (Roos et al 1999, De Serres and Enoka 1998).

Η μέγιστη μυϊκή δύναμη επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της τρίτης δεκαετίας της ζωής του ανθρώπου και έπειτα μειώνεται με την ηλικία. Οι μειώσεις στην ισομετρική δύναμη είναι μικρές μέχρι την ηλικία των 60 ετών, όπου μετά παρατηρείται μια μείωση της τάξης του 1-2% ανά έτος (Skelton et al 1994, Vandervoort 2002). Στα 70 έτη η μυϊκή δύναμη μειώνεται 25-30% (Frontera et al 2000). Οι Metter et al (1997), αναφέρουν 20% μείωση της ισομετρικής μυϊκής δύναμης των άνω άκρων στα 70 έτη.

Με σκοπό την αξιολόγηση ηλικιακών διαφορών στη μυϊκή δύναμη πραγματοποιήθηκε έρευ-

να σε δείγμα 654 ατόμων ηλικίας 20-93 ετών. Μετρήθηκε η ισομετρική, μειομετρική και πλειομετρική μέγιστη ροπή στους εκτεινόμενες του γόνατος, τόσο σε μικρές (0,52 rad/s) όσο και σε μεγάλες ταχύτητες (3,14 rad/s). Οι μειώσεις ήταν για τους άνδρες 30% για τη μειομετρική μέγιστη ροπή και 19% για την πλειομετρική μέγιστη ροπή, ενώ για τις γυναίκες τα ποσοστά αυτά ήταν 28% και 11%, αντίστοιχα. Για να αξιολογηθούν ηλικιακές διαφορές στην ικανότητα αποθήκευσης και χρησιμοποίησης ελαστικής ενέργειας, προσδιορίστηκε ο κύκλος βράχυνσης - διάτασης και βρέθηκε ότι οι ηλικιωμένες γυναίκες παρουσίαζαν καλύτερη αποθήκευση και χρησιμοποίηση ελαστικής ενέργειας σε σχέση με τους άντρες αντίστοιχης ηλικίας αλλά και σε σχέση με τα νεαρά άτομα (Lindle et al 1997).

Αξιοσημείωτες τροποποιήσεις κατά τη διαδικασία της γήρανης είναι η μειωμένη δύναμη σε διάφορες γωνίες της άρθρωσης στους ραχιαίους καμπτήρες της ποδοκνημικής (Van Schaik et al 1994), η μειωμένη δύναμη των καμπτήρων του αγκώνα σε διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (Pousson et al 2001) και η χαμηλότερη μέγιστη ταχύτητα συστολής για τους πελματιαίους καμπτήρες της ποδοκνημικής και για τους εκτεινόμενες στο γόνατο (Ferri et al 2003). Σε έρευνά τους, οι Ochala et al (2004) έδειξαν ότι η ροπή της μέγιστης εκούσιας συστολής των πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής ήταν σημαντικά χαμηλότερη στους ηλικιωμένους σε σχέση με τους νέους με διαφορά 37%.

Φαίνεται πως η μυϊκή δύναμη

της πλειομετρικής συστολής διατηρείται καλύτερα με την ηλικία (Porter et al 1995, Poulin et al 1992). Σε έρευνα των

τικό οργανισμό και σε άλλη μυϊκή ομάδα). Αυτό παρατηρήθηκε και σε ολόκληρο τον υποκνημίδιο στα ποντίκια (Phillips et

Η διατήρηση της πλειομετρικής δύναμης με την ηλικία φαίνεται να είναι ανεξάρτητη της ολικής μυϊκής μάζας, του τύπου ή του μεγέθους των ινών (Hortobagyi et al 1995), αλλά οι μηχανισμοί πίσω από αυτό το σχετικό πλεονέκτημα στην πλειομετρική μυϊκή συστολή παραμένουν αδιευκρίνιστοι

Vandervoort et al (1990), οι σχετικές μέγιστες ροπές των εκτεινόντων στο γόνατο ηλικιωμένων γυναικών, εκφραζόμενες ως ποσοστό των αντίστοιχων ροπών των νεαρών γυναικών, βρέθηκαν υψηλότερες για την πλειομετρική συστολή (60-75%) από ότι για τη μειομετρική συστολή (45-50%). Σύμφωνα με τους Hortobagyi et al (1995), η μείωση της πλειομετρικής δύναμης των εκτεινόντων του γόνατος είναι 9N ανά δεκαετία, ενώ η μείωση της μειομετρικής δύναμης είναι 31N ανά δεκαετία.

Για τους πελματιαίους και ραχιαίους καμπτήρες της ποδοκνημικής, οι Porter et al (1997) βρήκαν ότι οι ηλικιωμένες γυναίκες παρουσίασαν πλειομετρικές μέγιστες ροπές που αντιστοιχούσαν σε 97-100% των αντίστοιχων ροπών των νεαρών γυναικών. Οι Brooks και Faulkner (1994) έδειξαν ότι τα ηλικιωμένα ποντίκια ανέπτυξαν δυνάμεις 30% υψηλότερες από αυτές των ενήλικων ποντικών κατά τη διάρκεια πλειομετρικής συστολής των ινών του μακρού καμπτήρα των δακτύλων (αναφέρονται όμως σε διαφορε-

al 1991). Όσον αφορά στα άνω άκρα, επιβεβαιώνεται η σχετική διατήρηση της πλειομετρικής δύναμης με την ηλικία (Poulin et al 1992).

Η διατήρηση της πλειομετρικής δύναμης με την ηλικία φαίνεται να είναι ανεξάρτητη της ολικής μυϊκής μάζας, του τύπου ή του μεγέθους των ινών (Hortobagyi et al 1995), αλλά οι μηχανισμοί πίσω από αυτό το σχετικό πλεονέκτημα στην πλειομετρική μυϊκή συστολή παραμένουν αδιευκρίνιστοι. Ωστόσο, είναι πιθανό να προέρχεται από αλλαγές στις κολλώδεις ιδιότητες του μυός (Martin et al 1996), από τροποποιήσεις στα παθητικά στοιχεία και σε εγγενείς παράγοντες που σχετίζονται με τις εγκάρσιες γέφυρες (Hortobagyi et al 1995), αλλαγές στις ιδιότητες των συστατικών στοιχείων (Pousson et al 2001) ή υψηλότερο ποσό συνδετικού ιστού (Lexell and Downham 1991).

Είναι γνωστό ότι η αρνητική επίδραση της γήρανης στη μυϊκή λειτουργία μπορεί να είναι διαφορετική στις διάφορες μυϊκές ομάδες (Bemben et al 1996,

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Lynch et al 1999, Hunter et al 2000). Πράγματι, με τη γήρανση, η μέγιστη απόδοση των πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής αλλάζει σε μεγαλύτερη έκταση από ότι η απόδοση των ραχιαίων καμπτήρων (Simoneau et al 2005). Ακόμη, η σχετιζόμενη με την ηλικία μείωση της δύναμης είναι μικρότερη και γίνεται αργότερα στα άνω άκρα από ότι στα κάτω άκρα (Bemben et al 1991, Frontera et al 1991). Ο Galea (1996) αναφέρει ότι ο βαθμός των αλλαγών που συμβαίνουν στο μυϊκό ιστό διαφέρει μεταξύ κεντρικών και περιφερικών μυών.

Μυϊκή Ισχύς

Μετά τα 65 έτη η μείωση στη μυϊκή ισχύ είναι της τάξης του 3,5% ανά έτος (Skelton et al 1994). Οι ερευνητές αυτοί έδειξαν ότι η μείωση στη μυϊκή ισχύ ήταν γρηγορότερη από ότι η μείωση στη δύναμη των εκτεινόντων στο γόνατο στους ηλικιωμένους άνδρες. Επιπλέον, έδειξαν ότι η σχετική ισχύς (τυποποιημένη με το σωματικό βάρος) επηρεάζει τον χρόνο για την έγερση από την καρέκλα. Σε άλλη έρευνα η σχετική ισχύς των εκτεινόντων του γόνατος ήταν 25-41% χαμηλότερη στους ηλικιωμένους (Petrella et al 2005). Η σχετική ισχύς των μυών της γαστροκνημίας των ηλικιωμένων ήταν το 55,2% της αντίστοιχης ισχύος των νεαρών (Thom et al 2005).

Για τους πελματιαίους καμπτήρες παρατηρήθηκε πάνω από 50% μείωση της σχετικής ισχύος μεταξύ των 20 και 80 ετών (Runge et al 2004). Οι McNeil et al (2007) μέτρησαν τη σχετική ισχύ των ραχιαίων καμπτήρων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Σχετιζόμενες με την ηλικία μειώσεις στη μυϊκή δύναμη.

Ερευνητές	Μείωση της μυϊκής δύναμης
Skelton et al., 1994	1-2% ανά έτος μετά τα 60 έτη
Vandervoort, 2002	
Frontera et al., 2000	25-30% στα 70 έτη
Metter et al., 1997	20% στα 70 έτη για τα άνω άκρα
Lindle et al., 1997	28-30% για τη μειομετρική μέγιστη ροπή
	11-19% για την πλειομετρική μέγιστη ροπή
Ochala et al., 2004	37% για τους πελματιαίους καμπτήρες

της ποδοκνημικής σε τρεις ηλικιακές ομάδες ηλικίας 26, 65 και 84 ετών και τη βρήκαν μειωμένη κατά 25% στους ηλικιωμένους σε σύγκριση με τους νέους, κατά 60% στους πολύ ηλικιωμένους σε σύγκριση με τους νέους και 40% στους πολύ ηλικιωμένους σε σύγκριση με τους ηλικιωμένους. Σε έρευνα των DeVita και Hortobagyi (2000) μετρήθηκε η ισχύς των μυών του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής. Οι ηλικιωμένοι παρουσίασαν 279% περισσότερο έργο στο ισχίο, 39% λιγότερο έργο στο γόνατο και 29% λιγότερο έργο στην ποδοκνημική συγκρινόμενοι με τους νεαρούς, όταν περπατούν με την ίδια ταχύτητα. Φαίνεται πως, μαζί με τη μείωση στις κινητικές και αισθητήριες λειτουργίες, η γήρανση προκαλεί μετατόπιση της λειτουργίας, αλλαγή στο σχήμα βάδισης και μεγαλύτερες απαιτήσεις από άλλους μυς.

Αντοχή

Η ισομετρική μυϊκή αντοχή είναι η ικανότητα εφαρμογής κάποιου ποσοστού (συνήθως 50%) της μέγιστης ισομετρικής δύναμης για κάποιο χρονικό διά-

στημα (Aniansson et al 1978, Larsson and Karlson 1978). Η σχετική αντοχή της λαβής του χεριού βρέθηκε υψηλότερη στους 70χρονους παρά στους νέους ηλικίας 20-30 ετών (Aniansson et al 1978). Μάλιστα, δεν άλλαξε τα επόμενα 5 χρόνια (Aniansson et al 1983). Σύμφωνα με τους Narici et al (1991), η ισομετρική αντοχή του προσαγωγού του αντίχειρα αυξάνεται γραμμικά με την ηλικία. Φαίνεται πως η μείωση στη δύναμη "εξισορροπείται" από καλύτερη αντοχή (Sperling 1980). Αρκετοί ερευνητές αποδίδουν τη διατήρηση της αντοχής σε υψηλά επίπεδα σε αύξηση στην αναλογία ινών βραδείας συστολής (Petrofsky and Lind 1975, Larsson and Karlson 1978).

Σε έρευνα των Hunter et al (2005) συγκρίθηκε η ικανότητα παραγωγής ισομετρικού έργου στο 20% της μέγιστης εκούσιας συστολής από τους καμπτήρες του αγκώνα, ανάμεσα σε 8 άνδρες ηλικίας 18-31 ετών και σε 8 άνδρες ηλικίας 67-76 ετών, οι οποίοι είχαν ίδια μέγιστη ισομετρική δύναμη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ηλικιωμένοι ήταν

ικανοί να διατηρήσουν τη συστολή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Οι Laforest et al (1990) μέτρησαν τη δύναμη των καμπτήρων και των εκτεινόντων στο γόνατο και την αντοχή των εκτεινόντων και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η ηλικία σχετίζεται με μείωση στη μυϊκή δύναμη αλλά όχι στην αντοχή.

Σε έρευνα των Desrosiers et al (1997), σε τρεις ηλικιακές ομάδες ηλικίας 60-69, 70-79 και άνω των 80 ετών, μετρήθηκε η ισομετρική αντοχή της λαβής. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως, αν και υπήρχε τάση για μείωση στη ισομετρική αντοχή της λαβής, δεν υπήρχε στατιστικώς σημαντική διαφορά με την αύξηση της ηλικίας. Ακόμη, το επικρατές άνω άκρο είχε μεγαλύτερη αντοχή και μόνο αυτοί που δούλευαν πολύ και με δύναμη τα χέρια είχαν καλύτερη αντοχή. Οι ερευνητές συμπεραίνουν πως η σχετική αντοχή δε μειώνεται. Όμως, η μείωση στη δύναμη και στην απόλυτη αντοχή προκαλεί έκπτωση της ικανότητας εκτέλεσης έντονων επαναλαμβανόμενων δραστηριοτήτων. Αυτό είναι σύμφωνο και με άλλη έρευνα (Vandervoort et al 1986). Η μείωση στην απόλυτη αντοχή επιταχύνεται μετά τα 60 έτη (Larsson and Karlsson 1978).

Λειτουργικότητα

Σύμφωνα με την CBS Statistics Netherlands (1997), το 20% των ατόμων ηλικίας 65-75 ετών χρειάζονται βοήθεια για την εκτέλεση καθημερινών δραστηριοτήτων και το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο 45% για άτομα ηλικίας άνω των 85 ετών. Οι πρώτες δραστηριότητες που επηρεάζονται είναι

το περπάτημα, η άνοδος σκάλας και η έγερση του κορμού από την καρέκλα ή το κρεβάτι.

Η μείωση της μυϊκής μάζας και δύναμης προκαλεί απώλεια φυσιολογικής λειτουργίας, οδηγεί σε μειωμένες δραστηριότητες, πτώσεις και σοβαρούς τραυματισμούς, μεγαλύτερη νοσηρότητα και απώλεια λειτουργικής αυτονομίας

Η μείωση της μυϊκής μάζας και δύναμης (σαρκοπενία) προκαλεί απώλεια φυσιολογικής λειτουργίας, οδηγεί σε μειωμένες δραστηριότητες, πτώσεις και σοβαρούς τραυματισμούς (Carmeli et al 2002), μεγαλύτερη νοσηρότητα και απώλεια λειτουργικής αυτονομίας (Carmeli et al 2000, Vandervoort and Symons 2001). Η κινητική αναπηρία λόγω σαρκοπενίας, οδηγεί στη φυσική αναπηρία και στο θάνατο (Fried and Guralnik 1997). Περίπου γύρω στα 60 έτη οι αλλαγές στο νευρομυϊκό σύνολο γίνονται εμφανείς και επηρεάζουν την καθημερινή δραστηριότητα (Hakkinen & Hakkinen 1995, Harridge et al 1999). Οι αλλαγές αυτές, σε συνδυασμό με χαμηλά επίπεδα φυσικής δραστηριότητας, μπορούν να οδηγήσουν σε περαιτέρω μείωση της λειτουργικής ικανότητας (Phillips and Haskell 1995).

Πολλοί ερευνητές τονίζουν τη

σημασία της δύναμης του τετρακεφάλου για την επιτυχή έγερση από καρέκλα και τη βάδιση. Μια έρευνα έδειξε ότι η δύναμη του τετρακεφάλου είναι πολύ σημαντική για να αναπτυχθεί η ροπή που χρειάζεται στο γόνατο για να μπορέσουν οι λειτουργικά περιορισμένοι ηλικιωμένοι να σηκωθούν από μια καρέκλα (Hughes et al 1996). Σε έρευνα των Scarborough et al (1999), οι ηλικιωμένοι που είχαν μεγαλύτερη δύναμη τετρακεφάλου, σηκώθηκαν από την καρέκλα πιο γρήγορα, παράγοντας μεγαλύτερη κατακόρυφη και οπισθοπρόσθια ορμή, πετυχαίνοντάς το με μεγαλύτερη σταθερότητα και ικανότητα ελέγχου της κίνησης, ανεξαρτήτως της στρατηγικής έγερσης. Οι Schencman et al (1996), απέδειξαν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ δύναμης κάτω άκρου και ικανότητας επιτυχούς έγερσης από καρέκλα. Έδειξαν, ακόμη, πως υπάρχει σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στη συνδυασμένη μέγιστη ροπή στις αρθρώσεις των κάτω άκρων και στη λειτουργική προσέγγιση. Η δοκιμασία για λειτουργική προσέγγιση είναι αξιόπιστη και έχει υψηλή ικανότητα πρόβλεψης πτώσεων σε υπερήλικους (Duncan et al 1990).

Η απώλεια μυϊκής μάζας και δύναμης, σε υπερήλικα άτομα, έχει σχέση με τη μείωση στην ταχύτητα βάδισης (Fiatarone et al 1990, Brown et al 1995). Σε παρόμοια πληθυσμιακή ομάδα, οι Bassey et al (1992) έδειξαν ότι η δύναμη των εκτεινόντων του ποδιού έχει σχέση με την εκτέλεση λειτουργικών κινήσεων, όπως ανέβασμα σκάλας και βάδιση. Όταν νεαροί και ηλικιωμένοι περπατούν με την ίδια ταχύτητα,

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

το μήκος του βήματος είναι 4% μικρότερο και ο ρυθμός βάρδισης 4% υψηλότερος στους ηλικιωμένους από ότι στους νεαρούς (De Vita and Hortobagyi 2000).

Άλλη αλλαγή που παρουσιάζουν οι ηλικιωμένοι είναι η αύξηση του εύρους ταλάντωσης στην όρθια στάση, το οποίο θεωρείται ως ένας καλός δείκτης ελέγχου της ισορροπίας. Μια μελέτη εξέτασε 500 άτομα ηλικίας από 40 έως 80 ετών, που δεν είχαν καμία παθολογία και βρήκε ότι η στατική ταλάντωση αυξανόταν με κάθε δεκαετία ζωής. Έτσι, η μεγαλύτερη αυθόρμητη ταλάντωση εμφανιζόταν στους 80χρονους (Toupet et al 1992). Η χαμηλή δυναμική σταθεροποίηση που παρατηρείται σε πολλούς ηλικιωμένους συνήθως προκαλείται από χρόνια εκφύλιση του νευρομυϊκού, μυοσκελετικού και σωματοαισθητικού συστήματος, λόγω γενετικών παραγόντων, τρόπου ζωής κλπ (Lord et al 1991).

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Επίδραση στις κυτταρικές λειτουργίες

Τα αποτελέσματα από πολλές πειραματικές μελέτες δείχνουν ότι η εφαρμογή επαρκούς άσκησης βελτιώνει τις βιοχημικές παραμέτρους κατά την γήρανση του σκελετικού μυός, ενώ η αδράνεια και η ακινητοποίηση έχουν αρνητικές συνέπειες σε αυτές (Carmeli et al 2002). Μάλιστα, λόγω αχρησίας παρατηρείται μειωμένη πρωτεϊνοσύνθεση, αυξημένη πρωτεϊνική υποβάθμιση, αύξηση της οξειδωτικής πίεσης και αλλαγή στο μέγεθος και τον αριθμό των σαρκομερίων

(Zarzhovsky et al 2001). Αντίθετα, η άσκηση μειώνει τη συσσώρευση ελεύθερων ριζών οξυγόνου, με αποτέλεσμα την αύξηση του αερόβιου μεταβολισμού στους μυς (Fulle et al 2004).

Μερικά από τα αποτελέσματα της άσκησης στο κυτταρικό επίπεδο σύμφωνα με τον Ji (2001, 2002), είναι η διαμόρφωση του

Η εφαρμογή επαρκούς άσκησης βελτιώνει τις βιοχημικές παραμέτρους κατά την γήρανση του σκελετικού μυός, ενώ η αδράνεια και η ακινητοποίηση έχουν αρνητικές συνέπειες σε αυτές

κυψελοειδούς αντιοξειδωτικού αμυντικού συστήματος, με αποτέλεσμα την αντιοξειδωτική προσαρμογή, η οποία ισορροπεί την οξειδωτική πίεση και την ζημιά κατά την γήρανση.

Σε άλλες έρευνες, όπως των Welle et al (1995), Yarasheski et al (1999), Hasten et al (2000) και Balagopal et al (2001), παρατηρήθηκε ότι οι ασκήσεις αντίστασης αυξάνουν την μυϊκή πρωτεϊνοσύνθεση. Το ίδιο ακριβώς παρατηρήθηκε στην έρευνα των Short et al (2004), με την διαφορά ότι το αποτέλεσμα αυτό προήλθε μετά από 4 μήνες αερόβιας άσκησης. Επίσης, στις έρευνες των Coggan et al (1990, 1992), Proctor et al (1995) και Proctor & Joyner (1997), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με τις ασκήσεις αντοχής αυξάνεται η ποιότητα της μιτοχονδριακής

πρωτεΐνης στους μυς και βελτιώνεται η φυσική κατάσταση. Παρόλα αυτά, οι Armstrong et al (1991) και ο Friden & Lieber (2001), έδειξαν ότι οι επαναλαμβανόμενες πλειομετρικές συστολές προκαλούν περισσότερη κυτταρική ζημιά (σε βασικά δομικά στοιχεία μυϊκού κυττάρου π.χ. DNA, πρωτεΐνες).

Σε επίπεδο μυϊκών ινών, με πρόγραμμα ασκήσεων αντοχής σε άνδρες ηλικιακής ομάδας 56-65 ετών, παρατηρήθηκε αύξηση του μεγέθους των ινών τύπου I και II (Larsson 1982), ενώ στην έρευνα των Singh et al (1999) παρατηρήθηκε αύξηση του μεγέθους των ινών τύπου II, με 10 εβδομάδες ασκήσεων αντίστασης και συμπληρώματα διατροφής, με την διαφορά ότι οι Singh et al. παρατήρησαν και οστεομυϊκή αναδιαμόρφωση στους ηλικιωμένους.

Σε έρευνα των Reeves et al (2004) παρατηρήθηκε αύξηση του μήκους των δεσμίδων κατά 9%, άρα και του αριθμού των σαρκομερίων με συνεπακόλουθο αποτέλεσμα την αύξηση της δύναμης και του εύρους τροχιάς του μυός, μετά από πρόγραμμα ασκήσεων αντίστασης για 14 εβδομάδες στον έξω πλατύ.

Επίδραση στη μυϊκή δύναμη

Τα αποτελέσματα των ερευνών δείχνουν ότι τα ηλικιωμένα άτομα ανταποκρίνονται ιδανικά σε προγράμματα πλειομετρικών ασκήσεων και ασκήσεων με αντίσταση με σκοπό την αύξηση της μυϊκής δύναμης.

Οι Frontera et al (1988), εφάρμοσαν πρόγραμμα ενδυνάμωσης των καμπτήρων και εκτεινόντων

του γόνατος σε άνδρες ηλικιακής ομάδας 60-72 ετών για 12 εβδομάδες. Η αντίσταση ήταν 80% της μιας μέγιστης επανάληψης και γίνονταν 3 σετ των 8 επαναλήψεων 3 φορές την εβδομάδα. Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν ήταν 100% αύξηση της δύναμης στους εκτεινόντες και 200% στους καμπτήρες του γόνατος. Σε παρόμοια έρευνα, οι Fiatarone et al. (1990), εφάρμοσαν πρόγραμμα ενδυνάμωσης των εκτεινόντων του γόνατος σε άνδρες ηλικίας 86-96 ετών και τα αποτελέσματα κατέγραψαν αύξηση της δύναμης κατά 174%.

Σε έρευνα των Hakkinen et al (1998) εφαρμόστηκε πρόγραμμα

ασκήσεων αντίστασης σε ηλικιωμένους και παρατηρήθηκε μείωση της συνενεργοποίησης (co-activation) των ανταγωνιστών μυών, με αποτέλεσμα την αύξηση της δύναμης των πρωταγωνιστών μυών.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες έρευνες, στην έρευνα των Ades et al (1996), εκτός από την αύξηση της δύναμης παρατηρήθηκε και η αύξηση της αντοχής στο περπάτημα, σε άτομα ηλικιακής ομάδας άνω των 65 ετών μετά από εφαρμογή ασκήσεων αντίστασης για 3 μήνες. Επίσης, στην έρευνα των Fiatarone et al. (1994), εκτός της αύξησης της δύναμης κατά 125% στους μυς,

παρατηρήθηκε και βελτίωση της βάδισης και της ανόδου σκάλας.

Οι Wu et al (2002) και οι Lan et al (1998) εφάρμοσαν πρόγραμμα από ασκήσεις Tai Chi στους καμπτήρες και τους εκτεινόντες του γόνατος. Επιλέχθηκαν δυο ομάδες, η μια ήταν αυτή που θα έκανε τις ασκήσεις Tai Chi (αρχαία κινεζική πολεμική τέχνη, η οποία περιλαμβάνει μια σειρά από αργές αλλά συνεχόμενες κινήσεις του σώματος) και η άλλη ήταν η ομάδα ελέγχου. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν αύξηση της δύναμης των εκτεινόντων στο γόνατο στην ομάδα του Tai Chi.

Επίδραση στη μυϊκή αντοχή

Η βασική αρχή των προγραμμάτων για την αύξηση της αντοχής είναι ότι η επιβάρυνση πρέπει να έχει ικανοποιητική, αλλά μέτρια, ένταση και αυξημένη διάρκεια. Με τα προγράμματα για την αύξηση της αντοχής αναμένεται πολλαπλασιασμός μυϊκών τριχοειδών, αύξηση της οξειδωτικής ενζυματικής δραστηριότητας και σημαντικές βελτιώσεις της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου.

Σε έρευνα των Coggan et al (1992), μετά από εφαρμογή προγράμματος βάδισης/ τρεξίματος 9-12 μηνών σε ηλικιακή ομάδα 60-70 ετών, με προοδευτικά αυξανόμενη επιβάρυνση, στο 80% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας για 45 λεπτά τη μέρα, 4 μέρες την εβδομάδα, παρατηρήθηκε αύξηση στη μιτοχονδριακή αναπνευστική ικανότητα στο γαστροκνήμιο και 20% αύξηση στην πυκνότητα των τριχοειδών.

Οι Aniansson & Gustafsson

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Αυξήσεις στη μυϊκή δύναμη μετά από προγράμματα άσκησης.

Έρευνες	Είδος άσκησης	Ηλικία	Περίοδος	Αποτελέσματα
Frontera et al. (1988)	Ενδυνάμωση καμπτήρων και εκτεινόντων γόνατος	60-70	12 εβδομάδες	100% αύξηση δύναμης εκτεινόντων και 200% δύναμης καμπτήρων
Fiatarone et al. (1990)	Ενδυνάμωση εκτεινόντων γόνατος	86-96	12 εβδομάδες	174% αύξηση δύναμης
Hakkinen et al. (1998)	Ασκήσεις αντίστασης	-	-	Αύξηση δύναμης
Ades et al. (1996)	Ασκήσεις αντίστασης	65+	3 μήνες	Αύξηση δύναμης & αντοχής
Fiatarone et al. (1994)	Ασκήσεις αντίστασης	-	-	125% αύξηση δύναμης, βελτίωση βάδισης
Wu et al. (2002)	Tai Chi στους καμπτήρες και εκτεινόντες του γόνατος	-	-	Αύξηση δύναμης εκτεινόντων
Lan et al. (1998)	Tai Chi στους καμπτήρες και εκτεινόντες του γόνατος	-	-	Αύξηση δύναμης εκτεινόντων

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

(1981) εφάρμοσαν πρόγραμμα αντοχής 12 εβδομάδων με βάρδια/τρέξιμο στο 70% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου VO₂ σε ηλικιακή ομάδα 70-75 ετών. Τα αποτελέσματα έδειξαν αλλαγές στην πυκνότητα των τριχοειδών, στις μεταβολικές δραστηριότητες των μυών και στο μιτοχονδριακό όγκο.

Επίδραση στην ελαστικότητα

Σε έρευνα των Feland et al (2001), διερευνήθηκε η επίδραση τριών τύπων διάτασης με διαφορές στη διάρκεια εφαρμογής τους σε 62 ηλικιωμένους άνω των 65 ετών. Η διάταση αφορούσε τους οπίσθιους μηριαίους που κρίθηκαν βραχυμένοι και διατείνονταν 5 φορές την εβδομάδα για 6 εβδομάδες για 15 ή 30 ή 60 δευτερόλεπτα. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση της τροχιάς κίνησης από τη διάταση και η αύξηση ήταν ανάλογη του χρόνου εφαρμογής της διάτασης.

Η εφαρμογή των διατάσεων στους ηλικιωμένους πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή επειδή ο κίνδυνος μυϊκών και οστικών κακώσεων είναι αυξημένος σε αυτή την ηλικιακή ομάδα.

Επίδραση στη λειτουργικότητα

Τα αποτελέσματα των ασκήσεων αντίστασης στη λειτουργικότητα είναι εντυπωσιακά. Παρατηρήθηκε αύξηση της ταχύτητας βάρδιας, μέχρι και 48% σε υπερήλικα άτομα 86-96 ετών, ύστερα από δυναμική άσκηση με αντιστάσεις (Fiatarone et al 1994). Η ίδια ερευνητική ομάδα (1990) ανέφερε σημαντικές βελτιώσεις στην ταχύτητα βάρδιας και στην

ικανότητα ανάβασης σκάλας, (11,8 % και 28,4% αντίστοιχα) σε 100 ηλικιωμένα άτομα ύστερα από υψηλής έντασης άσκηση με αντιστάσεις.

Σε έρευνα των Gillies et al (1999) εφαρμόστηκε πρόγραμμα λειτουργικών ασκήσεων σε 20 άτομα ηλικιακής ομάδας άνω των 70 ετών. Μετά από εφαρμογή λειτουργικών ασκήσεων όπως

Με τα προγράμματα για την αύξηση της αντοχής αναμένεται πολλαπλασιασμός μυϊκών τριχοειδών, αύξηση της οξειδωτικής ενζυματικής δραστηριότητας και σημαντικές βελτιώσεις της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου

περπάτημα, έγερση του σώματος από καρέκλα και άνοδο και κάθοδο σκάλας στη μια ομάδα, και ασκήσεων όπως σταυρόλεξα και ήπιες ασκήσεις των άνω άκρων και του κορμού από καθιστή θέση, παρατηρήθηκε βελτίωση στη βάρδια της πρώτης ομάδας και βελτίωση στην έγερση του σώματος από την καρέκλα και την άνοδο και κάθοδο σκάλας και για τις δυο ομάδες. Ωστόσο, η πρώτη ομάδα παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση σε σχέση με τη δεύτερη και μάλιστα στην έγερση του σώματος από την καρέκλα για τρεις συνεχόμενες φορές ήταν κατά 1 με 4,5 sec πιο γρήγορη από την πρώτη μέτρηση.

Σε άλλη έρευνα, εφαρμόστηκε πρόγραμμα λειτουργικών ασκήσεων και ασκήσεων με αντίσταση σε 24 γυναίκες ηλικίας άνω των 70 ετών. Οι δυο ομάδες έκαναν τις ασκήσεις 3 φορές την εβδομά-

δα για μια ώρα επί 12 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι και τα δυο προγράμματα ασκήσεων βελτιώνουν την λειτουργικότητα στις ηλικιωμένες γυναίκες, με τις λειτουργικές ασκήσεις να υπερτερούν και να είναι πιο εφικτές από τις ασκήσεις με αντίσταση (de Vreede et al 2004).

Επίσης, οι Kutner et al (1997), Jacobson et al (1997) και οι Tse & Baily (1992), απέδειξαν ότι η εξάσκηση στο Tai Chi, βελτιώνει την όρθια στάση, την αισθητικότητα (με τις αργές κινήσεις), την μυϊκή συναρμογή και την δυναμική ισορροπία.

Οι Rooks et al (1997), αναφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στην ταχύτητα ανάβασης σκαλοπατιών της τάξης του 22%, και στην ικανότητα άρσης ενός αντικειμένου από το έδαφος της τάξης του 24%, μετά από άσκηση μυϊκής ενδυνάμωσης με λάστιχα και ελεύθερα βάρη, διάρκειας 10 μηνών σε 131 ηλικιωμένα άτομα άνω των 65 ετών.

Τέλος, οι Mackey & Robinovitch (2005), υποστηρίζουν ότι οι ηλικιωμένοι με μεγαλύτερη ισχύ στα κάτω άκρα παρουσιάζουν μικρότερη συχνότητα πτώσεων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αλλαγές που επέρχονται στο μυϊκό ιστό με την πάροδο των χρόνων είναι ως ένα σημαντικό βαθμό αναπόφευκτες. Η φυσικοθεραπεία επιχειρεί να προλάβει κατά το δυνατό ή να αναστρέψει τις επιπτώσεις του γήρατος στο νευρομυϊκό σύνολο κυρίως μέσω των προγραμμάτων άσκησης. Η συμμετοχή των ηλικιωμένων σε προγράμματα άσκησης συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της υγείας, στην ποιότητα ζωής και στη φυσική ανεξαρτησία τους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Ades, P.A., Ballor, D.L., Ashikaga, T., Utton, J.L., Nair, K.S., (1996) Weight training improves walking endurance in healthy elderly persons. *Annals of Internal Medicine* 124, 568-572.
2. Aniansson, A., Grimby, G., Hedberg, M., Rungren, A. and Sperling L., (1978) Muscle function in old age. *Scand. J. Rehabil. Med., Suppl.* 6, 43-49.
3. Aniansson, A., Gustaffson E., (1981) Physical training in elderly men with special reference to quadriceps muscle strength and morphology. *Clin. Physiol.* 1:87
4. Aniansson, A., Sperling, L., Rungren, A. and Lehnberg, E. (1983) Muscle function in 75-year-old men and women. A longitudinal study. *Scand. J. Rehabil. Med., Suppl.* 9, 92-102.
5. Armstrong, R.B., Warren, G.L., Warren, J.A., (1991) Mechanisms of exercise-induced muscle fiber injury. *Sports Med.* 12, 184-207.
6. Balagopal, P., Rooyackers, O. E., Adey, D. B., Ades, P. A., and Nair, K. S. (1997) Effects of aging on in vivo synthesis of skeletal muscle myosin heavy-chain and sarcoplasmic protein in humans. *Am. J. Physiol.* 273(4 Pt. 1), E790-E800.
7. Balagopal, P., Schimke, J. C., Ades, P. A., Adey, D., and Nair, K. S. (2001) Age effect on transcript levels and synthesis rate of muscle MHC and response to resistance exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 280, E203-E208.
8. Barazzoni, R., Short, K.R., and Nair, K.S. (2000) Effects of aging on mitochondrial DNA copy number and cytochrome c oxidase gene expression in rat skeletal muscle, liver, and heart. *J. Biol. Chem.* 275, 3343-3347.
9. Bassey, E.J., Fiatarone, M.A., O'Neill, E.F., Kelly, M., Evans, W.J., Lipsitz, L.A., (1992) Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clinical Science* 82, 321-327.
10. Bemben, M.G., Massey, B.H., Bemben, D.A., Misner, J.E., Boileau, R.A., (1991) Isometric muscle force production as function of age in healthy 20-74 year old men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 11, 1302-1310.
11. Bemben, M.G., Massey, B.H., Bemben, D.A., Misner, J.E., Boileau, R.A. (1996) Isometric intermittent endurance of four muscle groups in men aged 20-74 yr. *Med Sci Sports Exerc.* 28(1):145-54.
12. Bodnar, A.G., Ouellette, M., Frolkis, M., Holt, S.E., Chiu, C.P., Morin, G.B., Harley, C.B., Shay, J.W., Lichtsteiner, S., and Wright, W.E., (1998) Extension of life-span by introduction of telomerase into normal human cells. *Science* 279, 349-352.
13. Booth, F.W., Weeden, S.H., Tseng, B.S., (1994) Effect of aging on human skeletal muscle and motor function. *Med Sci Sports Exerc.* 26(5):556-60.
14. Brooks, S.V., Faulkner, J.A., (1994) Isometric, shortening and lengthening contractions of muscle fiber segments from adult and old mice. *Am J. Physiol.* 267, C507-C513.
14. Brown, W. F., (1972) A method for estimating the number of motor units in thenar muscles and the changes in motor unit count with ageing. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 35: 845-852.
15. Brown, W.F., Strong, M.J., Snow, R., (1988) Methods for estimating numbers of motor units in biceps-brachialis muscles and losses of motor units with aging. *Muscle and Nerve* 11, 423-432.
16. Brown, M., Sinacore, D.R., Host, H.H., (1995) The relationship of strength to function in the older adult. *Journals of Gerontology, Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 50, 55- 59.
17. Campbell, M.J., A.J. McComas and F. Petito (1973) Physiological changes in ageing muscles. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 36: 174-182.
18. Carmeli, E., Coleman, R., Reznick, A.Z., (2002) The biochemistry of aging muscle. *Experimental Gerontology* 37, 477-489.
19. Carmeli, E., Hochberg, Z., Livne, E., Lichtenstein, I., Kestelboim, C., Silbermann, M., Reznick, A.Z., (1993) Effect of growth hormone on gastrocnemius muscle of aged rats after immobilization: biochemistry and morphology. *J. Appl. Physiol.* 75, 1529-1535.
20. Carmeli, E., Reznick, A.Z., Coleman, R., Carmeli, V., (2000) Muscle strength and mass of lower extremities in relation to functional abilities in elderly adults. *Gerontology* 46, 249-257.
21. CBS Statistics Netherlands, Ministry of Health, Welfare and Sports. *Vademecum of health statistics of the Netherlands* (1997) s-Gravenhage (Netherlands): SDU; 1997.p 130-1.
22. Coggan, A.R., Spina, R.G., King, D.S., et al., (1992) Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60-70 year-old men and women. *J. Appl. Physiol.* 72: 1780-1786.
20. Coggan, A.R., Spina, R.J., Rogers, M.A., King, D.S., Brown, M., Nemeth, P.M., Holloszy, J.O., (1990) Histochemical and enzymatic characteristics of skeletal muscle in master athletes. *J. Appl. Physiol.* 68(5):1896-901.
24. Cortopassi, G.A., Wong, A., (1999) Mitochondria in organismal aging and degeneration. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Bioenergetics* 1410(2),183-193.
25. De Serres, S.J., Enoka, R.M., (1998) Older adults can maximally activate the biceps brachii muscle by voluntary command. *J. Appl. Physiol.* 84:284-91.
26. Desrosiers, J., Bravo, G., Hébert R. (1997) Isometric grip endurance of healthy elderly men and women. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 24, 75-85.
27. DeVita P., Hortobagyi, T., (2000) Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *J. Appl. Physiol.* 88(5):1804-11.
28. De Vreede, P. L., Samson M. M., van Meeteren, N. L., van der Bom, J. G., Duursma, S. A., Verhaar, H. J., (2004) Functional Tasks Exercise Versus Resistance Exercise to Improve Daily Function in Older Women: A Feasibility Study. *Arch Phys Med Rehabil* (85) 1952-1961.
29. Doherty, T.J., Vandervoort, A.A., Brown, W.F., (1993) Effects of ageing on the motor unit: A brief review. *Can J Appl Physiol.* 18, 331-58.
30. Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J., Studenski, S., (1990) Functional reach: a new clinical measure of balance. *J. Gerontol.* 45, 192-195.
31. Dutta, C., Hadley, E.C., (1995) The significance of sarcopenia in old age. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 50, 1-4.
32. Evans, W.J., (1995) What is sarcopenia? *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 50 Spec No: 5-8.
33. Feland, J.B., Myrer, J.W., Schulthies, S.S., et al., (2001) The effect of duration of stretching of the hamstring muscle group for increasing range of motion in people aged 65 years or older. *Phys Ther.* 81: 1100-1117.
34. 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 Physiol. Scand.* 177, 69-78.
35. Fiatarone, M.A., Marks, E.C., Ryan, N.O., Meredith, C.N., Lipsitz, I.A., Evans, W.J., (1990) High intensity strength training in nonagenarians: effects on skeletal muscle. *JAMA*; 263:3.029-3.034.
36. Fiatarone, M., O'Neil, E. and Ryan, N., (1994) Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *New England Journal of Medicine*, 330, 25, 1769-75.
37. Fitts, R.H., Riley, D.R., Widrick, J.J., (2001) Functional and structural adaptations of skeletal muscle to microgravity. *J Exp Biol.* 204, 3201-3208.
38. Florini, J.R., Prinz, P.N., Vittio, M.V., Hintz, R.L., (1985) Somatomedin-C levels in healthy young and old men: relationship to peak and 24-hour integrated levels of growth hormone. *J. Gerontol.* 40, 2-7.
39. Frayse, B., Desaphy, J., Rolland, J., Pierno, S., Liantonio, A., Giannuzzi, V., Camerino, C., Didonna, M.P., Cocchi, D., De Luca, A., Camerino, D.C., (2006) Fiber type-related changes in rat skeletal muscle calcium homeostasis during aging and restoration by growth hormone. *Neurobiology of Disease* 21 372 - 380.
40. Friden, J., Lieber, R.L., (2001) Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fiber components. *Acta Physiol. Scand.* 171, 321-326.
41. Fried, L.P., Guralnik, J.M., (1997) Disability in older adults: evidence regarding significance, etiology, and risk. *J.Am.Geriatr. Soc.* 45, 92-100.
42. Frontera, W. R., Hughes, V. A., Fielding, R. A., Fiatarone, M. A., Evans, W. J., and Roubenoff, R. (2000) Aging of skeletal muscle: A 12-yr longitudinal study. *J. Appl. Physiol.* 88, 1321-1326.
43. Frontera, W.R., Hughes, V.A., Lutz, K.J., Evans, W.J., (1991) A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.* 71, 644-650.
44. Frontera, W.R., Meredith, C.N., O'Reilly, K.P., Knuttgen, H.C., Evans, W., (1988) Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology.* 64:1038-1044.
45. Fruhbeck, G., Muguerra, B., Castilla-Cortazar, I., Santidrian, S., (1996) Effect of aging on the rate of muscle protein turnover in rat. *Rev. Esp. Fisiol.* 52, 207-214.
46. Fuglsang-Frederiksen, A., (1997) Age-related neurophysiological changes in muscles, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Volume 103, Issue 1, July, p 9.
47. Fulle, S., Protasi, F., Di Tano, G., Pietrangolo, T., Beltrami, A., Boncompagni, S., Vecchiet, L., Fan, G., (2004) The contribution of reactive oxygen species to sarcopenia and muscle ageing. *Experimental Gerontology* 39 17-24.
48. Galea, V., (1996) Changes in motor unit estimates with aging. *J Clin Neurophysiol.* 13(3):253-60
49. Gillies, E., Aitchinson, T., MacDonald, J., Grant, S., (1999) Outcomes of a 12-week functional exercise program for institutionalised elderly people. *Physiotherapy*, 85, 7, 349-357.
50. Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saubert, C.W., Piehl, K., Saltin, B., (1972) Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol.* 33, 312-9.
51. Harridge, S.D., Kryger, A., Stensgaard, A., (1999) Knee extensor strength, activation, and size in very elderly people following strength training. *Muscle Nerve* 1999; 22:831-9.
52. Hakkinen, K., Hakkinen, A., (1995) Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged elderly males and females. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 35:137-47.
53. Hakkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Malkia, E., (1998) Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology.* 84(4):1341-9.
54. Hasten, D.L., Pak-Loduca, J., Obert, K.A., Yarasheski, K.E., (2000) Resistance exercise acutely increases MHC and mixed muscle protein synthesis rates in 78-84 and 23-32 yr olds. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 278, E620-E626.
55. Hepple, R.T., Hagen, J.L., Krause, D.J., Jackson, C.C., (2003) Aerobic power declines with aging in rat skeletal muscles perfused at matched convective O2 delivery. *J. Appl. Physiol.* 94, 744-751.
56. Holliday, R., (2000) Reflections in mutation research. *Somatic mutation and ageing. Mutat. Res.* 463, 173-178.
57. Holloszy, J.O., Chen, M., Cartee, G.D., Young, J.C., (1991) Skeletal muscle atrophy in old rats: differential changes in the three fiber types. *Mech Ageing Dev. Oct.* 60(2):199-213.
58. Hopp, J.F., (1993) Effects of age and resistance training on skeletal muscle: a review. *Phys Ther.* 73:361-73
59. Hortobagyi, T., Zheng, D., Weidner, M., Lambert, N.J., Westbrook, S., Houmard, J.A., (1995) The influence of aging on muscle strength and muscle fiber characteristics with special reference to eccentric strength. *J. Gerontol. Biol. Sci.* 6, B399-B406.
60. Hughes, M.A., Schenkman, M.L., (1996) Chair rise strategy in the functionally impaired elderly. *J Rehabil Res Dev.* 33:409-12.
61. Hunter, S.K., Critchlow, A., Enoka, R.M., (2005) Muscle endurance is greater for old men compared with strength-matched young men. *J Appl Physiol.* Sep; 99(3):890-7.
62. Hunter, S.K., Thompson, M.W., Adams, R.D., (2000) Relationships among age-associated strength changes and physical activity level, limb dominance, and muscle group in women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 55(6):B264-73.
63. Husom, A.D., Ferrington, D.A., Thompson, L.V., (2005) Age-related differences in the adaptive potential of type I skeletal muscle fibers. *Exp Gerontol.* 40(3):227-35.
64. Jacobson, B.H., Chen, H.C., Cashel, C., Guerrero, L., (1997) The effect of Tai Chi Chuan training on balance, kinesthetic sense, and strength. *Percept Mot Skills.* 84:27-33.
65. Janssen, I., Heymsfield, S.B., Wang, Z., Ross, R., (2000) Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J. Appl. Physiol.* 89, 81-88.
66. Ji, L.L., (2001) Exercise at old age: does it increase or alleviate oxidative stress? *Ann. NY Acad. Sci.* 928, 236-247.
67. Ji, L.L., (2002) Exercise-induced modulation of antioxidant defense. *Ann. NY Acad. Sci.* 959, 82-92.
68. Johnson, F.B., Sinclair, D.A., Guarente, L., (1999) Molecular biology of aging. *Cell* 96:291-302.
69. Karakelides, H., and Nair, S., (2005) Sarcopenia of Aging and Its Metabolic Impact. *Current Topics in Developmental Biology*, Vol. 68, 123-148.
70. Kent-Braun, J.A., Ng, A.V., (1999) Specific strength and voluntary muscle activation in young and elderly women and men. *Journal of Applied Physiology* 87 (1), 22-29.
71. Kent-Braun, J.A., Ng, A.V., (2000) Skeletal muscle oxidative capacity in young and older women and men. *J. Appl. Physiol.* 89, 1072-1078.
72. Kirkendall, D.T., Garrett, W.E. Jr., (1998) The effects of aging and training on skeletal muscle. *Am J Sports Med.* 26(4):598-602.
73. Kovalenko, S.A., Kopsidas, G., Islam, M.M., Heffernan, D., Fitzpatrick, J., Caragounis, A., Gingold, E., Linnane, A.W., (1998) The age-associated decrease in the amount of amplifiable full-length mitochondrial DNA in human skeletal muscle. *Biochem. Mol. Biol. Int.* 46, 1233-1241.
74. Kunz, W.S., Kudin, A., Viehhaber, S., Elger, C.E., Attardi, G., Villani, G., (2000) Flux control of cytochrome c oxidase in human skeletal muscle. *J. Biol. Chem.* 275, 27741-27745.
75. Kutner, N.G., Barnhart, H., Wolf, S.L., McNeely, E., Xu, T., (1997) Self-report benefits of Tai Chi practice by older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci.* 52:242-6.
76. Kwong, L.K., Sohal, K.S., (2000) Age-related changes in the activities of mitochondrial electron transport complexes in various tissues of the mouse. *Arch. Biochem. Biophys.* 373, 16-22.
77. Laforest, S., St-Pierre, D.M., Cyr, J., Gayton, D., (1990) Effects of age and regular exercise on muscle strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 60(2):104-11.
78. Lan C, Lai JS, Chen SY, Wong MK (1998) 12-month Tai Chi training in the elderly: its effect on health fitness. *Med Sci Sports Exerc.* 30:345-51.
79. Larsson, L., (1982) Physical training effects on muscle morphology in sedentary males at different ages. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 14, 203-206.
80. Larsson, L. and Karlsson, J., (1978) Isometric and dynamic endurance as a function of age and skeletal muscle characteristics. *Acta Physiol. Scand.* 104, 129 136.
81. Larsson, L., Sjodin, B., Karlsson, J., (1978) Histochemical and biochemical changes in human skeletal muscle with age in sedentary males, age 22-65 years. *Acta Physiol Scand.* 103, 31-39.
82. Lee, H.C., Wie, Y.H., (1997) Role of mitochondria in human aging. *J. Biomed. Sci.* 4, 319-326.
83. Lexell, J., (1985) Distribution of different fiber types in human skeletal muscles. *Umei University Medical Dissertations, New Series* No. 154.
84. Lexell, J., (1995) Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J. Gerontol.* 50A, 11-16.
85. Lexell, J., Downham, D.Y., (1991) The occurrence of fiber type grouping in healthy human muscle: a quantitative study of cross-sections of whole vastus lateralis from men between the age of 15 and 83 years. *Acta. Neuropathol.* 81, 377-381.
86. Lexell, J., Downham, D., (1992) What is the effect of ageing on type 2 muscle fibres? *J Neurosci. Feb.* 107(2):250-1.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

87. Lexell, J., Downham, D. and Sjöstrom, M., (1986) Distribution of Different Fibre Types in Human Skeletal Muscles Fibre Type Arrangement in m. vastus lateralis from Three Groups of Healthy Men Between 15 and 83 Years. *Journal of the Neurological Sciences*, 72:211-222
88. Lexell, J., Jarvis, J.C., Currie, J., Downham, D.Y., Salmans, S., (1994) Fibre type composition of rabbit tibialis anterior and extensor digitorum longus muscles. *J Anat.* 185 (Pt 1):95-101.
89. Lexell, J., Taylor, C.C., Sjöstrom, M., (1988) What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci.* 84(2-3):275-94.
90. Lindle, R.S., Metter, E.J., Lynch, N.A., Fleg, J.L., Fozard, J.L., Tobin, J., Roy, T.A., Hurley, B.F., (1997) Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol.* 83(5):1581-7.
91. Lord, S.R., Clark, R.D., Webster, I.W., (1991) Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *J Gerontol Med Sci* 46:69-76.
92. Lynch, N.A., Metter, E.J., Lindle, R.S., Fozard, J.L., Tobin, J.D., Roy, T.A., (1999) Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol* 86(1):188-94.
93. Mackey, D.C., Robinovitch, S.N., (2005) Mechanisms underlying age-related differences in ability to recover balance with the ankle strategy. *Gait & Posture*. In Press, Corrected Proof, Available online 12 January.
94. Martin, A., Morlon, B., Pousson, M., Van Hoecke, J., (1996) Viscosity of elbow flexor muscles during maximal eccentric and concentric actions. *Eur. J. Appl. Physiol.* 73, 157-162.
95. Marzani, B., Felzani, G., Bellomo, R.G., Vecchiet, J., Marzatico, F., (2005) Human muscle aging: ROS-mediated alterations in rectus abdominis and vastus lateralis muscles. *Experimental Gerontology* 40 959-965.
96. McNeil, C.J., Doherty, T.J., Stashuk, D.W., Rice, C.L., (2005) The effect of contraction intensity on motor unit number estimates of the tibialis anterior. *Clin Neurophysiol.* 116(6):1342-1347.
97. McNeil, C.J., Vandervoort, A.A., Rice, C.L., (2007) Peripheral impairments cause a progressive age-related loss of strength and velocity-dependent power in the dorsiflexors. *J Appl Physiol* 15; [Epub ahead of print]
98. Mecocci, P., Fan, G., Fulle, S., MacGarvey, U., Shinobu, L., Polidori, M.C., Cherubini, A., Vecchiet, J., Senin, U., Beal, M.F., (1999) Age dependent increases in oxidative damage to DNA, lipids, and proteins in human skeletal muscle. *Free Radic. Biol. Med.* 26, 303-308.
99. Melov, S., Ravenscroft, J., Malik, S., Gill, M.S., Walker, D.W., Clayton, P.E., Wallace, D.C., Malfroy, B.N., Doctrow, S.R., Lithgow, G.J., (2000) Extension of life-span with superoxide dismutase/catalase mimetics. *Science* 289, 1567-1569.
100. Melov, S., Shoffner, J.M., Kaufman, A. and Wallace, D.C., (1995) Marked increase in the number and variety of mitochondrial DNA rearrangements in aging human skeletal muscle. *Nucleic Acids Res.* 23, pp. 4122-4126.
101. Metter, E.J., Conwit, R., Tobin, J., Fozard, J.L., (1997) Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol. Biol. Sci.* 52A, B267-B276.
102. Meydani, M., Evans, W.J., (1993) Free radicals, exercise and aging. In: Yu, B.P., (Ed.), *Free Radical in Aging*, CRC Press, Boca Raton, FL, pp.183-204.
103. Mizuno, M., (1991) Human respiratory muscles: fibre morphology and capillary supply. *Eur Respir J.* 4, 587-601.
104. Monemi, M., Eriksson, P.O., Dubail, I., Butler-Browne, G.S., Thornell, L.E., (1996) Fetal myosin heavy chain increases in human masseter muscle during aging. *FEBS Lett.* 13:386(1):87-90.
105. Monemi, M., Eriksson, P.O., Eriksson, A., Thornell, L.E., (1998) Adverse changes in fibre type composition of the human masseter versus biceps brachii muscle during aging. *Journal of Neurological Sciences* 154:35-48.
106. Monemi, M., Thornell, L.E., Eriksson, P.O., (1999) Diverse changes in fibre type composition of the human lateral pterygoid and digastric muscles during aging. *Journal of the Neurological Sciences* 171:38-48.
107. Nair, K.S., (2000) Age-related changes in muscle. *Mayo. Clin. Proc.* 75, 14-18.
108. Narici, M.V., Bordini, M., Cerretelli, P., (1991) Effect of aging on human adductor pollicis muscle function. *J Appl Physiol* 74:1227-81.
109. Ochala, J., Lambert, D., Pousson, M., Goubel, F., Van Hoecke, J., (2004) Changes in mechanical properties of human plantar flexor muscles in ageing. *Experimental Gerontology* 39 349-358.
110. Oda, K., (1984) Age changes of motor innervation and acetylcholine receptor distribution on human skeletal muscle fibres. *Journal of the Neurological Sciences*, 66: 327-338.
111. Petrella, J.K., Kim, J.S., Tugle, S.C., Hall, S.R., Bamman, M.M., (2005) Age differences in knee extension power, contractile velocity, and fatigability. *J Appl Physiol.* 98(1):211-20.
112. Petrofsky, J.S. and Lind, A.R. (1975) Aging, isometric strength and endurance and cardiovascular responses to static effort. *J. Appl. Physiol.* 38, 91-95.
113. Phillips, S.K., Bruce, S.A., Woledge, R.C., (1991) In mice, the muscle weakness due to age is absent during stretching. *J. Physiol. Lond.* 437, 63-70.
114. Phillips, W.T., Haskell, W.L., (1995) Muscular fitness- easing the burden of disability for elderly adults. *Journal of Aging and Physical Activity* 3, 261-289.
115. Porter, M.M., Myint, A., Kramer, J.F., Vandervoort, A.A., (1995) Concentric and eccentric knee extension strength in older and younger men and women. *Can. J. Appl. Physiol.* 20, 429-439.
116. Porter, M.M., Vandervoort, A.A., Kramer, J.F., (1997) Eccentric peak torque of plantar and dorsi flexors maintained in older women. *J. Gerontol. Biol. Sci.* 52, B125-B131.
117. Poulin, M.J., Vandervoort, A.A., Patterson, D.H., Kramer, J.F., Conningham, D.A., (1992) Concentric and eccentric torques of knee and elbow extension in young and older men. *Can. J. Sports Sci.* 17, 3-7.
118. Pousson, M., Lepers, R., Van Hoecke, J., (2001). Changes in isokinetic torque and muscular activity of elbow flexors muscles with age. *Exp. Gerontol.* 36, 1687-1698.
119. Proctor, D.N., Joyner, M.J., (1997) Skeletal muscle mass and the reduction of VO₂-max in trained older subjects. *J. Appl. Physiol.* 82, 1411-1415.
120. Proctor, D.N., Sinning, W.E., Walro, J.M., Sieck, G.C., Lemon, P.W., (1995) Oxidative capacity of human muscle fiber types: effects of age and training status. *Journal of Applied Physiology* 78, 2033-2038.
121. 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):885-92.
122. Rooks, D. S., Kiel, D.P., Parsons, C., Hayes, W., (1997) Self-paced resistance training and walking exercise in community-dwelling older adults: effects on servomotor performance. *Journal of Gerontology*; 52A: M 161-M168.
123. Roos, M.R., Rice, C.L., Vandervoort, A.A., (1997) Age-related changes in motor unit function. *Muscle Nerve*; 20:679-90.
124. Roos, M.R., Rice, C.L., Connelly, D.M., Vandervoort, A.A., (1999) Quadriceps muscle strength, contractile properties, and motor unit firing rates in young and old men. *Muscle Nerve*; 22:1094-103.
125. Rooyackers, O.E., Balagopal, P., and Nair, K.S., (1997) Measurement of synthesis rates of specific muscle proteins using needle biopsy samples. *Muscle Nerve Suppl.* 5, S93-S96.
126. Roubenoff, R., Castaneda, C., (2001) Sarcopenia-understanding the dynamics of aging muscle. *JAMA* 286, 1230-1231.
127. Runge, M., Rittweger, J., Russo, C.R., Schiessl, H., Felsenberg, D., (2004) Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power. *Clin Physiol Funct Imaging*; 24(6):335-40.
128. Safadi, A., Livne, E., Reznick, A.Z., (1997) Characterization of alkaline and acid phosphatase from skeletal muscles of young and old rats. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 24, 183-196.
129. Scarborough, M.D., Krebs, D.E., Harris, B.A., (1999) Quadriceps muscle strength and dynamic stability in elderly Persons. *Gait and Posture* 10 10-20.
130. Schenkman, M., Hughes, M.A., Samsa, G., Studenski, S., (1996) The relative importance of strength and balance in chair rise by functionally impaired older individuals. *J Am Geriatr Soc*; 44:1441-6.
131. Short, K. R., Vittone, J. L., Bigelow, M. L., Proctor, D. N., and Nair, K. S., (2004) Age and aerobic exercise training effects on whole body and muscle protein metabolism. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 286, E92-E101.
132. Sica, R.E.P., Sanz, O.P., and Colombi, A., (1976) The effects of ageing upon the human soleus muscle. *Medicina (B. Aires)*, 36: 443-446.
133. Simoneau, E., Martin, A., Van Hoecke, J., (2005) Muscular performances at the ankle joint in young and elderly men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*; 60(4):439-47.
134. Singh, M. A., Ding, W., Manfredi, T. J., Solares, G. S., O'Neill, E. F., Clements, K. M., Ryan, N. D., Kehayias, J. J., Fielding, R. A., and Evans, W. J. (1999) Insulin-like growth factor I in skeletal muscle after weight-lifting exercise in frail elders. *Am. J. Physiol.* 277(1 Pt. 1), E135-E143.
135. Skelton, D.A., Greig, C.A., Davies, J.M., Young, A., (1994) Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. *Age Ageing*; 23 (5):371-7.
136. Skelton, D., Greig, C., Malbot, K., and Young, A., (1994) Does increased strength and power improve functional ability in healthy elderly women? *Clinical Science*, 86 (suppl. 30), 27.
137. Sperling, L., (1980) Evaluation of upper extremity function in 70-year-old men and women. *Scand. J. Rehabil. Med.*, 12, 139-144.
138. Stalberg, E., Fawcett, P.R., (1982) Macro EMG in healthy subjects of different ages. *J Neuro Neurosurg Psychiatry*; 45(10):870-8.
139. Stevens, J.E., Binder-Macleod, S., Snyder-Mackler, L., (2001) Characterization of the human quadriceps muscle in active elders. *Arch Phys Med Rehabil*; 82:973-8.
140. Thom, J.M., Morse, C.I., Birch, K.M., Narici, M.V., (2005) Triceps surae muscle power, volume, and quality in older versus younger healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*; 60(9):1111-7.
141. Thomas, A., Paci, C., d'Andreameo, G., Curatola, L. and Onofri, M., (1997) Age-related changes of evoked potentials Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Volume 103, Issue 1, Page 9.
142. Thompson, L.V., (2002) Skeletal muscle adaptations with age, inactivity, and therapeutic exercise. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 32, 44-57.
143. Thompson, L.V., Johnson, S.A., Shoeman, J.A., (1998) Single soleus muscle fiber function after hindlimb unweighting in adult and aged rats. *J. Appl. Physiol.* 84, 1937-1942.
144. Tomlinson, B. E. and Irving, D., (1977) The numbers of limb motor neurons in the human lumbosacral cord throughout life. *J. Neurol. Sci.*, 34: 213-219.
145. Toupet, M., Gagey, P.M., Heuschen, S., (1992) Vestibular patients and aging subjects lose use of input and expend more energy in static postural control. In: Vellas B, Toupet M, Rubenstein L, Albaredo JL, Christen Y, eds. Falls, balance and gait disorders in the elderly. Paris: Elsevier, 183-198.
146. Tse, S.K., Bailey, D.M., (1992) Tai chi and postural control in the well elderly. *Am J Occup Ther*; 46:295-300.
147. Valour, D., Pousson, M., (2003) Compliance changes of the series elastic component of elbow flexor muscles with age in human. *Pflügers Arch.* 445, 721-727.
148. Vandervoort, A.A., (2002) Aging of the human neuromuscular system. *Muscle Nerve* 25, 17-25.
149. Vandervoort, A.A., Hayes, H.C. and Bélanger, A.Y., (1986) Strength and endurance of skeletal muscle in the elderly. *Physiother. Can.*, 38, 167-173.
150. Vandervoort, A.A., Kramer, J.F., Wharram, E.R., (1990) Eccentric knee strength of elderly females. *J. Gerontol. Biol. Sci.* 45, B125- B128.
151. Vandervoort, A.A., Symons, T.B., (2001) Functional and metabolic consequences of sarcopenia. *Can. J. Appl. Physiol.* 26, 90-101.
152. Van Schaik, C.S., Hicks, A.L., McCartney, N., (1994) An evaluation of the length-tension relationship in elderly human ankle dorsiflexors. *J. Gerontol.* 49, 121-127.
153. Viner, R.I., Ferrington, D.A., Williams, T.D., Woodhouse, L., Yarasheski, K.E., Miller, C.A., Askansas, V., Engel, W.K., Bhasin, S., Attardi, G., (1999) Protein modification during biological aging: selective tyrosine nitration of the SERCA2a isoform of the sarcoplasmic reticulum Ca²⁺-ATPase in skeletal muscle. *Biochem. J.* 340: 657-669.
154. Volpi, E., SheYeld-Moore, M., Rasmussen, B. B., and Wolfe, R. R., (2001) Basal muscle amino acid kinetics and protein synthesis in healthy young and older men [see comment]. *JAMA* 286, 1206-1212.
155. Wang, F.C., DePasqua, V., Delwaide, P.J., (1999) Age related changes in fastest and slowest conducting axons of thenar motor units. *Muscle Nerve*. 22:1022-1029.
156. Wang, Y., Michikawa, Y., Mallidis, C., Bai, Y., Bigelow, D.J., Schoneich, C., (2001) Muscle specific mutation accumulate with aging in critical mtDNA control sites for replication. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98, 4022-4027.
157. Wei, Y.H., Kao, S.H., Lee, H.C., (1996) Simultaneous increase of mitochondrial DNA deletions and lipid peroxidation in human aging. *Ann. NY Acad. Sci.* 786, 24-43.
158. Welle, S., Thornton, C., and Statt, M., (1995) Myofibrillar protein synthesis in young and old human subjects after three months of resistance training. *Am. J. Physiol.* 268(3 Pt. 1):E422-E427.
159. Willis, P.E., Chadad, S.G., Baracos, V., Parkhose, W.S., (1998) Restoration of insulin-like growth factor I action in skeletal muscle of old mice. *Am. J. Physiol.* 275, E525-E530.
160. Wu, G., Zhao, F., Zhou, X., Wie, L. (2002) Improvement of Isokinetic Knee Extensor Strength and Reduction of Postural Sway in the Elderly From Long-Term Tai Chi Exercise. *Arch Phys Med Rehabil* (83) 1364-1369.
161. Yarasheski, K.E., Pak-Loduca, J., Hasten, D.L., Obert, K.A., Brown, M.B., Sinacore, D.R., (1999) Resistance exercise training increases mixed muscle protein synthesis rate in frail women and men 76 yr old. *American Journal of Physiology* 277, E118-E125.
162. Yue, G.H., Ranganathan, V.K., Siemionow, V., Liu, J.Z., Sahgal, V., (1999) Older adults exhibit a reduced ability to fully activate their biceps brachii muscle. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* May; 54(5):M249-53.
163. Zarzhevsky N., Menashe O., Carmeli E., Stein H., Reznick A.Z., (2001). Capacity for recovery and possible mechanisms in immobilization atrophy of young and old animals. *NY Acad. Sci.* 928, 212-225.
164. Zhang, L., Morris, K.J., Ng, Y.K., (2006) Fiber type-specific immunostaining of the Na⁺,K⁺-ATPase subunit isoforms in skeletal muscle: Age-associated differential changes. *Biochimica et Biophysica Acta* 1762 783-793.