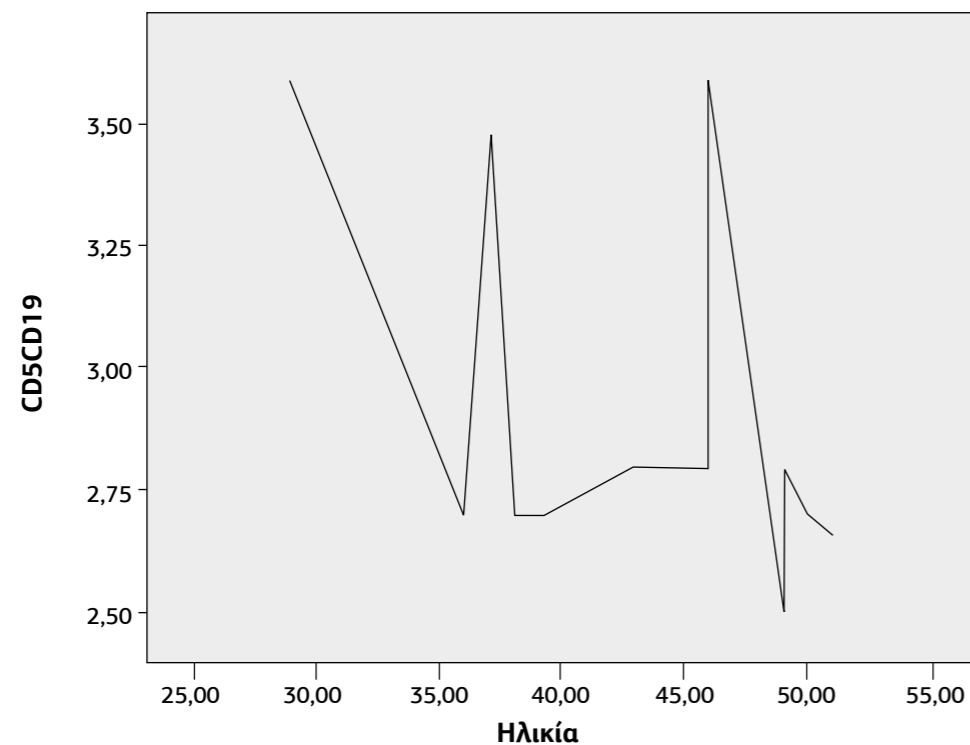


Εικόνα 2. Τιμές του δείκτη CD19 στην ομάδα Γ



Εικόνα 3. Συνέκφραση των δεικτών CD5/CD19, σύμφωνα με την ηλικία στην ομάδα Γ

Παράγοντες που επιδρούν στη μορφολογία των σκελετικών μυϊκών ινών σε υγιείς ενήλικες



Ιωάννης - Αλέξανδρος Τζάνος

Τζάνος Ιωάννης - Αλέξανδρος¹, Γιώτη Κωνσταντίνα²
 1. Φυσίατρος, Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Αθηνών
 2. Ειδικευόμενη Φυσίατρος, Εθνικό Κέντρο Αποκατάστασης

Υπεύθυνος επικοινωνίας:

Ιωάννης - Αλέξανδρος Τζάνος,
 Ευρυάλης 16 Κηφισιά,
 Κιν.: 6943 455271,
 e-mail: tzanosalexandros@yahoo.gr

Περίληψη

Οι σκελετικές μυϊκές ίνες διακρίνονται τόσο για την πολυπλοκότητά τους όσο και για την ικανότητά τους να μεταβάλουν τη μορφολογία τους προσαρμοζόμενες σε ενδογενείς και εξωγενείς καταστάσεις. Οι διάφοροι τύποι των μυϊκών ινών όπως καθορίζονται από τις ισομορφές του μορίου της μυοσίνης ανευρίσκονται σε διαφορετικές αναλογίες κάτω από την επίδραση μηχανισμών και παραγόντων που συχνά συνυπάρχουν. Το παρόν πόνημα επιχειρεί να συνοψίσει τα πρόσφατα ευρήματα της βιβλιογραφίας επικεντρώνοντας στους παράγοντες της γήρανσης, της άσκησης, του φύλου, των ορμονών, της διατροφής, της φυλής και άλλων. Τα συμπεράσματα δύναται να είναι χρήσιμα για κάθε ιατρό στην προσπάθεια κλινικής εκτίμησης και ερμηνείας της φυσικής κατάστασης των ασθενών του.

Factors affecting morphology of skeletal muscle fibers in healthy adults

Tzanos Ioannis - Alexandros¹, Gioti Konstantina²
 1. Physiatrist, PhD
 2. Resident in Physical and Rehabilitation Medicine, National Rehabilitation Center

Summary

Skeletal muscle fibers are known for both their complexity and their ability to change their morphology adapting to endogenous and exogenous situations. The different types of muscle

fibers as defined by the isoforms of the myosin molecule are present in different ratios under the influence of mechanisms and factors that often coexist. This essay attempts to summarize recent findings of the literature focusing on the factors of aging, exercise, sex, hormones, diet, race and other. The findings may be useful for any physician during clinical evaluation and interpretation of the physical condition of the patient.

Εισαγωγή

Ο σκελετικός μυς είναι ένας πολύπλοκος πολυκύτταρος ιστός που αποτελείται από διάφορους τύπους μυϊκών ινών που έχουν σαφώς διαφορετικά λειτουργικά και μεταβολικά προφίλ.^{1,2} Η σύνθεση των τύπων των μυϊκών ινών επηρεάζει βαθύτατα την επίδοση των μυών, η οποία έχει συνέπειες στην ανθρώπινη κίνηση, την αθλητική απόδοση και σε κλινικές καταστάσεις, όπως η σαρκopenία, η απώλεια μυϊκής μάζας και σχετιζόμενες με τους μυς μεταβολικές διαταραχές. Οι τύποι των ανθρώπινων μυϊκών ινών μπορούν να οριστούν με διάφορους τρόπους με τη συστατική βαριά αλυσίδα μυοσίνης (MHC) ως κοινό χαρακτηριστικό. Η MHC βρίσκεται στις μορφές των τύπων I, IIa, και IIx, και οι μυϊκές ίνες μπορεί να περιέχουν μόνο μία (δηλαδή μία καθαρή ίνα) ή ένα συνδυασμό (δηλαδή ένα υβρίδιο ίνας) από αυτές τις isoμορφές, η οποία οδηγεί στους πέντε πιο διαδεδομένους τύπους των μυϊκών ινών στους ανθρώπους (I, I / IIa, IIa, IIa / IIx, IIx).^{3,4} Ενώ παλαιότερα πιστευόταν ότι είναι ως επί το πλείστον στατικό σε ενήλικες ανθρώπους,^{5,6} το προφίλ του τύπου της ίνας του ανθρώπινου σκελετικού μυός έχει πλέον αποδειχθεί ότι έχει υψηλό βαθμό πλαστικότητας, με τη φυσική δραστηριότητα να είναι ένας πρωτεύων ρυθμιστής μεταβολών του τύπου της ίνας.^{7,8} Παρακάτω παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στη μορφολογία των σκελετικών μυϊκών ινών σε υγιείς ενήλικες.

Ηλικία – Γήρανση

Με την αύξηση της ηλικίας οι άνθρωποι σκελετικοί μύες μειώνονται σταδιακά σε όγκο, κυρίως λόγω του μειωμένου αριθμού κινητικών μονάδων και μυϊκών ινών και το μειωμένο μέγεθος ινών τύ-

που II.⁹ Η μειωμένη μυϊκή μάζα που επέρχεται με τη γήρανση οφείλεται κυρίως στο μικρότερο μέγεθος των τύπου II μυϊκών ινών και, ως εκ τούτου, είναι απίθανο να συνοδεύεται από σημαντική απώλεια μυϊκών ινών.¹⁰ Η σχετιζόμενη με την ηλικία απώλεια μυϊκής μάζας οφείλεται εν μέρει στις διαρθρωτικές αλλαγές που συμβαίνουν στο σκελετικό μυ.¹¹⁻¹⁵ Ατροφία της μυϊκής μάζας έως 50% και υψηλότερη έχει παρατηρηθεί σε γηρασμένο μυϊκό ιστό.¹⁶⁻²¹ Ένας παράγοντας που συμβάλλει σε αυτό το εύρημα είναι μία μείωση του μεγέθους των μυϊκών ινών και του αριθμού τους. Αυτό έχει αποδειχθεί ότι είναι δυσανάλογο μεταξύ των κυριότερων τύπων μυϊκών ινών: τύπος I και II.¹⁸⁻²¹ Οι ίνες τύπου II, οι οποίες είναι υψηλά αναερόβιες, τείνουν να έχουν μία αξιοσημείωτη μείωση στο μέγεθος κατά τη διάρκεια της γήρανσης. Σε αντίθεση, οι ίνες τύπου I, οι οποίες είναι υψηλά αερόβιες, διατηρούν το μέγεθος τους. Η ομαδοποίηση των ινών είναι επίσης μία ανωμαλία που σχετίζεται με την ηλικία.¹⁸ Γενικώς, οι ίνες των διαφόρων τύπων έχουν μία εμφάνιση «μωσαϊκού» σε νεαρό μυϊκό ιστό. Στους μυς των ηλικιωμένων, οι ίνες του ίδιου τύπου τείνουν να ομαδοποιούνται με αποτέλεσμα μία "αποσπασματική" εμφάνιση. Αυτό το εύρημα έχει αποδοθεί σε ατελή ενεργοποίηση του μυϊκού ιστού, ως αποτέλεσμα της ακατάλληλης νεύρωσης.^{22,23} Μία άλλη κοινή δομική μεταβολή είναι η παραμόρφωση στο επίπεδο της ίνας.¹⁸ Οι παρακείμενες ίνες σε μυς υγιών νέων έχουν παρόμοιες γεωμετρικές διατομής. Ως αποτέλεσμα της γήρανσης, οι μυϊκές ίνες αρχίζουν να παραμορφώνονται, μερικές εμφανίζονται στρογγυλές και άλλες πιο επιμήκεις. Αυτές οι διαρθρωτικές αλλαγές εκτείνονται πέρα από τη διατομή μίας ίνας και περιλαμβάνουν την αρχιτεκτονική των ινών.

Οι Morse και συν²⁴ παρατήρησαν ότι η γωνία

πρόσφυσης του υποκνημιδίου σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας ήταν 18% μικρότερη από ότι στους νεαρούς ενήλικες. Στην έσω μοίρα του γαστροκνήμιου μυ, το μήκος της ίνας ήταν 15% μικρότερο. Οι Lexell και συν²⁵ καταλήγουν ότι η ηλικία δεν επηρεάζει τη σύνθεση των τύπων των μυϊκών ινών. Η γεωμετρία και οι δομές των ινών παραμένουν άθικτες. Οι ίνες σε ηλικιωμένα άτομα είναι απλώς μικρότερες, το οποίο μπορεί να οφείλεται σε μία πιο καθιστική ζωή.²⁶ Οι περισσότεροι ερευνητές που έχουν ερευνήσει τη σαρκopenία έχουν χρησιμοποιήσει είτε τεχνικές απεικόνισης είτε βιοψίες μυών που έχουν εκτελεστεί με έναν τρόπο εγκάρσιας διατομής.²⁷⁻³¹ Οι Frontera και συν³² ωστόσο, δεν παρατήρησαν αλλαγές στο μέγεθος των ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός σε άνδρες με καθιστική ζωή, χωρίς προβλήματα υγείας, ηλικίας 60 έως 70 ετών κατά την έναρξη της μελέτης, οι οποίοι υποβλήθηκαν σε βιοψίες μυών το 1985-1986 και μετά πάλι 12 χρόνια αργότερα.

Οι μύες των ηλικιωμένων (65-83 ετών) περιέχουν λιγότερο συστατικό ιστό και περισσότερο μη συστατικό ιστό σε σύγκριση με το σκελετικό μυ των νεότερων ατόμων (26-44 ετών).³³ Σε πρόσφατες αξιολογήσεις της γήρανσης του πληθυσμού και της μορφολογίας των μυών, μερικοί συγγραφείς^{9,34} έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι το μέγεθος των τύπου I (βραδείες) ινών δεν αλλάζει σημαντικά με την ηλικία, αλλά ότι οι τύπου II (ταχείες) ίνες υποβάλλονται σε εκλεκτική ατροφία. Αν και η γενική αντίληψη είναι ότι μόνο οι ίνες τύπου II μειώνονται σημαντικά σε μέγεθος με τη γήρανση (σε άτομα χωρίς αναπηρίες), ο αριθμός των τύπου I και II ινών φαίνεται να μειώνεται με παρόμοιο τρόπο με την ηλικία.³⁴ Σε αντίθεση με τη γενική πεποίθηση ότι το ποσοστό των ινών τύπου I παραμένει αμετάβλητο με τη γήρανση^{25,34} μία ερευνητική ομάδα προτείνει ότι μειώνεται. Ωστόσο, οι συγγραφείς προειδοποιούν ότι, λόγω των μεθοδολογικών αμφιβολιών, τα αποτελέσματά τους θα πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή μέχρι να υπάρξουν επιπλέον αποδείξεις.³²

Φυσική δραστηριότητα

Η αύξηση της μυϊκής μάζας μετά από παρατεταμένη προπόνηση τύπου αντίστασης μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στην υπερτροφία των τύπου II μυϊκών ινών.¹⁰ Όταν υγιείς μύες είναι αχρη-

σιμοποιήτοι, οι μυϊκές ίνες συρρικνώνονται σε μέγεθος, αλλά μπορούν να διατηρήσουν το είδος των ινών τους.³⁵ Οι Coggan και συν³⁶ ανέφεραν ότι, μετά από 10 μήνες άσκησης αντοχής που αποτελούνταν από περπάτημα ή τρέξιμο για 45 λεπτά την ημέρα, 3 φορές την εβδομάδα, η επιφάνεια διατομής των τύπου I (βραδείες) ινών της έξω μοίρας του γαστροκνήμιου των 60- έως 70-χρονων συμμετεχόντων αυξήθηκε κατά 12% σε άνδρες και γυναίκες συμμετέχοντες, στις τύπου IIa ίνες (ταχείες, ανθεκτικές στην κόπωση) αυξήθηκε κατά 6% στους άνδρες και κατά 18% στις γυναίκες συμμετέχοντες και στις ίνες τύπου IIβ (ταχείες, ευαίσθητες στην κόπωση) αυξήθηκε κατά 12% στους άνδρες και κατά 9% στις γυναίκες συμμετέχοντες. Αυτοί οι ερευνητές ανέφεραν επίσης ότι, παρόλο που το ποσοστό των ινών τύπου I παρέμεινε αμετάβλητο μετά την προπόνηση αντοχής, υπήρξε μία μείωση στο ποσοστό του τύπου IIβ ινών και αύξηση 8% στο ποσοστό του τύπου IIa ινών (γεγονός που συνεπάγεται τη μετατροπή των ινών τύπου IIβ σε τύπου IIa με την άσκηση).

Οι Hakkinen και συν³⁷ μελέτησαν την παραγωγή δύναμης στον τετρακέφαλο μηριαίο μυ και τα χαρακτηριστικά των μυϊκών ινών ατόμων μεγαλύτερης ηλικίας (μέση ηλικία 72 ± 3 χρόνια και 67 ± 3 έτη για τους άνδρες και τις γυναίκες, αντίστοιχα) που πραγματοποίησαν ένα προπονητικό πρόγραμμα 6 μηνών που αποτελείτο από προοδευτικά μεγάλη αντίσταση και άσκηση "εκρηκτικής" δύναμης. Δοκιμές που διεξήχθησαν στο τέλος του εξαμηνιαίου προγράμματος έδειξαν ότι η παραγωγή δύναμης του τετρακέφαλου μηριαίου μυός σε αυτούς τους συμμετέχοντες αυξήθηκε κατά 30% έως 60%, αν και η επιφάνεια διατομής τους αυξήθηκε σε μικρότερο βαθμό.

Η μιτοχονδριακή πυκνότητα και λειτουργία είναι αυξημένες τόσο σε ζώα όσο και σε ανθρώπους που υποβάλλονται σε άσκηση αντοχής³⁸⁻⁴⁰ Ο μιτοχονδριακός όγκος των σκελετικών μυών μειώθηκε με τη χρόνια άσκηση αντιστάσεων.⁴¹ Δώδεκα εβδομάδες άσκησης με αντιστάσεις οδήγησε σε ποιοτικές και ποσοτικές αλλαγές στα μιτοχόνδρια του σκελετικού μυ. Η προσαρμογή αυτή συνοδεύτηκε από αλλαγές στις μιτοχονδριακές πρωτεΐνες.⁴²

Οι Murach και συν⁴³ μελέτησαν την αρχιτεκτονική της έξω μοίρας του γαστροκνήμιου σε 16 δρομείς πριν και μετά από 12 εβδομάδες προπόνη-

σης μαραθωνίου. Το μήκος της δεσμίδας στο γαστροκνήμιο μειώθηκε κατά 10%, ενώ η γωνία πρόσφυσης αυξήθηκε κατά 17% ($p < 0,05$). Οι Baroni και συν⁴⁴ απέδειξαν ότι η αύξηση του πάχους των μυών λόγω έκκεντρης άσκησης σχετίζεται με αυξημένο μήκος δεματίων και όχι με αλλαγές της γωνίας πρόσφυσης. Αν και μελετήθηκαν μύες με διαφορετική γεωμετρία δεσμίδων, είχαν παρόμοιες μορφολογικές προσαρμογές στην έκκεντρη άσκηση.

Οι Ema και συν⁴⁵ μελέτησαν 7 άνδρες με μέσο όρο ηλικίας 27 που ολοκλήρωσαν ένα τριμηνιαίο πρόγραμμα άσκησης αντιστάσεων των εκτεινόντων του γόνατος. Κατέληξαν ότι η υπερτροφία του τετρακεφάλου συνδέεται με μία ανάλογη αύξηση της γωνίας πρόσφυσης, αλλά όχι απαραίτητα του μήκους του δεματίου και ότι οι αλλαγές που προκαλούνται από την άσκηση στο μέγεθος του μυ και τη λοξότητα δε συμβαίνουν ομοιόμορφα εντός του τετρακεφάλου.

Φύλο - Ορμόνες

Οι διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα στη σύνθεση των σκελετικών μυϊκών ινών και τη λειτουργία τους είναι εμφανείς σε πολυάριθμα είδη και υπάρχουν σε συγκεκριμένες ανατομικές θέσεις. Υπάρχουν τέσσερις κύριες ισομορφές βαρειών αλύσων μυοσίνης (MyHC) παρόντες σε μυς ενήλικων θηλαστικών (MyHC-I, -IIa, -IIx, και -IIb), με αυξανόμενη ταχύτητα συστολής κατά τη σειρά που αναφέρονται. Υπάρχει μία επικράτηση των πιο αργών ινών τύπου I και -IIa στις γυναίκες σε σύγκριση με τους άνδρες που είναι παράλληλη με τις χαμηλότερες ταχύτητες συστολής στις γυναίκες σε σύγκριση με τους άνδρες. Η επικράτηση των ινών βραδείας συστολής είναι επίσης ένα πλεονέκτημα για τις γυναίκες επιδόσεις δεδομένου ότι οι πιο αργές οξειδωτικές ίνες και η υψηλότερη οξειδωτική ικανότητα επιτρέπουν την αυξημένη αντοχή και αποκατάσταση, αντανακλώντας τις διαφορές με βάση το φύλο ως απάντηση στην κόπωση ή το μυϊκό τέτανο. Αν και οι θυρεοειδικές ορμόνες προκαλούν μία μετατροπή των ινών από αργές σε γρήγορες και αυξάνουν την ταχύτητα συστολής, τα οιστρογόνα και η τεστοστερόνη εμπλέκονται στην αύξηση των σκελετικών μυών, το μέγεθος των ινών και ελάχιστα στη συσταλτική λειτουργία. Μερικές έρευνες υπογραμμίζουν την ενισχυμένη συσταλτική λει-

τουργία και την αυξημένη έκφραση β-οξειδωτικών γονιδίων στους άνδρες που λαμβάνουν οιστρογόνα και την ενίσχυση της ανάπτυξης των μυών στις γυναίκες που έλαβαν θεραπεία με τεστοστερόνη.⁴⁶

Το οιστρογόνο έχει δείξει ότι επηρεάζουν το μέγεθος των μυϊκών ινών, το συνολικό βάρος των μυών, τη μυϊκή αναγέννηση και συσταλτικότητα και ότι επάγουν ελάχιστες αλλαγές στην κατανομή του τύπου των ινών. Η ωθηκτομή οδηγεί σε αύξηση του συνολικού σωματικού βάρους και του βάρους των μυών⁴⁷ και σε μία αύξηση κατά 70% στο ERα mRNA χωρίς καμία αλλαγή στο ERβ mRNA⁴⁸

Το βάρος του υποκνημίδιου μύος αυξάνεται μετά από ωθηκτομή σε θηλυκούς αρουραίους.⁴⁹ Η συμπλήρωση με οιστρογόνα μετά την ωθηκτομή οδηγεί σε μείωση του σωματικού βάρους⁵⁰ και συρρικνώνει την αύξηση του ERα mRNA.⁴⁸ Σε υποκνημίδιους και μακρούς εκτεινόντες των δακτύλων αρουραίου, η ωθηκτομή οδηγεί σε ελαφρά αύξηση της μέσης διαμέτρου ινών του τύπου I, -IIa, και -IIb. Η συμπλήρωση με οιστρογόνα μειώνει σημαντικά τη διάμετρο της ίνας σε όλους τους τύπους ινών στον υποκνημίδιο και το μακρό εκτεινόντα τους δακτύλους από τα επίπεδα κατά την ωθηκτομή ως κάτω από τα επίπεδα βάσης.⁵¹ Δεν υπάρχει καμία διαφορά στον τύπο μυϊκών ινών του υποκνημίδιου που συντίθενται μετά από ωθηκτομή στα ποντίκια.⁴⁷

Ωστόσο, στον πελματιαίο μυ του ποντικίου, η ωθηκτομή οδηγεί σε μείωση της σχετικής ποσότητας των ινών τύπου IIx από 38% σε 33%.⁵² Η συμπλήρωση με οιστρογόνα αυξάνει την ποσοστιαία σύνθεση ινών τύπου IIx στον πελματιαίο μυ στο 42%.⁵²

Οι μελέτες σε βιοψίες του έξω πλατύ μύος δείχνουν πως η επιφάνεια διατόμης των ινών είναι μεγαλύτερη στους άνδρες παρά στις γυναίκες. Συγκεκριμένα, οι ίνες τύπου I είναι 19% μεγαλύτερες, οι τύπου IIa ίνες είναι 59% μεγαλύτερες και οι τύπου IIx ίνες είναι 66% μεγαλύτερες στους άνδρες παρά στις γυναίκες.⁵³ Σε ενήλικο ινδικό χοιρίδιο, ο ευνουχισμός προκαλεί ατροφία πολλών μυών, συμπεριλαμβανομένου του πλατύ ραχιαίου και του στερνοκλειδομαστοειδή μύος.⁵⁴ Σε ποντίκια ο ευνουχισμός προκαλεί μία μείωση στο σωματικό βάρος, η οποία περιορίζεται με χορήγηση τεστοστερόνης και παρόλο που το συνολικό βάρος των μυών αυξάνει, η επιφάνεια διατομής της ίνας

του υποκνημίδιου και του πρόσθιου κνημιαίου δεν αλλάζει σημαντικά.⁵⁵ Ωστόσο, υπάρχει ένας συσχετισμός μεταξύ αυξήσεων στην επιφάνεια διατομής και τη συνολική μυϊκή μάζα. Ο ρόλος της τεστοστερόνης στην κατανομή του τύπου των μυϊκών ινών έχει, εν μέρει, προσδιοριστεί μέσω της ανάλυσης των υπογοναδικών αρσενικών και θηλυκών μοντέλων ποντικών. Η ανάλυση της κατανομής του τύπου των ινών σε υπογοναδικά αρσενικά σε σχέση με θηλυκά δεν αποκαλύπτει σημαντικές αλλαγές στις τύπου I, IIa, IIx, ή IIb ίνες στο γαστροκνήμιο μυ ή σε τύπου I ή IIa ίνες στον υποκνημίδιο.⁵⁶ Επιπλέον η κατανομή του τύπου των ινών του γαστροκνημίου είναι σχετικά αμετάβλητη σε σχέση με τα ποντίκια άγριου τύπου, ενώ το I <IIx <IIa <IIb είναι η σχετική συνεισφορά του κάθε τύπου ίνας σε αρσενικά και θηλυκά.⁵⁶ Ωστόσο, σε άλλες περιπτώσεις, η διάμετρος της ίνας τύπου IIb σε αρσενικούς υπογοναδικούς ποντικούς μειώνεται σημαντικά σε σύγκριση με τα αρσενικά άγριου τύπου. Παραδόξως, στα θηλυκά, ο υπογοναδικός φαινότυπος οδηγεί σε αύξηση της διαμέτρου των ινών IIb.⁵⁶

Εγκυμοσύνη

Η εγκυμοσύνη προάγει αλλαγές στον τύπο των μυϊκών ινών από μία οξειδωτική σε μία γλυκολυτική ισομορφή στους σκελετικούς μυς. Το φαινόμενο αυτό ρυθμίζεται μέσω μίας αλληλεπίδρασης μεταξύ της πρωτεΐνης SMTNL1 και του υποδοχέα της προγεστερόνης, η οποία μεταβάλλει την έκφραση των συσταλτικών και μεταβολικών πρωτεϊνών.⁵⁷

Φυλή

Σε έρευνα βρέθηκε πως οι γυναίκες της καυκάσιας φυλής έχουν λιγότερες τύπου I και περισσότερες τύπου IIb μυϊκές ίνες από τις αφροαμερικανές γυναίκες αντίστοιχων σωματομετρικών χαρακτηριστικών.⁵⁸ Τα μη-ισπανόφωνα άτομα της μαύρης φυλής φαίνεται να έχουν μικρότερη μέγιστη αερόβια ικανότητα και ένα μεγαλύτερο ποσοστό σκελετικών μυϊκών ινών τύπου II.⁵⁹

Διατροφή – Παχυσαρκία

Έρευνα έδειξε ότι οι παχύσαρκες γυναίκες είχαν λιγότερες τύπου I και περισσότερες τύπου IIb μυϊκές ίνες από τις γυναίκες φυσιολογικού βάρους.⁵⁸ Σε παχύσαρκα άτομα, το μέγεθος των μυϊκών ινών αυξάνεται, κυρίως λόγω του έκτοπου λι-

πώδους ιστού εντός του σκελετικού μύος.⁶⁰ Άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η απώλεια βάρους δεν προκαλεί καμία μεταβολή στον τύπο της μυϊκής ίνας ή την επιφάνεια διατομής, αλλά προκαλεί αύξηση της αναλογίας τριχοειδών/ινών και της τριχοειδικής πυκνότητας.⁶¹ Σε μία έρευνα σε αρσενικούς ποντικούς, η δίαιτα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά συσχετίστηκε με σημαντικά χαμηλότερο ποσοστό των ινών τύπου I στον υποκνημίδιο ($p < 0,0165$). Επιπλέον, το ποσοστό των ινών τύπου I στον υποκνημίδιο αρσενικών ποντικών ήταν αντιστρόφως ανάλογο με το σχετικό πάχος των αρσενικών ποντικών ($p < 0,003$), αλλά καμία συσχέτιση δεν παρατηρήθηκε στα θηλυκά ποντίκια. Σε αρσενικούς ποντικούς, η μείωση στις ίνες τύπου I συσχετίστηκε με αύξηση των τύπου I / IIa υβριδικών ινών, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι τύπου I ίνες μετασχηματίστηκαν κυρίως σε αυτά τα υβρίδια. Τα παραπάνω συνηγορούν ότι οι ίνες τύπου I είναι πιο ευαίσθητες στις επιδράσεις της παχυσαρκίας και ότι αυτές οι αλλαγές του τύπου των ινών μπορεί να είναι φυλοεξαρτώμενες.⁶²

Βιταμίνες

Άλλοι ερευνητές μελέτησαν αν η πρόσληψη 5% (w/w) πολυφαινόλης μήλου (APP) στη δίαιτα για 8 εβδομάδες βελτιώνει την αντοχή των μυών των νεαρών ενήλικων αρουραίων και βρήκαν ότι ακόμη και η χαμηλή πρόσληψη APP μπορεί να αυξήσει τα ποσοστά των ανθεκτικών στην κόπωση μυϊκών ινών.⁶³ Άλλη πειραματική μελέτη σε χοίρους ανέδειξε ότι η χορήγηση βιταμίνης B3

επάγει τη μετατροπή των μυϊκών ινών από τύπου II σε τύπου I.⁶⁴ Ωστόσο αντίστοιχη έρευνα σε αρουραίους δεν εντοπίζει ανάλογη επίδραση.⁶⁵

Τα συμπληρώματα καρνιτίνης σε παχύσαρκους αρουραίους φαίνεται να εξουδετερώνουν την επίδραση της παχυσαρκίας στη μετατροπή των μυϊκών ινών από τύπου II σε τύπου I.⁶⁶

Συμπεράσματα

Αναντίρρητα ο σκελετικός μυς παρουσιάζει υψηλό βαθμό προσαρμοστικότητας σε εξωτερικά ερεθίσματα ακόμη και κατά την ενήλικη ζωή. Τα δομικά χαρακτηριστικά της μυϊκής ίνας επηρεάζουν τη λειτουργικότητα του ατόμου και αποτελούν προγνωστικό δείκτη της σαρκοπενίας και της ευπάθειας. Η γνώση των διαφορών ανάμεσα στους τύ-

πους των μυϊκών ινών επιτρέπει στον κλινικό ιατρό να αντιληφθεί πιο ολοκληρωμένα τη μορφολογική και φυσιολογική βάση της αποτελεσματικότητας παρεμβάσεων όπως η άσκηση αντοχής και η άσκηση με αντιστάσεις. Επιπλέον εξηγεί τις αλλα-

γές στη φυσική κατάσταση που επισυμβαίνουν με την αύξηση της ηλικίας, την καθιστική ζωή και τις αλλαγές διατροφικών συνθηκών.

Τέλος ερμηνεύει την επίδραση του φύλου και της φυλής στη μυϊκή απόδοση.

Βιβλιογραφία

- Saltin B, Gollnick P. Handbook of Physiology. Skeletal Muscle. Am. Physiol. Soc.; Bethesda, MD: 1983. Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance.
- Bottinelli R, Pellegrino MA, Canepari M, Rossi R, Reggiani C. Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: an in vitro study. *J Electromyogr Kinesiol.* 1999;9:87-95.
- Smerdu V, Karsch-Mizrachi I, Campione M, Leinwand L, Schiaffino S. Type IIx myosin heavy chain transcripts are expressed in type IIb fibers of human skeletal muscle. *Am J Physiol.* 1994;267:C1723-8
- Billeter R, Heizmann CW, Howald H, Jenny E. Analysis of myosin light and heavy chain types in single human skeletal muscle fibers. *Eur J Biochem.* 1981;116:389-95
- Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert C.Wt., Sembrowich WL, Shepherd RE. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1973;34:107-11.
- Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, Knuttgen HG, Evans WJ. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol.* 1988;64:1038-44.
- Trappe S, Harber M, Creer A, Gallagher P, Slivka D, Minchev K, Whitsett D. Single muscle fiber adaptations with marathon training. *J Appl Physiol.* 2006;101:721-7.
- Williamson DL, Gallagher PM, Carroll CC, Raue U, Trappe SW. Reduction in hybrid single muscle fiber proportions with resistance training in humans. *J Appl Physiol.* 2001;91:1955-61
- Porter MM, Vandervoort AA, Lexell J. Aging of human muscle: structure, function and adaptability. *Scand J Med Sci Sports.* 1995 Jun;5(3):129-42.
- Nilwik R, Snijders T, Leenders M, Groen BB, van Kranenburg J, Verdijk LB, van Loon LJ. The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Exp Gerontol.* 2013 May;48(5):492-8.
- Goldspink G. Age-related muscle loss and progressive dysfunction in mechanosensitive growth factor signaling. *Ann N Y Acad Sci.*2004;1019:294-298.
- Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol.*2000;89:81-88.
- Larsson L, Yu F, Hook P, Ramamurthy B, Marx JO, Pircher P. Effects of aging on regulation of muscle contraction at the motor unit, muscle cell, and molecular levels. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*2001;11:Suppl: S28-S43.
- Owino V, Yang SY, Goldspink G. Age-related loss of skeletal muscle function and the inability to express the autocrine form of insulin-like growth factor-1 (IGF) in response to mechanical overload. *FEBS Lett.*2001;505:259-263.
- Pahor M, Kritchevsky S. Research hypotheses on muscle wasting, aging, loss of function and disability. *J Nutr Health Aging.*1998;2:97-100.
- Basu R, Basu A, Nair KS. Muscle changes in aging. *J Nutr Health Aging.*2002;6:336-341.
- Doherty TJ. Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol.*2003;95:1717-1727.
- Andersen JL. Muscle fibre type adaptation in the elderly human muscle. *Scand J Med Sci Sports.*2003;13:40-47.
- Chan KM, Doherty TJ, Brown WF. Contractile properties of human motor units in health, aging, and disease. *Muscle Nerve.*2001;24:1113-1135.
- Frontera WR, Hughes VA, Krivickas LS, Roubenoff R. Contractile properties of aging skeletal muscle. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*2001;11:Suppl: S16-S20.
- Lexell J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*1995;50:Spec No: 11-16.
- Larsson L. Motor units: remodeling in aged animals. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*1995;50:Spec No: 91-95.
- Luff AR. Age-associated changes in the innervation of muscle fibers and changes in the mechanical properties of motor units. *Ann N Y Acad Sci.*1998;854:92-101.
- Morse CI, Thom JM, Birch KM, Narici MV. Changes in triceps surae muscle architecture with sarcopenia. *Acta Physiol Scand.*2005;183:291-298
- Lexell J, Taylor CC, Sjostrom M. 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.*1988;84:275-294.
- Galbán CJ, Maderwald S, Stock F, Ladd ME. Age-related changes in skeletal muscle as detected by diffusion tensor magnetic resonance imaging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2007 Apr;62(4):453-8.
- Vandervoort AA, McComas AJ. Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol.*1986 ;61:361-367.
- Young A, Stokes M, Crowe M. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. *Eur J Clin Invest.*1984 ;14:282-287.
- Young A, Stokes M, Crowe M. The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clin Physiol.*1985 ;5:145-154.
- Coggan AR, Spina RJ, King DS, et al. Histochemical and enzymatic comparison of the gastrocnemius muscle of young and elderly men and women. *J Gerontol.*1992 ;47:B71-B76.
- Hakkinen K, Kraemer WJ, Kallinen M, et al. Bilateral and unilateral neuromuscular function and muscle cross-sectional area in middle-aged and elderly men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*1996;51:B21-B29.
- Frontera WR, Hughes VA, Fielding RA, et al. Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *J Appl Physiol.*2000 ;88:1321-1326.
- Kent-Braun JA, Ng AV, Young K. Skeletal muscle contractile and noncontractile components in young and older women and men. *J Appl Physiol.*2000 ;88:662-668.
- Rogers MA, Evans WJ. Changes in skeletal muscle with aging: effects of exercise training. *Exerc Sport Sci Rev.*1993 ;21:65-102
- Berg HE, Larsson L, Tesch PA. Lower limb skeletal muscle function after 6 wk of bed rest. *J Appl Physiol.*1997;82:182-188.
- Coggan AR, Spina RJ, King DS, et al. Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-yr-old men and women. *J Appl Physiol.*1992 ;72:1780-1786
- Hakkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, et al. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol.*1998 ;84:1341-1349.
- Holloszy J, Oscai L, Don I, Molé P. Mitochondrial citric acid cycle and related enzymes: adaptive response to exercise. *Biochem Biophys Res Commun.* 1970;40:1368-73
- Jacobs R, Lundby C. Mitochondria express enhanced quality as well as quantity in association with aerobic fitness across recreationally active individuals up to elite athletes. *J Appl Physiol.* 2013;26:5192-200
- Pesta D, Hoppel F, Macek C, et al. Similar qualitative and quantitative changes of mitochondrial respiration following strength and endurance training in normoxia and hypoxia in sedentary humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2011;301:1078-87
- MacDougall J, Sale D, Moroz J, Elder G, Sutton J, Howald H. Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 1979;11:164-6
- Porter C, Reidy PT, Bhattarai N, Sidossis LS, Rasmussen BB. Resistance Exercise Training Alters Mitochondrial Function in Human Skeletal Muscle. *Med Sci Sports Exerc.* 2015 Sep;47(9):1922-31.
- Murach K, Greever C, Luden ND. Skeletal muscle architectural adaptations to marathon run training. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015 Jan;40(1):99-102.
- Baroni BM, Geremia JM, Rodrigues R, De Azevedo Franke R, Karamanidis K, Vaz MA. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: rectus femoris vs. vastus lateralis. *Muscle Nerve.* 2013 Oct;48(4):498-506.
- Ema R, Wakahara T, Miyamoto N, Kanehisa H, Kawakami Y. Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. *Eur J Appl Physiol.* 2013 Nov;113(11):2691-703.
- Maher AC, Akhtar M, Tarnopolsky MA. Men supplemented with 17beta-estradiol have increased beta-oxidation capacity in skeletal muscle. *Physiol Genom.* 42: 342-347, 2010
- Moran AL, Warren GL, Lowe DA. Removal of ovarian hormones from mature mice detrimentally affects muscle contractile function and myosin structural distribution. *J Appl Physiol* 100: 548-559, 2006.
- Baltgalvis KA, Greising SM, Warren GL, Lowe DA. Estrogen regulates estrogen receptors and antioxidant gene expression in mouse skeletal muscle. *PLoS One* 5: e10164, 2010.
- Wattanapernpool J, Reiser PJ. Differential effects of ovariectomy on calcium activation of cardiac and soleus myofilaments. *Am J Physiol.* 1999 Aug;277(2 Pt 2):H467-73.
- McCormick KM, Burns KL, Piccone CM, Gosselin LE, Brazeau GA. Effects of ovariectomy and estrogen on skeletal muscle function in growing rats. *J Muscle Res Cell Motil.* 2004;25(1):21-7.
- Suzuki S, Yamamoto T. Long-term effects of estrogen on rat skeletal muscle. *Exp Neurol* 87: 291-299, 1985
- Piccone CM, Brazeau GA, McCormick KM. Effect of oestrogen on myofibre size and myosin expression in growing rats. *Exp Physiol* 90: 87-93, 2005.
- Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Murray TF, Hostler DP, Crill MT, Ragg KE, Toma K. Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *J Histochem Cytochem* 48: 623-629, 2000.
- Kochakian CD, Tillotson C. Influence of several C19 steroids on the growth of individual muscles of the guinea pig. *Endocrinology* 60: 607-618, 1957.
- Axell AM, MacLean HE, Plant DR, Harcourt LJ, Davis JA, Jimenez M, Handelsman DJ, Lynch GS, Zajac JD. Continuous testosterone administration prevents skeletal muscle atrophy and enhances resistance to fatigue in orchidectomized male mice. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291: E506-E516, 2006.
- Sciote JJ, Horton MJ, Zyman Y, Pascoe G. Differential effects of diminished oestrogen and androgen levels on development of skeletal muscle fibres in hypogonadal mice. *Acta Physiol Scand* 172: 179-187, 2001.
- Lontay B, Bodoor K, Sipos A, Weitzel DH, Loiselle D, Safi R, Zheng D, Devente J, Hickner RC, McDonnell DP, Ribar T, Haystead TA. Pregnancy and Smoothelin-like Protein 1 (SMTNL1) Deletion Promote the Switching of Skeletal Muscle to a Glycolytic Phenotype in Human and Mice. *J Biol Chem.* 2015 Jul 17;290(29):17985-98.
- Tanner CJ, Barakat HA, Dohm GL, Pories WJ, MacDonald KG, Cunningham PR, Swanson MS, Houmard JA. Muscle fiber type is associated with obesity and weight loss. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2002 Jun;282(6):E1191-6.
- Ceaser T, Hunter G. Black and White race differences in aerobic capacity, muscle fiber type, and their influence on metabolic processes. *Sports Med.* 2015 May;45(5):615-23.
- Pisto P, Santaniemi M, Turpeinen JP, Ukkola O, Kesäniemi YA. Adiponectin concentration in plasma is associated with muscle fiber size in healthy middle-aged men. *Scand J Clin Lab Invest.* 2012 Sep;72(5):395-402.
- Kern PA, Simsolo RB, Fournier M. Effect of weight loss on muscle fiber type, fiber size, capillarity, and succinate dehydrogenase activity in humans. *J Clin Endocrinol Metab.* 1999 Nov;84(11):4185-90.
- Denies MS, Johnson J, Maliphol AB, Bruno M, Kim A, Rizvi A, Rustici K, Medler S. Diet-induced obesity alters skeletal muscle fiber types of male but not female mice. *Physiol Rep.* 2014 Jan 28;2(1):e00204.
- Mizunoya W, Okamoto S, Miyahara H, Akahoshi M, Suzuki T, Do MQ, Ohtsubo H, Komiya Y, Qahar M, Waga T, Nakazato K, Ikeuchi Y, Anderson JE, Tatsumi R. Fast-to-slow shift of muscle fiber-type composition by dietary apple polyphenols in rats: Impact of the low-dose supplementation. *Anim Sci J.* 2016 Jul 15.
- Khan M, Couturier A, Kubens JF, Most E, Mooren FC, Krüger K, Ringseis R, Eder K. Niacin supplementation induces type II to type I muscle fiber transition in skeletal muscle of sheep. *Acta Vet Scand.* 2013 Nov 22;55:85.
- Scholz K, Kynast AM, Couturier A, Mooren FC, Krüger K, Most E, Eder K, Ringseis R. Supplementing healthy rats with a high-niacin dose has no effect on muscle fiber distribution and muscle metabolic phenotype. *Eur J Nutr.* 2014 Aug;53(5):1229-36.
- Couturier A, Ringseis R, Mooren FC, Krüger K, Most E, Eder K. Carnitine supplementation to obese Zucker rats prevents obesity-induced type II to type I muscle fiber transition and favors an oxidative phenotype of skeletal muscle. *Nutr Metab (Lond)* 2013 Jul 10;10:48.