

Ερευνητική εργασία

Μηχανισμός μείωσης της συγκέντρωσης των τριακυλογλυκερολών έπειτα από αερόβια άσκηση σε νεαρές υγιείς γυναίκες

Αικ. Σιώπη,¹ Ε. Μπέλλου,¹ Μ. Γαλάνη,¹ Μ. Μαράκη,¹ Λ. Συντώσης,^{1,2}

¹Εργαστήριο Διατροφής και Κλινικής Διαιτολογίας, Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας-Διατροφής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα,

²Department of Internal Medicine, ITS, Sealy Center for Aging and Shriners Hospital for Children, UTMB Galveston, Texas, USA

ΠΕΡΙΛΗΨΗ Σκοπός: Να διερευνηθεί ο μηχανισμός πίσω από την υποτριακυλογλυκερολαιμική δράση μίας συνεδρίας αερόβιας άσκησης μέτριας έντασης στις γυναίκες. **Υλικό-Μέθοδος:** Στη μελέτη έλαβαν μέρος 8 υγιείς, μη δραστήριες γυναίκες (23,5±2,7 ετών, ΔΜΣ 22,1±1,2 kg/m²). Οι εθελόντριες συμμετείχαν σε δύο μελέτες διερεύνησης της κινητικής των τριακυλογλυκερολών στις λιποπρωτεΐνες πολύ χαμηλής πυκνότητας (VLDL-TAG) με τη χρήση σταθερών ισοτόπων ιχνηθέτησης, μία ημέρα μετά από (α) παρέμβαση άσκησης: έντονο περπάτημα στο 60% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (ενεργειακό έλλειμμα ~500 kcal) και (β) παρέμβαση ελέγχου (ανάπαυση, μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο), με τυχαιοποιημένη σειρά. **Αποτελέσματα:** Η μέση διάρκεια της άσκησης ήταν 125±19 λεπτά. Η συγκέντρωση των ολικών TAG νηστείας βρέθηκε 11% χαμηλότερη μετά την παρέμβαση άσκησης, σε σχέση με την παρέμβαση ελέγχου (43,1±5,0 και 49,7±9,3 mg/dL αντίστοιχα, P<0,05), ενώ η συγκέντρωση των VLDL-TAG βρέθηκε 29% χαμηλότερη (12,7±4,1 και 18,2±5,3 mg/dL αντίστοιχα, P<0,01). Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον ρυθμό ηπατικής έκκρισης ανάμεσα στις δύο παρεμβάσεις (3,62±0,98 και 4,52±1,56 μmol/min, P>0,05). Ο ρυθμός πλασματικής εκκαθάρισης των VLDL-TAG βρέθηκε κατά 21% υψηλότερος μετά την άσκηση, σε σχέση με την παρέμβαση ελέγχου (26,81±7,27 και 22,31±4,98 mL/min αντίστοιχα, P<0,05). Ο μέσος χρόνος παραμονής των VLDL-TAG στην κυκλοφορία δεν άλλαξε σημαντικά μετά την άσκηση σε σχέση με την παρέμβαση ελέγχου (87±22 και 102±19 min αντίστοιχα, P>0,05). **Συμπεράσματα:** Η υποτριακυλογλυκερολαιμική δράση μίας συνεδρίας αερόβιας άσκησης μέτριας έντασης σε γυναίκες εκδηλώνεται μέσω αύξησης του ρυθμού απομάκρυνσης των VLDL-TAG από το πλάσμα.

✉ Συγγραφέας προς επικοινωνία:

Αικατερίνα Σιώπη

25ης Μαρτίου 11, 546 45 Θεσσαλονίκη

Τηλ: 6942 822 234

E-mail: RenaSiopi@gmail.com

Λέξεις κλειδιά: Κινητική, λιποπρωτεΐνες, τριακυλογλυκερόλες, φυσική δραστηριότητα, VLDL.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αυξημένα επίπεδα τριακυλογλυκερολών (triacylglycerol, TAG) αποτελούν ανεξάρτητο παράγοντα κινδύνου καρδιαγγειακών νοσημάτων.¹ Κύρια διαταραχή υπεύθυνη για την παραπάνω συσχέτιση φαίνεται να είναι η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων των αθηρογόνων υπολειμμάτων των λιποπρωτεϊνών πλούσιων σε TAG (triacylglycerol rich lipoproteins,TRL).² Επομένως, παρεμβάσεις οι οποίες μειώνουν ή προλαμβάνουν την αύξηση της συγκέντρωσης των TAG και των TRL-TAG μπορεί να βοηθήσουν στη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών νοσημάτων. Στο μεταπορροφητικό στάδιο, το μεγαλύτερο μέρος των TAG στο αίμα (65–70%) βρίσκεται στις λιποπρωτεΐνες πολύ χαμηλής πυκνότητας (very low density lipoproteins, VLDL).³

Έχει πλέον αναγνωριστεί πως η άσκηση έχει υπο τριακυλογλυκερολαιμική δράση, η οποία εκδηλώνεται 12–24 ώρες μετά τη συνεδρία της άσκησης, διαρκεί 2–3 ημέρες και δεν είναι αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενων συνεδριών (προπόνηση).⁴ Πλήθος μελετών έχει δείξει πως, σε υγιή άτομα με φυσιολογικά επίπεδα TAG, μια και μόνο συνεδρία αερόβιας άσκησης, παρατεταμένης διάρκειας και μέτριας έντασης (90 λεπτά στο 60% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, peak oxygen consumption VO_{2peak}) οδηγεί σε μείωση των συγκεντρώσεων TAG νηστείας την επόμενη ημέρα κατά 15–30%, τόσο σε άντρες όσο και σε γυναίκες.^{5–7} Η υποτριακυλογλυκερολαιμική δράση της μιας συνεδρίας άσκησης φαίνεται πως δεν εξαρτάται από την ένταση ή τη διάρκεια της άσκησης αρκεί η ενεργειακή δαπάνη της άσκησης να παραμένει σταθερή και να ξεπερνά τις 500 kcal, ενώ αντανakλά κυρίως τη μείωση στη συγκέντρωση των VLDL-TAG στο πλάσμα.⁴

Προηγούμενες μελέτες κινητικής με τη χρήση σταθερών ισοτόπων ιχνηθέτησης έχουν δείξει πως μια συνεδρία άσκησης μειώνει τα επίπεδα των VLDL-TAG αυξάνοντας τον ρυθμό εκκαθάρισής τους από την κυκλοφορία την επόμενη ημέρα.^{5,6,8,9} Το δείγμα των μελετών αυτών αποτέλεσαν άντρες. Μόνο μία μελέτη κινητικής των VLDL-TAG έχει πραγματοποιηθεί σε γυναίκες, μετά από μία συνεδρία άσκησης (ποδηλασία 60 λεπτά στο 60% VO_{2peak}), στην οποία το ενεργειακό έλλειμμα ήταν αρκετά μικρό (240 kcal) και δεν είχε κάποια επίδραση.¹⁰

Οι γυναίκες σε κατάσταση ηρεμίας σε σχέση με τους άντρες παρουσιάζουν μικρότερες συγκεντρώσεις VLDL-TAG, λόγω αυξημένης πλασματικής εκκαθάρισης (κατά 70%) και χαμηλότερες συγκεντρώσεις VLDL-apoB-100, λόγω μειωμένης ηπατικής έκκρισης (κατά 20% περίπου).¹¹ Οι γυναίκες εμφανίζουν μεγαλύτερο μοριακό λόγο του ρυθμού ηπατικής έκκρισης των VLDL-TAG προς αυτόν της VLDL-apoB-100 (≥ 2), και αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως το ήπαρ των γυναικών εκκρίνει λιγότερα, αλλά πιο πλούσια σε TAG, VLDL σωματίδια σε σχέση με τους άντρες.¹¹ Το γεγονός αυτό πιθανόν να εξηγεί εν μέρει τον παρατηρούμενο αυξημένο ρυθμό πλασματικής εκκαθάρισης των VLDL-TAG στις γυναίκες, καθώς τα πλουσιότερα σε TAG και μεγαλύτερα σε μέγεθος VLDL σωματίδια υδρολύονται πιο εύκολα από τη λιποπρωτεϊνική λιπάση (lipoprotein lipase, LPL).¹²

Λόγω των παραπάνω διαφορών μεταξύ των δύο φύλων στον μεταβολισμό των VLDL, κρίνεται σκόπιμο να διερευνηθεί το κατά πόσο μια συνεδρία άσκησης επιδρά στα VLDL-TAG των γυναικών με τον ίδιο ή διαφορετικό τρόπο από αυτό που έχει παρατηρηθεί στους άντρες. Συνεπώς, η παρούσα μελέτη έχει ως σκοπό να εκτιμήσει τις επιδράσεις μίας συνεδρίας αερόβιας άσκησης (ενεργειακού ελλείμματος 500 kcal) στην κινητική των VLDL-TAG στο μεταπορροφητικό στάδιο, σε νέες υγιείς μη δραστήριες γυναίκες.

ΥΛΙΚΟ-ΜΕΘΟΔΟΣ

Εθελοντές και προκαταρκτικές μετρήσεις

Στη μελέτη συμμετείχαν 8 υγιείς εθελόντριες (ηλικίας 24 ± 3 ετών, βάρους $61,3 \pm 8,7$ kg, δείκτη μάζας σώματος $22,1 \pm 1,2$ kg/m², λιπώδους μάζας $33,7 \pm 5,0\%$, VO_{2peak} $26,7 \pm 3,1$ mL·kg⁻¹·min⁻¹), οι οποίες ακολουθούσαν καθιστικό τρόπο ζωής (συστηματική άσκηση ≤ 2 ώρες/εβδ.). Η επιλογή μη δραστήριων ατόμων έγινε για να υπάρχει ομοιομορφία στο δείγμα και να αποκλειστούν οι επιδράσεις της συστηματικής άσκησης. Επιπλέον, τα άτομα αυτά διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο για υπερτριακυλογλυκερολαιμία.⁴ Τα κριτήρια αποκλεισμού ήταν: οποιαδήποτε χρόνια ασθένεια, αυξημένα επίπεδα γλυκόζης, υπερχοληστερολαιμία, υπερτριακυλογλυκερολαιμία, λήψη φαρμακευτικής αγωγής, πολυκυστικές ωοθήκες, άστατος έμμηνος κύκλος. Επίσης, αποκλείστηκαν άτομα που υπήρξαν καπνίστριες τα τελευταία 2 χρόνια, ακολουθούσαν κάποια διαιτολογική αγωγή ή είχαν διακύμανση σω-

ματικού βάρους >2 kg τους 6 μήνες πριν την έναρξη της μελέτης. Όλες οι εθελόντριες υπέγραψαν συμφωνητικό εθελοντικής συμμετοχής και η μελέτη εγκρίθηκε από την Επιτροπή Βιοηθικής του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου.

Οι μετρήσεις των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και της σύστασης σώματος πραγματοποιήθηκαν περίπου 1 εβδομάδα πριν την έναρξη της μελέτης. Το σωματικό βάρος και ύψος (SECA scale & SECA stadiometer, Hamburg, Germany) καταγράφηκαν με ακρίβεια 0,1 kg και 0,1 cm, αντίστοιχα. Η σύσταση σώματος σε άλιπη και λιπώδη μάζα προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της απορροφησιμετρίας ακτινών Χ διπλής ενέργειας (DPX-MD, Lunar, Madison, WI, v. 4.6).

Ο μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας (resting metabolic rate, RMR) υπολογίστηκε με τη μέθοδο της έμμεσης θερμιδομετρίας, χρησιμοποιώντας τη συσκευή dilution canopy (Sensormedics, Vmax229, Yorba Linda, CA) υπό τις κατάλληλες συνθήκες (12 ώρες νηστεία, κατάσταση ηρεμίας, θερμοκρασιακά ουδέτερο περιβάλλον) και αφού είχε προηγηθεί ανάπαυση της εθελόντριας για ~30 λεπτά. Ο RMR προσδιορίστηκε από την εξίσωση Weir¹³ και τον πίνακα για το μη πρωτεϊνικό αναπνευστικό πηλίκιο,¹⁴ θεωρώντας αμελητέα την απέκκριση αζώτου στα ούρα.

Η VO_{2peak} υπολογίστηκε έπειτα από υπομέγιστο τεστ σε δαπεδοεργόμετρο (Technogym Runrace, Gambettola, Italy).¹⁵ Μετά από προθέρμανση, η κάθε εθελόντρια ακολούθησε ένα πρωτόκολλο αυξανόμενης κλίσης και παράλληλα μετρήθηκε η πρόσληψη οξυγόνου (Sensormedics, Vmax229, Yorba Linda CA) και η καρδιακή της συχνότητα σε κάθε στάδιο (καρδιοσυχνόμετρο Suunto, t3c, Finland). Η ταχύτητα του δαπεδοεργόμετρου ρυθμίστηκε ανάλογα με τον βηματισμό της κάθε εθελόντριας (5,0–6,5 km/h) και στη συνέχεια παρέμεινε σταθερή ενώ αυξανόταν η κλίση κατά 2% κάθε 3 λεπτά. Η δοκιμασία σταμάτησε όταν η καρδιακή συχνότητα της εθελόντριας έφτασε το 80% της θεωρητικής μέγιστης καρδιακής συχνότητας (heart rate max=220-ηλικία).¹⁵ Η VO_{2peak} προσδιορίστηκε από τη γραφική παράσταση της καρδιακής συχνότητας ως προς την πρόσληψη οξυγόνου.

Ερευνητικό πρωτόκολλο

Όλες οι εθελόντριες υποβλήθηκαν στη διαδικασία μελέτης της κινητικής των VLDL-TAG δύο φορές την ημέρα μετά την παρέμβαση ελέγχου και την ημέρα μετά την παρέμβαση της άσκησης. Οι παρεμβάσεις

απείχαν μεταξύ τους τουλάχιστον μία εβδομάδα και έλαβαν χώρα με τυχαίοποιημένη σειρά (έπειτα από ρίψη νομίσματος). Ζητήθηκε από τις εθελόντριες να καταγράψουν τη διαιτητική τους πρόσληψη για 2 ημέρες πριν την ημέρα της πρώτης παρέμβασης και να επαναλάβουν τη διατροφή αυτών των δύο ημερών πριν τη δεύτερη παρέμβαση. Έγινε σύσταση για αποφυγή κάθε μορφής άσκησης ή έντονης φυσικής δραστηριότητας για δύο ημέρες πριν από κάθε παρέμβαση, καθώς και αποχή από κατανάλωση αλκοόλ ή καφεΐνης.

Κατά την παρέμβαση ελέγχου οι εθελόντριες απέφυγαν κάθε είδους έντονη φυσική δραστηριότητα καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Το απόγευμα πριν τη μελέτη κινητικής, οι εθελόντριες παρέμειναν σε κατάσταση ηρεμίας, ακολουθώντας καθιστικές δραστηριότητες. Παράλληλα, την ημέρα της παρέμβασης κάθε εθελόντρια ακολούθησε ένα συνταγογραφημένο ισοθερμιδικό διαιτολόγιο το οποίο παρείχε ενέργεια ίση με τις εκτιμώμενες ημερήσιες ενεργειακές της ανάγκες για σταθερό σωματικό βάρος. Αυτές υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας το μετρούμενο RMR με παράγοντα φυσικής δραστηριότητας 1,3–1,5, που αντιπροσωπεύει την πολύ χαμηλή έως χαμηλή φυσική δραστηριότητα των εθελοντριών της συγκεκριμένης μελέτης.¹⁶ Έτσι, η κάθε εθελόντρια κατά την ημέρα παρέμβασης ελέγχου βρισκόταν σε ισοζύγιο ενέργειας.

Την ημέρα παρέμβασης άσκησης, κάθε εθελόντρια προσήλθε στο εργαστήριο το απόγευμα (17:00, μεταξύ μεσημεριανού και βραδινού γεύματος) και περπάτησε με έντονο ρυθμό στο δαπεδοεργόμετρο στο 60% της VO_{2peak} της. Κατά τη διάρκεια της άσκησης, η πρόσληψη οξυγόνου μετρήσιμη ήταν κάθε 15 λεπτά και η κλίση προσαρμοζόταν, αν ήταν αναγκαίο, έτσι ώστε κάθε εθελόντρια να ασκείται στο $60 \pm 5\%$ της VO_{2peak} της. Η συνεδρία άσκησης ολοκληρώθηκε όταν η προκαλούμενη καθαρή ενεργειακή δαπάνη της άσκησης (δηλαδή η ενεργειακή δαπάνη πέρα από τη δαπάνη ηρεμίας) έφτασε τις 500 kcal. Παράλληλα, την ημέρα παρέμβασης άσκησης κάθε εθελόντρια ακολούθησε ένα συνταγογραφημένο ισοθερμιδικό διαιτολόγιο, το οποίο παρείχε ενέργεια ίση με τις εκτιμώμενες ενεργειακές της ανάγκες για σταθερό βάρος, μη λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση στην ενεργειακή δαπάνη λόγω της συνεδρίας άσκησης, δηλαδή ακολούθησε το ίδιο διαιτολόγιο με την ημέρα της παρέμβασης ελέγχου. Έτσι, η κάθε εθελόντρια, κατά την ημέρα πα-

ρέμβασης άσκησης, βρισκόταν σε αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας, λόγω αύξησης την ενεργειακής δαπάνης.

Η φάση του έμμηνου κύκλου στην οποία βρίσκονταν οι εθελόντριες την ημέρα της κάθε παρέμβασης, δεν συμπεριλήφθηκε στους συγχυτικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τον μεταβολισμό των VLDL-TAG, καθώς προηγούμενη μελέτη έδειξε πως δεν επηρεάζει τη συγκέντρωση ή την κινητική των VLDL-TAG και της VLDL-apoB-100.¹⁷

Το συνταγογραφημένο διαιτολόγιο παρείχε 50% της συνολικής προσλαμβανόμενης ενέργειας από υδατάνθρακες, 30% από λίπη και 20% από πρωτεΐνες. Για να ελεγχθεί η συμμόρφωση των εθελοντριών, τους ζητήθηκε να καταγράψουν τη διαιτητική τους πρόσληψη σε ειδικά ημερολόγια καταγραφής. Επιπλέον, το πρωί πριν την έναρξη της μελέτης κινητικής, λαμβάνονταν από διαιτολόγο διατροφική ανάκληση 24ώρου για την ημέρα της παρέμβασης. Τα παραπάνω αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό πρόγραμμα (Nutritionist V, FirstDataBank, San Bruno, USA).

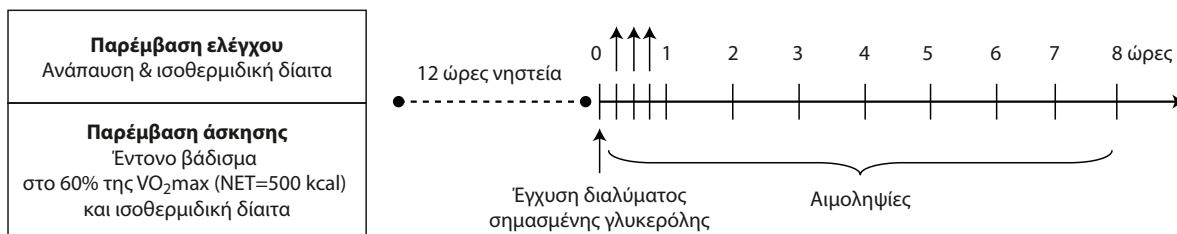
Το επόμενο πρωί της κάθε ημέρας παρέμβασης, κάθε εθελόντρια προσήλθε στο εργαστήριο έχοντας τηρήσει ολονύκτια 12ωρη νηστεία. Ένας καθετήρας εισήχθη σε μία φλέβα του ενός χεριού (στο ύψος του πήχη) για τη χορήγηση σταθερών ισοτόπων ιχνηθέτησης και ένας δεύτερος καθετήρας εισήχθη σε μία φλέβα του άλλου χεριού (στο ύψος του πήχη) για τη συλλογή δειγμάτων αίματος. Έπειτα από μισή ώρα σε κατάσταση ηρεμίας ($t=0$), πραγματοποιήθηκε η πρώτη αιμοληψία και αμέσως μετά χορηγήθηκε ενδοφλεβίως, ως δόση ταχείας έγχυσης, επισημασμένη [1,1,2,3,3,2H₅] γλυκερόλη (Goss Scientific Instruments, Essex, UK), ~75 $\mu\text{mol/kg}$ σωματικού βάρους σε φυσιολογικό ορό. Η χορήγηση πραγματοποιήθηκε μέσω αποστειρωμένου φίλτρου (διάμετρος πόρων 0,22 μm), το οποίο παρεμβαλλόταν μεταξύ της αποστειρωμένης σύριγγας και της βελόνας. Στη συνέχεια, δείγματα αίματος (~10 mL) συλλέγονταν στα 15, 30,

45 και 60 λεπτά, κι έπειτα κάθε μία ώρα μέχρι την ολοκλήρωση της μελέτης κινητικής (για 8 ώρες, εικόνα 1). Η διατήρηση του καθετήρα αυτού ανοιχτού έγινε εφικτή με τη χορήγηση μικρής ποσότητας (~2–3 mL) φυσιολογικού ορού (0,9% NaCl) έπειτα από κάθε αιμοληψία και κάθε μισή ώρα. Οι εθελόντριες παρέμεναν καθιστές σε νηστεία, ενώ μπορούσαν να καταναλώσουν μικρές ποσότητες νερού.

Συλλογή δειγμάτων και ανάλυση

Ένα μέρος από το κάθε δείγμα αίματος μεταγγίστηκε άμεσα σε φιαλίδιο υπό κενό, το οποίο περιείχε αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό (ethylenediaminetetraacetic, EDTA) άλας με κάλιο ως αντιπηκτικό (Sarstedt, Leicester, UK), και τοποθετήθηκε άμεσα στη φυγόκεντρο (Hettick Universal 32R) για φυγοκέντρωση (3000 στροφές/λεπτό, 10 λεπτά, θερμοκρασία 4 °C) με σκοπό την απομόνωση του πλάσματος. Μέρος του πλάσματος (~3 mL) διατηρήθηκε στην ψύξη για άμεση απομόνωση των VLDL. Το υπόλοιπο του δείγματος πλάσματος αποθηκεύτηκε σε μικρά σωληνάκια (erpendorfs) στους -80 °C για τον μετέπειτα προσδιορισμό της συγκέντρωσης ολικών TAG και γλυκόζης. Ο προσδιορισμός των παραπάνω έγινε με ενζυμική χρωματομετρική μέθοδο, χρησιμοποιώντας εμπορικά διαθέσιμα διαγνωστικά αντιδραστήρια (Wassermann Diagnostics, USA) σε αυτόματο βιοχημικό αναλυτή (Schiapparelli Biosystems, USA).

Το υπόλοιπο του δείγματος αίματος μεταγγίστηκε άμεσα σε φιαλίδιο υπό κενό, το οποίο περιείχε ειδικό τζελ (Sarstedt, Leicester, UK), παρέμεινε σε θερμοκρασία δωματίου για 30 λεπτά και κατόπιν τοποθετήθηκε στη φυγόκεντρο (Hettick Universal 32R) για φυγοκέντρωση (3000 στροφές/λεπτό, 10 λεπτά, θερμοκρασία 4 °C) με σκοπό την απομόνωση του ορού του αίματος. Ο ορός αποθηκεύτηκε σε μικρά σωληνάκια (erpendorfs) στους -80 °C για μετέπειτα προσδιορισμό της ινσουλίνης. Τα επίπεδα ινσουλίνης



ΕΙΚΟΝΑ 1. Σχηματική αναπαράσταση του ερευνητικού πρωτοκόλλου. NET: Net Energy Expenditure, καθαρή ενεργειακή δαπάνη της άσκησης (η ενεργειακή δαπάνη πέρα από την ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας).

προσδιορίστηκαν με ανοσοενζυμική μέθοδο χρησιμοποιώντας ένα εμπορικά διαθέσιμο σετ (ST AIA-PACK IRI, Tosoh Medics, Inc, San Francisco, CA, USA) σε αυτόματο αναλυτή (Tosoh AIA 600II, Tosoh Medics, Inc, San Francisco, CA, USA).

Για την απομόνωση των VLDL λιποπρωτεϊνών, περίπου 2,2 mL πλάσματος αναμείχθηκαν σε ειδικά πλαστικά φυαλίδια (Quick seal-Beckman centrifuge tubes) με 2,5 mL διαλύματος NaCl-EDTA (1,006 kg/L). Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε ρότορα (Beckman TLN 100) και υπερφυγοκεντρήθηκαν σε θερμοκρασία 4°C, στις 74.000 στροφές για 90 λεπτά. Το κλάσμα των VLDL λιποπρωτεϊνών συλλέχθηκε έπειτα από την ποσοτική απομόνωση του υπερκείμενου τμήματος, που ακολούθησε τη διχοτόμηση του φυαλιδίου υπερφυγοκέντρωσης με ειδικό κοπτικό εξάρτημα (Beckman CentriTube slicer). Το υπερκείμενο (1,2–1,5 mL) αποθηκεύτηκε στους 80°C μέχρι τον τελικό προσδιορισμό της συγκέντρωσης των VLDL-TAG, όπως των ολικών TAG.

Οι TAG των VLDL απομονώθηκαν με τη μέθοδο της χρωματογραφίας λεπτής στιβάδας. Με κατάλληλες διαδικασίες, που αναφέρονται με λεπτομέρειες σε προηγούμενο άρθρο⁶ έγινε κατακρήμνιση των πρωτεϊνών των VLDL και έπειτα τα δείγματα σε διάλυμα χλωροφόρμιο:μεθανόλης (3:1) εφαρμόστηκαν με λεπτή σύριγγα (50 μ L) σε πλάκες πυριτικής πηκτής (LK6D silica gel plate, 60 \AA , πάχους 250 μ m, Whatman, Maidstone, UK). Ως κινητή φάση χρησιμοποιήθηκε επτάνιο: διεθυλεθέρας: φορμικό οξύ σε αναλογία 80:20:2. Οι πλάκες ψεκάστηκαν με διάλυμα ροδαμίνης 6G 0,01% για τον εντοπισμό των κηλίδων που αντιστοιχούν στα TAG. Ακολούθησε απομόνωση της γλυκερόλης των TAG⁶ και σχηματισμός παράγωγου της γλυκερόλης με τον επταφθοροβουτιρικό ανυδρίτη.⁶ Τα δείγματα διαλύθηκαν σε 200 μ L επτάνιου και αποθηκεύτηκαν στους -40°C. Ο λόγος του ιχνηλάτη προς την ιχνηλατούμενη ουσία (tracer to trace ratio, TTR) προσδιορίστηκε μέσα από τη διαδικασία συζευγμένης τεχνικής αέριας χρωματογραφίας-φασματομετρίας μαζών (GC-MS). Για τη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε το σύστημα GC-MSD 5973 (Hewlett-Packard, Palo Alto, CA). Πραγματοποιήθηκε επιλεκτική παρακολούθηση (SIM) των ιόντων με λόγους μάζας προς φορτίο m/z 467 (ιχνηλατούμενο) και 472 (ιχνηλάτης με 5 άτομα δευτέρου).

Υπολογισμοί

Από την ανάλυση GC-MS προέκυψε ο λόγος της επιφάνειας της χρωματογραφικής κορυφής του ιχνη-

λάτη προς την επιφάνεια του ιχνηλατούμενου, ο οποίος αντιστοιχεί στον πρωτογενή λόγο ιχνηλάτη/ιχνηλατούμενο (m+5/m+0). Από τον λόγο αυτό σε κάθε χρονική στιγμή αφαιρέθηκε ο λόγος για τον δείγμα στον χρόνο t=0 (δηλαδή ο φυσικός εμπλουτισμός της VLDL-TAG-γλυκερόλης πριν τη χορήγηση του ιχνηλάτη) και προέκυψε έτσι ο TTR (tracer to trace ratio). Η απόλυτη τιμή της κλίσης της ευθείας που προκύπτει από τις λογαριθμημένες τιμές του TTR για κάθε χρονική στιγμή, αντιστοιχεί στον Κλασματικό Καταβολικό Ρυθμό (Fractional Catabolic Rate, FCR) των VLDL-TAG. Ο FCR υποδηλώνει το μέρος εκείνο της δεξαμενής των VLDL-TAG του πλάσματος που ανακυκλώνεται στη μονάδα χρόνου (pools/min). Ο FCR των VLDL-TAG προσδιορίστηκε βάσει του μονοεκθετικού μοντέλου.^{18,19}

Ο απόλυτος ρυθμός έκκρισης των VLDL-TAG από το ήπαρ (μ mol/min) υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τον FCR των VLDL-TAG (pools/min) με τη δεξαμενή των VLDL-TAG στο πλάσμα (σε μ mol). Η δεξαμενή των VLDL-TAG υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τη συγκέντρωση των VLDL-TAG στο πλάσμα (σε μ mol/L) με τον όγκο κατανομής των VLDL-TAG (σε λίτρα, L). Ο όγκος κατανομής θεωρήθηκε ότι ισούται με τον όγκο του πλάσματος, καθώς οι VLDL περιορίζονται στο πλάσμα αφού, λόγω μεγέθους, δεν περνούν στον διάμεσο χώρο ή στο λεμφικό σύστημα.²⁰ Ο όγκος του πλάσματος (σε λίτρα, L) υπολογίστηκε ως 0,055 λίτρα ανά κιλό άλιπης μάζας.²¹ Ο ρυθμός κάθαρσης των VLDL-TAG από την κυκλοφορία (σε mL/min) υπολογίστηκε διαιρώντας τον απόλυτο ρυθμό απομάκρυνσης VLDL-TAG (σε μ mol/min) με τη συγκέντρωση των VLDL-TAG στο πλάσμα (σε μ mol/mL). Ο απόλυτος ρυθμός απομάκρυνσης VLDL-TAG από το πλάσμα ισούται με τον απόλυτο ρυθμό έκκρισης VLDL-TAG από το ήπαρ, καθώς η συγκέντρωση των VLDL-TAG στο πλάσμα παραμένει σταθερή κάτω από συνθήκες ανάπαυσης. Ο μέσος χρόνος παραμονής των VLDL-TAG στην κυκλοφορία του αίματος (MRT) υπολογίστηκε ως 1/FCR. Η ινσουλινοαντίσταση εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας τον τύπο του ομοιοστατικού μοντέλου (HOMA): Συγκέντρωση Ινσουλίνης (μ U/mL) \times Γλυκόζη (mmol/L)/22,5.²²

Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό (PASW STATISTICS 18.0, SPSS Inc, USA). Το στατιστικό κριτήριο Kolmogorov-Smirnov χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της

κατανομής που ακολουθούν τα δεδομένα. Ο παραμετρικός έλεγχος Student's t για εξαρτημένα δείγματα χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση των ερευνητικών υποθέσεων στις μεταβλητές που ακολουθούσαν κανονική κατανομή (όλες οι μεταβλητές πλην της μεταβλητής FCR άσκησης). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι±τυπική απόκλιση (ΤΑ). Ο μη παραμετρικός έλεγχος κατά Wilcoxon για εξαρτημένα δείγματα χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της διαφοράς στην κατανομή του FCR στην παρέμβαση άσκησης, η οποία δεν ακολουθούσε την κανονική κατανομή. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως διάμεσος (P50) και 1ο–3ο τεταρτημόριο (P25–P75). Όλες οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν σε επίπεδο σημαντικότητας 5% (τιμές $P \leq 0,05$).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Χαρακτηριστικά άσκησης και διατροφικής πρόσληψης

Κατά τη διάρκεια της προγραμματισμένης συνεδρίας αερόβιας άσκησης μέτριας έντασης (παρέμβαση άσκησης) οι εθελόντριες περπάτησαν με έντονο ρυθμό στο δαπεδοεργόμετρο με μέση πρόσληψη οξυγόνου ίση με $0,95 \pm 0,15$ L/min, η οποία αντιστοιχούσε στο $59 \pm 4\%$ της VO_{2peak} τους. Η μέση διάρκεια της άσκησης ήταν 125 ± 19 λεπτά. Ο μέσος όρος του αναπνευστικού πηλίκου ήταν $0,92 \pm 0,03$ και η ολική ενεργειακή δαπάνη της άσκησης ήταν 600 ± 19 kcal, με το $74 \pm 8\%$ να προέρχεται από την οξείδωση των υδατανθράκων και το $26 \pm 8\%$ από την οξείδωση των λιπών (θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει συμμετοχή πρωτεϊνών στην παραγωγή ενέργειας κατά την άσκηση¹⁴).

Η καθαρή ενεργειακή δαπάνη της άσκησης φαίνεται στον πίνακα 1. Σε σύγκριση με την παρέμβαση ελέγχου (μηδενικό ισοζύγιο ενέργειας), την ημέρα της παρέμβασης άσκησης οι εθελόντριες βρίσκονταν σε αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας κατά ~ 500 kcal (πίνακας 1).

Τα ποσοστά μακροθρεπτικών συστατικών της διαίτας για την ημέρα της παρέμβασης ελέγχου ($50,0 \pm 5,1\%$ υδατάνθρακες, $20,0 \pm 1,4\%$ πρωτεΐνες, $30,7 \pm 5,1\%$ λιπίδια) και την ημέρα της παρέμβασης άσκησης ($49,0 \pm 2,9\%$ υδατάνθρακες, $19,8 \pm 2,1\%$ πρωτεΐνες, $31,5 \pm 3,9\%$ λιπίδια) δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ($P > 0,05$).

Συγκεντρώσεις υποστρωμάτων και ινσουλίνης

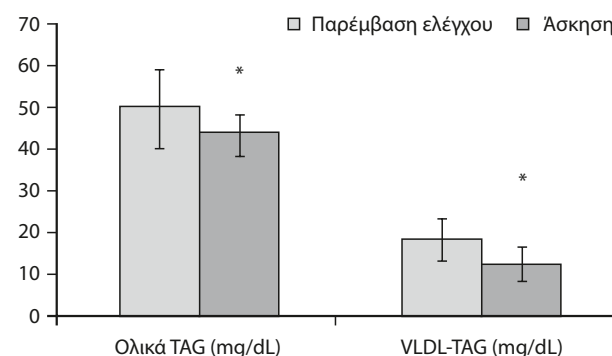
Οι συγκεντρώσεις των ολικών TAG και των VLDL-TAG στο μεταπορροφητικό στάδιο μειώθηκαν κατά

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Καθαρή ενεργειακή δαπάνη άσκησης (net energy expenditure, NET), ενεργειακή πρόσληψη από τη διαίτα και ενεργειακό ισοζύγιο ($n=8$).

	Παρέμβαση ελέγχου	Παρέμβαση άσκησης
NET (kcal)	–	492 ± 21
Ενεργειακή πρόσληψη (kcal)	1697 ± 275	1708 ± 319
Ενεργειακό ισοζύγιο (kcal)	0	-480 ± 106

Όλες οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσος όρος±τυπική απόκλιση. Ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας έγινε με Student's test για ζεύγη παρατηρήσεων. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην ενεργειακή πρόσληψη μεταξύ των παρεμβάσεων ($P > 0,05$).

11% και 29%, αντίστοιχα, μετά από την παρέμβαση άσκησης σε σχέση με την παρέμβαση ελέγχου ($P < 0,05$ και $P < 0,01$, αντίστοιχα) (εικόνα 2). Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές αλλαγές στις συγκεντρώσεις της γλυκόζης νηστείας μετά από την παρέμβαση άσκησης σε σχέση με την παρέμβαση ελέγχου ($95,6 \pm 8,2$ και $96,9 \pm 4,1$ mg/dL, αντίστοιχα, $P > 0,05$). Το ίδιο ισχύει και για τις συγκεντρώσεις ινσουλίνης ($4,7 \pm 1,7$ και $6,6 \pm 2,0$ μ U/mL, αντίστοιχα, $P > 0,05$) και κατά συνέπεια τον δείκτη ινσουλινοαντίστασης HOMA ($1,1 \pm 0,5$ και $1,6 \pm 0,5$ αντίστοιχα, $P > 0,05$) έπειτα από την άσκηση σε σύγκριση με την παρέμβαση ελέγχου.



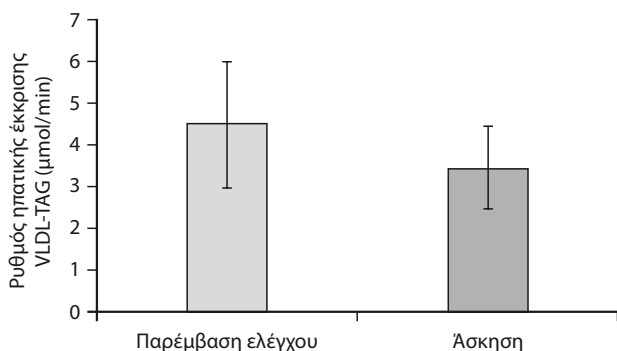
ΕΙΚΟΝΑ 2. Οι επιδράσεις της άσκησης (~ 500 kcal) στα επίπεδα των ολικών και VLDL τριακυλογλυκερολών (TAG), στο μεταπορροφητικό στάδιο. Οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσος όρος±τυπική απόκλιση. Ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας έγινε με Student's test για ζεύγη παρατηρήσεων. *Στατιστικά σημαντική διαφορά από παρέμβαση ελέγχου, $P < 0,05$.

Κινητική των VLDL-TAG κατά το μεταπορροφητικό στάδιο

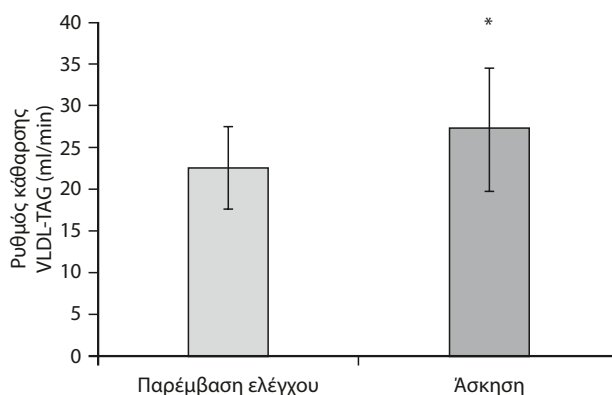
Ο κλασματικός καταβολικός ρυθμός (FCR) των VLDL-TAG δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική αλλαγή την ημέρα μετά την άσκηση, σε σχέση με την παρέμβαση ελέγχου [0,71 (0,58–0,76) και 0,58 (0,50–0,72) $\mu\text{mol}/\text{h}$ αντίστοιχα, $P>0,05$]. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στον ρυθμό ηπατικής έκκρισης ανάμεσα στις δύο παρεμβάσεις ($3,62\pm 0,98$ και $4,52\pm 1,56 \mu\text{mol}/\text{min}$, $P>0,05$) (εικόνα 3). Ο ρυθμός πλασματικής εκκαθάρισης των VLDL-TAG βρέθηκε κατά 21% υψηλότερος μετά την παρέμβαση της άσκησης σε σχέση με την παρέμβαση ελέγχου ($26,81\pm 7,27$ και $22,31\pm 4,98 \text{ mL}/\text{min}$, αντίστοιχα, $P<0,05$) (εικόνα 4). Ο μέσος χρόνος παραμονής (MRT) των VLDL-TAG στην κυκλοφορία του αίματος δεν άλλαξε στατιστικά σημαντικά έπειτα από την παρέμβαση άσκησης σε σύγκριση με την παρέμβαση ελέγχου (87 ± 22 και $102\pm 19 \text{ min}$ αντίστοιχα, $P>0,05$) (εικόνα 5).

Συζήτηση

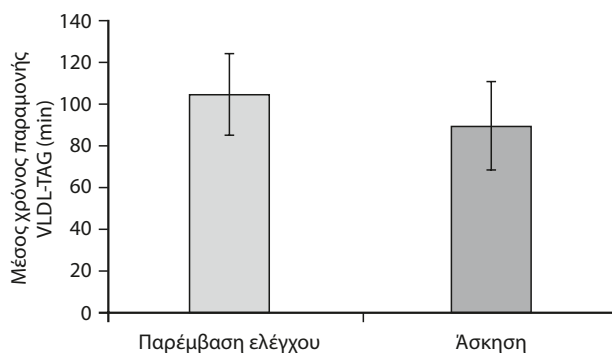
Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν οι επιδράσεις μίας συνεδρίας αερόβιας άσκησης μέτριας έντασης (ενεργειακό έλλειμμα ~500 kcal) στη συγκέντρωση και την κινητική των VLDL-TAG στο μεταπορροφητικό στάδιο σε νέες, υγιείς, μη δραστήριες γυναίκες. Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωση στη συγκέντρωση των ολικών και VLDL-TAG (κατά ~11% και ~29%, αντίστοιχα) μετά την παρέμβαση άσκησης, σε σύγκριση με την παρέμβαση ελέγχου (μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο), ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε ο



ΕΙΚΟΝΑ 3. Ο ρυθμός ηπατικής έκκρισης των VLDL-TAG στο μεταπορροφητικό στάδιο, το πρωί μετά από τις παρεμβάσεις ελέγχου και άσκησης. Οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσος όρος±τυπική απόκλιση. Ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας έγινε με Student’s test για ζεύγη παρατηρήσεων. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των παρεμβάσεων ($P>0,05$).



ΕΙΚΟΝΑ 4. Ο ρυθμός κάθαρσης των VLDL-TAG στο μεταπορροφητικό στάδιο, το πρωί μετά από τις παρεμβάσεις ελέγχου και άσκησης. Οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσος όρος±τυπική απόκλιση. Ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας έγινε με Student’s test για ζεύγη παρατηρήσεων. * Στατιστικά σημαντική διαφορά από παρέμβαση ελέγχου, $P<0,05$.



ΕΙΚΟΝΑ 5. Ο μέσος χρόνος παραμονής των VLDL-TAG στο μεταπορροφητικό στάδιο, το πρωί μετά από τις παρεμβάσεις ελέγχου και άσκησης. Οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσος όρος±τυπική απόκλιση. Ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας έγινε με Student’s test για ζεύγη παρατηρήσεων. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των παρεμβάσεων ($P>0,05$).

ρυθμός πλασματικής εκκαθάρισης των VLDL-TAG (κατά περίπου 22%). Επιβεβαιώθηκε έτσι για πρώτη φορά στις γυναίκες πως, όμοια με τους άντρες, μία συνεδρία αερόβιας άσκησης μειώνει τα επίπεδα των VLDL-TAG την επόμενη ημέρα, μέσω αύξησης της απομάκρυνσής τους από το πλάσμα.

Όσον αφορά στην επίδραση της άσκησης, πολλές είναι οι μελέτες που δείχνουν ότι η επακόλουθη υποτρίακυλογλυκερολαιμία εξαρτάται από τη συνολική ενέργεια που δαπανάται κατά τη διάρκεια της άσκησης²³⁻²⁶ ή ίσως από το συνολικό ενεργειακό έλλειμμα

λόγω άσκησης, αφού στις μελέτες αυτές η καθαρή ενεργειακή δαπάνη της άσκησης δεν αντισταθμίστηκε από επιπλέον ενεργειακή πρόσληψη μέσω διαίτας, οδηγώντας έτσι σε αρνητικό ενεργειακό ισοζύγιο. Παλαιότερη μελέτη σε γυναίκες έδειξε πως ενεργειακό έλλειμμα 240 kcal, προκαλούμενο από μία συνεδρία άσκησης, δεν επηρέασε τη συγκέντρωση ή την κινητική των VLDL-TAG.¹⁰ Το κατώφλι του ενεργειακού ελλείμματος λόγω άσκησης πάνω από το οποίο επιτυγχάνεται μείωση των TAG, έχει βρεθεί πως είναι γύρω στις 500 kcal σε υγιή άτομα.⁴

Πολύ λίγες μελέτες εξέτασαν την επίδραση της άσκησης χωρίς ενεργειακό έλλειμμα, με αντικρουόμενα αποτελέσματα. Σε μία παλαιότερη μελέτη σε ασθενείς με υπερλιποπρωτεϊναιμία τύπου IV, 4 καθημερινές συνεδρίες άσκησης μείωσαν τα επίπεδα των TAG στο μεταποροροφητικό στάδιο, ανεξάρτητα από το εάν έγινε αντιστάθμιση της ενέργειας που δαπανήθηκε, μέσω αύξησης της ενεργειακής πρόσληψης, ή όχι.²⁷ Σε δύο πιο πρόσφατες μελέτες όμως, όταν το ποσό της ενέργειας που δαπανήθηκε κατά την άσκηση καταναλώθηκε ως επιπλέον τροφή, η υποτριάκυλογλυκερολαιμική επίδραση της άσκησης εξαλείφθηκε τόσο σε υπέρβαρους/παχύσαρκους²⁸ όσο και σε νορμοβαρείς/ελαφρά υπέρβαρους άνδρες.²⁹ Κατά συνέπεια το ενεργειακό έλλειμμα φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην υποτριάκυλογλυκερολαιμική δράση της άσκησης.

Στην παρούσα μελέτη δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές στα επίπεδα γλυκόζης, ινσουλίνης και στον δείκτη ινσουλινοαντίστασης HOMA στο μεταποροροφητικό στάδιο, γεγονός που είναι σε συμφωνία με μελέτες που έδειξαν πως η υποτριάκυλογλυκερολαιμική επίδραση της άσκησης δεν σχετίζεται με αλλαγές στον μεταβολισμό της γλυκόζης ή της ινσουλίνης.⁷

Στη μελέτη αυτή φαίνεται πως η αερόβια άσκηση οδηγεί σε εμφάνιση υποτριάκυλογλυκερολαιμίας στις γυναίκες μέσω του ίδιου μηχανισμού που παρατηρείται στους άντρες,^{5,6} παρά τις αξιοσημείωτες διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα στον μεταβολισμό των VLDL.¹¹ Επιπλέον, προηγούμενες μελέτες έδειξαν πως λιγότερη άσκηση (60 min στο 60% VO_{2peak}) δεν επηρεάζει την κινητική των VLDL-TAG και δεν οδηγεί σε υποτριάκυλογλυκερολαιμία, ούτε στους άντρες³⁵ ούτε στις γυναίκες.¹⁰ Επομένως, άντρες και γυναίκες είναι εξίσου ευαίσθητοι σε μία συνεδρία αερόβιας άσκησης και ανταποκρίνονται παρόμοια όσον αφορά στον μεταβολισμό των VLDL-TAG, μολοντί η καθα-

ρή ενεργειακή δαπάνη άσκησης ίδιας διάρκειας και έντασης είναι χαμηλότερη στις γυναίκες, σε σχέση με τους άντρες, λόγω χαμηλότερου σωματικού βάρους και VO_{2peak}.

Σε προηγούμενες μελέτες σε άνδρες έχει φανεί πως η οξεία άσκηση, μέτριας έντασης και παρατεταμένης διάρκειας, μειώνει τη συγκέντρωση των VLDL-TAG νηστείας μέσω αύξησης στον ρυθμό εκκαθάρισής τους από την κυκλοφορία, χωρίς να επηρεάζει την ηπατική παραγωγή τους.^{5,6,8,9} Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνεται και στην παρούσα μελέτη σε γυναίκες. Πρέπει να σημειωθεί πως η εκκαθάριση των ολικών VLDL-TAG από την κυκλοφορία αφορά σε όλες τις πιθανές οδούς απομάκρυνσής τους από το πλάσμα, οι οποίες περιλαμβάνουν: (α) υδρόλυσή τους από την LPL και πιθανόν και από την ηπατική λιπάση (hepatic lipase, HL), (β) μεταφορά των TAG σε άλλες λιποπρωτεΐνες (π.χ. HDL), (γ) μετατροπή των VLDL λιποπρωτεϊνών σε λιποπρωτεΐνες υψηλότερης πυκνότητας (IDL και LDL), καθώς και (δ) απομάκρυνση ολόκληρου του σωματίδιου της VLDL από το πλάσμα μέσω ηπατικών και/ή περιφερειακών υποδοχέων.⁴

Η υποτριάκυλογλυκερολαιμία που παρατηρείται έπειτα από άσκηση παρατεταμένης διάρκειας και μέτριας έντασης, αποδίδεται εν μέρει στην αυξημένη δραστηριότητα της LPL στον μυϊκό αλλά όχι τον λιπώδη ιστό.³⁰ Η αυξημένη λιπόλυση από την LPL πιθανόν αυξάνει την εκκαθάριση των VLDL-TAG από τον μυϊκό ιστό, στο μεταποροροφητικό στάδιο,³¹ με σκοπό την αναπλήρωση των ενδομυϊκών αποθεμάτων σε TAG τα οποία εξαντλήθηκαν κατά τη διάρκεια της άσκησης.³² Από την άλλη, έχει προταθεί ένας μηχανισμός ο οποίος δεν προϋποθέτει αλλαγές στη μάζα ή τη δραστηριότητα της LPL στους ιστούς, ως απόκριση στην άσκηση.⁹ Η απομάκρυνση των VLDL-TAG από την κυκλοφορία μπορεί να αυξάνεται λόγω διευκόλυνσης, κι επομένως αύξησης, της υδρόλυσής τους από την LPL.⁹ Έπειτα από άσκηση αντοχής, έχει φανεί πως το ήπαρ εκκρίνει λιγότερα, αλλά πιο πλούσια σε TAG, κι επομένως πιθανόν μεγαλύτερα σε μέγεθος, VLDL σωματίδια.⁵ Μελέτες έχουν δείξει ότι η μεταφορά TAG από τον πυρήνα πλουσιότερων σε TAG και μεγαλύτερων σε μέγεθος VLDL σωματιδίων γίνεται πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τα μικρότερα και φτωχότερα σε TAG VLDL σωματίδια, πιθανόν γιατί η αύξηση των περιεχόμενων στη λιποπρωτεΐνη TAG και η αύξηση του μεγέθους της διευκολύνει την υδρόλυσή τους από την LPL.¹¹

Οι υπόλοιπες οδοί απομάκρυνσης των VLDL-TAG δεν φαίνεται να είναι πολύ πιθανόν να συμβάλουν στην παρατηρούμενη υποτριάκυλογλυκερολαιμία μετά από άσκηση.⁹ Η αύξηση της μεταφοράς TAG από τις VLDL στις HDL θα οδηγούσε σε εμπλουτισμό των HDL σε TAG, κάτι που έχει φανεί ότι αυξάνει τον καταβολισμό τους³³ και επομένως οι συγκεντρώσεις των HDL θα μειώνονταν, κάτι που δεν έχει παρατηρηθεί. Αντιθέτως, έχει παρατηρηθεί πως η οξεία άσκηση αυξάνει τις συγκεντρώσεις των HDL.³⁴ Από την άλλη, ούτε η αύξηση της απομάκρυνσης ολόκληρων των VLDL σωματιδίων από την κυκλοφορία είναι πιθανή, καθώς έχει φανεί πως μετά από μία συνεδρία άσκησης αντοχής, μέτριας έντασης και ενεργειακής δαπάνης 600–1200 kcal, ο ρυθμός εκκαθάρισης πλάσματος και ο μέσος χρόνος παραμονής της απολιποπρωτεΐνης B-100 (που αντιστοιχεί στα σωματίδια VLDL) στην κυκλοφορία δεν μεταβάλλεται.^{5,35}

Συμπερασματικά, παρά τις διαφορές στον μεταβολισμό των VLDL-TAG που έχουν παρατηρηθεί ανάμεσα στα δύο φύλα, ο μηχανισμός μείωσης της συγκέντρωσης των TAG έπειτα από αερόβια άσκηση φαίνεται πως είναι ο ίδιος. Η υποτριάκυλογλυκερολαιμική επίδραση της άσκησης οφείλεται σε αύξηση της κάθαρσης των VLDL-TAG από το πλάσμα.

Ευχαριστίες/Δηλώσεις συμφερόντων

Οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά τους εθελοντές της μελέτης και δηλώνουν ότι δεν υπάρχει καμία σύγκρουση συμφερόντων όσον αφορά στο συγκεκριμένο άρθρο. Η παρούσα μελέτη επιδοτήθηκε από το Μεταπτυχιακό Τμήμα Σπουδών του Τμήματος Επιστήμης Διατροφής και Διαιτολογίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Η Έλενα Μπέλλου είχε την υποστήριξη του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών.

Mechanism for the aerobic exercise-induced decrease in triacylglycerol concentration in young healthy women

A. Siopi, E. Bellou, M. Galani, M. Maraki, L. Sidossis

ABSTRACT Aim: To investigate the mechanism for the hypotriacylglycerolemic effect of one bout of aerobic exercise in women. **Material-Methods:** Eight healthy sedentary women (age: 23.5±2.7 years, BMI: 22.1±1.2 kg/m², VO₂peak: 1.6±0.4 L/min) participated in two stable isotope-labeled tracer infusion studies the day after (a) exercise: brisk walking at 60% of peak oxygen consumption (energy deficit of ~500 kcal) and (b) control (rest, zero energy balance) in a random order. **Results:** Mean exercise duration was 125±19 min. Fasting plasma TAG levels were 11% lower the day after exercise compared to control (43.1±5.0 and 49.7±9.3 mg/dL respectively, P<0.05) whereas VLDL-TAG levels were 29% lower (12.7±4.1 and 18.2±5.3 mg/dL respectively, P<0.01). Hepatic VLDL-TAG secretion rate (3.62±0.98 and 4.52±1.56 μmol/min, exercise vs control respectively, P>0.05) did not change significantly. Exercise increased VLDL-TAG clearance rate by 21% (26.81±7.27 and 22.31±4.98 mL/min, exercise vs control respectively; P<0.05). Mean residence time of VLDL-TAG did not change significantly after exercise compared to control (87±22 and 102±19 min, P>0.05). **Conclusion:** The hypotriacylglycerolemic effect of one bout of aerobic exercise in women is manifested via an increase in VLDL-TAG clearance rate.

Key words: Kinetics, lipoproteins, triacylglycerol, physical activity, VLDL.

Βιβλιογραφία

1. Miller M et al. Triglycerides and cardiovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2011, 123:2292–2333
2. Stalenhoef AF, de Graaf J. Association of fasting and non-fasting serum triglycerides with cardiovascular disease and the role of remnant-like lipoproteins and small dense LDL. *Curr Opin Lipidol* 2008, 19:355–361
3. Wahl PW, Warnick GR, Albers JJ et al. Distribution of lipoproteins triglyceride and lipoprotein cholesterol in an adult population by age, sex, and hormone use- The Pacific Northwest Bell Telephone Company health survey. *Atherosclerosis* 1981, 39:111–124
4. Magkos F. Basal very low-density lipoprotein metabolism in response to exercise: mechanisms of hypotriacylglycerolemia. *Prog Lipid Res* 2009, 48:171–190
5. Magkos F, Wright DC, Patterson BW, Mohammed BS, Mittendorfer B. Lipid metabolism response to a single, prolonged bout of endurance exercise in healthy young men. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2006, 290:355–362

6. Tsekouras YE, Yanni AE, Bougatsas D, Kavouras SA, Sidossis LS. A single bout of brisk walking increases basal very low-density lipoprotein triacylglycerol clearance in young men. *Metabolism* 2007, 56:1037–1043
7. Maraki M, Magkos F, Christodoulou N et al. One day of moderate energy deficit reduces fasting and postprandial triacylglycerolemia in women: The role of calorie restriction and exercise. *Clin Nutr* 2009, 29:459–463
8. Tsekouras YE, Magkos F, Prentzas KI et al. A single bout of whole-body resistance exercise augments basal VLDL-triacylglycerol removal from plasma in healthy untrained men. *Clin Sci (Lond)* 2009, 116:147–156
9. Magkos F, Tsekouras YE, Prentzas KI et al. Acute exercise-induced changes in basal VLDL-triglyceride kinetics leading to hypotriglyceridemia manifest more readily after resistance than endurance exercise. *J Appl Physiol* 2008, 105:1228–1236
10. Magkos F, Patterson BW, Mohammed BS, Mittendorfer B. Basal adipose tissue and hepatic lipid kinetics are not affected by a single exercise bout of moderate duration and intensity in sedentary women. *Clin Sci (Lond)* 2009, 116:327–334
11. Magkos F, Patterson BW, Mohammed BS, Klein S, Mittendorfer B. Women produce fewer but triglyceride-rich very low-density lipoproteins than men. *J Clin Endocrinol Metab* 2007, 92:1311–1318
12. Fisher RM, Coppack SW, Humphreys SM, Gibbons GF, Frayn KN. Human triacylglycerol-rich lipoprotein subfractions as substrates for lipoprotein lipase. *Clin Chim Acta* 1995, 236:7–17
13. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949, 109:1–9
14. Peronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci* 1991, 16:23–29
15. ACSM. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia, 2006
16. Lin PH, Proschan MA, Bray GA et al. Estimation of energy requirements in a controlled feeding trial. *Am J Clin Nutr* 2003, 77:639–645
17. Magkos F, Patterson BW, Mittendorfer B. No effect of menstrual cycle phase on basal very-low-density lipoprotein triglyceride and apolipoprotein B-100 kinetics. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2006, 291:E1243–1249
18. Patterson BW MB, Elias N, Satyanarayana R, Klein S. Use of stable isotopically labeled tracers to measure very low density lipoprotein-triglyceride turnover. *J Lipid Res* 2002, 43:223–233
19. Lemieux S, Patterson BW, Carpentier A, Lewis GF, Steiner G. A stable isotope method using a [(2)H(5)]glycerol bolus to measure very low density lipoprotein triglyceride kinetics in humans. *J Lipid Res* 1999, 40:2111–2117
20. Reichl D. Lipoproteins of human peripheral lymph. *Eur Heart J* 1990, 11 Suppl E:230–236
21. Boer P. Estimated lean body mass as an index for normalization of body fluid volumes in humans. *Am J Physiol* 1984, 247:F632–636
22. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia* 1985, 28:412–419
23. Gill JM, Herd SL, Hardman AE. Moderate exercise and postprandial metabolism: issues of dose-response. *J Sports Sci* 2002, 20:961–967
24. Tsetsonis NV, Hardman AE. Effects of low and moderate intensity treadmill walking on postprandial lipaemia in healthy young adults. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996, 73:419–426
25. Zhang JQ, Ji LL, Fogt DL, Fretwell VS. Effect of exercise duration on postprandial hypertriglyceridemia in men with metabolic syndrome. *J Appl Physiol* 2007, 103:1339–1345
26. Petitt DS, Cureton KJ. Effects of prior exercise on postprandial lipemia: a quantitative review. *Metabolism* 2003, 52:418–424
27. Gyntelberg F, Brennan R, Holloszy JO, Schonfeld G, Rennie MJ, Weidman SW. Plasma triglyceride lowering by exercise despite increased food intake in patients with type IV hyperlipoproteinemia. *Am J Clin Nutr* 1977, 30:716–720
28. Burton FL, Malkova D, Caslake MJ, Gill JM. Energy replacement attenuates the effects of prior moderate exercise on postprandial metabolism in overweight/obese men. *Int J Obes (Lond)* 2008, 32:481–489
29. Harrison M, O’Gorman DJ, McCaffrey N et al. Influence of acute exercise with and without carbohydrate replacement on postprandial lipid metabolism. *J Appl Physiol* 2009, 106:943–949
30. Gill JM, Hardman AE. Exercise and postprandial lipid metabolism: an update on potential mechanisms and interactions with high-carbohydrate diets (review). *J Nutr Biochem* 2003, 14:122–132
31. Kiens B, Lithell H, Mikines KJ, Richter EA. Effects of insulin and exercise on muscle lipoprotein lipase activity in man and its relation to insulin action. *J Clin Invest* 1989, 84:1124–1129
32. vanLoon L. Use of intramuscular triacylglycerol as a substrate source during exercise in humans. *J Appl Physiol* 2004, 97:1170–1187
33. Rashid S, Watanabe T, Sakaue T, Lewis GF. Mechanisms of HDL lowering in insulin resistant, hypertriglyceridemic states: the combined effect of HDL triglyceride enrichment and elevated hepatic lipase activity. *Clin Biochem* 2003, 36:421–429
34. Durstine JL, Grandjean PW, Cox CA, Thompson PD. Lipids, lipoproteins, and exercise. *J Cardiopulm Rehabil* 2002, 22:385–398
35. Magkos F, Patterson BW, Mohammed BS, Mittendorfer B. A single 1-h bout of evening exercise increases basal FFA flux without affecting VLDL-triglyceride and VLDL-apolipoprotein B-100 kinetics in untrained lean men. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2007, 292:E1568–1574