Diabetes Care 36:537-542, 2013

Άσκηση με Αντιστάσεις έναντι Αεροβικής Άσκησης

Οξείες επιδράσεις στο γλυκαιμικό προφίλ του Διαβήτη Τύπου 1

Jane E.Yardley[1,2], Glen P. Kenny[1,2], Bruce A. Perkins[3], Michael C. Riddell [4], Nadia Balaa[1], Janine Malcolm[5,6], Pierre Boulay[7], Farah Khandwala[8], Ronald J. Sigal[4,8,9]

1 Human and Environmental Physiology Research Unit, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada; 2 Institute of Population Health, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada; 3 University Health Network, Toronto General Hospital, Toronto, Ontario, Canada; 4 School of Kinesiology and Health Science, York University, Toronto, Ontario, Canada; 5 Faculty of Medicine, University of Ottawa,Ottawa, Ontario, Canada; 6 Ottawa Hospital Research Institute, Ottawa, Ontario, Canada; 7 Champlain Diabetes Regional Coordination Centre, Ottawa, Ontario, Canada; 8 Alberta Health Services, Calgary, Alberta, Canada; 9 Departments of Medicine, Cardiac Sciences, and Community Health Sciences, Faculties of Medicine and Kinesiology, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

Υπεύθυνος αλληλογραφίας: Ronald J. Sigal, rsigal@ucalgary.ca.

DOI: 10.2337/dc12-0963

ΣΚΟΠΟΣ

Μελέτες σε άτομα με Σακχαρώδη Διαβήτη τύπου Ι, έχουν δείξει ότι η άσκηση με αντιστάσεις (άρση βαρών) μειώνει την HbA1c. Στην παρούσα μελέτη, εξετάστηκαν οι οξείες επιδράσεις της άσκησης με αντιστάσεις στο γλυκαιμικό προφίλ, τόσο κατά τη διάρκεια της άσκησης, όσο στη διάρκεια του 24ωρου σε σύγκριση με την αεροβική άσκηση και την πλήρη απουσία άσκησης.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δώδεκα σωματικά δραστήρια άτομα με διαβήτη τύπου 1 (HbA1c 7,1 ± 1,0%) έκαναν 45 λεπτά άσκηση με αντιστάσεις (τρία σετ των επτά ασκήσεων με ανώτατο όριο επαναλήψεων τις 8), 45 λεπτά αερόβια άσκηση (τρέξιμο στο 60% της VO2max) και κάποιες άλλες ημέρες δεν έκαναν καθόλου γυμναστική. Η γλυκόζη πλάσματος μετρήθηκε κατά τη διάρκεια της άσκησης και για 60 λεπτά μετά τη γυμναστική. Η διάμεση γλυκόζη μετρήθηκε με συνεχή παρακολούθηση της γλυκόζης 24 ώρες πριν, κατά τη διάρκεια και 24 ώρες μετά την άσκηση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Διαπιστώθηκαν αλληλεπιδράσεις θεραπείας-χρόνου (P < 0,001) αναφορικά με τις αλλαγές στη γλυκόζη πλάσματος κατά τη διάρκεια της άσκησης και μετά από αυτή. Η γλυκόζη πλάσματος μειώθηκε από 8,4 ± 2,7 σε 6,8 ± 2,3 mmol/L (P = 0,008) κατά τη διάρκεια της άσκησης με αντιστάσεις και από 9,2 ± 3,4 σε 5,8 ± 2,0 mmol/L (P = 0,001) κατά τη διάρκεια της αερόβιας γυμναστικής. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της συνεδρίας ελέγχου που δεν περιλάμβανε άσκηση. Κατά τη διάρκεια της αποθεραπείας, τα επίπεδα γλυκόζης δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά μετά τη γυμναστική με αντιστάσεις , αλλά αυξήθηκαν κατά 2,2 ± 0,6 mmol/L (P = 0,023) μετά από αερόβια γυμναστική. Η μέση διάμεση γλυκόζη από 4,5 έως 6,0 ώρες μετά την άσκηση ήταν σημαντικά χαμηλότερη μετά την άσκηση με αντιστάσεις, έναντι της αερόβιας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η άσκηση με αντιστάσεις προκαλεί μικρότερη αρχική πτώση γλυκόζης αίματος κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας, αλλά σχετίζεται με πιο παρατεταμένη μείωση της γλυκαιμίας μετά την άσκηση συγκριτικά με την αερόβια. Αυτό μπορεί να είναι η αιτία για τις μειώσεις HbA1c που έχουν διαπιστωθεί σε μελέτες με άσκηση αντιστάσεων, αλλά όχι για την αερόβια στο διαβήτη τύπου 1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συχνότητα και η σοβαρότητα των επιπλοκών στα άτομα με διαβήτη τύπου 1 είναι μεγαλύτερη στα άτομα που δηλώνουν χαμηλή σωματική δραστηριότητα έναντι εκείνων με υψηλότερα επίπεδα δραστηριότητας (1). Ωστόσο, παραμένει ασαφές αν η άσκηση είναι ωφέλιμη για το γλυκαιμικό έλεγχο στο διαβήτη τύπου 1 (2). Οι δραστηριότητες αερόβιας άσκησης έχουν δείξει γενικά περιορισμένα αποτελέσματα στον έλεγχο γλυκόζης αίματος, όπως αυτό φαίνεται από τη γλυκοζυλιωμένη αιμοσφαιρίνη (HbA1c)(3). Αντίθετα, διάφορες μελέτες που αξιολογούν τη άσκηση μόνο με αντιστάσεις (γυμναστική με βάρη) (4), σε σύγκριση αντίθεση με την αερόβια άσκηση (5), ως τμήμα μέρος ενός πλήρους προγράμματος γυμναστικής (6) ή σε πρόγραμμα συνδυασμού αερόβιας άσκησης και γυμναστικής με αντιστάσεις (7,8) έδειξαν μειώσεις στην HbA1c.

Κατά τη διάρκεια παρατεταμένης αεροβικής άσκησης, ήπιας έως μέτριας έντασης, τα επίπεδα γλυκόζης αίματος μειώνονται ταχύτατα στα άτομα με διαβήτη τύπου 1, αυξάνοντας τον κίνδυνο υπογλυκαιμίας (9,10). Αντίθετα, μικρές περίοδοι άσκησης υψηλής έντασης (μικρά σπριντ και διαλείπουσα άσκηση υψηλής έντασης) σε συνδυασμό ή όχι με μέτριας έντασης αερόβια άσκηση επιφέρουν μικρότερες μειώσεις στη γλυκόζη αίματος κατά τη δραστηριότητα και έως και 2 ώρες μετά την άσκηση συγκριτικά με μόνο αεροβική γυμναστική μέτριας έντασης (11-14). Η μέτριας έντασης αερόβια άσκηση σχετίζεται επίσης με αυξημένο κίνδυνο νυχτερινής υπογλυκαιμίας (15,16). Μικρές μελέτες που βασίζονται στη συνεχή παρακολούθηση γλυκόζης (CGM) έχουν δείξει μεικτά αποτελέσματα σχετικά με τις επιπτώσεις της δραστηριότητας υψηλής έντασης στον κίνδυνο εμφάνισης όψιμης υπογλυκαιμίας μετά την άσκηση (17-19).

Η άσκηση με αντιστάσεις είναι μια δραστηριότητα μέτριας έως υψηλής έντασης που πραγματοποιείται σε διαστήματα σχετικά μικρής διάρκειας και έχει πιθανώς πολλά οφέλη στα άτομα με διαβήτη τύπου 1, συμπεριλαμβανομένων της αύξησης της μυϊκής δύναμης (4), της βελτίωσης του λιπιδικού προφίλ (4), της μείωσης της δόσης της ινσουλίνης (4,5) και των επιπέδων γλυκόζης αίματος που παρακολουθεί μόνος του ο ασθενής (4,5). Τα οξεία αποτελέσματα της άσκησης με αντιστάσεις στα άτομα με διαβήτη τύπου 1 δεν έχουν ακόμα εξεταστεί. Συνεπώς, δεν είναι γνωστό αν ο κίνδυνος υπογλυκαιμίας λόγω άσκησης είναι συγκρίσιμος με εκείνον της αερόβιας γυμναστικής. Ο κίνδυνος νυχτερινής υπογλυκαιμίας που σχετίζεται με την αποκατάσταση των αποθεμάτων γλυκογόνου στους μύες μετά από την άσκηση με αντίσταση δεν είναι επίσης γνωστός. Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της άσκησης με αντιστάσεις στα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα κατά τη διάρκεια, αμέσως μετά και για 24 ώρες μετά από την άσκηση, συγκριτικά με την αερόβια άσκηση ή χωρίς καθόλου άσκηση σε άτομα με διαβήτη τύπου 1. Υποθέσαμε ότι, συγκριτικά με την αερόβια άσκηση, η άσκηση με αντιστάσεις σχετίζεται με μικρότερη μείωση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα κατά την άσκηση, αλλά με μεγαλύτερη διατήρηση των χαμηλών τιμών γλυκόζης μετά από την άσκηση, ενδεχομένως βελτιώνοντας έτσι τη γενικότερη σταθερότητα της γλυκόζης.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη εγκρίθηκε από τις επιτροπές δεοντολογίας του Πανεπιστημίου και του νοσοκομείου της Ottawa. Συμμετείχαν μη παχύσαρκοι, μη καπνιστές ενήλικες, με διαβήτη τύπου 1 χωρίς επιπλοκές. Δύο από τους συμμετέχοντες ήταν αθλητές που προπονούνταν 6 φορές την εβδομάδα, ενώ και οι υπόλοιποι ήταν δραστήριοι. Όλοι οι συμμετέχοντες έκαναν τακτικά και αερόβια άσκηση και άσκηση με αντιστάσεις τουλάχιστον τρεις φορές την εβδομάδα τουλάχιστον 6 μήνες. Οι συμμετέχοντες χρησιμοποιούσαν είτε πολλαπλές καθημερινές ενέσεις (MDI) ινσουλίνης ή συνεχείς υποδόριες εγχύσεις ινσουλίνης με αντλία. Η ίδια ομάδα συμμετεχόντων είχε συμμετάσχει σε μια μελέτη που έχει δημοσιευτεί προγενέστερα από την ίδια ερευνητική ομάδα (20).

Πειραματικός σχεδιασμός

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στην Ερευνητική Μονάδα Φυσιολογίας του Ανθρώπου και του Περιβάλλοντος στο Πανεπιστήμιο της Ottawa. Οι συμμετέχοντες προσήλθαν σε μια προκαταρκτική επίσκεψη και σε τρεις δοκιμασίες. Στην προκαταρκτική επίσκεψη οι συμμετέχοντες κατέθεσαν τη γραπτή πληροφορημένη συγκατάθεση πριν ελεγχθούν για VO2max, μυϊκή δύναμη (μέγιστο οχτώ επαναλήψεις) και HbA1c, όπως έχει περιγραφτεί προγενέστερα.

Συνεχής παρακολούθηση γλυκόζης

Το σύστημα συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης CGMS System Gold (Medtronic, Northridge, CA) χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη ώστε οι συμμετέχοντες να μην γνωρίζουν τις τιμές γλυκόζης τους και να μην αλλάξουν τη συμπεριφορά τους βάσει της παρακολούθησης. Οι αισθητήρες του CGMS τοποθετήθηκαν υποδόρια στις 8:30 π.μ. την ημέρα πριν από την συνεδρία άσκησης. Για τη μέτρηση γλυκόζης τριχοειδικού αίματος χρησιμοποιήθηκαν ο μετρητής OneTouch Ultrasmart (LifeScan, Johnson & Johnson, Milpitas CA) και κωδικοποιημένες ταινίες (ο ίδιος κωδικός σε όλη τη διάρκεια της μελέτης). Οι συμμετέχοντες εξέταζαν τη γλυκόζη τριχοειδικού αίματος τέσσερις φορές την ημέρα, για λόγους βαθμονόμησης. Είκοσι τέσσερις ώρες μετά το τέλος της περιόδου άσκησης/μη άσκησης, λήφθηκαν τα στοιχεία από τις μονάδες συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης (Minimed Solutions v.3.0c, Medtronic, Northridge, CA).

Στη διάρκεια κάθε περιόδου παρακολούθησης οι συμμετέχοντες κατανάλωσαν το ίδιο πρωινό, μεσημεριανό και δείπνο που επέλεξαν αυτοί, τις ίδιες ώρες της ημέρας και κατέγραφαν την πρόσληψη τροφής και ινσου-

λίνης στα ειδικά έντυπα της μελέτης. Οι συμμετέχοντες απείχαν από την άσκηση για 24 ώρες πριν την τοποθέτηση του αισθητήρα (48 ώρες πριν την περίοδο του πειράματος) και δεν κατανάλωσαν καφεΐνη και αλκοόλ κατά την περίοδο παρακολούθησης.

Πειραματική περίοδος

Οι συμμετέχοντες έφτασαν στο εργαστήριο στις 4:00 μ.μ. την ημέρα μετά από την τοποθέτηση του αισθητήρα. Διεξήχθησαν οι ακόλουθες συνεδρίες, με τουλάχιστον 5 ημέρες διαφορά: 1) ασκήσεις αντιστάσεων , τρία σετ των οκτώ επαναλήψεων το μέγιστο, επτά διαφορετικών ασκήσεων, με 90 δευτερόλεπτα ανάπαυση μεταξύ των σετ (διάρκεια περίπου45 λεπτά), 2) αερόβια άσκηση, 45 λεπτά διάδρομο (60% του VO2max) και 3) μη άσκηση, 45 λεπτά ανάπαυσης.

Μετά τις συνεδρίες ακολούθησαν 60 λεπτά ανάπαυσης με παρακολούθηση. Οι συνεδρίες δοκιμασίας για τις γυναίκες που χρησιμοποιούσαν μονοφασικά από του στόματος αντισυλληπτικά, έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της ενεργούς φάσης του χαπιού. Δεν διεξήχθησαν συνεδρίες μη άσκησης πρώτα και οι εναπομείναντες συνεδρίες τυχαιοποιήθηκαν.

Προσαρμογές ινσουλίνης και συμπλήρωμα γλυκόζης

Οι συμμετέχοντες μείωσαν τις δόσεις ινσουλίνης στις ημέρες της άσκησης είτε μειώνοντας κατά 10% στην ενδιάμεση ή μακράς δράσης ινσουλίνη είτε κατά 50% στο ρυθμό βασικής ινσουλίνης, ξεκινώντας 1 ώρα πριν την άσκηση και διατηρώντας το μέχρι το τέλος της άσκησης για τους χρήστες αντλίας. Αν η γλυκόζη αίματος ήταν <5 mmol/L στην άφιξη στο κέντρο άσκησης, εκείνοι που χρησιμοποιούσαν αντλία ινσουλίνης μείωσαν το ρυθμό βασικής ινσουλίνης κατά 25% επιπλέον. Οι συμμετέχοντες κατανάλωσαν ένα σνακ (Glucerna Chocolate Graham Snack Bars, 150 θερμίδες, 25g υδατάνθρακες, Abbott Laboratories, Abbott Park, IL) στις 4.00 μ.μ. κάθε μέρα, συμπεριλαμβανομένης της ημέρας άσκησης, με το σνακ να καταναλώνεται στην άφιξη στο εργαστήριο.

Η γλυκόζη τριχοειδικού αίματος ελέγχονταν 60 και 30 λεπτά πριν από την άσκηση και αμέσως πριν από την άσκηση ώστε να διασφαλιστούν επίπεδα γλυκόζης ≥5,5 και ≤13,9 mmol/L. Όταν κρίθηκε απαραίτητο χορηγήθηκαν ταμπλέτες γλυκόζης, όπως έχει περιγραφτεί και προγενέστερα (20).

Αιματολογικές εξετάσεις

Συλλέχθηκαν δείγματα φλεβικού αίματος με φλεβικό καθετήρα κατά την έναρξη (χρόνος 0) και 5, 10, 15, 30 και 45 λεπτά σε όλες τις περιόδους ελέγχου (άσκηση αντίστασης, αερόβια άσκηση και μη άσκηση), όπως επίσης στα χρονικά σημεία των 50, 55, 60, 65, 75, 85, 95 και 105 λεπτών κατά την αποθεραπεία. Το αίμα φυγοκεντρήθηκε αμέσως (4.000 στροφές/λεπτό για 4 λεπτά) και αποθηκεύτηκε στους -80ο C. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος καταληκτικού σημείου εξοκινάσης για να καθοριστούν τα επίπεδα γλυκόζης πλάσματος χρησιμοποιώντας τον αναλυτή Beckman Coulter Unicel DxC600 Synchron Clinical Analyser (Beckman Coulter, Fullerton, CA) και το αντιδραστήριο SYNCHRON CX Systems GLUCOSE (cat. no. 442640).

Στατιστική ανάλυση

Τα επίπεδα γλυκόζης συγκρίθηκαν στις συνεδρίες χρησιμοποιώντας ανάλυση διακύμανσης δύο κατευθύνσεων επαναλαμβανομένων μετρήσεων (χρόνος και κατάσταση) (ANOVA). Οι περίοδοι άσκησης και αποθεραπείας εξετάστηκαν χωριστά στις τρεις συνεδρίες (αερόβια άσκηση, άσκηση αντιστάσεων και μη άσκηση). Η περίοδος άσκησης αποτελούνταν από χρονικά σημεία των 5, 10, 15, 30 και 45 λεπτών, ενώ η περίοδος ανάκαμψης αποτελούνταν από τα εναπομείναντα χρονικά σημεία. Χρησιμοποιήθηκαν δοκιμασίες t-test με κατά ζεύγη δείγματα για να γίνουν συγκρίσεις post hoc για κάθε χρονικό σημείο μεταξύ των καταστάσεων (αερόβια αντιστάσεων , μη άσκηση) στην άσκηση και στην αποθεραπεία χωριστά και για να ελεγχθούν τυχών αλλαγές από την έναρξη και το τέλος της άσκησης σε κάθε κατάσταση άσκησης. Η σημαντικότητα ορίστηκε το 0,05.

Τα δεδομένα συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης εξετάστηκαν ως μέσοι όροι 15 λεπτών στα ακόλουθα σημεία: 24 ώρες πριν την άσκηση, το βράδυ (12:00 π.μ. έως 6:00 π.μ.) πριν την άσκηση, 1-6 ώρες μετά την άσκηση, το βράδυ μετά την άσκηση και 24 ώρες μετά την άσκηση. Χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο κατευθύνσεων επαναλαμβανομένων μετρήσεων (χρόνος και κατάσταση) (ANOVA) ώστε να συγκριθούν οι καταστάσεις στην περίοδο 1-6 ώρες μετά από την άσκηση. Κατόπιν έγιναν δοκιμασίες t-test με κατά ζεύγη δείγματα για να γίνουν συγκρίσεις post hoc για κάθε χρονικό διάστημα 15 λεπτών. Τα κατώτατα όρια υπο- και υπεργλυκαιμίας ορίστηκαν στα 3,5 και 10,9 mmol/L, αντιστοίχως. Η ελάχιστη, μέγιστη και μέση γλυκόζη αίματος, ο χρόνος των υπογλυκαιμικών και υπεργλυκαιμικών καταστάσεων και οι περιοχές κάτω από την καμπύλη (AUC) για το χρόνο σε υπο- και υπεργλυκαιμικές καταστάσεις καθορίστηκαν για κάθε χρονικό πλαίσιο. Οι προϋπάρχουσες τιμές συγκρίθηκαν με τις τιμές μετά την άσκηση στις καταστάσεις άσκησης χρησιμοποιώντας τη μη παραμετρική δοκιμασία κατά Wilcoxon. Οι διαφορές στις καταστάσεις εξετάστηκαν χρησιμοποιώντας ανάλυση διακύμανσης δύο κατευθύνσεων κατά Friedman. Η συμφωνία μεταξύ των δεδομένων συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης και της γλυκόζης τριχοειδικού αίματος στις 3 ημέρες καθορίστηκε με τη διεξαγωγή συσχέτισης Pearson μεταξύ των τιμών γλυκόζης του αισθητήρα και των αυτό-καταγεγραμμένων τιμών γλυκόζης τριχοειδικού αίματος.

Η πρόσληψη καθημερινής συνολικής ινσουλίνης και υδατανθράκων υπολογίστηκε βάσει των πληροφοριών

που παρείχαν οι συμμετέχοντες. Οι συγκρίσεις μεταξύ των καθημερινών καταστάσεων έγιναν με ανάλυση διακύμανσης δύο κατευθύνσεων κατά Friedman. Όπου διαπιστώθηκαν σημαντικά αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν οι δοκιμασίες Wilcoxon για να καθοριστεί που έσφαλαν οι διαφορές. Οι στατιστικές δοκιμασίες έγιναν με λογισμικό SPSS 18.0 για Windows (SPSS, Chicago, IL).

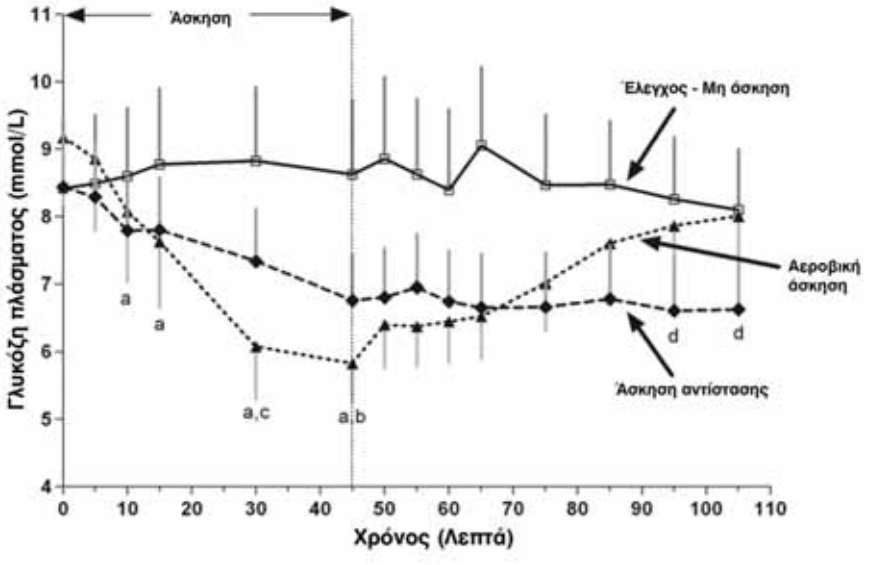
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στη μελέτη έλαβαν μέρος 12 άτομα (10 άνδρες και 2 γυναίκες), μη παχύσαρκα (ΔΜΣ 25,3 ± 3,0 kg/m2), σωματικά δραστήρια (VO2max 51,2 ± 10,8 ml x kg-1 x min-1), ηλικίας 17-62 ετών (μέση ηλικία 31,8 ± 15,3 ετών). Η μέση διάρκεια διαβήτη ήταν 12,5 ± 10,0 έτη και οι συμμετέχοντες είχαν μέτριο έως καλό έλεγχο των επιπέδων γλυκόζης τους (HbA1c 7,1 ± 1,1%). Πέντε συμμετέχοντες λάμβαναν ινσουλίνη με πολλαπλές ημερήσιες ενέσεις (MDI), ενώ 7 χρησιμοποιούσαν συνεχή υποδόρια έγχυση ινσουλίνης.

Γλυκόζη πλάσματος

Άσκηση. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται τα επίπεδα γλυκόζης πλάσματος. Στο συμπληρωματικό πίνακα 1 παρατίθενται πληροφορίες για τις παραμέτρους του ποδηλάτου (ταχύτητα, κλίση) καθώς και τα φορτία στις συνεδρίες της άσκησης με αντιστάσεις. Παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ του χρόνου και του τύπου άσκησης ($P < 0,001$) για τα μέσα επίπεδα γλυκόζης άσκησης, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι συνολικές μειώσεις και τα ποσοστά μείωσης στα επίπεδα γλυκόζης διέφεραν μεταξύ των συνεδριών (Σχήμα 1). Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνεδριών στις συγκεντρώσεις γλυκόζης πλάσματος έναρξης πριν την άσκηση. Παρατηρήθηκε μια σταδιακή μείωση στις συγκεντρώσεις γλυκόζης πλάσματος με την άσκηση αντιστάσεων (από 8,4 ± 2,7 σε 6,8 ± 2,3 mmol/L στη συνεδρία των 45 λεπτών), προκαλώντας επίπεδα σημαντικά χαμηλότερα από αυτά της έναρξης στο τέλος της άσκησης ($P = 0,008$). Δεν ανιχνεύθηκαν αλλαγές από την έναρξη στα πρώτα 45 λεπτά της συνεδρίας χωρίς άσκηση (από 8,4 ± 3,5 σε 8,6 ± 3,8 mmol/L [$P = 0,585$]). Αντίθετα, κατά την αερόβια άσκηση, τα επίπεδα γλυκόζης πλάσματος μειώθηκαν ταχύτατα και πιο σημαντικά (από 9,2 ± 3,4 σε 5,8 ± 2,0 mmol/L στα 45 λεπτά [$P = 0,001$]), προκαλώντας σημαντικές αλλαγές από την έναρξη εντός 10 λεπτών λεπτά. Τα επίπεδα γλυκόζης στη συνεδρία αερόβιας άσκησης ήταν χαμηλότερα από εκείνα της μη άσκησης μετά από 30 λεπτά άσκησης.

Αποθεραπεία. Παρατηρήθηκε επίσης μια σημαντική αλληλεπίδραση χρόνου και είδους άσκησης στα μέσα επίπεδα γλυκόζης πλάσματος κατά την αποθεραπεία ($P < 0,001$). Τα επίπεδα γλυκόζης πλάσματος ήταν σταθερά μετά από την άσκηση αντιστάσεων και τις συνεδρίες μη άσκησης, αλλά αυξήθηκαν κατά 2,2 ± 0,6 mmol/L κατά την αποθεραπεία μετά από την αερόβια άσκηση ($P = 0,002$). Τα επίπεδα γλυκόζης πλάσματος δεν ήταν διαφορετικά, ούτε από τη μη άσκηση ούτε από την άσκηση αντίστασης στα 60 λεπτά μετά από την άσκηση.



Σχήμα 1 - Μέση ± SE γλυκόζης πλάσματος κατά τις πειραματικές συνεδρίες (πλαίσιο) και 60 λεπτά ανάκαμψης (n = 12 για αεροβική άσκηση και μη άσκηση, n = 11 για άσκηση αντίστασης). ❐, έλεγχος-μη άσκηση. ●, άσκηση αντίστασης. ▼ αεροβική άσκηση. a, Στατιστικά σημαντική αλλαγή από την αναφορά στην αεροβική άσκηση. b, Στατιστικά σημαντική αλλαγή από την αναφορά στην άσκηση αντίστασης. c, Στατιστικά σημαντική αλλαγή μεταξύ συνεδρίας ελέγχου-μη άσκησης και αεροβικής άσκηση. d, Στατιστικά σημαντική αλλαγή στην ανάκαμψη μετά από την αεροβική άσκηση. Οι διαφορές θεωρήθηκαν στατιστικά σημαντικές αν ήταν ακόμα σημαντικές μετά από διόρθωση Bonferroni για πολλαπλές συγκρίσεις. Κατά την άσκηση οι συμμετέχοντες λάμβαναν ταμπλέτες γλυκόζης αν η γλυκόζη αίματος έπεφτε < 4,5 mmol/L.

Πρόσληψη υδατανθράκων και δοσολογία ινσουλίνης

Ο αριθμός των συμμετεχόντων που χρειάζονταν ταμπλέτες ινσουλίνης κατά τη δοκιμαστική συνεδρία ήταν δύο, εννέα και τρεις για την ομάδα μη άσκησης, αερόβιας άσκησης και άσκησης με αντιστάσεις, αντιστοίχως. Οι διαφορές ήταν σημαντικές μεταξύ της ομάδας μη άσκησης και της αερόβιας άσκησης (P = 0,007). Η τιμή P για τη σύγκριση μεταξύ άσκησης αντίστασης και αερόβιας ήταν 0,05. Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στην πρόσληψη υδατανθράκων την ημέρα πριν ή την ημέρα μετά την πειραματική συνεδρία ή στις 6 ώρες μετά από την άσκηση (Πίνακας 1). Ωστόσο, η πρόσληψη υδατανθράκων ήταν υψηλότερη την ημέρα δοκιμασίας άσκησης στην αερόβια συγκριτικά με την άσκηση αντιστάσεων (P = 0,013), κυρίως λόγω διαφορών στα συμπληρώματα κατά την άσκηση. Δύο συμμετέχοντες που χρησιμοποιούσαν αντλίες ινσουλίνης επέλεξαν να αντικαταστήσουν τη συνήθη bolus δόση ινσουλίνης με τη μπάρα Glucema πριν από την άσκηση και ένας επέμενε να μην κάνει χρήση της βασικής ινσουλίνης (αντί της μείωσης κατά 50%) όταν έμαθε κατά την άφιξή του στο εργαστήριο ότι ήταν η ημέρα για αερόβια άσκηση. Η καθημερινή πρόσληψη ινσουλίνης δεν διέφερε σημαντικά στις καταστάσεις οποιασδήποτε ημέρας με τον αισθητήρα.

Δεδομένα συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης

Οι συσχετίσεις Pearson μεταξύ επιπέδων γλυκόζης τριχοειδικού αίματος μετρήθηκαν με φορητές συσκευές και τα διάμεσα επίπεδα γλυκόζης μετρήθηκαν με συνεχή παρακολούθηση γλυκόζης και ήταν 0,95, 0,90 και 0,94 κατά τις μη εργαστηριακές περιόδους στην άσκηση με αντίσταση, στην αεροβική και στη μη άσκηση, αντιστοίχως. Τις 24 ώρες πριν από την άσκηση ή τη μη άσκηση δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνεδριών στο συνολικό χρόνο που δαπανήθηκε σε υπογλυκαιμία, στο AUC υπογλυκαιμίας, στον αριθμό υπεργλυκαιμικών επεισοδίων, στο χρόνο που δαπανήθηκε σε κατάσταση υπεργλυκαιμίας, στο AUC υπεργλυκαιμίας ή στη μέση γλυκόζη αίματος.

Τα δεδομένα συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης μετά από την άσκηση ήταν μόνο διαθέσιμα για 11 και 10 από τους 12 συμμετέχοντες στις συνεδρίες μη άσκησης και αερόβιας, αντιστοίχως, λόγω βλάβης του εξοπλισμού στις υπόλοιπες τρεις συνεδρίες. Τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα και για τους 12 συμμετέχοντες στη συνεδρία άσκησης με αντιστάσεις. Συνολικά, υπήρξαν 124 τιμές κατά ζεύγη από μέτρηση με φορητή συσκευή και με συνεχή παρακολούθηση γλυκόζης για τη μη άσκηση, 113 για την αεροβική άσκηση και 115 για την άσκηση με αντιστάσεις. Διαπιστώθηκε οριακό αποτέλεσμα χρόνου (P = 0,073) στην ανάλυση των δεδομένων της συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης από 1 έως 6 ώρες μετά την άσκηση. Βρέθηκαν υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις διάμεσης γλυκόζης την τέταρτη και πέμπτη ώρα μετά από την αερόβια άσκηση συγκριτικά με την άσκηση με αντιστάσεις (P = 0,018 στις 5 ώρες μετά από την άσκηση) (Σχήμα 2).

Μολονότι παρουσιάστηκαν τα διπλά νυχτερινά επεισόδια υπογλυκαιμίας (Πίνακας 2) σύμφωνα με τις μετρήσεις των συσκευών συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης μετά από την άσκηση με αντιστάσεις (εννέα στο σύνολο) έναντι της αερόβιας άσκησης και της μη άσκησης (τέσσερεις στο καθένα), οι διαφορές μεταξύ των περιστάσεων δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Υπήρχε, ωστόσο, μια τάση περισσότερων επεισοδίων νυχτερινής υπεργλυκαιμίας μετά από την άσκηση με αντιστάσεις (P = 0,059) συγκριτικά με το βράδυ πριν από την άσκηση, αλλά οι διαφορές στα μέσα επίπεδα γλυκόζης δεν ήταν σημαντικές.

Πίνακας 1 - Πρόσληψη ινσουλίνης και υδατανθράκων στις 6 ώρες μετά από την άσκηση*

	Υδατάνθρακες (g)*			Ινσουλίνη (μονάδες)		
Συμμετέχοντες	RES	AER	No-Ex	RES	AER	No-Ex
1	80	87	80	9,4	6,6	10,6
2	105	106	90	8	8	10
3	104	104	167	7,8	7,8	7,3
4	89	92	65	8	12	6
5	97	94	132	40	4	39
6	74	88	84	17	13	24
7	56	40	90	7	8,2	7
8	127	177	79	15,5	19,4	11,7
9	135	135	135	4,5	4,5	4,5
10	65	60	65	9,7	9,7	10,8
11	12	12	12	3,9	3,9	4,8
12	187	215	196	27	24,4	23,7
Μέση ± SD	94 ± 44	101 ± 55	99 ± 50	13,2 ± 10,6	10,1 ± 6,3	13,3 ± 10,4

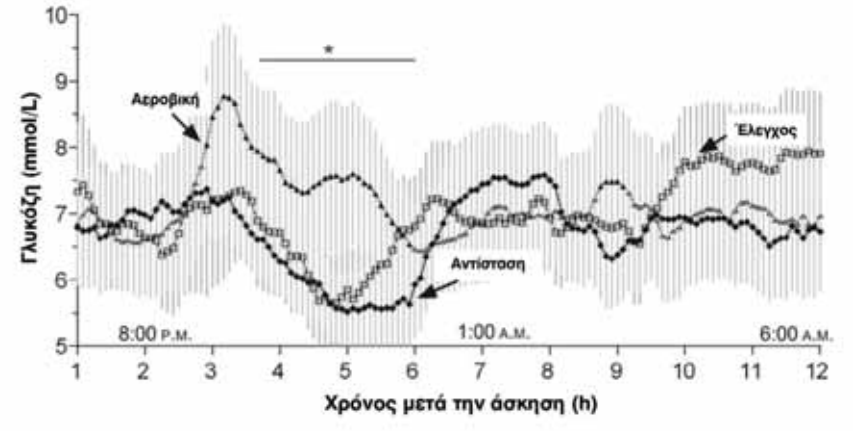
AER, αεροβική άσκηση. No-Ex, καθόλου άσκηση, έλεγχος. RES, άσκηση αντίστασης.
*Οι διαφορές μεταξύ των περιστάσεων δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η άσκηση με αντιστάσεις είχε ως αποτέλεσμα πολύ μικρότερες μειώσεις στη γλυκόζη αίματος κατά την άσκηση απ΄ ότι η αερόβια άσκηση ή η μη άσκηση στα άτομα με διαβήτη τύπου 1. Η άσκηση με αντιστάσεις σχετίζονταν επίσης με σχετικά σταθερές πρώιμες συγκεντρώσεις γλυκόζης μετά την άσκηση. Χρειάστηκε μικρότερη ποσότητα συμπληρωμάτων υδατανθράκων κατά την άσκηση με αντιστάσεις σε σύγκριση με την αερόβια άσκηση, γεγονός που εξασθένησε κάποια από τα υπογλυκαιμικά αποτελέσματα της αερόβιας δραστηριότητας. Αντίθετα με την άσκηση με αντιστάσεις και τη μη άσκηση, η αερόβια άσκηση σχετίστηκε με μεγαλύτερες αυξήσεις στα επίπεδα γλυκόζης κατά την πρώιμη αποθεραπεία , με αποτέλεσμα μια τάση για υψηλότερες συγκεντρώσεις γλυκόζης στην όψιμη αποθεραπεία (όπως μετρήθηκε με τη συνεχή παρακολούθηση γλυκόζης 3-6 ώρες μετά την άσκηση). Οι τάσεις αυτές παρατηρήθηκαν εν τη απουσία οποιαδήποτε σημαντικών διαφορών στη δοσολογία της ινσουλίνης ή της πρόσληψης υδατανθράκων κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Τα μέσα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα μετά από την άσκηση με αντιστάσεις ήταν παρόμοια με εκείνα χωρίς άσκηση: πιο σταθερά κατά την πρώιμη αποθεραπεία και εντός ενός πιο υγιούς εύρους (5-6 mmol/L) κατά την όψιμη αποθεραπεία. Έτσι, η απόδοση της άσκησης με αντιστάσεις μπορεί να αποτελεί εναλλακτική στρατηγική για την πρόληψη της οξείας πτώσης των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα που παρατηρείται με την αερόβια άσκηση ενώ διατηρούνται πιο θετικά επίπεδα γλυκόζης μετά από την άσκηση. Υπήρξε, ωστόσο, μια τάση για πιο συχνές, αλλά πιο ήπιες, νυχτερινές υπογλυκαιμίες μετά από την άσκηση με αντιστάσεις, το οποίο χρήζει περαιτέρω έρευνας.

Οι μηχανισμοί που επηρεάζουν τη δραματική μείωση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα κατά την αερόβια έναντι της άσκησης με αντιστάσεις, δεν είναι σαφείς. Ίσως έχει παίξει κάποιο ρόλο το γεγονός ότι ο οργανισμός εξαρτάται από αναερόβιες πηγές παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια άσκησης με αντιστάσεις παρά από αερόβιες πηγές (δηλαδή μικρότερη εξάρτηση από τη γλυκόζη αίματος) (21,22). Προγενέστερες μελέτες που αφορούν την αναερόβια δραστηριότητα σε άτομα με διαβήτη τύπου 1 (διαστήματα με σπριντ 4 δευτερολέπτων [13,14] ή σπριντ 10 δευτερολέπτων πριν ή μετά την άσκηση [11,12]) διαπίστωσαν πιο αργές μειώσεις στις συγκεντρώσεις γλυκόζης στο αίμα κατά την άσκηση και μικρότερες μετά την άσκηση συγκριτικά με μόνο την αερόβια άσκηση χαμηλής έντασης. Τα επίπεδα ινσουλίνης και κορτιζόλης ήταν συγκρίσιμα σε αυτές τις μελέτες και συνεπώς είναι αδύνατο να είναι υπεύθυνα για τα διαφορετικά μοτίβα απόκρισης γλυκόζης αίματος (11-14). Η αυξητική ορμόνη και οι κατεχολαμίνες, εν τω μεταξύ, αυξήθηκαν μετά από το σπριντ, ενισχύοντας τη λιπόλυση και τη γλυκογονόλυση, αντιστοίχως, σταθεροποιώντας τα επίπεδα γλυκόζης αίματος (11-14). Δεν είναι σαφές αν αυτές οι ορμόνες είναι υπεύθυνες για τη σταθεροποίηση των επιπέδων γλυκόζης αίματος μετά από άσκηση με αντιστάσεις σε άτομα με διαβήτη τύπου 1. Ωστόσο, η αυξητική ορμόνη και οι κατεχολαμίνες είναι γνωστό ότι αυξάνονται σημαντικά στα άτομα χωρίς διαβήτη κατά την άσκηση με αντίσταση, σε πρωτόκολλα όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν από την παρούσα μελέτη (23,24).

Οι περιορισμένες πτώσεις στις συγκεντρώσεις γλυκόζης αίματος μπορεί επίσης να σχετίζονται με αυξημένη παραγωγή γαλακτικού οξέος κατά την άσκηση με αντιστάσεις. Συγκρίνοντας τις ορμονικές αποκρίσεις σε



Σχήμα 2 - Μέση ± SD γλυκόζης σύμφωνα με μέτρηση συνεχούς παρακολούθησης (CGM) από 1 έως 12 ώρες μετά την άσκηση. ❐, έλεγχος-μη άσκηση. ●, άσκηση αντίστασης. ▼, αεροβική άσκηση. Το πλαίσιο αντιπροσωπεύει τη χρονική περίοδο όταν η γλυκόζη ήταν σημαντικά υψηλότερη μετά από την αεροβική άσκηση συγκριτικά με την άσκηση αντίστασης ($P < 0,05$). n = 11 (έλεγχος-μη άσκηση), n = 10 (αεροβική) και n = 12 (αντίσταση).

Πίνακας 2 - Σύνοψη νυχτερινών δεδομένων συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης για το βράδυ μετά την άσκηση αντίστασης, την αεροβική άσκηση και τη μη άσκηση

	RES	AER	No-Ex	P
Συμμετέχοντες με νυχτερινή υπογλυκαιμία (<3,5 mmol/L)	**6/12 (50)**	**2/10 (50)**	**4/11 (36)**	**N/A**
Συνολικός αριθμός επεισοδίων υπογλυκαιμίας	9	4	4	0,350
Διάρκεια υπογλυκαιμίας ανά επεισόδιο	40 ± 27	53 ± 48	40 ± 7	0,264
AUC για υπογλυκαιμία ανά επεισόδιο	31 ± 26	51 ± 55	35 ± 14	0,554
Μέση νυχτερινή γλυκόζη (mmol/L)	6,8 ± 2,5	7,0 ± 2,8	7,2 ± 2,1	0,407

Τα δεδομένα είναι n/n (%), n ή μέσες ± SD. Οι τιμές P είναι για δοκιμή Friedman διπλής κατεύθυνσης ANOVA.
AER, αεροβική άσκηση. No-Ex, καθόλου άσκηση, έλεγχος. RES, άσκηση αντίστασης.

διάφορα πρωτόκολλα άσκησης με αντιστάσεις, οι Smilios et al. (23) διαπίστωσαν ότι δύο σετ των 10 επαναλήψεων πιέσεων θώρακος, έλξεων και καθισμάτων (άσκηση μικρότερου μεγέθους από αυτή που χρησιμοποιήθηκε κατά την παρούσα μελέτη) είχε ως αποτέλεσμα μια τετραπλάσια αύξηση στα επίπεδα γαλατικού οξέος στο αίμα, με το γαλακτικό να παραμένει αυξημένο για τουλάχιστον 30 λεπτά μετά από την άσκηση στα άτομα χωρίς διαβήτη (23). Αν και δεν είναι γνωστές έρευνες για την παραγωγή γαλακτικού κατά την άσκηση με αντιστάσεις σε άτομα με διαβήτη τύπου 1, δεν υπάρχει λόγος να πιστεύουμε ότι η παραγωγή γαλακτικού θα ήταν διαταραγμένη στον πληθυσμό αυτό. Πράγματι, άλλες αναερόβιες ασκήσεις (ποδηλασία υψηλής έντασης) παρήγαγαν αυξημένα επίπεδα γαλακτικού, τα οποία επέμειναν μέχρι και 30 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης σε άτομα με διαβήτη τύπου 1 (11-14,25). Στην παρούσα μελέτη δεν μετρήθηκε το γαλακτικό οξύ, αλλά μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα επίπεδα γαλακτικού στο αίμα θα είχαν αυξηθεί περισσότερο κατά την άσκηση με αντιστάσεις όπου κυριαρχεί η γλυκόλυση (22) παρά κατά την αεροβική άσκηση όπου η λιπόλυση παράγει μεγάλο μέρος της ενέργειας που απαιτείται (26), ειδικότερα σε άτομα γυμνασμένα (21). Τα υψηλότερα επίπεδα γαλακτικού μπορούν να μειώσουν τη γλυκόζη αίματος προκαλώντας γλυκονεογένεση.

Γενικώς, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις υπογλυκαιμίας ή τα μέσα επίπεδα νυχτερινής γλυκόζης αίματος (Πίνακας 2), μολονότι η άσκηση με αντιστάσεις βρέθηκε ότι δεν σχετίζεται σημαντικά με περισσότερα επεισόδια νυχτερινής υπογλυκαιμίας. Παρότι δεν γνωρίζουμε την ύπαρξη κάποιας μελέτης που να εξετάζει τα επίπεδα νυχτερινής γλυκόζης αίματος μετά από άσκηση με αντιστάσεις σε άτομα με διαβήτη τύπου 1, οι McMahon et al. (16) διαπίστωσαν ότι οι έφηβοι με διαβήτη τύπου 1 είχαν υψηλότερες απαιτήσεις χορήγησης ινσουλίνης για να διατηρήσουν την ευγλυκαιμία τους, μεταξύ 12.00 και 4.00 π.μ., μετά από απογευματινή αερόβια άσκηση σε σχέση με περιπτώσεις απουσίας άσκησης. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με το χρόνο που διαπιστώθηκαν τα χαμηλότερα επίπεδα νυχτερινής γλυκόζης μετά από εφαρμογή και των δύο τύπων άσκησης στη μελέτη μας (Σχήμα 2), μολονότι οι διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων δεν ήταν σημαντικές. Όπως συμπέραναν οι McMahon et al. (16) οι καθυστερημένες αυξήσεις στην ανάγκη γλυκόζης μετά την άσκηση σχετίζονται με την αναπλήρωση των αποθηκών γλυκογόνου, έτσι μπορεί να αναμένεται μια υψηλότερη συχνότητα χαμηλής γλυκόζης αίματος μετά την άσκηση με αντιστάσεις (22).

Είναι επίσης πιθανό οι διαφορές στην πρόσληψη τροφής και ινσουλίνης (Πίνακας 2), ενώ δεν είναι στατιστικά σημαντικές, να έχουν μικρή επίδραση στο γλυκαιμικό προφίλ μετά από την άσκηση. Επιπλέον, ενώ ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να αντιστοιχήσουν την πρόσληψη τροφής και ινσουλίνης, πριν και μετά την άσκηση, ενδεχομένως να μην έχουν αναφερθεί ορισμένες διαφορές. Αυτό, εν τούτοις, δεν αλλάζει τα ευρήματα, καθώς οι αποφάσεις των ασθενών σχετικά με τη δοσολογία της ινσουλίνης και την πρόσληψη υδατανθράκων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαχείριση του διαβήτη. Καθώς οι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις προσαρμογές της ινσουλίνης κατά την άσκηση με αντιστάσεις είναι πολύ λίγες, οι συμμετέχοντες της παρούσας μελέτης βασίζονταν σε μεγάλο βαθμό στην προσωπική τους εμπειρία και κρίση.

Τα ευρήματα αυτά έχουν σημαντικές κλινικές προεκτάσεις. Τα υψηλότερα επίπεδα σωματικής δραστηριότητας σε άτομα με διαβήτη τύπου 1 έχουν συσχετιστεί με επιπλοκές διαβήτη χαμηλότερης συχνότητας και σοβαρότητας (1). Παρ' όλα αυτά, στους διαβητικούς τύπου Ι ο φόβος της υπογλυκαιμίας αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο για τη σωματική δραστηριότητα (27). Η άσκηση με αντιστάσεις σχετίζεται με βελτίωση της μυϊκής δύναμης (4), βελτιωμένο λιπιδικό προφίλ (4), χαμηλότερη ανάγκη ινσουλίνης (4,5) και χαμηλότερα αυτοελεγχόμενα επίπεδα γλυκόζης αίματος (4,5) σε άτομα με διαβήτη τύπου 1. Έχει επίσης πολλά από τα οφέλη που έχει και της αερόβιας άσκησης (υψηλότερη οστική πυκνότητα, αύξηση ευαισθησίας στην ινσουλίνη και βελτιωμένη καρδιαγγειακή λειτουργία) (28) και μπορεί, ως εκ τούτου, να είναι μια ασφαλής και αποτελεσματική

επιλογή για τον πληθυσμό αυτό. Είναι αξιοσημείωτο ότι παρατηρήθηκε μεγαλύτερη γλυκαιμική διακύμανση που σχετίζεται με την αερόβια άσκηση παρά με την άσκηση με αντιστάσεις Κατά τη δραστηριότητα, η αερόβια άσκηση σχετίστηκε με μεγαλύτερες μειώσεις στη γλυκαιμία, ενώ στην πρώιμη αποθεραπεία ξαναεμφανίστηκε υπεργλυκαιμία συγκριτικά με την άσκηση με αντιστάσεις. Συνεπώς, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η άσκηση με αντιστάσεις είναι πιο ωφέλιμη σε σχέση με τη σταθερότητα της γλυκόζης. Επιπλέον, καθώς τα άτομα με διαβήτη τύπου 1 μπορεί να έχουν αυξημένο κίνδυνο μυοπαθειών (29) και επιπλοκών που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα ινσουλίνης (29,30), η τακτική άσκηση με αντιστάσεις μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση ή στη βελτίωση της μυϊκής μάζας και του μεταβολισμού. Εν τω μεταξύ, θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι μπορεί να παρατηρηθεί υπογλυκαιμία μετά την άσκηση πιο συχνά σε άτομα που έχουν αλλάξει το πρόγραμμα γυμναστικής τους με σκοπό να ενσωματώσουν και ασκήσεις με αντιστάσεις ή σε ασθενείς που δεν είναι συνηθισμένοι στην άσκηση (15).

Συνοψίζοντας, τα ευρήματά μας δείχνουν ότι σε γυμνασμένα άτομα με διαβήτη τύπου 1, τα οποία ασκούνται τακτικά με αερόβια άσκηση και άσκηση με αντιστάσεις, ενδεχομένως ο δεύτερος τύπος άσκησης να έχει ως αποτέλεσμα πιο σταθερά επίπεδα γλυκόζης, κατά τη διάρκεια και μετά την άσκηση, συγκριτικά με την αερόβια άσκηση, γεγονός που εξηγεί τα οφέλη της HbA1c που έχουν διαπιστωθεί σε προγενέστερες μελέτες παρέμβασης με ασκήσεις αντιστάσεων . Η τάση για πιο συχνή, αλλά ήπια, νυχτερινή υπογλυκαιμία μετά από την άσκηση με αντιστάσεις που αναφέρεται στη μελέτη μας υποδεικνύει, ωστόσο, την πιθανή ανάγκη να αναπτυχθούν πιο αποτελεσματικά πρωτόκολλα κλινικής διαχείρισης για διαφορετικές μορφές άσκησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wadén J, Forsblom C, Thorn LM, et al.; FinnDiane Study Group. Physical activity and diabetes complications in patients with type 1 diabetes: the Finnish Diabetic Nephropathy (FinnDiane) Study. Diabetes Care 2008;31:230–232
2. Chimen M, Kennedy A, Nirantharakumar K, Pang TT, Andrews R, Narendran P. What are the health benefits of physical activity in type 1 diabetes mellitus? A literature review. Diabetologia 2012;55:542–551
3. Kavookjian J, Elswick BM, Whetsel T. Interventions for being active among individuals with diabetes: a systematic review of the literature. Diabetes Educ 2007; 33:962–988; discussion 989–990
4. Durak EP, Jovanovic-Peterson L, Peterson CM. Randomized crossover study of effect of resistance training on glycemic control, muscular strength, and cholesterol in type I diabetic men. Diabetes Care 1990;13: 1039–1043
5. Ramalho AC, de Lourdes Lima M, Nunes F, et al. The effect of resistance versus aerobic training on metabolic control in patients with type-1 diabetes mellitus. Diabetes Res Clin Pract 2006;72:271–276
6. Mosher PE, NashMS, Perry AC, La Perriere AR, Goldberg RB. Aerobic circuit exercise training: effect on adolescents with well controlled insulin-dependent diabetes mellitus. Arch Phys Med Rehabil 1998;79: 652–657
7. Salem MA, Aboelasrar MA, Elbarbary NS, Elhilaly RA, Refaat YM. Is exercise a therapeutic tool for improvement of cardiovascular risk factors in adolescents with type 1 diabetes mellitus? A randomised controlled trial. Diabetol Metab Syndr 2010;2:47
8. Jovanovic-Peterson L, Durak E, Berger E, Peterson C. A 12 Session exercise program and its effects on physical conditioning and glucose metabolism in type 1 diabetic subjects. Int J Sports Med 1989;10:377
9. Francescato MP, GeatM, Fusi S, Stupar G, Noacco C, Cattin L. Carbohydrate requirement and insulin concentration during moderate exercise in type 1 diabetic patients. Metabolism 2004;53:1126–1130
10. Campaigne BN, Wallberg-Henriksson H, Gunnarsson R. Glucose and insulin responses in relation to insulin dose and caloric intake 12 h after acute physical exercise in men with IDDM. Diabetes Care 1987;10:716–721
11. Bussau VA, Ferreira LD, Jones TW, Fournier PA. A 10-s sprint performed prior to moderate-intensity exercise prevents early post-exercise fall in glycaemia in individuals with type 1 diabetes. Diabetologia 2007;50:1815–1818
12. Bussau VA, Ferreira LD, Jones TW, Fournier PA. The 10-s maximal sprint: a novel approach to counter an exercisemediated fall in glycemia in individuals with type 1 diabetes. Diabetes Care 2006; 29:601–606
13. Guelfi KJ, Jones TW, Fournier PA. The decline in blood glucose levels is less with intermittent high-intensity compared with moderate exercise in individuals with type 1 diabetes. Diabetes Care 2005; 28:1289–1294
14. Guelfi KJ, Ratnam N, Smythe GA, Jones TW, Fournier PA. Effect of intermittent high-intensity compared with continuous moderate exercise on glucose production and utilization in individuals with type 1 diabetes. Am J Physiol Endocrinol Metab 2007;292:E865–E870
15. MacDonald MJ. Post exercise late-onset hypoglycemia in insulin-dependent diabetic patients. Diabetes Care 1987;10:584–588
16. McMahon SK, Ferreira LD, Ratnam N, et al. Glucose requirements to maintain euglycemia after moderate-intensity afternoon exercise in adolescents with type 1 diabetes are increased in a biphasic manner. J Clin Endocrinol Metab 2007; 92:963–968
17. Maran A, Pavan P, Bonsembiante B, et al. Continuous glucose monitoring reveals delayed nocturnal hypoglycemia after intermittent high-intensity exercise in non trained patients with type 1 diabetes. Diabetes Technol Ther 2010;12:763–768
18. Iscoe KE, Campbell JE, Jamnik V, Perkins BA, Riddell MC. Efficacy of continuous real-time blood glucose monitoring during and after prolonged high-intensity cycling exercise: spinning with a continuous glucose monitoring system. Diabetes Technol Ther 2006;8:627–635
19. Iscoe KE, RiddellMC. Continuous moderate intensity exercise with or without intermittent high-intensity work: effects on acute and late glycaemia in athletes with Type 1 diabetes mellitus. Diabet Med 2011; 28:824–832
20. Yardley JE, Kenny GP, Perkins BA, et al. Effects of performing resistance exercise before versus after aerobic exercise on glycemia in type 1 diabetes. Diabetes Care 2012;35:669–675
21. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. J Appl Physiol 1994;76:2253–2261
22. Tesch PA, Colliander EB, Kaiser P.Muscle metabolism during intense, heavy resistance exercise. Eur J Appl Physiol Occup

Physiol 1986;55:362–366
23. Smilios I, Pilianidis T, Karamouzis M, Tokmakidis SP. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. Med Sci Sports Exerc 2003;35:644–654
24. Pullinen T, Nicol C, MacDonald E, Komi PV. Plasma catecholamine responses to four resistance exercise tests in men and women. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1999;80:125–131
25. Purdon C, Brousson M, Nyveen SL, et al. The roles of insulin and catecholamines in the glucoregulatory response during intense exercise and early recovery in insulin dependent diabetic and control subjects. J Clin Endocrinol Metab 1993;76:566– 573
26. Lehmann R, Kaplan V, Bingisser R, Bloch KE, Spinas GA. Impact of physical activity on cardiovascular risk factors in IDDM. Diabetes Care 1997;20:1603–1611
27. Brazeau AS, Rabasa-Lhoret R, Strychar I, Mircescu H. Barriers to physical activity among patients with type 1 diabetes. Diabetes Care 2008;31:2108–2109
28. Williams MA, HaskellWL, Ades PA, et al.; American Heart Association Council on Clinical Cardiology; American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. Circulation 2007;116: 572–584
29. KrauseMP, RiddellMC,Hawke TJ. Effects of type 1 diabetes mellitus on skeletal muscle: clinical observations and physiological mechanisms. Pediatr Diabetes 2011; 12:345–364
30. Kilpatrick ES, Rigby AS, Atkin SL. Insulin resistance, the metabolic syndrome, and complication risk in type 1 diabetes: "double diabetes" in the Diabetes Control and Complications Trial. Diabetes Care 2007; 30:707–712