



ΔΗΜΟΚΡΕΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

**ΔΙΪΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία"**

του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης και του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αιμοδυναμικές και μεταβολικές αποκρίσεις κατά την εκτέλεση ποδηλάτησης αυξανόμενης (διαβαθμισμένα) ταχύτητας με ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου σε ενήλικες με σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2

Ηλιόπουλος Στυλιανός [Α.Ε.Μ.12017]

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε στο Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος στην "Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία" σε συνεργασία με Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: Απόστολος Σπάσης, *Μέλος Ε.Ε.Π. Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.*

2ο Μέλος: Ελένη Δούδα, *Καθηγήτρια Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.*

3ο Μέλος: Ηλίας Σμήλιος, *Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.*

Κομοτηνή, 2024



DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

SCHOOL OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE

DEPARTMENT OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE

INTERINSTITUTIONAL POSTGRADUATE PROGRAM OF POSTGRADUATE STUDIES

"Clinical Exercise and Applications of Technology in Health"

of the Department of Physical Education and Sport of the School of Physical Education and Sport Science of Democritus University of Thrace in collaboration with the National Center for Science Research "DEMOKRITOS" - The Institute of Informatics and Telecommunications (IIT)

MASTER DISSERTATION

Hemodynamic and metabolic responses during increasing (graded) speed cycling with or without additional load in adults with type 2 diabetes

Iliopoulos Stylianos [R.N. 12017]

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Master's Degree in "Clinical Exercise and Applications of Technology in Health" of the Department of Physical Education and Sport of the School of Physical Education and Sport Science of Democritus University of Thrace in collaboration with the National Center for Science Research "DEMOKRITOS" - The Institute of Informatics and Telecommunications (IIT)

COMMITTEE OF EXAMINERS

Supervisor: Apostolos Spassis, Specialized Teaching Staff, D.P.E.S.S. – D.U.T.H.

Member 2: Helen Douda, Professor D.P.E.S.S. - DUTH

Member 3: Ilias Smilios, Professor D.P.E.S.S. - DUTH

Komotini, 2024



**© 2024 Διίδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία»**

του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (Τ.Ε.Φ.Α.Α.) της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (Σ.Ε.Φ.Α.Α.) του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης (Δ.Π.Θ.) σε συνεργασία με το Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» (Ε.ΚΕ.Φ.Ε. «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ») - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ηλιόπουλος Στυλιανός : Αιμοδυναμικές και μεταβολικές αποκρίσεις κατά την εκτέλεση ποδηλάτησης αυξανόμενης (διαβαθμισμένα) ταχύτητας με ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου σε ενήλικες με σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2

(Με την επίβλεψη του Καθηγητή Απόστολου Σπάση)

Η προοδευτικά αυξανόμενη μεταβολή της ταχύτητας κατά τη διάρκεια πρωτοκόλλων ποδηλάτησης στο κυκλοεργόμετρο θεωρείται αποδεκτό και αξιόπιστο εργαλείο για μελέτη και έλεγχο των αιμοδυναμικών και μεταβολικών αποκρίσεων σε άτομα με καρδιομεταβολικά νοσήματα. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να συγκρίνει με χρήση συνεχούς, μη επεμβατικής, μεθόδου τις αιμοδυναμικές (finapres NOVA, basic) και μεταβολικές ανταποκρίσεις με την εφαρμογή δύο αυξανόμενων δοκιμασιών σε εργοποδήλατο, με διαβαθμισμένες ταχύτητες (10rpm/stage) και χρήση (1kg) ή μη φορτίο (no load) σε ασθενείς με σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 (ΣΔτ2). Στην μελέτη συμμετείχαν 10 παχύσαρκοι ασθενείς, με ΔΜΣ στα επίπεδα του $33,0 \pm 5,5$ και διαταραγμένο μεταβολικό προφίλ (ηλικίας: $58,1 \pm 10,5$ yrs, ύψους: $171,4 \pm 8,0$ cm και σωματικού βάρους: $100,8 \pm 20,5$ kg) οι οποίοι εκτέλεσαν δύο πρωτόκολλα προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως τον προσδιορισμό του δεύτερου αναπνευστικού κατωφλίου (VT₂). Η σειρά εκτέλεσης μεταξύ των δύο συνθηκών έγινε με τυχαία σειρά. Συγκεκριμένα, στο ένα πρωτόκολλο εκτελέστηκε ποδηλάτηση έναντι μηδενικού φορτίου (No Load) αντίστασης και προοδευτικής αύξησης της ταχύτητας κατά 10 περιστροφές/λεπτό κάθε 2 λεπτά. Το δεύτερο πρωτόκολλο περιελάμβανε ανάλογη διαβάθμιση της ταχύτητας ποδηλάτησης κάθε 2 λεπτά έναντι σταθερού χαμηλού φορτίου 1,0 kg (With Load). Η διακύμανση των μεταβλητών που τελικά αξιολογήθηκαν με συνεχόμενη καταγραφή κατά την εκτέλεση των δύο δοκιμασιών ήταν το διπλό γινόμενο (RPP), η καρδιακή παροχή (CO) και ο όγκος παλμού (SV). Παράλληλα προσδιορίστηκαν και τα επίπεδα της γλυκόζης (πριν, αμέσως μετά & 10 λεπτά μετά). Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι μόνο οι μέσες τιμές του RPP σε κάθε 2λεπτο στάδιο ήταν στατιστικά διαφοροποιημένες ($p < 0,05$) κατά την εκτέλεση ποδηλάτησης με σταθερό έναντι του μηδενικού φορτίου. Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ($p > 0,05$) μεταξύ των δύο συνθηκών όσον αφορά τα επίπεδα γλυκόζης στο τριχοειδικό αίμα. Τα παραπάνω αποδεικνύουν ότι η εργοποδηλάτηση με μηδενικό φορτίο δύναται να αποτελέσει έναν



εναλλακτικό τρόπο άσκησης, με εμφάνιση ηπιότερων αιμοδυναμικών και μεταβολικών επιβαρύνσεων, σε άτομα με ΣΔ2.

Λέξεις κλειδιά: *εργοποδήλατο, καρδιομεταβολικές αλλαγές, (μη) φορτίο, διαβαθμισμένη ταχύτητα, ΣΔ2*



ABSTRACT

Iliopoulos Stylianos: Hemodynamic and metabolic responses during increasing (graded) speed cycling with or without additional load in adults with type 2 diabetes

(Under the supervision of Special Teaching Staff, Apostolos Spassis)

Progressively increasing speed change during cycle ergometer protocols is considered an accepted and reliable tool for studying and monitoring hemodynamic and metabolic responses in patients with cardiometabolic diseases. The purpose of the present study was to compare, with using a continuous/non-invasive method, the hemodynamic (finapres NOVA, basic) and metabolic responses to the application of two incremental protocols on a cycle-ergometer, with graded speeds (10rpm/stage) and use (1kg) or no load (no load) in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM). Ten (n=10) obese patients, with a BMI of 33.0 ± 5.5 and a disturbed metabolic profile (age: 58.1 ± 10.5 yrs, height: 171.4 ± 8.0 cm and body weight: 100.8 ± 20.5 kg) performed two protocols of progressively increasing workload until the determination of the second respiratory threshold (VT₂). The order of execution between the two conditions was randomized. Specifically, in one protocol cycling was performed at zero load (No Load) resistance and a progressive increase in velocity by 10 rpm every 2 minutes. The second protocol involved a proportional gradation of cycling velocity every 2 minutes with a constant low load of 1.0 kg (With Load). The variation of the variables finally assessed by continuous recording during the performance of the two tests were the double product (RPP), cardiac output (CO) and pulse volume (SV). At the same time, glucose levels were determined (before, immediately after & 10 minutes after). Data analysis showed that only mean values of RPP at each 2-min stage were statistically different ($p < 0.05$) when performing constant vs. zero load cycling. No differences ($p > 0.05$) were observed between the two conditions in terms of capillary blood glucose levels. The above proves that cycling with zero load can be an alternative way of exercise, with milder hemodynamic and metabolic burdens, in people with T2DM.

Key words: cycling ergometer, cardiometabolic changes, (no) load, graded speed, T2DM



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vi
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	ix
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
Προσδιορισμός του προβλήματος.....	10
Σκοπός	13
Σημασία της έρευνας	14
Υποθέσεις της έρευνας.....	15
Οριοθετήσεις της έρευνας.....	15
Λειτουργικοί ορισμοί.....	16
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	18
Η νόσος του Σακχαρώδη Διαβήτη.....	18
Παρεμβατική Άσκηση και Σακχαρώδης Διαβήτης.....	19
Καρδιαγγειακή νόσος και σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2	25
Κλινική αξιολόγηση μέσω σωματικής άσκησης – Δοκιμασία κόπωσης.....	25
Διαδικασία εκτέλεσης δοκιμασιών κόπωσης.....	31
Μη επεμβατική συνεχής μέθοδος καταγραφής αιμοδυναμικών παραμέτρων.....	32
Συμπεράσματα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.....	33
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	37
Δείγμα	37
Πειραματική διαδικασία συλλογής δεδομένων	37
Όργανα μέτρησης	38
Στατιστική ανάλυση	39



VI. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	40
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	45
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	46
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.	Διακύμανση των τιμών του διπλού γινομένου (RPP) κατά τη διάρκεια 2 διαβαθμισμένων δοκιμασιών ποδηλασίας, μια με φορτίο (1kg) και μια χωρίς φορτίο (no load).....	40
Σχήμα 2.	Διακύμανση των τιμών της Καρδιακής παροχής (CO) κατά τη διάρκεια 2 διαβαθμισμένων δοκιμασιών ποδηλασίας, μια με φορτίο (1kg) και μια χωρίς φορτίο (no load)	42
Σχήμα 3.	Όγκος Παλμού (SV) κατά τη διάρκεια 2 διαβαθμισμένων δοκιμασιών ποδηλασίας, μία με φορτίο (1kg) και μία χωρίς φορτίο (no load).	43
Σχήμα 4.	Συγκέντρωση της γλυκόζης (Glu) στο αίμα πριν και μετά την εφαρμογή των δύο διαβαθμισμένων δοκιμασιών ποδηλασίας, μία με φορτίο (1kg) και μία χωρίς φορτίο (no load).....	44

Αιμοδυναμικές και μεταβολικές αποκρίσεις κατά την εκτέλεση ποδηλάτησης αυξανόμενης (διαβαθμισμένα) ταχύτητας με ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου σε ενήλικες με σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προοδευτικά αυξανόμενη μεταβολή της επιβάρυνσης κατά τη διάρκεια δοκιμασιών κόπωσης στο κυκλοεργόμετρο θεωρείται αποδεκτό και αξιόπιστο εργαλείο για μελέτη και έλεγχο των φυσιολογικών αποκρίσεων ασθενών με χρόνιες παθήσεις (Pina et al., 1995; Fletcher et al., 2013). Στην πλειονότητα των μελετών όπου χρησιμοποιείται το εργοποδήλατο ως μέσο για την εκτέλεση δοκιμασίας κοπώσεως, διατηρούν την ταχύτητα ποδηλασίας σταθερή μεταβάλλοντας την επιβάρυνση (ισχύ) διαφοροποιώντας το φορτίο ή την αντίσταση κατά την ποδηλάτηση. Παρά ταύτα, δεν υπάρχουν εκτενή ερευνητικά δεδομένα που να έχουν μελετήσει το πώς επιδρά η μεταβολή της ταχύτητας ποδηλασίας έναντι μηδενικού φορτίου στην ενεργοποίηση φυσιολογικών αποκρίσεων ασθενών με μεταβολικά προβλήματα. Συγκεκριμένα, δεν υπάρχουν μελέτες που να εξετάζουν συγκριτικά τις αιμοδυναμικές (συνεχή παρακολούθηση) και μεταβολικές (επίπεδα γλυκόζης) αποκρίσεις κατά την εκτέλεση ποδηλάτησης αυξανόμενης ταχύτητας με ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου. Από την άλλη πλευρά, τα άτομα με σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 (ΣΔ2) έχουν αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών επεισοδίων, ενώ η διακύμανση των αιμοδυναμικών παραμέτρων οδηγεί σε καλύτερη πρόγνωση της καρδιαγγειακής τους λειτουργίας (Taylor et al., 2013). Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η παρακολούθηση και σύγκριση των αιμοδυναμικών και μεταβολικών αποκρίσεων δύο πρωτοκόλλων ποδηλάτησης, με αυξανόμενη (διαβαθμισμένα) ταχύτητα, με ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου σε ενήλικες με ΣΔ2

Προσδιορισμός του προβλήματος

Ο σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2 (ΣΔτ2) είναι μια χρόνια πάθηση που χαρακτηρίζεται από αντίσταση και ανεπάρκεια της ινσουλίνης, με αποτέλεσμα τα

αυξημένα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα (υπεργλυκαιμία). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2020), ο ΣΔτ2 αποτελεί την πιο κοινή μορφή διαβήτη και πλήττει περίπου το 9,3% του παγκόσμιου πληθυσμού. Η επίπτωση αυξάνεται λόγω του σύγχρονου τρόπου ζωής, της καθιστικής ζωής, της διατροφή υψηλή σε θερμίδες και της αύξησης της παχυσαρκίας (Wang et al., 2016). Η κακή ρύθμιση του ΣΔτ2 μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπλοκές όπως καρδιοαγγειακές παθήσεις, νεφροπάθειες και βλάβες στον αμφιβληστροειδή (American Diabetes Association, 2020). Τα άτομα με ΣΔτ2 διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο για καρδιοαγγειακά νοσήματα λόγω της αντίστασης στην ινσουλίνη, των αυξημένων επιπέδων λιπιδίων και της φλεγμονής, που είναι συνυφασμένα με την ασθένεια (Yajnik et al., 2004). Αυτός ο αυξημένος καρδιοαγγειακός κίνδυνος οδηγεί σε σημαντική αύξηση της θνησιμότητας των διαβητικών ασθενών, καθιστώντας τη διαχείριση των καρδιοαγγειακών παραμέτρων κεντρικό θέμα της έρευνας.

Η άσκηση έχει αναγνωριστεί ως μια από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για τη διαχείριση του ΣΔτ2. Η συστηματική σωματική δραστηριότητα έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την ευαισθησία στην ινσουλίνη, μειώνει τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα και έχει θετική επίδραση στη συνολική καρδιαγγειακή υγεία (Colberg et al., 2016). Επίσης, η συστηματική άσκηση μειώνει τη χορηγούμενη φαρμακευτική αγωγή και την υπερβολική αύξηση των επιπέδων γλυκόζης, ενώ παράλληλα ενισχύει την ποιότητα ζωής των ατόμων με ΣΔ2 (Guerra et al., 2019). Σύμφωνα με μελέτες, η άσκηση μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη καλύτερης ρύθμισης της γλυκόζης σε ασθενείς με ΣΔτ2, ακόμα και όταν εφαρμόζεται για περιορισμένο χρονικό διάστημα (Boule et al., 2001). Τα πρωτόκολλα άσκησης που συνιστώνται για τα άτομα με ΣΔτ2 περιλαμβάνουν αερόβιες δραστηριότητες (όπως το περπάτημα, το τρέξιμο και η ποδηλάτηση) και προγράμματα ενδυνάμωσης με αντιστάσεις (Breen et al., 2013). Ειδικότερα, η ποδηλάτηση έχει αποδειχθεί αποτελεσματική καθώς είναι μια δραστηριότητα που συνδυάζει καρδιαγγειακή άσκηση με ενδυνάμωση των κάτω άκρων. Η χρήση εργοποδηλάτων (στατικά ποδήλατα) για τη μέτρηση της καρδιομεταβολικής απόκρισης επιτρέπει την αξιολόγηση των αιμοδυναμικών και μεταβολικών δεικτών με ακρίβεια και αξιοπιστία (Panton et al., 2014). Κατά τη διάρκεια της σωματικής άσκησης, το καρδιαγγειακό σύστημα προσαρμόζεται για να καλύψει τις αυξημένες ανάγκες οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών των μυών. Οι

βασικές αιμοδυναμικές μεταβλητές που επηρεάζονται περιλαμβάνουν την καρδιακή παροχή (Cardiac Output - CO), τον όγκο παλμού (Stroke Volume - SV) και την καρδιακή συχνότητα (Heart Rate - HR). Η καρδιακή παροχή αυξάνεται ως αποτέλεσμα της ταυτόχρονης αύξησης της καρδιακής συχνότητας και του όγκου παλμού, ενώ η αγγειακή αντίσταση μειώνεται για να διευκολυνθεί η διανομή του αίματος στους μυς (Astrand & Rodahl, 1986). Η μέτρηση των αιμοδυναμικών αντιδράσεων κατά την άσκηση είναι κρίσιμη για την κατανόηση των καρδιαγγειακών προσαρμογών σε όλες της κατηγορίες των ασθενών αλλά και σε άτομα με ΣΔτ2. Η συνεχής μη επεμβατική μέθοδος Finapres Nova που χρησιμοποιείται, στην εν λόγω μελέτη, για τη μέτρηση της αρτηριακής πίεσης και άλλων αιμοδυναμικών παραμέτρων, επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο χωρίς να απαιτούνται πολύπλοκες επεμβατικές διαδικασίες. Αρκετές μελέτες μέχρι σήμερα έχουν καταδείξει ότι η αιμοδυναμική απόκριση κατά την εκτέλεση πρωτοκόλλων άσκησης μπορεί να διαφοροποιείται σε άτομα με ΣΔτ2, λόγω της ύπαρξης καρδιοαγγειακών παθήσεων ή αγγειακής δυσλειτουργίας που συχνά συνοδεύουν την πάθηση (Jensen et al., 2002). Ειδικότερα, η παρακολούθηση των καρδιακών δεικτών, όπως το διπλό γινόμενο (Rate Pressure Product - RPP), παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της καρδιαγγειακής λειτουργίας και αιμοδυναμικής επιβάρυνσης (Kenny et al., 2016). Η συγκεκριμένη μη επεμβατική μέθοδος παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη ώστε να συγκρίνεις τις αιμοδυναμικές αποκρίσεις (με μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία). Δίνεται να μελετηθεί ο τρόπος διακύμανση μεγάλη ποικιλία καρδιαγγειακών παραμέτρων μεταξύ διαφορετικών τύπων/μορφών/πρωτοκόλλων άσκησης, όπως πχ. η ποδηλάτηση με χρήση ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου επιβάρυνσης.

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή της κλινικής δοκιμασίας κοπώσεως καθώς και ο τρόπος εκτέλεσής της έχουν μελετηθεί εκτενώς και διαδρονικά από τους ερευνητές, καθώς μπορεί να προκαλέσει ποικίλες αιμοδυναμικές αποκρίσεις (Fletcher et al., 2013; Kurl et al., 2001; Myers et al., 1991). Ο σχεδιασμός των δοκιμασιών βασίζεται σε συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές, οι οποίες περιλαμβάνουν τη διάρκεια της άσκησης, η οποία σε κάθε στάδιο κυμαίνεται από 2 έως 3 λεπτά (Beck & Weisman, 2001). Είναι σημαντικό η μέγιστη χρονική διάρκεια της προσπάθειας να κυμαίνεται από 8 έως 10-14 λεπτά, προκειμένου να είναι αξιόπιστη και να μην καταπονηθεί ο ασθενής.

Γενικότερα, η εκτέλεση της δοκιμασίας γίνεται συνήθως με τη χρήση εργοδιαδρόμου ή εργοποδηλάτου (κυκλοεργόμετρο), για την αποφυγή περίπλοκων διαδικασιών και την εξασφάλιση ευκολίας για τον ασθενή (Beck & Weisman, 2001; Working Group Report, 2001).

Η προοδευτικά αυξανόμενη μεταβολή της επιβάρυνσης κατά τη διάρκεια δοκιμασιών κόπωσης στο κυκλοεργόμετρο θεωρείται αποδεκτό και αξιόπιστο εργαλείο για μελέτη και έλεγχο των φυσιολογικών αποκρίσεων ασθενών με χρόνιες παθήσεις (Pina et al., 1995; Fletcher et al., 2013). Είθισται, στην πλειονότητα των μελετών όπου χρησιμοποιείται το εργοποδήλατο ως μέσο για την εκτέλεση δοκιμασίας κόπωσης να διατηρείται η ταχύτητα ποδηλάτησης σταθερή μεταβάλλοντας την επιβάρυνση (παραγόμενη ισχύ) με διαφοροποίηση του φορτίου ή της αντίστασης κατά την προοδευτικά αυξανόμενη προσπάθεια. Παρά ταύτα, δεν υπάρχουν εκτενή ερευνητικά δεδομένα που να έχουν μελετήσει το πώς επιδρά η μεταβολή της ταχύτητας ποδηλασίας έναντι μηδενικού φορτίου (χωρίς κιλά) στην ενεργοποίηση φυσιολογικών αποκρίσεων ασθενών με ή χωρίς μεταβολικές δυσλειτουργίες. Συγκεκριμένα, δεν υπάρχουν μελέτες που να εξετάζουν συγκριτικά τις αιμοδυναμικές / καρδιαγγειακές (μέθοδος συνεχούς παρακολούθησης) και μεταβολικές (επίπεδα γλυκόζης) αποκρίσεις κατά την εκτέλεση ποδηλάτησης αυξανόμενης ταχύτητας (αυξανόμενες περιστροφές) με ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου. Γίνεται αντιληπτή, η σημαντικότητα να μπορούμε να αντιληφθούμε σε διαβητικούς ασθενείς τη διακύμανση των αιμοδυναμικών παραμέτρων που οδηγεί σε καλύτερη πρόγνωση της καρδιαγγειακής τους λειτουργίας (Taylor et al., 2013).

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αξιολογήσει και να συγκρίνει τις αιμοδυναμικές και μεταβολικές αποκρίσεις ασθενών με ΣΔτ2 χρησιμοποιώντας την συνεχή μη επεμβατική μέθοδο (Finapres Nova Basic), μετά την εφαρμογή δύο μέγιστων κυκλοεργομετρικών δοκιμασιών με ταχύτητα ή φορτίο. Πιο συγκεκριμένα οι ασθενείς καλούνται να εκτελέσουν δύο προοδευτικά, αυξανόμενα πρωτόκολλα.

Συγκεκριμένα θα πρέπει να εκτελέσουν έως την εξάντληση και στις δύο εκτελούμενες συνθήκες: α) πρωτόκολλο με σταθερή αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας έναντι μηδενικού φορτίου (0 kg) και β) ένα δεύτερο πρωτόκολλο που περιλαμβάνει σταθερή αύξηση της ταχύτητας αλλά με σταθερό φορτίο 1kg.

Σημασία της έρευνας

Η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο τη σύγκριση των αποκρίσεων ασθενών με χρόνιες παθήσεις (συγκεκριμένα σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 – ΣΔτ2) μέσα από την εφαρμογή δύο διαφορετικών πρωτοκόλλων μέγιστης προσπάθειας. Η συμβολή της έρευνας έγκειται κυρίως στον εμπλουτισμό της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τις φυσιολογικές και αιμοδυναμικές αποκρίσεις ασθενών με χρόνιες παθήσεις κατά τη διάρκεια δοκιμασιών που περιλαμβάνουν προοδευτική αύξηση ταχύτητας με διαφορετικό φορτίο (0 ή 1kg). Ειδικότερα, η συγκεκριμένη μελέτη θα καλύψει ένα κενό στη βιβλιογραφία αναφορικά με τις αποκρίσεις ασθενών με ΣΔτ2, διερευνώντας την σημασία της άσκησης σε τέτοιους πληθυσμούς καθώς και την πιθανότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων εξαιτίας της νόσου. Η σύγκριση των δύο πρωτοκόλλων θα συνεισφέρει σε νέες γνώσεις σχετικά με τις αιμοδυναμικές και μεταβολικές αποκρίσεις (έλεγχος επιπέδων γλυκόζης) ασθενών με χρόνιες παθήσεις και συγκεκριμένα ΣΔτ2, κατά την εκτέλεση μέγιστων δοκιμασιών στο εργοποδήλατο. Παράλληλα, η χρήση της μεθόδου συνεχούς, μη επεμβατικής αξιολόγησης (Finapres Nova) αναμένεται να εμπλουτίσει τη σύγχρονη βιβλιογραφία εξετάζοντας την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνικής στην κλινική αξιολόγηση ασθενών με ΣΔτ2. Επιπλέον, η σημασία μιας τέτοιας μελέτης έγκειται στην προοπτική της να επηρεάσει θετικά την ποιότητα ζωής των διαβητικών ασθενών, παρέχοντας τεκμηριωμένες ενδείξεις για την αξία της άσκησης στην πρόληψη εμφάνισης καρδιομεταβολικών νόσων. Μέσω της εφαρμογής των συγκεκριμένων μέγιστων πρωτοκόλλων άσκησης, αναμένονται σημαντικές πληροφορίες για τη διακύμανση των αιμοδυναμικών παραμέτρων συμβάλλοντας στην προαγωγή της ασφάλειας και στο καλύτερο έλεγχο παραμέτρων των καρδιαγγειακού συστήματος σε ασθενείς με ΣΔτ2.

Υποθέσεις της έρευνας

Οι βασικές ερευνητικές υποθέσεις της παρούσας εργασίας ήταν:

- Ο παράγοντας “*χρονική στιγμή μέτρησης*” επηρεάζει τις αιμοδυναμικές παραμέτρους, πιο συγκεκριμένα την καρδιακή συχνότητα, τη συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση, τις τιμές του διπλού γινομένου και της συνολικής περιφερειακής αντίστασης, τον όγκο παλμού και την καρδιακή παροχή.
- Ο παράγοντας “*φορτίο*” επηρεάζει τις αιμοδυναμικές παραμέτρους, πιο συγκεκριμένα την καρδιακή συχνότητα, τη συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση, τις τιμές του διπλού γινομένου και της συνολικής περιφερειακής αντίστασης, τον όγκο παλμού και την καρδιακή παροχή.
- Ο παράγοντας “*φορτίο*” επηρεάζει τις τιμές της γλυκόζης αίματος.
- Ο παράγοντας “*χρονική στιγμή μέτρησης*” τις τιμές της γλυκόζης αίματος.

Στατιστικές υποθέσεις

Οι μηδενικές και οι εναλλακτικές υποθέσεις της παρούσας εργασίας ήταν:

H0: Δεν θα υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αιμοδυναμικές παραμέτρους των ασθενών και πιο συγκεκριμένα στην καρδιακή συχνότητα, τη συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση, των τιμών του διπλού γινομένου και της συνολικής περιφερειακής αντίστασης, του όγκου παλμού, καθώς, και της καρδιακής παροχής μεταξύ της δοκιμασίας με προοδευτική αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας και μηδενικού φορτίου και της δοκιμασίας με αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας και φορτίου 1kg, σε ασθενείς με ΣΔτ2.

H1: Θα υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αιμοδυναμικές παραμέτρους των ασθενών και πιο συγκεκριμένα στην καρδιακή συχνότητα, τη συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση, των τιμών του διπλού γινομένου και της συνολικής

περιφερειακής αντίστασης, του όγκου παλμού, καθώς, και της καρδιακής παροχής μεταξύ της δοκιμασίας με προοδευτική αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας και μηδενικού φορτίου και της δοκιμασίας με αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας και φορτίου 1kg, σε ασθενείς με ΣΔτ2.

H0: Δεν θα υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές της γλυκόζης αίματος μεταξύ της δοκιμασίας με προοδευτική αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας και μηδενικού φορτίου και της δοκιμασίας με αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας και φορτίου 1kg, σε ασθενείς με ΣΔτ2.

H1: Θα υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές της γλυκόζης αίματος μεταξύ της δοκιμασίας με προοδευτική αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας και μηδενικού φορτίου και της δοκιμασίας με αύξηση της ταχύτητας ποδηλασίας και φορτίου 1kg, σε ασθενείς με ΣΔτ2.

Οριοθετήσεις της έρευνας

Τα όρια και οι περιορισμοί της παρούσας έρευνας όσον αφορά την επιλογή του δείγματος, καθώς, επίσης, και τη διαδικασία των μετρήσεων ήταν οι εξής:

- το δείγμα αποτέλεσαν ασθενείς με συγκεκριμένο τύπου διαβήτη (ΣΔτ2).
- *ως προς το μέγεθος και την ηλικία του δείγματος:* το δείγμα της έρευνας αποτελείται από 10 μεταβολικοί ασθενείς ηλικίας 35 έως και 68 ετών.
- *ως προς τη φαρμακευτική αγωγή καθότι το δείγμα της έρευνας θα έπρεπε να μη διαφοροποιήσει τη φαρμακευτική του αγωγή.*
- οι δοκιμασίες που εκτέλεσαν οι ασκούμενοι ήταν μέχρι την εξάντληση.

Λειτουργικοί ορισμοί

Καρδιακή Συχνότητα (ΚΣ): Η καρδιακή συχνότητα αποτελεί το ρυθμό με τον οποίο συστέλλεται η καρδιά. Εκφράζεται με κτύπους ανά λεπτό. Η απάντηση της καρδιακής συχνότητας επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η ηλικία, το είδος της άσκησης, η θέση του σώματος, η υγεία, το ασκησιακό επίπεδο, η

πιθανότητα ύπαρξης κάποιας καρδιακής πάθησης, η φαρμακευτική αγωγή και το περιβάλλον.

Καρδιακή Παροχή (ΚΠ): Αποτελεί το βασικό δείκτη της λειτουργικής ικανότητας της κυκλοφορίας να ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις που δημιουργούνται κατά τη φυσική δραστηριότητα. Καθορίζεται από το ρυθμό με τον οποίο συστέλλεται η καρδιά και από την ποσότητα αίματος που εξωθείται με κάθε παλμό.

Αρτηριακή Πίεση (ΑΠ): Κατά την άσκηση η διαστολή των αιμοφόρων αγγείων στους ενεργούς μυς επαυξάνει τη ροή του αίματος. Η εναλλασσόμενη συστολή και χαλάρωση των μυών εξασφαλίζει σημαντική δύναμη η οποία προωθεί το αίμα μέσω των αγγείων κατά την επιστροφή του στην καρδιά. Η μεγάλη αιματική ροή προκαλεί απότομη αύξηση της συστολικής πίεσης, ενώ η διαστολική παραμένει σχετικά αμετάβλητη. Οι τιμές της αρτηριακής πίεσης ορίζονται ως παθολογικές αναλόγως τον κίνδυνο νοσηρότητας που παρουσιάζουν. Καθώς αυξάνεται η αρτηριακή πίεση ενισχύεται ο κίνδυνος εμφάνισης καρδιαγγειακών και εγκεφαλικών επεισοδίων.

Διπλό Γινόμενο (ΔΓ). Αναίμακτος και αξιόπιστος δείκτης των απαιτήσεων του μυοκαρδίου σε οξυγόνο. Ισούται με το γινόμενο της καρδιακής συχνότητας επί τη συστολική πίεση. Χρησιμοποιείται κατά την εκτέλεση δοκιμασίας κόπωσης για την εκτίμηση της κατάστασης της στεφανιαίας κυκλοφορίας.

Όγκος Παλμού (ΟΠ): Η ποσότητα του αίματος που ωθεί η καρδιά σε κάθε συστολή (παλμό) της. Στο μέσο υγιή ενήλικα, σε κατάσταση ηρεμίας, η ποσότητα αυτή είναι περίπου 70ml/beat αίματος.

Συνολική Περιφερική Αντίσταση (ΣΠΑ): Η συνολική αντίσταση στη ροή του αίματος στο συστηματικό κύκλωμα, το πηλίκο που παράγεται διαιρώντας τη μέση αρτηριακή πίεση με τον καρδιακό λεπτό όγκο.

Μέτρηση γλυκόζης αίματος: Μέτρηση της συγκέντρωσης των επιπέδων του σακχάρου στο αίμα, χρησιμοποιείται για την διάγνωση, παρακολούθηση και αντιμετώπιση του σακχαρώδους διαβήτη.

II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η νόσος του Σακχαρώδη Διαβήτη

Ο σακχαρώδης διαβήτης (ΣΔ) αποτελεί μια νόσος που χαρακτηρίζεται από τα αυξημένα συγκεντρώση επιπέδων του σακχάρου (επίπεδα γλυκόζης) στην κυκλοφορία του αίματος, κατά κύριο λόγο όμως οφείλεται στην ελλιπή παραγωγή ινσουλίνης από τον οργανισμό. Ο κύριος ρόλος της ινσουλίνης στοχεύει στον μεταβολισμό των υδατανθράκων και στον έλεγχο της γλυκόζης στο αίμα. βοηθώντας τα παραπάνω μόρια του σάκχαρο του αίματος να εισέλθουν στα μυϊκά κύτταρα ώστε να χρησιμοποιηθεί ως “καύσιμο” για την παραγωγή ή την αποθήκευση ενέργειας (Saltiel et Kahn, 2001). Είναι μια ορμόνη που εκκρίνεται στο πάγκρεας και χωρίς αυτή θα ήταν αδύνατον να εισέλθει η γλυκόζη στα μυϊκά κύτταρα και κατά συνέπεια να παρέχει ενέργεια στο ανθρώπινο σώμα για την πραγματοποίηση οποιασδήποτε κίνησης.

Δυο είναι οι πιο βασικές μορφές διαβήτη που συναντάμε καθημερινά. Ο διαβήτης τύπου 1 (ΣΔτ1) που εμφανίζεται συνήθως σε νεαρά άτομα (αν και μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε ηλικία) και χαρακτηρίζεται από καταστροφή των β-κυττάρων του παγκρέατος που παράγουν την ινσουλίνη, με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η εξωγενής χορήγηση ινσουλίνης με διαφορετικό τρόπο (πχ ενέσιμη μορφή), έτσι ώστε το εν λόγω άτομο να μπορεί να επιβιώσει. Ο ΣΔτ2 αφορά κυρίως άτομα μεγαλύτερης ηλικίας, συνήθως παχύσαρκα όπου τις περισσότερες φορές συνυπάρχει μια κληρονομική προδιάθεση για την εμφάνισή του. Για τη θεραπεία του, απαιτείται απώλεια βάρους (με υγιεινή διατροφή και άσκηση), χορήγηση φαρμακευτικής αγωγής και σε προχωρημένα στάδια χορήγηση ινσουλίνης. Υπάρχουν όμως και άλλοι τύποι διαβήτη, όπως π.χ. ο διαβήτης κύησης, ο νεανικός διαβήτης, και πολλοί άλλοι τύποι.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιου Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), παγκοσμίως, 347.000.000 άνθρωποι έχουν ΣΔ. Μόνο το 2004, υπολογίζεται ότι 3.400.000

διαβητικοί ασθενείς λόγω επιπλοκών που προκάλεσαν τα υψηλά επίπεδα γλυκόζης νηστείας αίματος. Ο μεγαλύτερος αριθμός θανάτων καταγράφεται σε χώρες χαμηλού και μεσαίου κατά κεφαλήν ακαθάριστου εθνικού εισοδήματος (περισσότεροι από το 80% του συνόλου). Μέχρι το 2030, ο ΣΔ θα είναι η 7η αιτία θανάτου παγκοσμίως.

Παρεμβατική Άσκηση και Σακχαρώδης Διαβήτης

Η συστηματική άσκηση έχει αποδειχθεί ότι παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση του σακχαρώδη διαβήτη, καθώς συνδέεται με πολλά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της μειωμένης νοσηρότητας και θνησιμότητας (Armstrong et al., 2023). Η έλλειψη σωματικής δραστηριότητας και συστηματικής άσκησης αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες κινδύνου για την ανάπτυξη αντίστασης στην ινσουλίνη και του ΣΔτ2 καθώς η εφαρμογή τους μπορεί να καθυστερήσει ή να αποτρέψει την εμφάνιση αυτής της νόσου. Τυχαιοποιημένες μελέτες σε ασθενείς με διαβήτη έχουν βρει ότι οι παρεμβάσεις στον τρόπο ζωής που περιλαμβάνουν περίπου 150 λεπτά σωματικής δραστηριότητας την εβδομάδα, σε συνδυασμό με απώλεια βάρους λόγω διατροφής, μείωσαν τον κίνδυνο εμφάνισης ΣΔτ2 κατά 58% σε έναν πληθυσμό σε κίνδυνο (Stanford & Goodyear, 2014). Στην πραγματικότητα, αυτές οι μελέτες έχουν δείξει ότι οι παρεμβάσεις άσκησης από μόνες τους μπορούν να είναι εξίσου αποτελεσματικές με τα προγράμματα που συνδυάζουν δίαιτα και άσκηση στην πρόληψη της εξέλιξης του ΣΔτ2 (Stanford & Goodyear, 2014).

Βάσει επιδημιολογικών μελετών, η τακτική σωματική δραστηριότητα συνδέεται με σημαντική μείωση του κινδύνου εμφάνισης ΣΔτ2 και στεφανιαίας νόσου, σε σύγκριση με τον καθιστικό τρόπο ζωής (Bassuk et al 2005). Συγκεκριμένα, η έντονη φυσική δραστηριότητα μπορεί να μειώσει αισθητά τον κίνδυνο εμφάνισης αυτών των ασθενειών σε ένα μεγάλο ποσοστό. Η άσκηση και η φυσική δραστηριότητα ωφελεί τον οργανισμό ρυθμίζοντας το σωματικό βάρος, βελτιώνοντας την ευαισθησία του στην ινσουλίνη, καθώς και βοηθώντας τον να μειώσει τη αντίσταση του στην ινσουλίνη. Η προώθηση τόσο της μέτριας αλλά όσο και της έντονης φυσικής δραστηριότητας εβδομαδιαίως κρίνεται απαραίτητη για τη βελτίωση της μεταβολικής και καρδιαγγειακής υγείας, ειδικά σε πληθυσμούς που παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα σωματικής δραστηριότητας. Σε μελέτη

τους ο Yang και οι συνεργάτες του (2013) επικεντρώθηκαν στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της προπόνησης με αντιστάσεις και της αερόβιας άσκησης στη βελτίωση της γλυκαιμικής ρύθμισης σε άτομα με ΣΔτ2. Στην συγκεκριμένη μελέτη (μετα-ανάλυση) εφαρμόστηκαν κλινικές δοκιμές που σύγκριναν τις δύο μορφές άσκησης, καθώς και τον συνδυασμό τους. Τα ευρήματα έδειξαν ότι η αερόβια άσκηση βελτίωσε τη γλυκόζη νηστείας και τα επίπεδα γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης (HbA1c), ενώ η προπόνηση με αντιστάσεις συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση της μυϊκής μάζας και της μυϊκής δύναμης. Ο συνδυασμός αερόβιας και άσκησης με αντιστάσεις προσέφερε τα καλύτερα αποτελέσματα, ενισχύοντας την ευαισθησία στην ινσουλίνη, μειώνοντας την αντίσταση στην ινσουλίνη και βελτιώνοντας τον συνολικό μεταβολισμό. Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης και των δύο τύπων άσκησης σε προγράμματα καρδιομεταβολικής αποκατάστασης με βασικό σκοπό την μεγιστοποίηση των ωφελειών όσον αφορά τη διαχείριση του ΣΔτ2.

Όσον αφορά τις κατευθυντήριες οδηγίες και τις συστάσεις για άσκηση σε άτομα με ΣΔτ2, τόσο η αερόβια όσο και η προπόνηση με αντιστάσεις δείχνουν να παρέχουν σημαντικά οφέλη στο γλυκαιμικό προφίλ των ασθενών αλλά και στην γενικότερη υγεία τους. Η αερόβια άσκηση, ειδικότερα, έχει αποτελέσει πρωταρχικό επίκεντρο των μελετών άσκησης-προπόνησης λόγω των σταθερών ευρημάτων βελτιωμένου ελέγχου της γλυκόζης. Ωστόσο, υπάρχουν στοιχεία ότι η άσκηση με αντιστάσεις μπορεί να έχει οξείες θετικές επιδράσεις στις γλυκαιμικές διακυμάνσεις σε ασθενείς με ΣΔτ2 (Silveira et al., 2014).

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η αερόβια άσκηση μπορεί να βελτιώσει την ευαισθησία στην ινσουλίνη, να βοηθήσει στην μείωση των επιπέδων της γλυκόζης στο αίμα, να βελτιώσει την καρδιαγγειακή λειτουργία, να αυξήσει την μυϊκή μάζα και να προάγει την απώλεια βάρους σε περιπτώσεις ασθενών που κρίνεται απαραίτητο. Ωστόσο, η επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της άσκησης και οι αποκρίσεις στις αιμοδυναμικές παραμέτρους μπορεί να διαφέρουν ανάμεσα σε ασθενείς με σακχαρώδη διαβήτη. Κάποιοι ασθενείς μπορεί να έχουν μια προοδευτικά αυξανόμενη επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της άσκησης, ενώ άλλοι μπορεί να παρουσιάσουν γρήγορες προσαρμογές. Για τη

σωστή διαχείριση της άσκησης και τον καλύτερο γλυκαιμικό έλεγχο θα πρέπει να υπάρχει μια συνεργασία διαφόρων ειδικοτήτων από τους κλάδους των επιστημών υγείας. Συνεπώς, είναι σημαντικό να ακολουθούνται κατά γράμμα οι οδηγίες του γιατρού, του κλινικού διαιτολόγου και του «ειδικού της άσκησης» που έχει πιστοποιηθεί και εξειδικεύεται στον σχεδιασμό και την εφαρμογή προγραμμάτων άσκησης ασθενών με καρδιομεταβολικές παθήσεις.

Σε μελέτη που διεξήχθη από τον Kirwan και τους συνεργάτες του (2009) με σκοπό να προσδιοριστεί εάν: α) η βελτίωση της δράσης της ινσουλίνης που προκαλείται από τη βραχυπρόθεσμη προπόνηση άσκησης σε ασθενείς με ΣΔτ2, οφείλεται σε βελτίωση της ευαισθησίας στην ινσουλίνη, σε βελτίωση της ανταπόκρισης στην ινσουλίνη ή σε συνδυασμό βελτιωμένης ινσουλίνης ευαισθησία και ανταπόκριση και β) εάν η βραχυπρόθεσμη προπόνηση ασκήσεων οδηγεί σε βελτιωμένη καταστολή της ηπατικής παραγωγής γλυκόζης από την ινσουλίνη. Δεκατέσσερις παχύσαρκοι ασθενείς με ΣΔτ2 και καθιστικό τρόπο ζωής (64 ± 2 ετών) υποβλήθηκαν σε διαδικασία υπερινσουλιναιμικής ευγλυκαιμίας δύο σταδίων, πρώτο στάδιο $40 \text{ mU} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ έγχυση ινσουλίνης, δεύτερο στάδιο $1.000 \text{ mU} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ έγχυση ινσουλίνης, μαζί με έγχυση [3-3H]γλυκόζης, πριν και μετά από 7 ημέρες άσκησης. Η καθημερινή προπόνηση περιελάμβανε 30 λεπτά ποδηλάτησης και 30 λεπτά βάρδιας σε εργοδιάδρομο με την ένταση να κυμαίνεται, περίπου, στο 70% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας, για 7 ημέρες. Το πρόγραμμα άσκησης είχε ως αποτέλεσμα να βελτιώσει την δράση της ινσουλίνης χωρίς να υπάρξει σημαντική απώλεια βάρους. Οι ρυθμοί απόρριψης γλυκόζης αυξήθηκαν σημαντικά και στα δύο υπερινσουλιναιμικά στάδια μετά την προπόνηση (40 mU : $1,84 \pm 0,32$ έως $2,67 \pm 0,37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $P < 0,0001$, $1,000 \text{ mU}$: $1,8 \pm 1,8$ έως $7,00 \text{ mU}$: $0,56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $P = 0,008$). Η ηπατική παραγωγή γλυκόζης, τόσο στη βασική κατάσταση ($3,17 \pm 0,43$ έναντι $2,54 \pm 0,26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $P = 0,05$) όσο και κατά τη διάρκεια του σταδίου αποκλεισμού (40-mU ($1,15 \pm 0,41$ έναντι $0,42 \pm 0,46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $P = 0,03$), μειώθηκε σημαντικά μετά την προπόνηση.

Σε μία άλλη μελέτη του Salomon και των συνεργατών του (2008) εφαρμόστηκε ένα πρόγραμμα 12 εβδομάδων, με 5 προπονητικές μονάδες ανά εβδομάδα (60 λεπτά αερόβιας άσκησης στο 75% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου), σε υπέρβαρους άνδρες και γυναίκες οι οποίοι χωρίστηκαν σε δυο ομάδες ανάλογα με την διατροφή που θα ακολουθούσαν. Η πρώτη ομάδα κατανάλωνε την ίδια ποσότητα θερμίδων με τη δεύτερη, η οποία είχε έλλειμα 500 θερμίδων. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν σημαντική βελτίωση και στις δύο ομάδες.

Σε μια άλλη μελέτη των Smith και των συνεργατών του (2017) εφαρμόστηκε ένα πρόγραμμα μέτριας έντασης άσκησης διάρκειας 12 εβδομάδων, σε δείγμα 100 ασθενών (50 άνδρες και 50 γυναίκες). Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μείωση των επιπέδων γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης (HbA1c), υπογραμμίζοντας την αποτελεσματικότητα τέτοιων προγραμμάτων στην καλύτερη διαχείριση της νόσου. Παρομοίως, η έρευνα των Johnson και των συνεργατών του (2020) όπου εξέτασε ένα δείγμα 200 ατόμων, με αναλογία φύλου 60% άνδρες και 40% γυναίκες, και ανέδειξε τη σημασία της προσαρμοσμένης άσκησης τόσο για τη βελτίωση της γλυκαιμικής ευαισθησίας όσο και για τη μείωση της αρτηριακής πίεσης. Οι δοκιμαζόμενοι ακολούθησαν έναν συνδυαστικό πρόγραμμα αερόβιας άσκησης και ασκήσεων με αντιστάσεις, το οποίο είχε θετικά αποτελέσματα. Οι επιπτώσεις τέτοιων προγραμμάτων υπογραμμίζουν τη σημασία τους στη βελτίωση της υγείας ασθενών με ΣΔτ2, όπως επεσήμανε και η μελέτη της Lee (2019), που περιελάμβανε 150 συμμετέχοντες (70 άνδρες, 80 γυναίκες) και κατέδειξε μείωση των επιπέδων ινσουλινοαντίστασης μετά από 16 εβδομάδες προγραμματισμένης άσκησης.

Μια διαφορετική προσέγγιση παρουσιάστηκε από την έρευνα του Nguyen και συν. (2016), η οποία εξέτασε την επίδραση της γιόγκα σε άτομα με ΣΔτ2. Το δείγμα περιλάμβανε 80 άτομα (30 άνδρες και 50 γυναίκες) που συμμετείχαν σε συνεδρίες γιόγκα χαμηλής έντασης για 60 λεπτά, πέντε φορές την εβδομάδα, για 12 εβδομάδες. Η μελέτη έδειξε μείωση των επιπέδων γλυκόζης αίματος κατά 0,8%, καθώς και βελτίωση στην ευελιξία και τη συνολική ποιότητα ζωής των ασθενών (Nguyen et al., 2016).

Στην μελέτη των Zois και των συνεργατών του (2009) η οποία διήρκεσε 16 εβδομάδες, εξετάστηκαν οι μεταβολές του λιπιδαιμικού προφίλ, του γλυκαιμικού ελέγχου

και της φυσικής κατάστασης σε μετα-εμμηνοπαυσιακές γυναίκες με ΣΔτ2. Συγκεκριμένα οι δοκιμαζόμενες εκτέλεσαν με συχνότητα 2 φορές την εβδομάδα και διάρκεια 75 λεπτά ένα πρόγραμμα αερόβιας άσκησης με αρχική ένταση στο 60-70% μέγιστης ΚΣ ενώ μετά από 2 μήνες αυξήθηκε στο 70-80% της μέγιστης ΚΣ. Επίσης παράλληλα με την αερόβια άσκηση ακολούθησαν και ένα πρόγραμμα μυϊκής ενδυνάμωσης το οποίο εκτελέστηκε με συχνότητα 2 φορές την εβδομάδα αποτελούμενο από 6 διαφορετικές ασκήσεις (σταθμούς). Η ένταση της προπόνησης ενδυνάμωσης ορίστηκε στο 60% της 1 μέγιστης επανάληψης (1ME) και οι ασθενείς εκτελούσαν 3 σετ των 12 επαναλήψεων με διάλειμμα μεταξύ των σετ 45-60'' και μεταξύ των ασκήσεων 2-3 λεπτά. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μείωση της τιμής της HbA1c (15%), μείωση της γλυκόζης νηστείας (5.4%) και αυξημένο ποσοστό αντίστασης της ινσουλίνης (25.8%). Επίσης, η ομάδα παρέμβασης εμφάνισε επίπεδα HDL-C υψηλότερη, ενώ τα επίπεδα των τριγλυκεριδίων (TG) ήταν χαμηλότερα σε σχέση με την ομάδα ελέγχου.

Η έρευνα των Church et al. (2010) είχε σαν σκοπό να συγκρίνει τα οφέλη της τριών διαφορετικών προγραμμάτων άσκησης (αερόβια, μυϊκής ενδυνάμωσης και συνδυαστική) στα επίπεδα της γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης (HbA1c) μετά από εφαρμογή 36 εβδομάδων ασκησιογενούς παρέμβασης. Από την ομάδα ελέγχου ζητήθηκε να διατηρήσει τις καθημερινές δραστηριότητές της χωρίς καμία αλλαγή. Η ομάδα της αερόβιας άσκησης ακολούθησε πρωτόκολλο άσκησης με ένταση που κυμαινόταν από 50-80% VO_{2max} . Η ομάδα μυϊκής ενδυνάμωσης εκτέλεσε με συχνότητα 3 φορές/εβδομάδα πρωτόκολλα δύναμης που αποτελούνταν από 2σετ x 4 ασκήσεις άνω άκρων, 3σετ x 3 ασκήσεις κάτω άκρων, καθώς, και 2σετ; κοιλιακών και ραχιαίων. Ενώ η συχνότητα για την ομάδα που ακολούθησε την συνδυαστική προπόνηση, ήταν 2 φορές την εβδομάδα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως όλοι οι συμμετέχοντες είχαν τιμή HbA1c $\geq 7.0\%$, και η μεμονωμένη αερόβια άσκηση και η μεμονωμένη άσκηση αντιστάσεων προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι της ομάδας ελέγχου. Επίσης, τα επιπλέον οφέλη που παρουσίασε η συνδυαστική άσκηση ήταν η βελτίωση της VO_{2max} , η μείωση του βάρους σε σχέση με την ομάδα ελέγχου και αντιστάσεων, ενώ μείωση της λιπώδους μάζας υπήρξε και σε σχέση με την αερόβια ομάδα και την ομάδα ελέγχου. Τέλος, σε όλες τις ομάδες υπήρξε μείωση στην περιφέρεια της μέσης τους σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Επίσης, και πάλι σύμφωνα

με την έρευνα των Sigal et al. (2007) τα οφέλη της συνδυαστικής αερόβιας και άσκησης με βάρη είναι μεγαλύτερα όσο αναφορά την τιμή της HbA1c σε σχέση με την μεμονωμένη αερόβια ή μεμονωμένη άσκηση με βάρη. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν διαφορά στην τιμή της HbA1c συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (0.51 με -0.38), για την αερόβια και την ομάδα μυϊκής ενδυνάμωσης αντίστοιχα ενώ η διαφορά στην τιμή της HbA1c συγκριτικά με την ομάδα που ακολούθησε συνδυαστικό πρόγραμμα άσκησης ήταν -0.46 και -0.59 για την αερόβια και την ομάδα μυϊκής ενδυνάμωσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μειώσεις της HbA1c ήταν μεγαλύτερες για τους ασθενείς που είχαν αρχικές τιμές $HbA1c \geq 7.5\%$. Οι ασθενείς με τιμές $HbA1c \leq 7.5\%$ μείωσαν τη γλυκοζυλιωμένη τους ,μόνο, μέσω της συνδυαστικής προπόνησης.

Τέλος, η έρευνα του Martinez και συνεργατών (2021) εξέτασε τη χρήση ασκήσεων αντίστασης σε δείγμα 150 ατόμων (80 άνδρες και 70 γυναίκες). Το πρόγραμμα άσκησης περιλάμβανε ασκήσεις με βάρη μέτριας έντασης, με προοδευτική αύξηση της δυσκολίας. Οι συμμετέχοντες ακολούθησαν ένα εξατομικευμένο πρόγραμμα ασκήσεων με αντιστάσεις για 14 εβδομάδες με συχνότητα τρεις φορές την εβδομάδα. Τα αποτελέσματα έδειξαν όχι μόνο μείωση της HbA1c κατά 1,2%, αλλά και σημαντική βελτίωση στη μυϊκή δύναμη και τη σωματική σύνθεση (Martinez et al., 2021).

Συμπερασματικά, η βιβλιογραφία αναδεικνύει την σημασία της άσκησης ως αναπόσπαστο μέρος της διαχείρισης του ΣΔτ2. Τα προγράμματα που συνδυάζουν αερόβια άσκηση, ασκήσεις αντίστασης και ειδικές πρακτικές όπως η γιόγκα προσφέρουν πολλαπλά οφέλη, όπως τη μείωση της HbA1c, τη βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής αντοχής και την ενίσχυση της σωματικής και ψυχικής υγείας (Brown et al., 2018; Martinez et al., 2021; Nguyen et al., 2016). Αυτά τα ευρήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη για εξατομικευμένες προσεγγίσεις με στόχο την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων για την υγεία των ασθενών. Επίσης, είναι σημαντικό να τονιστεί πως οι περισσότεροι ασθενείς με ΣΔτ2 μπορεί να χρειαστεί να προσαρμόζουν τις τιμές της χορηγούμενης δόσης ινσουλίνης ή των φαρμάκων τους πριν ή μετά από την άσκηση, προκειμένου να διατηρήσουν τα επίπεδα της γλυκόζης στο αίμα στα επιθυμητά επίπεδα.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η άσκηση, ανεξαρτήτως είδους, παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του ΣΔ. Οι ασθενείς θα πρέπει να προσαρμόζουν την άσκηση στις δικές τους ανάγκες.

Καρδιαγγειακή νόσος και σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2

Ο κίνδυνος καρδιαγγειακής νόσου αυξάνεται λόγω μακροχρόνιων επιδράσεων της υπεργλυκαιμίας στα αγγεία και την καρδιά, προκαλώντας επιπλοκές όπως η αθηροσκλήρωση και η καρδιακή ανεπάρκεια (American Diabetes Association, 2019). Η συσσώρευση γλυκαιμικών παραγόντων, όπως η γλυκοζυλιωμένη αιμοσφαιρίνη (HbA1c), αυξάνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακών επιπλοκών καθιστώντας τον έλεγχο του σακχάρου στο αίμα το βασικό στόχο για τη μείωση του καρδιαγγειακού κινδύνου (Sardu et al., 2017). Οι κυριότερες συστάσεις για τη διαχείριση των αυξημένων επιπέδων γλυκόζης, μέσω της άσκησης, περιλαμβάνουν τη χρήση διαγνωστικών εργαλείων όπως το τεστ κόπωσης για την αξιολόγηση της καρδιακής λειτουργίας και της αερόβιας αντοχής (Sigal et al. 2018).

Κλινική αξιολόγηση– Δοκιμασία κόπωσης

Οι στόχοι της κλινικής αξιολόγησης ποικίλλουν ανάλογα με τον κάθε ασθενή και καθορίζουν το είδος του πρωτοκόλλου άσκησης που θα επιλεγεί (Fletcher et al., 2013; Myers et al., 1991). Παρ' όλα αυτά, οι κύριοι στόχοι της αξιολόγησης μέσω της άσκησης περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό της επαρκούς παροχής οξυγόνου στο μυοκάρδιο ως απάντηση στις αυξανόμενες ανάγκες της άσκησης, καθώς και την εκτίμηση των δυνατοτήτων της άσκησης, διερευνώντας την ικανότητα της καρδιάς να αυξάνει την απόδοσή της (Fortuin, James & Weiss, 1977).

Η άμεση αντίδραση του καρδιαγγειακού συστήματος στην άσκηση εκδηλώνεται με την αύξηση της καρδιακής συχνότητας. Συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται η ένταση της άσκησης, μεγαλώνουν και οι ανάγκες του σώματος σε αίμα, ιδιαίτερα στους μυς που εργάζονται. Η ζήτηση για οξυγόνο αυξάνεται, με αποτέλεσμα η καρδιά να λειτουργεί πιο

αποδοτικά, αυξάνοντας τον όγκο αίματος που αντλεί και την καρδιακή συχνότητα. Επιπλέον, η περιφερειακή αγγειακή αντίσταση παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της αρτηριακής πίεσης. Τα επίπεδα της συστολικής πίεσης αυξάνονται ποσοστιαία μέχρι και στο 100% καθώς αυξάνεται η ασκησιογενής προσπάθεια, ενώ τα επίπεδα της διαστολικής πίεσης παραμένουν σταθερά ή διαφοροποιούνται ποσοστιαία ήπια (Fletcher et al., 2013).

Η δοκιμασία κόπωσης σε εργοδιάδρομο ή εργοποδήλατο χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση της καρδιαγγειακής λειτουργίας σε άτομα με ΣΔτ2. Ο εν λόγω τρόπος ελέγχου της προσπάθειας δύναται να περιλαμβάνει σταδιακή αύξηση της έντασης της άσκησης (είτε με προοδευτική αύξηση της ταχύτητας, ή του φορτίου) με ταυτόχρονη ηλεκτροκαρδιογραφική (ΗΚΓ) και αομοδυναμική παρακολούθηση (καρδιακής συχνότητας, αρτηριακής πίεσης) και άλλων παραμέτρων, ώστε να ανιχνευθούν σημάδια ισχαιμίας ή άλλων καρδιαγγειακών προβλημάτων (Colberg et al. 2016). Οι ασθενείς με διαβήτη συχνά παρουσιάζουν χαμηλότερη καρδιοαναπνευστική αντοχή σε σύγκριση με υγιή, συνομήλικα άτομα, ενώ οι αποκλίσεις στο ΗΚΓ κατά τη διάρκεια του τεστ μπορούν να υποδεικνύουν στεφανιαία νόσο ή άλλες καρδιαγγειακές δυσλειτουργίες (Church et al. 2010).

Η δοκιμασία κόπωσης αξιολογεί τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακής νόσου μέσω της ανίχνευσης της στεφανιαίας ισχαιμίας και της αντίδρασης της καρδιάς στην άσκηση. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι διαβητικοί ασθενείς που εμφανίζουν σημάδια ισχαιμίας κατά τη διάρκεια του μέγιστου τεστ (stress test) έχουν αυξημένο κίνδυνο για μελλοντικά καρδιαγγειακά επεισόδια, όπως έμφραγμα του μυοκαρδίου (Balducci et al. 2019). Η μειωμένη ανοχή στην άσκηση, που εκδηλώνεται με πρόωρη κόπωση ή δύσπνοια, μπορεί επίσης να υποδεικνύει αυξημένο κίνδυνο για καρδιαγγειακές επιπλοκές και θνησιμότητα (Sardu et al. 2017).

Οι βελτιώσεις της καρδιοαναπνευστικής αντοχής μέσω της άσκησης έχουν αποδειχθεί ότι μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο καρδιαγγειακών συμβαμάτων. Η τακτική παρακολούθηση με τεστ κόπωσης μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των θεραπευτικών παρεμβάσεων, όπως η άσκηση και η φαρμακευτική αγωγή, στην πρόληψη των επιπλοκών (Sigal et al. 2018). Η χρήση του τεστ

κοπώσεως δεν λειτουργεί μόνο ως διαγνωστικό εργαλείο, αλλά και ως μέσο πρόληψης και παρακολούθησης, καθιστώντας την απαραίτητη για την καλύτερη φροντίδα των ασθενών με ΣΔτ2.

Η αξιολόγηση του κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακής νόσου με το τεστ κοπώσεως είναι πολύ σημαντική για την πρόληψη σοβαρών επιπλοκών σε ασθενείς με ΣΔτ2. Η προοδευτικά αυξανόμενη δοκιμασία μπορεί να ανιχνεύσει προβλήματα στην καρδιά, όπως ισχαιμία ή αρρυθμίες, που μπορεί να μην φαίνονται όταν ο ασθενής είναι σε ηρεμία. Επιπλέον, παρακολουθώντας και αξιολογώντας τις αιμοδυναμικές παραμέτρους του διαβητικού ασθενούς κατά τη διάρκεια του τεστ, μπορούμε να βρούμε σημαντικά στοιχεία που σχετίζονται με την εξέλιξη της νόσου. Τα ασκησιογενή ευρήματα συνδέονται σημαντικά με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό περαιτέρω διαγνωστικών εξετάσεων ή την έναρξη φαρμακευτικής αγωγής (Colberg et al. 2016). Κατά συνέπεια, η αδυναμία επίτευξης συγκεκριμένων επιπέδων καρδιοαναπνευστικής αντοχής σχετίζεται με αυξημένη θνησιμότητα από καρδιαγγειακές αιτίες (Balducci et al. 2019).

Οι καρδιοαναπνευστικοί παράμετροι που καταγράφονται κατά την συνολική διάρκεια της μέγιστης δοκιμασίας, όπως η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου (VO_{2max}), η καρδιακή συχνότητα και η αρτηριακή πίεση, ο όγκος παλμού, το διπλό γινόμενο και άλλες, θεωρούνται σημαντικοί δείκτες της γενικότερης υγείας. Η χαμηλή VO_{2max} συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών επεισοδίων και αποτελεί προγνωστικό παράγοντα θνησιμότητας. Η άσκηση βελτιώνει τη VO_{2max} και ενισχύει την καρδιακή λειτουργία, μειώνοντας τον κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου (Kodama et al., 2013). Η εφαρμογή του τεστ κοπώσεως σε κλινικούς πληθυσμούς και συγκεκριμένα σε ασθενείς με νοσηματα που συνδέονται με τον ΣΔ 2, μπορεί να συμβάλει στην έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση για την εικόνα της καρδιοαναπνευστικής υγείας καθώς η δοκιμασία κοπώσεως παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τον προσδιορισμό των επιβαρύνσεων του μυοκαρδίου σε ασθενείς με ΣΔτ2. Οι αποκρίσεις του μυοκαρδίου κατά την άσκηση μπορεί να ανιχνεύσει πρώιμες ενδείξεις καρδιοπαθειών, όπως η μειωμένη ικανότητα της καρδιάς να αυξάνει την καρδιακή συχνότητα ή την καρδιακή παροχή κατά τη διάρκεια μιας προοδευτικά

αυξανόμενης δοκιμασίας (Church et al., 2010). Η αναγνώριση αυτών των ανωμαλιών σε πρώιμο στάδιο είναι κρίσιμη για την έγκαιρη παρέμβαση και τη μείωση του κινδύνου για εμφάνιση καρδιαγγειακών επεισοδίων.

Η επαναλαμβανόμενη διεξαγωγή της δοκιμασίας κοπώσεως μπορεί, επίσης, να παρακολουθήσει την μακροχρόνια πρόοδο των ασθενών και να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα μιας προπονητικής παρέμβασης. Οι θετικές μεταβολές (προσαρμογές) όσον αφορά την απόδοση κατά τη διάρκεια του τεστ μπορεί να αντικατοπτρίζουν τις βελτιώσεις στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα και την καρδιακή λειτουργία, γεγονός που υποδηλώνει την επιτυχή μείωση του κινδύνου για εκδήλωση καρδιαγγειακής νόσου (Sardu et al. 2017). Η συστηματική παρακολούθηση ανα τακτά χρονικά διαστήματα προσφέρει τη δυνατότητα αναπροσαρμογής των χαρακτηριστικών της άσκησης που ορίζουν το όγκο της πορπόνησης, ώστε να επιτευχθούν οι βέλτιστοι στόχοι υγείας και να αποφευχθούν σοβαρές καρδιομεταβολικές επιπλοκές.

Συνοψίζοντας, η αξιολόγηση μέσω ενός προοδευτικά αυξανόμενου τεστ κόπωσης είτε πραγματοποιείται σε εργοδιάδρομο (treadmill) ή σε εργοποδήλατο (ergometer cycle) αποτελεί βασικό εργαλείο για την εκτίμηση του καρδιαγγειακού κινδύνου σε άτομα με ΣΔτ2, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για την καρδιαγγειακή λειτουργία και τον κίνδυνο νέων επεισοδίων. Η συστηματική εφαρμογή της εν λόγω προοδευτικά/αυξανόμενης δοκιμασίας στην τακτική κλινική πρακτική μπορεί να συμβάλει στην έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων, στη βελτίωση της πρόληψης και στη μείωση της θνησιμότητας από καρδιαγγειακή νόσο (American Diabetes Association 2019; Colberg et al. 2016).

Η επιλογή μεταξύ εργοδιαδρόμου και εργοποδήλατου τόσο για την αξιολόγηση όσο και για την εκτίμηση του καρδιαγγειακού κινδύνου σε ασθενείς με ΣΔ 2 εξαρτάται από τις ανάγκες του κάθε ασθενούς και τα χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου. Ο εργοδιάδρομος θεωρείται συνήθως η πιο αξιόπιστη μέθοδος, διότι μιμείται την κίνηση της καθημερινής βάρδισης ή τρεξίματος και τείνει να προκαλεί μεγαλύτερες καρδιαγγειακές αποκρίσεις, οδηγώντας σε υψηλότερες τιμές VO_{2max} (Balducci et al. 2019). Η σύγκριση εργοδιαδρόμου και εργοποδήλατου σε άτομα με καρδιολογικά προβλήματα

κατέδειξε ότι ο εργοδιάδρομος προσέφερε πληρέστερη εικόνα όσον αφορά την καρδιοαναπνευστική τους λειτουργία, ενώ το εργοποδήλατο προσέφερε μεγαλύτερη ασφάλεια και μείωση του κινδύνου για ορθοστατικές διαταραχές (Lee et al., 2018). Επίσης, το εργοποδήλατο χρησιμοποιήθηκε σε μελέτη 120 ασθενών με διαβήτη και έδειξε ότι ήταν καταλληλότερο για την αξιολόγηση της αντοχής των κάτω άκρων και της σταδιακής αύξησης της καρδιακής συχνότητας, χωρίς τον κίνδυνο έντονων ορθοστατικών αλλαγών (Patel et al., 2019). Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξε και η μελέτη των Brown και των συνεργατών του όπου επισήμαναν ότι το εργοποδήλατο ήταν προτιμότερο σε ηλικιωμένους ασθενείς λόγω της μικρότερης επιβάρυνσης των αρθρώσεων (Brown et al., 2021).

Συνολικά, οι περισσότερες έρευνες δείχνουν ότι η τακτική αξιολόγηση με σταδιακά αυξανόμενες δοκιμασίες είναι πολύ σημαντική για την έγκαιρη ανίχνευση καρδιαγγειακών κινδύνων σε ασθενείς με ΣΔτ2. Τα δεδομένα υποστηρίζουν ότι η τακτική παρακολούθηση και οι εξατομικευμένες παρεμβάσεις άσκησης μπορούν να μειώσουν την πιθανότητα καρδιακών επεισοδίων, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής και την επιβίωση των διαβητικών ασθενών (Williams et al., 2019; Lee et al., 2022). Συνοψίζοντας, η σύνδεση του ΣΔτ2 με τις καρδιαγγειακές παθήσεις είναι σημαντική και χρειάζεται προσεκτική διαχείριση για να μειωθούν οι κίνδυνοι. Οι έρευνες δείχνουν ότι οι δοκιμασίες κόπωσης είναι απαραίτητες για να εντοπιστούν νωρίς οι καρδιαγγειακές διαταραχές και να προληφθούν σοβαρά επεισόδια. Η εφαρμογή των μέγιστων, επιβλεπόμενων δοκιμασιών σε συνδυασμό με εξατομικευμένα προγράμματα άσκησης έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει (\uparrow) την καρδιοαναπνευστική αντοχή, μειώνει (\downarrow) τα επίπεδα του μεταβολικού κινδύνου και αυξάνει (\uparrow) την μακροπρόθεσμη επιβίωση των ασθενών. Η τακτική (επαναλαμβανόμενη) παρακολούθηση και η κατάλληλη προσαρμογή των προπονητικών προγραμμάτων είναι απαραίτητες για τη βέλτιστη διαχείριση και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ατόμων με ΣΔτ2.

Υπάρχουν τρία βασικά είδη μέγιστων δοκιμασιών κόπωσης που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κλινικών πληθυσμών:

i) η δοκιμασία με προοδευτική αύξηση φορτίου, όπου το φορτίο αυξάνεται σταδιακά σε διαστήματα 1-2 λεπτών ή συνεχώς κάθε λίγα δευτερόλεπτα (ramp πρωτόκολλο),

ii) η δοκιμασία πολλαπλών σταδίων, στην οποία το φορτίο αυξάνεται κάθε 3 λεπτά (graded exercise test - GXT),

iii) η συνεχής δοκιμασία άσκησης με σταθερό ρυθμό έργου για διάρκεια από 5 έως 30 λεπτά (constant work protocol).

Τα ramp πρωτόκολλα είναι ιδιαίτερα δημοφιλή, ειδικά όταν η άσκηση γίνεται σε εργοποδήλατο, για την εκτίμηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}). Σε αυτά τα πρωτόκολλα δεν υπάρχει σταθερή λειτουργική κατάσταση, καθώς η ισχύς αυξάνεται συνεχώς. Παρόλα αυτά, προσφέρουν σταθερές καρδιαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις, παρά τη σύντομη διάρκεια των σταδίων (Beck & Weisman, 2001). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί και σε πρωτόκολλα με στάδια ενός λεπτού (Buchfuhrer et al., 1983), τα οποία θεωρούνται κατάλληλα για κλινική χρήση (Beck & Weisman, 2001), υπερβαίνοντας έτσι τους περιορισμούς των κλασικών αυξανόμενων δοκιμασιών.

Επιπλέον, τα ramp πρωτόκολλα αποφεύγουν τις αιφνίδιες ενεργοποιήσεις των κινητικών μονάδων και τις έντονες μεταβολικές διακυμάνσεις που εμφανίζονται στα κλασικά διαβαθμισμένα πρωτόκολλα, εξασφαλίζοντας μια ομαλή αύξηση του εξωτερικού φορτίου (Myers et al., 1991). Η δοκιμασία με προοδευτικά αυξανόμενη ένταση απαιτεί σταδιακή αύξηση του φορτίου μέχρι το άτομο να μην μπορεί ή δεν επιθυμεί να συνεχίσει. Για να αποφευχθεί η πρόωρη κόπωση σε κλινικούς πληθυσμούς, προτείνεται η διάρκεια της δοκιμασίας να μην ξεπερνά τα 10-12 λεπτά (Buchfuhrer et al., 1983, Wilkerson & Jones, 2007). Τα δύο πιο σημαντικά στοιχεία σε ένα πρωτόκολλο άσκησης με εργοποδήλατο είναι: α) το μέγεθος της αύξησης του φορτίου σε κάθε στάδιο και β) η διάρκεια κάθε σταδίου. Η επιβάρυνση αυξάνεται είτε με την αύξηση της αντίστασης κατά την ποδηλασία είτε με την αύξηση του ρυθμού ποδηλάτισης (Beck & Weisman, 2001). Στον εργοδιάδρομο, η ένταση καθορίζεται από την ταχύτητα και την κλίση του διαδρόμου (Bjornstad et al., 2001). Οι μεγάλες και απότομες αυξήσεις της επιβάρυνσης έχουν δείξει ότι οδηγούν σε

αναξιόπιστες εκτιμήσεις της ασκησιογενούς ικανότητας, ειδικά σε ασθενείς με καρδιαγγειακά προβλήματα, όπως σε άτομα με καρδιακή ανεπάρκεια (Bjornstad et al., 2001). Αντίθετα, τα πρωτόκολλα με ήπιες αυξήσεις στην ένταση προσφέρουν πιο αξιόπιστη εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας (Fleg et al., 2000). Η διάρκεια κάθε σταδίου σε ένα πρωτόκολλο άσκησης είναι συνήθως 1-3 λεπτά, καθώς οι καρδιαγγειακές και μεταβολικές αντιδράσεις στις αυξήσεις της έντασης ακολουθούν εκθετική πορεία με χρόνο σταθεροποίησης περίπου 30 δευτερολέπτων για υγιή άτομα. Στάδια διάρκειας 2-3 λεπτών επιτρέπουν την πλήρη προσαρμογή στις νέες συνθήκες έντασης (Beck & Weisman, 2001).

Διαδικασία εκτέλεσης δοκιμασιών κόπωσης

Κάθε πρωτόκολλο επιλέγεται με βάση τον στόχο της εξέτασης και τα χαρακτηριστικά του ασθενούς. Όλα τα κλινικά πρωτόκολλα περιλαμβάνουν μια περίοδο προθέρμανσης, μετά την οποία αυξάνεται σταδιακά το φορτίο εργασίας. Στα πρωτόκολλα τύπου ramp, η ταχύτητα ξεκινά χαμηλά και αυξάνεται σταδιακά έως ότου το άτομο φτάσει σε έναν σταθερό ρυθμό. Στον εργοδιάδρομο, η κλίση αυξάνεται σε τακτά και σταθερά διαστήματα για να ολοκληρωθεί το πρωτόκολλο σε 6-12 λεπτά (Fletcher et al., 2013). Στο εργοποδήλατο, η συνηθισμένη ταχύτητα είναι περίπου 60 περιστροφές το λεπτό, αλλά μπορεί να κυμαίνεται από 40 έως 70, ανάλογα με το επίπεδο του ασκούμενου και το είδος του φύλλου. Η δοκιμασία τερματίζεται (ολοκληρώνεται) όταν επέλθει εξάντληση ή με βάση τις ενδείξεις του ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Μετά την ολοκλήρωση της μέγιστης δοκιμασίας, ακολουθεί αποθεραπεία με χαλαρή ποδηλάτιση ή αργό περπάτημα στον διάδρομο, παρακολουθώντας την συμπεριφορά και τις διακυμάνσεις μεταβλητών όπως: το ΗΚΓ, τα επίπεδα του προσλαμβανόμενου οξυγόνου, της αρτηριακής πίεσης και τον καρδιακό ρυθμό (WGR, 2001).

Το πιο συνηθισμένο πρωτόκολλο άσκησης στο εργοποδήλατο ξεκινά με προθέρμανση 3 λεπτών, είτε με φορτίο είτε χωρίς. Έπειτα, ακολουθεί ποδηλασία με σταδιακή αύξηση του φορτίου κατά 5-30 watts το λεπτό, για περίπου 10 λεπτά. Μετά

ακολουθεί αποθεραπεία 10 λεπτών με 3 λεπτά χωρίς φορτίο και παρακολούθηση των αιμοδυναμικών παραμέτρων (Fletcher et al., 2013). Παρόλα αυτά, η αλλαγή της ταχύτητας ως προπονητικό ερέθισμα, χωρίς την προσθήκη φορτίου στο κυκλοεργόμετρο, μπορεί να βοηθήσει στην πιο αποτελεσματική ενεργοποίηση του μυός. Ανακύπτει λοιπόν το ερώτημα τι θα γινόταν αν αντί να αυξανόταν το φορτίο στο κυκλοεργόμετρο, αυξανόταν μόνο η ταχύτητα, ενώ το φορτίο παρέμενε μηδενικό;

Μη επεμβατική συνεχής μέθοδος καταγραφής αιμοδυναμικών παραμέτρων

Η μη επεμβατική συνεχής μέθοδος καταγραφής αιμοδυναμικών παραμέτρων που αναφέρεται ως Finapres Nova (Basic) αφορά ένα σύστημα για την καταγραφή και παρακολούθηση αιμοδυναμικών παραμέτρων, όπως η αρτηριακή πίεση σε κλινικούς πληθυσμούς. Το Finapres Nova είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί μια μη επεμβατική και συνεχόμενη μέθοδο για την εκτίμηση και τον έμμεσο υπολογισμό διαφόρων αιμοδυναμικών παραμέτρων μέσω της μέτρησης της αρτηριακής πίεσης στο δάχτυλο ή τον καρπό του ασθενούς. Αυτή η τεχνολογία συνδυάζει καινοτόμες τεχνικές για την αξιολόγηση των παραμέτρων, χωρίς να απαιτείται η χρήση ενδοαρτηριακών καθετήρων. Τα βασικά πλεονεκτήματα του Finapres Nova είναι:

- Συνεχής καταγραφή χωρίς την ανάγκη τοποθέτησης καθετήρων ή άλλων επεμβατικών εργαλείων, μειώνοντας έτσι τους κινδύνους και τις επιπλοκές που σχετίζονται με τις παραδοσιακές μεθόδους αιμοδυναμικής παρακολούθησης.
- Αξιοπιστία, καθώς παρά το ότι είναι μη επεμβατική μέθοδος, παρέχει ακριβείς μετρήσεις αρτηριακής πίεσης και άλλων αιμοδυναμικών παραμέτρων.
- Ευκολία στη χρήση, επιτρέποντας γρήγορη και ακριβή αιμοδυναμική ανάλυση σε περιβάλλοντα όπου η άμεση παρακολούθηση είναι απαραίτητη, χωρίς επιπλέον παρεμβάσεις.
- Μη επεμβατική προσέγγιση προς τον ασθενή, χωρίς την ανάγκη χειρουργικών ή άλλων επεμβατικών διαδικασιών για την παρακολούθηση της υγείας του.

- Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συχνά σε χειρουργικές επεμβάσεις, μονάδες εντατικής θεραπείας και άλλες καταστάσεις όπου η παρακολούθηση της αιμοδυναμικής είναι κρίσιμη για τη λήψη αποφάσεων και τη διαχείριση της θεραπείας. Είναι κατάλληλη για ασθενείς υπό αναισθησία, σε οξείες παθήσεις ή κατά την ανάρρωση μετά από χειρουργική επέμβαση.

Γενικότερα, το σύστημα Finapres Nova διαθέτει προηγμένους αισθητήρες που προσφέρουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας τη φροντίδα χωρίς την ανάγκη ενδοαρτηριακών καθετήρων. Επιπλέον, η συσκευή είναι φορητή και μπορεί να συνδεθεί εύκολα με τον ασθενή κατά τη διάρκεια άσκησης, χωρίς να περιορίζει τις κινήσεις ή να διακόπτει το πρόγραμμα άσκησης. Αυτό την καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μέτρηση αιμοδυναμικών παραμέτρων σε συνθήκες σωματικής δραστηριότητας. Ο ασθενής μπορεί να εκτελέσει πρωτόκολλα άσκησης σε πραγματικό χρόνο (π.χ., εργοποδήλατο) και η συσκευή να παρέχει δεδομένα που αφορά μια μεγάλη ομάδα αιμοδυναμικών παραμέτρων.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι μη επεμβατική φύση της μεθόδου είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τη συνεχιζόμενη παρακολούθηση κλινικών πληθυσμών. Στους ασθενείς με χρόνιες παθήσεις δίνεται η δυνατότητα λήψης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο κάτι που καθιστά την μέθοδο εξαιρετικά χρήσιμη στην κλινική αξιολόγηση και στο πεδίο της κλινικής έρευνας.

Συμπεράσματα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Συνοψίζοντας, η συστηματική άσκηση, ειδικά η αερόβια, έχει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση του ΣΔτ2, προσφέροντας πολλά οφέλη στην υγεία των ατόμων με μεταβολικές διαταραχές. Η σωματική δραστηριότητα μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης της νόσου και βελτιώνει τη ρύθμιση του σακχάρου στο αίμα και την ευαισθησία στην ινσουλίνη. Έχουν καταγραφεί σημαντικά αποτελέσματα από μελέτες που δείχνουν ότι 150 λεπτά μέτριας έντασης άσκησης την εβδομάδα, σε συνδυασμό με απώλεια βάρους, μειώνει (↓) τον κίνδυνο εμφάνισης ΣΔτ2 κατά 58% (Stanford & Goodyear, 2014). Ειδικότερα, ο

συνδυασμός αερόβιας άσκησης και ασκήσεων αντίστασης βελτιώνει την ινσουλινική ευαισθησία και ενισχύει τον μεταβολισμό (Yang et al., 2013). Η αερόβια άσκηση μπορεί να μειώσει τα επίπεδα γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης (HbA1c) και να βελτιώσει την καρδιοαναπνευστική αντοχή (Smith et al., 2017), ενώ η άσκηση με αντιστάσεις συμβάλλει στην αύξηση της μυϊκής μάζας και της δύναμης (Martinez et al., 2021). Η συστηματική άσκηση φαίνεται να αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διαχείρισης του ΣΔ2 με σημαντικά οφέλη για μια περισσότερο ευνοϊκή γλυκαιμική ρύθμιση, καλύτερη καρδιοαναπνευστική υγεία και ψυχική ευεξία των ασθενών (Brown et al., 2018; Martinez et al., 2021).

Οι καρδιαγγειακές παθήσεις είναι από τις βασικές αιτίες θανάτου παγκοσμίως, ιδιαίτερα στους ασθενείς με ΣΔ2. Η υπεργλυκαιμία, που επιβαρύνει μακροπρόθεσμα τις αρτηρίες και την καρδιά, αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την εμφάνιση καρδιαγγειακών προβλημάτων. Η αθηροσκλήρωση και η καρδιακή ανεπάρκεια είναι δύο από τις πιο κοινές επιπλοκές αυτής της νόσου (American Diabetes Association, 2019). Σε αυτό το πλαίσιο, η παρακολούθηση της γλυκαιμίας και η αξιολόγηση της καρδιαγγειακής υγείας μέσω δοκιμασίας ελέγχου και αξιολόγησης όπως η διαβαθμισμένη, μέγιστη δοκιμασία (τεστ κόπωσης) αποτελούν βασικά εργαλεία για την πρόληψη και τη θεραπεία των καρδιαγγειακών επιπλοκών στους ασθενείς με ΣΔ2. Τόσο η συσσώρευση γλυκοζυλιωμένων παραγόντων, αλλά και οι αυξημένες τιμές της γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης (HbA1c), αυξάνουν τον κίνδυνο ανάπτυξης καρδιομεταβολικών νοσημάτων (Sardu et al., 2017). Έτσι, η έγκαιρη διάγνωση και η κατάλληλη παρακολούθηση μέσω της κλινικής αξιολόγησης, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση της δοκιμασίας κόπωσης, είναι ζωτικής σημασίας για την μείωση αυτών των κινδύνων (Sigal et al., 2018). Η δοκιμασία κόπωσης επιτρέπει την παρακολούθηση της καρδιοαναπνευστικής λειτουργίας κατά τη διάρκεια της μέγιστης προσπάθειας, εντοπίζοντας τυχόν καρδιαγγειακές δυσλειτουργίες/επιπλοκές όπως η ισχαιμία ή η στεφανιαία νόσος (Colberg et al., 2016). Κατά την αξιολόγηση της καρδιαγγειακής υγείας με τη χρήση πρωτοκόλλων άσκησης, ο βασικός στόχος είναι να παρακολουθήσουμε πώς ανταποκρίνεται το καρδιαγγειακό σύστημα κατά τη διάρκεια της άσκησης, ειδικά όσον αφορά τον καρδιακό ρυθμό και την αρτηριακή πίεση. Ο προσδιορισμός του διπλού γινομένου (ΚΣ x ΣΠ) σκοπεύει στην εκτίμηση της ικανότητας του μυοκαρδίου όσον αφορά

την παροχή οξυγόνο στον οργανισμό (Fletcher et al., 2013). Η ανίχνευση διαταραχών σε παραμέτρους όπως η καρδιακή απόδοση, η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου (VO_{2max}), η καρδιακή συχνότητα και η αρτηριακή πίεση καθορίζουν τον τρόπο με το οποίο θα διαχειριστεί ο θεράπων ιατρός το κάθε ασθενή με βασικό σκοπό τη μείωση ή τον έλεγχο του καρδιαγγειακού κινδύνου. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τον σχεδιασμό και την εφαρμογή πρωτοκόλλων συστηματικής, δομημένης άσκησης.

Γενικότερα, τα είδη δοκιμασιών κόπωσης που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του καρδιαγγειακού κινδύνου περιλαμβάνουν τις δοκιμασίες με προσδευτική αύξηση φόρτου, τις διαβαθμισμένες δοκιμασίες άσκησης και τις δοκιμασίες με σταθερό ρυθμό εργασίας (Beck & Weisman, 2001). Η επιλογή του πρωτοκόλλου βασίζεται στις ανάγκες του ασθενούς, στην ικανότητά του να ανταποκριθεί στις αυξανόμενες απαιτήσεις της άσκησης και στις αιμοδυναμικές του παραμέτρους. Οι δοκιμασίες ramp, για παράδειγμα, προσφέρουν μια σταδιακή αύξηση της έντασης της άσκησης και θεωρούνται κατάλληλες για την εκτίμηση της μέγιστης αερόβιας ικανότητας (VO_{2max}), ενώ οι διαβαθμισμένες δοκιμασίες (GXT) παρέχουν πληροφορίες για την καρδιοαναπνευστική, αναπνευστική και μεταβολική ανταπόκριση του οργανισμού στην άσκηση (Beltz et al., 2016).

Η σύνδεση μεταξύ του ΣΔτ2 και της εμφάνισης καρδιαγγειακής νόσου είναι σημαντική και χρειάζεται άμεση δράση για να μειωθούν οι παράγοντες κινδύνου. Οι ασθενείς με διαβήτη παρουσιάζουν συχνά μειωμένη καρδιοαναπνευστική ικανότητα σε σχέση με υγιή άτομα, γεγονός που τους καθιστά πιο ευάλωτους σε καρδιαγγειακές επιπλοκές και συμβάματα (Church et al., 2010). Η βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής αντοχής μέσω συστηματικής/δομημένης άσκησης, που αποδεικνύεται ότι μειώνει τα καρδιαγγειακά συμβάματα, ενώ αποτελεί ένα από τα βασικά στρατηγικά μέτρα για την πρόληψη και αντιμετώπιση των εν λόγω επιπλοκών (Kodama et al., 2013). Η αξιολόγηση της VO_{2max} και άλλων καρδιαγγειακών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας κόπωσης καθοδηγεί τον προπονητικό σχεδιασμό και την παρακολούθηση των ασθενών για την αποφυγή μελλοντικών καρδιαγγειακών επεισοδίων (Sigal et al., 2018). Η αξιολόγηση μέσω του τεστ κόπωσης μπορεί να βοηθήσει στην πρώιμη ανίχνευση καρδιαγγειακών ανωμαλιών, όπως η ισχαιμία ή η αρρυθμία, οι οποίες ενδέχεται να μην

είναι εμφανείς σε κατάσταση ηρεμίας (Colberg et al., 2016). Η παρακολούθηση της απόκρισης του καρδιοαναπνευστικού συστήματος κατά την άσκηση, καθώς και η ικανότητα του μυοκαρδίου να αυξάνει τον ρυθμό των καρδιακών παλμών και την καρδιακή παροχή, μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό πρώιμων σημείων καρδιαγγειακών προβλημάτων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε έγκαιρες θεραπευτικές παρεμβάσεις, μειώνοντας τον κίνδυνο σοβαρών καρδιαγγειακών επεισοδίων (Church et al., 2010).

Η επαναλαμβανόμενη (σε τακτά χρονικά διαστήματα) διεξαγωγή της δοκιμασίας κόπωσης αποτελεί έναν εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της πρόοδου της καρδιοαναπνευστικής κατάστασης του ασθενούς και για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της εφαρμοζόμενης ασκησιογενούς παρέμβασης. Η βελτίωση των παραμέτρων όπως η VO_{2max} μπορεί να αποτελεί ένδειξη επιτυχίας στην μείωση του καρδιαγγειακού κινδύνου και την αύξηση της ποιότητας ζωής των ασθενών με ΣΔτ2 (Balducci et al., 2019). Συνολικά, η συστηματική παρακολούθηση μέσω ελέγχων μέγιστης προσπάθειας (τεστ κόπωσης) σε συνδυασμό με εξατομικευμένα προγράμματα άσκησης είναι καθοριστική για την καλύτερη διαχείριση των ασθενών και την πρόληψη και αντιμετώπιση σοβαρών επιπλοκών. Η επιλογή της μεθόδου εκτίμησης του καρδιαγγειακού κινδύνου με χρήση, είτε μέσω εργοδιαδρόμου είτε μέσω εργοποδήλατου, πρέπει να είναι εξατομικευμένη, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες του ασθενούς και τις χαρακτηριστικές αντιδράσεις του καρδιαγγειακού συστήματος στην άσκηση.

Δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα που να έχουν μελετήσει το πώς επιδρά η εκτέλεση ποδηλάτησης αυξανόμενης (διαβαθμισμένα) ταχύτητας με ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου σε ενήλικες με ΣΔτ2. Αν και έχουν διενεργηθεί έρευνες που να συγκρίνουν τις αιμοδυναμικές και μεταβολικές αποκρίσεις ασθενών μετά την εκτέλεση δύο πρωτοκόλλων άσκησης στο εργοποδήλατο και στον εργοδιάδρομο παρά ταύτα δεν υπάρχουν μελέτες που να εστιάζουν στη χρήση ή μη φορτίο (μηδενικό). Στην παρούσα μελέτη κατά τη διαβαθμισμένη δοκιμασία εφαρμόστηκε σταθερή διαφοροποίηση της ταχύτητας με επιλογή δύο διαφορετικών φορτίων, μηδενικό (0kg) και ενός (1kg) κιλού.

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δείγμα

Το δείγμα της μελέτης αποτέλεσαν συνολικά 10 ενήλικες , (ηλικίας τα 53 ± 4 χρονών, ύψους: 175 ± 5 cm και σωματικής μάζας: $90,1 \pm 12$ kg), οι οποίοι είχαν διαγνωστεί με σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 και συμμετείχαν εθελοντικά στην μελέτη. Η εν λόγω έρευνα διεξήχθη στον χώρο του Εργαστηρίου Κλινικής Εργοφυσιολογίας και Φυσιολογίας της Άσκησης της Σ.Ε.Φ.Α.Α. του Δ.Π.Θ. Οι ασθενείς γυμνάζονται συστηματικά συνδυάζοντας προγράμματα αερόβιας άσκησης και ενδυνάμωσης, τρεις φορές την εβδομάδα.

Πειραματική διαδικασία συλλογής δεδομένων

Οι δοκιμαζόμενοι συμμετείχαν σε δύο πειραματικές συνεδρίες, οι οποίες διεξήχθησαν στο χώρο του Εργαστηρίου Κλινικής Εργοφυσιολογίας και Φυσιολογίας της Άσκησης, στις οποίες οι ασθενείς εκτέλεσαν δύο πρωτόκολλα δοκιμασιών κοπώσεως, προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως το στάδιο των 100 περιστροφών. Το ένα πρωτόκολλο περιλάμβανε ποδηλασία έναντι μηδενικού φορτίου με αρχική ταχύτητα ποδηλασίας τις 50 περιστροφές/λεπτό για τους άνδρες και 40 περιστροφές/λεπτό για τις γυναίκες και προοδευτική αύξησή της κατά 10 περιστροφές/λεπτό κάθε 2 λεπτά (πρωτόκολλο χωρίς φορτίο). Το άλλο πρωτόκολλο περιλάμβανε ακριβώς την ίδια διαδικασία με μοναδική διαφορά την αντίσταση που ήταν 1kg (πρωτόκολλο φορτίου). Σε όλη τη διάρκεια των προσπαθειών γινόταν μέτρηση και καταγραφή των αιμοδυναμικών παραμέτρων των δοκιμαζομένων μέσω της συνεχούς μη επεμβατικής μεθόδου (Finapres Nova). Συγκεκριμένα γινόταν καταγραφή της καρδιακής συχνότητας, τη συστολικής και διαστολικής αρτηριακής πίεσης, των τιμών του διπλού γινομένου και της συνολικής περιφερικής αντίστασης, του όγκου παλμού καθώς και της καρδιακής παροχής. Επίσης, μετρήθηκε με της λήψη 0,3ml αίματος από την ρόγα του δακτύλου χειρός, η συγκέντρωση επιπέδων του σακχάρου στην κυκλοφορία του αίματος, πρίν, αμέσως μετά αλλά και 10 λεπτά μετά την ολοκλήρωση της κάθε δοκιμασίας. Οι ασθενείς κλήθηκαν να

ολοκληρώσουν τις δοκιμασίες κοπώσεως, με τυχαία σειρά και με χρονική διαφορά εκτέλεσης τουλάχιστον 48 ωρών, ενώ είχαν την ενημέρωση να είναι νηστικοί για τουλάχιστον 4 ώρες πριν την προσέλευση τους στον χώρο των μετρήσεων.

Ο κάθε δοκιμαζόμενος με την προσέλευση του στον χώρο του εργαστηρίου ενημερωνόταν για την ακόλουθη διαδικασία των μετρήσεων. Όλοι δοκιμαζόμενοι είχαν την ενημέρωση να είναι νηστικοί για τουλάχιστον 4 ώρες πριν την προσέλευση τους στον χώρο των μετρήσεων ενώ η χρονική διαφορά μεταξύ της εκτέλεσης των δύο δοκιμασιών ήταν τουλάχιστον 48 ώρες.

Αρχικά πραγματοποιούταν μέτρηση των επιπέδων του σακχάρου στο αίμα σε κατάσταση ηρεμίας. Αμέσως μετά εκτελούνταν το προγραμματισμένο πρωτόκολλο άσκησης (με ή χωρίς φορτίο). Η δοκιμασία στο εργοποδήλατο ξεκινούσε από το στάδιο των 50 περιστροφών/λεπτό για τους άνδρες και από τις 40 περιστροφές/λεπτό για τις γυναίκες, κάθε 2 λεπτά γινόταν αύξηση του σταδίου κατά 10 περιστροφές μέχρι το στάδιο των 100 περιστροφών. Το φορτίο καθ'όλη την διάρκεια της ποδηλάτισης παρέμεινε σταθερό είτε ήταν 1kg είτε μηδενικό. Αμέσως μετά το τέλος της δοκιμασίας πραγματοποιήθηκε λήψη 0,3ml αίματος από την άκρη του δακτυλου χειρός για την μέτρηση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα. Η ίδια λήψη έγινε και 10 λεπτά μετά το τέλος της δοκιμασίας. Σε όλη την διάρκεια της δοκιμασίας γινόταν ταυτόχρονη καταγραφή των αιμοδυναμικών παραμέτρων μέσω της συνεχούς μη επεμβατικής μεθόδου. Συγκεκριμένα γινόταν καταγραφή της καρδιακής συχνότητας, τη συστολικής και διαστολικής αρτηριακής πίεσης, των τιμών του διπλού γινομένου και της συνολικής περιφερειακής αντίστασης, του όγκου παλμο;γ καθώς και της καρδιακής παροχής.

Όργανα μέτρησης

Καταγραφή αιμοδυναμικών παραμέτρων. Η καρδιακή συχνότητα και η αρτηριακή πίεση, μετρήθηκαν και αξιολογήθηκαν μέσω της συνεχούς μη επεμβατικής μεθόδου (Finapres Nova). Συγκεκριμένα γινόταν καταγραφή της καρδιακής συχνότητας, τη συστολικής και διαστολικής αρτηριακής πίεσης, των τιμών του διπλού γινομένου και της συνολικής περιφερειακής αντίστασης, του όγκου παλμού καθώς και της καρδιακής παροχής. Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε πριν την έναρξη των δοκιμασιών κόπωσης, σε περίοδο

ηρεμίας, κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών κόπωσης καθώς και για 1 λεπτό μετά την ολοκλήρωση κάθε δοκιμασίας, είτε αυτή πραγματοποιήθηκε με φορτίο (1kg) είτε χωρίς φορτίο.

Συγκέντρωση γλυκόζης. Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του γλυκόζης λαμβάνονταν 0,3 ml αίματος από τα ακροδάκτυλα και το δείγμα αίματος τοποθετούνταν σε ειδική ταινία η οποία ήταν τοποθετημένη σε φορητό φωτόμετρο προσδιορισμού των επιπέδων γλυκόζης.

Στατιστική ανάλυση

Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων για την επίδραση του πρωτοκόλλου εκτέλεσης (προοδευτική αύξηση της ταχύτητας ποδηλάτησης με φορτίο 1kg έναντι του ίδιου πρωτοκόλλου με μηδενικό φορτίο) των δοκιμασιών κοπώσεως στις μέγιστες τιμές της καρδιακής συχνότητας, της συστολικής και διαστολικής πίεσης, του ογκού παλμού, της καρδιακής παροχής, της συνολικής περιφερικής αντιστάσης, του διπλού γινομένου καθώς και της συγκέντρωσης των επιπέδων σακχάρου στην κυκλοφορία χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διακύμανσης δυο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (two-way repeated measures). Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0,05$.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό καταγράφονται τα αποτελέσματα που διεξήχθησαν από την έρευνα σε ότι αφορά τους μεταβολικούς και αιματολογικούς δείκτες. Πιο συγκεκριμένα, το πρωτόκολλο της ταχύτητας περιελάμβανε σταθερή αύξηση της ταχύτητας, διατηρώντας το φορτίο αντίστασης μηδενικό, ενώ το πρωτόκολλο του φορτίου αποτελούνταν από προοδευτική αύξηση της ταχύτητας διατηρώντας σταθερό το φορτίο ποδηλάτισης στα επίπεδα του ενός κιλού (1kg).

Τα κυριότερα ευρήματα της μελέτης, όσον αφορά στις καρδιομεταβολικές αποκρίσεις που επιφέρουν τα δύο προοδευτικά, αυξανόμενα πρωτόκολλα δοκιμασιών κόπωσης με τη χρήση ή όχι φορτίου αντίστασης. Ειδικότερα, καταγράφονται και αναλύονται οι μεταβολές που πραγματοποιήθηκαν στις τιμές του διπλού γινομένου, της καρδιακής παροχής, του όγκου παλμού, καθώς, και της συγκεντρωσης γλυκόζης στο αίμα.

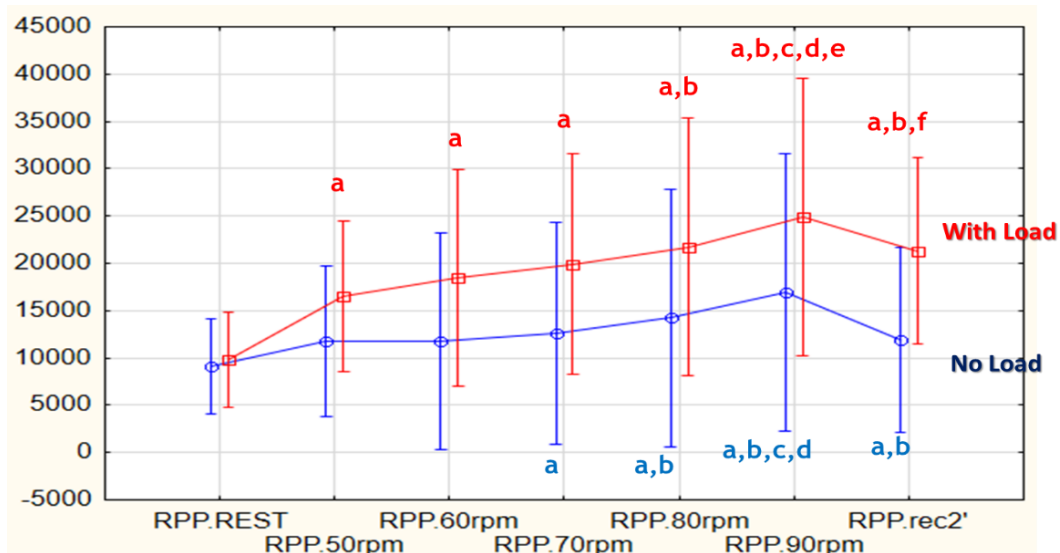
Η μεταβολή του φορτίου αντίστασης αποτέλεσε σημαντικό ερέθισμα που προκάλεσε ιδιαίτερες αποκρίσεις στους ασθενείς που θα επιλέξουν να αξιολογηθούν με μία κλινική δοκιμασία κόπωσης. Ωστόσο, οι πλειονότητα των μελετών αναφέρουν, ως πρώτη επιλογή, την μεταβολή του φορτίου αντίστασης.

Στην παρούσα μελέτη θα εξεταστεί κατά πόσο τα πρωτόκολλα με αύξηση της ταχύτητας δύναται να προκαλέσουν τις ίδιες αποκρίσεις ασθενών διαφοροποιώντας την αντίσταση του φορτίου κατά μόνο ένα κιλό (δηλ. με μηδενικό φορτίο ή φορτίο ενός κιλού).

Διπλό γινόμενο

Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων “πρωτόκολλο άσκησης” και “ένταση άσκησης” [$F(9,72)=0,738$, $p=0,673$]. Ειδικότερα, οι επιμέρους αναλύσεις έδειξαν ότι στην συνθήκη με την προσθήκη φορτίου (1kg) στην ένταση των 50, 60, 70, 80, 90 rpm αλλά και 2 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης, οι τιμές

ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τις τιμές από την χρονική στιγμή ηρεμίας. Ακόμα στην ίδια συνθήκη αλλά στην ένταση των 80, 90 rpm αλλά και 2 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης, οι τιμές ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τις τιμές από την ένταση των 50rpm.



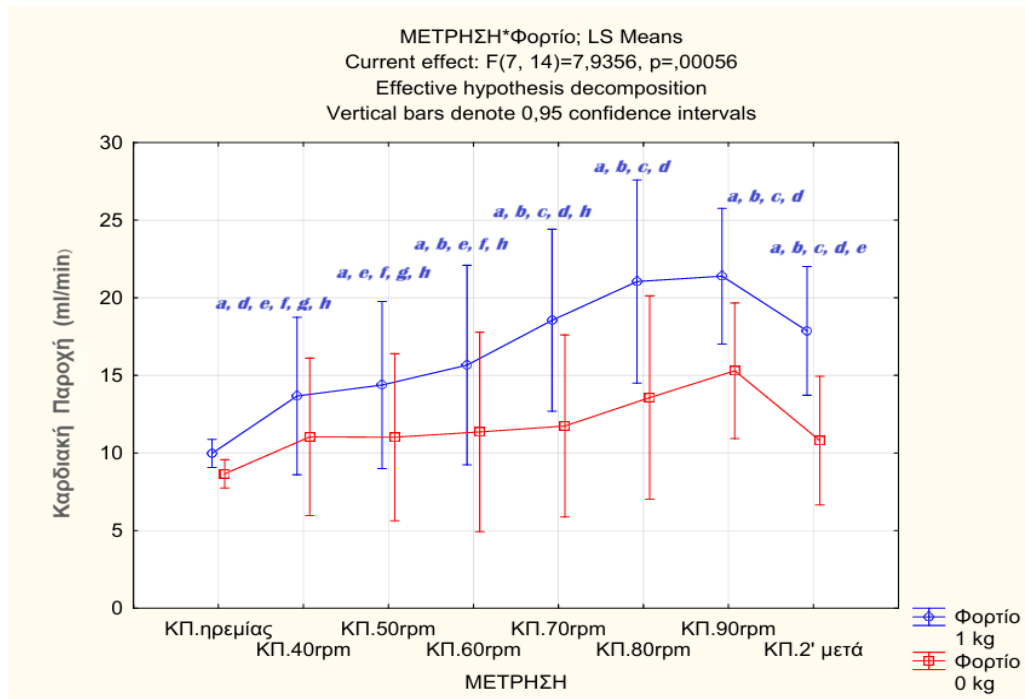
Σχήμα 1. Διακύμανση των τιμών του διπλού γινομένου (RPP) κατά τη διάρκεια 2 διαβαθμισμένων δοκιμασιών ποδηλασίας, μια με φορτίο (1kg) και μια χωρίς φορτίο (no load). Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων ($p < 0,05$).

- a: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$), έναντι RPPrest,
- b: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP50rpm,
- c: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP60rpm,
- d: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$), έναντι RPP70rpm,
- e: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP80rpm,
- f: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP90rpm

Επίσης στην ένταση των 90rpm οι τιμές ήταν σημαντικά μεγαλύτερες και σε σχέση με την ένταση των 60, 70 και 80 rpm. Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν στην χρονική στιγμή 2 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης όπου παρουσιάστηκαν χαμηλότερες τιμές σε σχέση με την ένταση των 50 και 90 Rpm αλλά και της ηρεμίας. Όσον αφορά την συνθήκη, χωρίς φορτίο το διπλό γινόμενο παρουσίασε παρόμοιες μεταβολές στην ένταση των 70, 80, 90rpm αλλά και 2 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης, όπου οι τιμές ήταν σημαντικά μεγαλύτερες σε σχέση με τις τιμές από την ηρεμία. Στην ένταση με άσκηση στις 80, 90rpm και 2 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης οι τιμές ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των των 50 rpm. Στην ένταση των 90 Rpm παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες τιμές και σε σχέση με την ένταση των 60 και 70 rpm.

Καρδιακή παροχή

Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταδίων έντασης στη συνθήκη με φορτίο (1 kg). Συγκεκριμένα, ο όγκος παλμού παρουσίασε σημαντική αύξηση σε όλες τις εντάσεις (40 έως 90 rpm και 2' μετά το τέλος της άσκησης) σε σύγκριση με την ηρεμία ($p < 0.05$). Οι εντάσεις 70, 80 και 90 rpm παρουσίασαν επίσης σημαντικά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις εντάσεις των 40, 50 και 60 rpm ($p < 0.01$). Αντίθετα στην συνθήκη χωρίς φορτίο (0 kg) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χρονικών σταδίων έντασης.

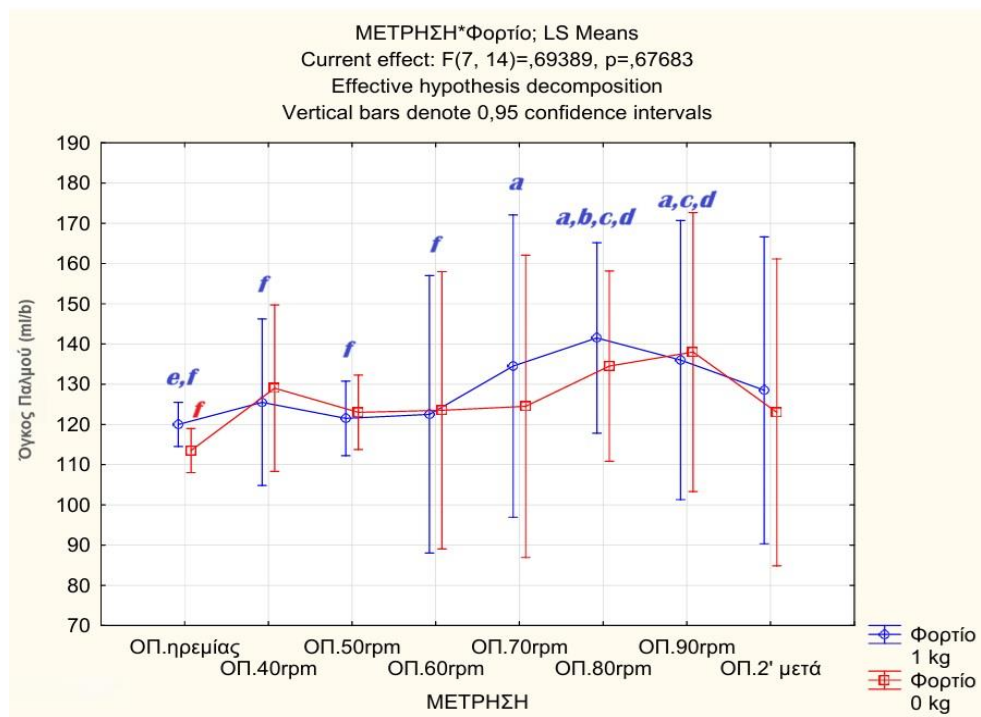


Σχήμα 2. Διακύμανση των τιμών της καρδιακής παροχής (CO) κατά τη διάρκεια 2 διαβαθμισμένων δοκιμασιών ποδηλασίας, μια με φορτίο (1kg) και μια χωρίς φορτίο (no load). Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων ($p < 0,05$).

- a: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$), έναντι RPPrest,
- b: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP40rpm,
- c: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP50rpm,
- d: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$), έναντι RPP60rpm,
- e: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP70rpm,
- f: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP80rpm,
- g: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι RPP90rpm,
- h: σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$) έναντι 2min post

Όγκος Παλμού

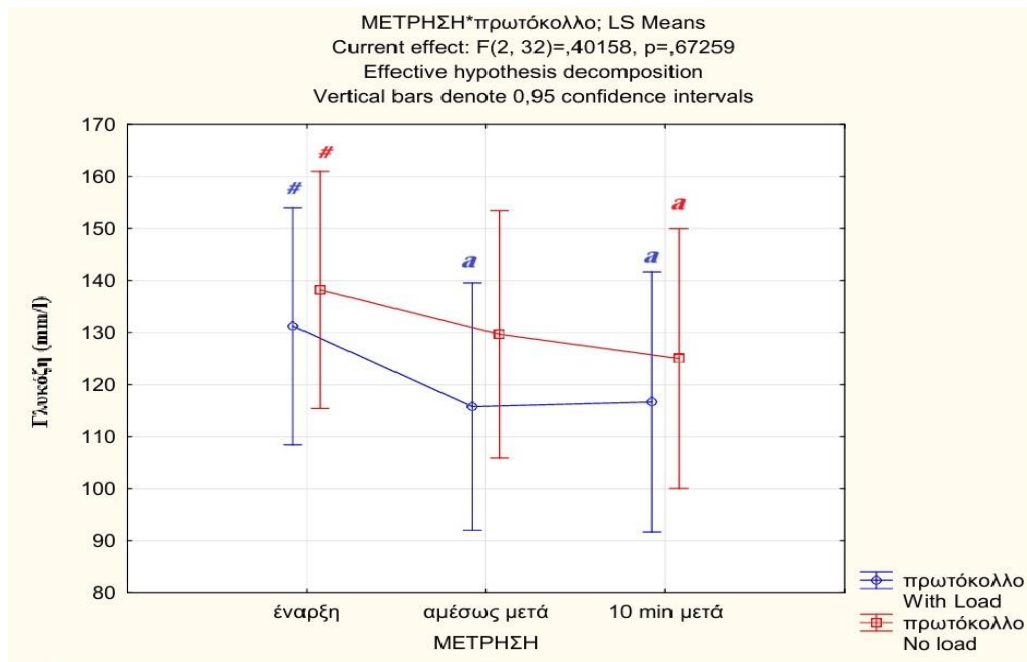
Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων πρωτόκολλο άσκησης και ένταση άσκησης, ούτε παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα πρωτόκολλο άσκησης. Ωστόσο, προέκυψε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα ένταση άσκησης [$F(9,72)=4,058$, $p=0,01$]. Πιο αναλυτικά, οι επιμέρους συγκρίσεις έδειξαν ότι ο όγκος παλμού παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με τη ένταση της ποδηλάτισης. Στο συνθήκη με φορτίο (1kg), παρατηρήθηκαν σημαντικά υψηλότερες τιμές όγκου παλμού στις εντάσεις των 70, 80 και 90rpm σε σύγκριση με την κατάσταση ηρεμίας. Επιπλέον, οι εντάσεις των 80 και 90rpm εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις εντάσεις των 40, 50 και 60rpm. Αντιθέτως, στο πρωτόκολλο με μηδενικό φορτίο, δεν παρατηρήθηκαν αντίστοιχες διαφοροποιήσεις στον όγκο παλμού.



Σχήμα 3. Όγκος Παλμού (SV) κατά τη διάρκεια 2 διαβαθμισμένων δοκιμασιών ποδηλασίας, μία με φορτίο (1kg) και μία χωρίς φορτίο (no load). Δεν Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων ($p>0,05$).

Συγκέντρωση γλυκόζης στο αίμα

Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων «πρωτόκολλο άσκησης» και «χρονική στιγμή μέτρησης» [$F(2,32)=0,40185$, $p=0,67259$]. Ωστόσο, παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα «χρονική στιγμή μέτρησης». Πιο συγκεκριμένα: Στην συνθήκη με φορτίο 1 kg, οι τιμές κατά την έναρξη της άσκησης ήταν σημαντικά υψηλότερες σε σύγκριση με τις χρονικές στιγμές αμέσως μετά και 10 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης. Στη συνθήκη χωρίς φορτίο, επίσης παρατηρήθηκε κύρια επίδραση της χρονικής στιγμής μέτρησης. Συγκεκριμένα, οι τιμές κατά την έναρξη ήταν σημαντικά υψηλότερες σε σύγκριση με τη χρονική στιγμή 10 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης.



Σχήμα 4. Συγκέντρωση της γλυκόζης (Glu) στο αίμα πριν και μετά την εφαρμογή των δύο διαβαθμισμένων δοκιμασιών ποδηλασίας, μία με φορτίο (1kg) και μία χωρίς φορτίο (no load). Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p>0,05$).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι δύο διαβαθμισμένες δοκιμασίες, προοδευτικά αυξανόμενης ταχύτητας, με ή χωρίς χρήση πρόσθετου φορτίου σε ενήλικες με ΣΔ2 δεν διέφεραν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά όσον αφορά τους καρδιακούς (SV, CO) και αιμοδυναμικούς (RPP) δείκτες. Σημαντικές αποκρίσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ των 2λεπτων σταδίων (χρονικές στιγμές) και στα δύο εφαρμόσιμα πρωτόκολλα αποδεικνύοντας ότι η δοκιμασία της προοδευτικά αυξανόμενης ταχύτητας με μηδενικό φορτίο δύναται να αποτελέσει ένα καινοτόμο τρόπο άσκησης αλλά και αξιολόγησης της φυσικής καταστασης κλινικών πληθυσμών με όσο το δυνατόν μικρότερη επιβάρυνση του καρδιαγγειακού συστήματος. Επίσης, σε άτομα με μειωμένη φυσική ικανότητα και μεγάλης, συνήθως, ηλικίας η κόπωση φένεται να επέρχεται γρηγορότερα κάτι που έχει ως αποτέλεσμα τη γρήγορη διακοπή και εγκατάλειψη της προσπάθειας για άσκηση. Ωστόσο, η συνθήκη της ταχύτητας (με μηδενικό φορτίο) φαίνεται να δίνει μια άλλη προοπτική στην εκγύμναση των ατόμων με καρδιομεταβολικά προβλήματα (Power et al., 2016). Αυτό πιθανά να οφείλεται σε μικρότερες περιφερικές αντιστάσεις λόγω της απουσίας υπερνίκησης υψηλότερης αντίστασης από το κανονικό (φορτίο 1 kg). Όσον αφορά την άσκηση με την χρήση έστω και μικρού φορτίου (1kg) φαίνεται να μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη καρδιακή δαπάνη σε χαμηλές-μέτριες εντάσεις, προσφέροντας εναλλακτικό τρόπο βέλτιστης καρδιοαναπνευστικής επιβάρυνσης όταν η αύξηση ισχύος/αντίστασης δεν είναι εφικτή. Επομένως, παρατηρείται πως και τα δύο πρωτόκολλα άσκησης αποτέλεσαν παρόμοιο ερέθισμα για τους ασθενείς, διότι κατάφεραν να προκαλέσουν φυσιολογικές αποκρίσεις που κυμάνθηκαν περίπου στα ίδια επίπεδα μέγιστων τιμών.

VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δείχνουν ότι η άσκηση χωρίς πρόσθετο βάρος μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική μέθοδο κλινικής αξιολόγησης και να προάγει θετικές μεταβολικές αντιδράσεις. Συγκεκριμένα, από την έρευνα προκύπτει ότι:

Άσκηση με την χρήση φορτίου (1 kg)

Στη συνθήκη με εξωτερικό φορτίο (1kg), παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του όγκου παλμού και του διπλού γινομένου σε σχέση με την ηρεμία, ιδιαίτερα στις υψηλότερες εντάσεις (70–90rpm). Αυτές οι αποκρίσεις δείχνουν πιθανώς μια πιο έντονη καρδιαγγειακή καταπόνηση, όπως επιβεβαιώνει και η σημαντική επίδραση του παράγοντα «ένταση άσκησης». Η ένταση των 90rpm προκάλεσε τη μεγαλύτερη απόκριση, κάτι που συμφωνεί με προηγούμενες μελέτες, οι οποίες δείχνουν ότι η υψηλότερη ένταση οδηγεί σε αυξημένες αιμοδυναμικές προσαρμογές σε άτομα με ΣΔτ2.

Άσκηση χωρίς φορτίο (0 kg)

Σε συνθήκες χωρίς εξωτερικό φορτίο, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στον όγκο παλμού. Παρόλο που υπήρξαν αυξήσεις του διπλού γινομένου σε υψηλές εντάσεις και μετά την άσκηση σε σύγκριση με την ηρεμία, οι αποκρίσεις ήταν πιο ήπιες και λιγότερο διαφοροποιημένες. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι η άσκηση χωρίς αντίσταση (φορτίο) μπορεί να μην είναι επαρκώς έντονη για να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές, αλλά μόνο μόνο η παραμετρος μεταβολής της ταχύτητας (προοδευτική αύξηση) μπορεί να προκαλέσει αιμοδυναμικές μεταβολές στον συγκεκριμένο πληθυσμό. Συμπερασματικά, η διαβαθμισμένη συνθήκη-πρωτόκολλο χωρίς πρόσθετο φορτίο μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική μέθοδο κλινικής αξιολόγησης και να προάγει ευνοϊκές μεταβολικές αντιδράσεις. Ο τελικός στόχος είναι η εξαγωγή πιο ασφαλών αποτελεσμάτων και, στη συνέχεια, ο σχεδιασμός προγραμμάτων τόσο για την πρόληψη όσο και για τη μεταβολική αποκατάσταση ασθενών με ΣΔ2.

Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες

Η παρούσα έρευνα θα μπορούσε να επαναληφθεί συμπεριλαμβάνοντας ασθενείς με διαφορετικές χρόνιες παθήσεις ή με διαφορετικό τύπου διαβήτη, προκειμένου να επιβεβαιωθούν ή να αναιρεθούν τα αποτελέσματά της. Επίσης, θα ήταν χρήσιμο να πραγματοποιηθεί έρευνα που να συγκρίνει δύο πρωτόκολλα άσκησης στο κυκλοεργόμετρο εφαρμόζοντας:

- διαφορετικές μεταβολές της ταχύτητας
- προσθήκη μεγαλύτερου φορτίου αντίστασης (>1kg).

Τέλος, η διεξαγωγή της έρευνας θα μπορούσε να εστιαστεί στην αύξηση της ταχύτητας επιβάρυνσης παράλληλα με την ύπαρξη κάποιου ελάχιστου φορτίου αντίστασης.

Όλες οι προτεινόμενες για εφαρμογή διαφοροποιήσεις, ως μελλοντικές μελέτες, θα συνεισέφεραν σημαντικά στον εμπλουτισμό της υπάρχουσας βιβλιογραφίας όσον αφορά την εκτέλεση αποτελεσματικότερων κλινικών δοκιμασιών.

VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abozguia, K., Phan, T. T., Shivu, G. N., Maher, A. R., Ahmed, I., Wagenmakers, A., & Frenneaux, M. P. (2008). Reduced in vivo skeletal muscle oxygen consumption in patients with chronic heart failure—A study using Near Infrared Spectrophotometry (NIRS). *European Journal of Heart Failure*, 10(7), 652–657.
- Atterhög, J. H., Jonsson, B., & Samuelsson, R. (1979). Exercise testing: a prospective study of complication rates. *American Heart Journal*, 98(5), 572–579.
- Bassuk, S. S., & Manson, J. E. (2005). Epidemiological evidence for the role of physical activity in reducing risk of type 2 diabetes and cardiovascular disease. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 1193–1204.
- Beck, K. C., & Weisman, I. M. (2001). Methods for cardiopulmonary exercise. In I. M. Weisman & R. J. Zeballos (Eds.), *Clinical Exercise Testing. Progress in Respiratory Research, Vol. 32*, pp. 43–59. Basel: Karger.
- Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., & Dalleck, L. C. (2016). Graded exercise testing protocols for the determination of VO₂max: historical perspectives, progress, and future considerations. *Journal of Sports Medicine*, 2016.
- Bhambhani, Y. N. (2004). Muscle oxygenation trends during dynamic exercise measured by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(4), 504–523.
- Bhambhani, Y. N., Buckley, S. M., & Susaki, T. O. S. H. I. O. (1997). Detection of ventilatory threshold using near infrared spectroscopy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(3), 402–409.
- Boule, N. G., Haddad, E., Kenny, G. P., Wells, G. A., & Sigal, R. J. (2001). Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 24(6), 884–890.
- Breen, L., Stokes, A., & Wootton, S. A. (2013). Resistance exercise in patients with type 2 diabetes mellitus: A systematic review. *Diabetologia*, 56(3), 598–602.

- Brown, T., Chan, W., & Wu, J. (2021). Cycle ergometer versus treadmill in elderly diabetic patients: A comparative study. *Geriatric Cardiology Journal*, 14(2), 98–107.
- Buchfuhrer, M. J., Hansen, J. E., Robinson, T. E., Sue, D. Y., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of Applied Physiology*, 55(5), 1558–1564.
- Chamberlain, J. J., Johnson, E. L., Leal, S., et al. (2018). Cardiovascular disease and risk management: Review of the American Diabetes Association standards of medical care in diabetes 2018. *Annals of Internal Medicine*, 168, 640–650.
- Chen, Y., Wang, H., & Li, X. (2015). Exercise programs and their effects on stress test performance in type 2 diabetes patients with a history of cardiovascular disease. *Diabetes and Cardiovascular Research*, 19(5), 512–523.
- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Fernhall, B., et al. (2010). Exercise and type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 33, 147.
- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. C., et al. (2016). Physical activity/exercise and diabetes: A position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 39, 2016 5–2079.
- Davis, J. A., Whipp, B. J., Lamarra, N. O. R. M. A. N., Huntsman, D. J., Frank, M. H., & Wasserman, K. (1981). Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 339–343.
- Dustan, D., Mori, T., Puddey, I., Beilin, L., Burke, V., Morton, A., & Stanton, K. (1997). The independent and combined effects of aerobic exercise and dietary fish intake on serum lipids and glycemic control in NIDDM. *Diabetes Care*, 20(6), 913–919.
- Faulkner, J., Parfitt, G., & Eston, R. (2007). Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 397–407.
- Fleg, J. L., Pina, I. L., Balady, G. J., Chaitman, B. R., Fletcher, B., Lavie, C., Limacher, M. C., Stein, R. A., Williams, M., & Bazzarre, T. (2000). Assessment of functional

capacity in clinical and research applications: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation*, 102, 1591–1597.

Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., ... Williams, M. A. (2013). Exercise standards for testing and training: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 128(8), 873–934.

Fortuin, N. J., & Weiss, J. L. (1977). Exercise stress testing. *Circulation*, 56(5), 699–712.

Garcia, M., Lopez, E., & Torres, E. (2020). Annual stress testing as a predictive tool for cardiovascular events in diabetic populations. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 28(4), 453–467.

Garcia, M., & Lopez, E. (2020). Treadmill testing for cardiac function assessment: Advantages and challenges. *Cardiovascular Insights*, 19(5), 367–375.

Grassi, B., Quaresima, V., Marconi, C., Ferrari, M., & Cerretelli, P. (1999). Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *Journal of Applied Physiology*, 87(1), 348–355.

Hanada, A., Okita, K., Yonezawa, K., Ohtsubo, M., Kohya, T., Murakami, T., Nishijima, H., Tamura, M., & Kitabatake, A. (2000). Dissociation between muscle metabolism and oxygen kinetics during recovery from exercise in patients with chronic heart failure. *Heart*, 83(2), 161–166.

Herriott, M. T., Colberg, S. R., Parson, H. K., Nunnold, T., & Vinik, A. I. (2004). Effects of 8 weeks of flexibility and resistance training in older adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 27, 2988–2989.

Johnson, L. (2017). The role of stress testing in assessing cardiovascular risk in type 2 diabetes patients. *Cardiovascular Health Journal*, 15(2), 210–218.

Johnson, R., & Morales, P. (2017). The use of cycle ergometer testing in diabetic patients with cardiovascular disease. *Diabetes and Cardiology Review*, 25(1), 45–56.

- Kurl, S., Laukkanen, J. A., Rauramaa, R., Lakka, T. A., Sivenius, J., & Salonen, J. T. (2001). Systolic Blood Pressure Response to Exercise Stress Test and Risk of Stroke. American Heart Association. [Retrieved 2001]
- Mancini, D. M., Katz, S. D., Lang, C. C., LaManca, J., Hudaihed, A., & Androne, A. S. (2003). Effect of erythropoietin on exercise capacity in patients with moderate to severe chronic heart failure. *Circulation*, 107(2), 294–299.
- Marciniuk, D. D., Watts, R. E., & Gallagher, C. G. (1993). Reproducibility of incremental maximal cycle ergometer testing in patients with restrictive lung disease. *Thorax*, 48(9), 894–898.
- Martinez, D., Gonzalez, R., & Fernandez, L. (2022). Exercise testing in clinical practice: Insights from treadmill and cycle ergometer assessments. *Medical Journal of Cardiology*, 30(6), 523–532.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2001). Φυσιολογία της Άσκησης (μεταφρ. Φιλίππου, Δ., Τρίγκα, Α. & Καλατζή, Χ.). Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης.
- Morrison, S., Colberg, S. R., Mariano, M., Parson, H. K., & Vinik, A. I. (2010). Balance training reduces falls risk in older individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 33, 748–750.
- Myers, J., Buchanan, N., Walsh, D., Kraemer, M., McAuley, P., Hamilton-Wessler, M., & Froelicher, V. F. (1991). Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *Journal of the American College of Cardiology*, 17(6), 1334–1342.
- Neary, J. P. (2004). Application of near infrared spectroscopy to exercise sports science. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(4), 488–503.
- Oliveira, C., Simoes, M., Carvalho, J., & Ribeiro, J. (2012). Combined exercise for people with type 2 diabetes mellitus: A systematic review. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 98(2), 187–198.
- Page, E., Cohen-Solal, A., Jondeau, G., Douard, H., Roul, G., Kantelip, J. P., & Bussiere, J. L. (1994). Comparison of treadmill and bicycle exercise in patients with chronic heart failure. *Chest*, 106(4), 1002–1006.

- Patel, S. (2018). Evaluation of cardiovascular response through modified stress tests in diabetic patients. *Journal of Clinical Cardiology*, 13(6), 678–689.
- Patel, V., Singh, A., & Shah, R. (2019). Ergometric testing in patients with diabetes and its clinical implications. *Journal of Clinical Diabetes*, 22(3), 211–220.
- Pollock, M. L., Foster, C., Schmidt, D., Hellman, C., Linnerud, A. C., & Ward, A. (1982). Comparative analysis of physiologic responses to three different maximal graded exercise test protocols in healthy women. *American Heart Journal*, 103(3), 363–373.
- Prieur, F., & Mucci, P. (2012). Effect of high-intensity interval training on the profile of muscle deoxygenation heterogeneity during incremental exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 249–257.
- Savino Silveira, A. P. S., Bentes, C. M., Costa, P. B., Simão, R., Silva, F. C., Silva, R. P., & Novaes, J. S. (2014). Acute effects of different intensities of resistance training on glycemic fluctuations in patients with type 1 diabetes mellitus. *Research in Sports Medicine*, 22(1), 75–87.
- Sigal, R. J., Kenny, G. P., Boulé, N. G., et al. (2007). Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes: A randomized trial. *Annals of Internal Medicine*, 147, 357–369.
- Spiro, S. G., Juniper, E., Bowman, P., & Edwards, R. H. T. (1974). An increasing work rate test for assessing the physiological strain of submaximal exercise. *Clinical Science*, 46(2), 191–206.
- Stanford, K. I., & Goodyear, L. J. (2014). Exercise and type 2 diabetes: Molecular mechanisms regulating glucose uptake in skeletal muscle. *Advances in Physiology Education*, 38(4), 308–314.
- Tokmakidis, S., Zois, C., Volaklis, K., Kotsa, K., & Touvra, A. M. (2004). The effects of a combined strength and aerobic exercise program on glucose control and insulin action in women with type 2 diabetes. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 437–442.

- Williams, J., Smith, A., & Carter, B. (2019). The impact of physical fitness on cardiovascular risk in patients with type 2 diabetes. *Journal of Diabetes Research*, 24(3), 345–356.
- Yang, Z., Scott, C. A., Mao, C., et al. (2014). Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 44, 487–499.
- Zhang, Y. Y., Johnson 2nd, M. C., Chow, N., & Wasserman, K. (1991). Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(5), 625–630.