

Καρδιοαναπνευστική Δοκιμασία Κόπωσης στους αθλητές

ΡΙΤΣΑΤΟΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ

Καρδιολογικός Τομέας-Μονάδα Κληρονομικών και Σπανίων Καρδιαγγειακών Παθήσεων, Ωνάσειο Καρδιοχειρουργικό Κέντρο.

Λέξεις ευρετηρίου

Καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης, αθλητές, μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, μυοκαρδιοπάθεια, αθλητική καρδιά

Κωνσταντίνος Ριτσάτος

Καρδιολόγος

Διεύθυνση επικοινωνίας

Μονάδα Κληρονομικών και Σπανίων Καρδιαγγειακών Παθήσεων
Ωνάσειο Καρδιοχειρουργικό Κέντρο
Συγγρού 356, Καλλιθέα, ΤΚ 17674
Τηλ. κέντρο: 210 9493000
E-mail: ritsatoskostas@yahoo.com

Σήμερα ή καρδιοαναπνευστική δοκιμασία (ΚΑΔΚ) προσθέτοντας επιπλέον δεδομένα σχετικά με τις αναπνευστικούς παραμέτρους, την πρόσληψη οξυγόνου και την αποβολή του CO₂ στους κλασσικούς δείκτες αξιολόγησης της κόπωσης, δίνει τη δυνατότητα συνολικότερης εκτίμησης του εξεταζόμενου. Πιο συγκεκριμένα, η πρόσληψη του οξυγόνου στη μέγιστη προσπάθεια (VO₂max) αποτελεί τον απόλυτο δείκτη πρόγνωσης και αντικειμενικής ικανότητας για άσκηση. Ειδικά σε αθλητές, η παραπάνω παράμετρος σε συνδυασμό με την εκτίμηση δεικτών όπως ο αναερόβιος ουδός, το αναπνευστικό ισοδύναμο για το CO₂ (VE/VCO₂), το οξυγόνο παλμού κ.τ.λ. - κυρίως σε πρωτοκόλλα προοδευτικής αύξησης του έργου σε τάπητα ή ποδήλατο – αφενός μεν δίνουν τη δυνατότητα ανάδειξης υποκείμενης παθολογίας σε συμπτωματικούς αθλητές αφετέρου δε συμβάλλουν στον εντοπισμό υποκλινικής καρδιακής νόσου στους ασυμπτωματικούς ασκούμενους. Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης της αθλητικής επίδοσης μέσω αρτιότερου σχεδιασμού προπονητικών πρωτοκόλλων.

Η αθλητική καρδιά, ως τομέας της σύγχρονης καρδιολογίας, εμφανίζει ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον δεδομένου ότι αφορά ευρύ φάσμα της αθλητικής δραστηριότητας με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη προσαρμογή του καρδιαγγειακού και αναπνευστικού συστήματος στην άθληση αλλά και τη βελτίωση των αθλητικών επιδόσεων.

Με τον όρο αθλητή ορίζουμε τον ασκούμενο συστηματικά και μακροχρόνια (τουλάχιστον τέσσερις ώρες εβδομαδιαίως έντονης προπόνησης).¹ Θα πρέπει να τονιστεί ότι η ικανότητα ενός ατόμου να ασκείται έντονα και παρατεταμένα είναι συνάρτηση της καλής λειτουργίας συνδυαστικά του αναπνευστικού, καρδιαγγειακού και νευρομυϊκού συστήματος. Επιπλέον, η φυσική μας κατάσταση, η σχετική δηλαδή ικανότητα ενός ατόμου να επιτελεί συγκεκριμένη δραστηριότητα, αποτελεί τη συνισταμένη μιας σειράς παραμέτρων οι οποίες είτε αναφέρονται σε ανθρώπινα χαρακτηριστικά (φύλο, γονιδίωμα, ηλικία, σωματική κατάσταση, ψυχολογία) είτε έχουν σχέση με το βαθμό συστηματικής

φυσικής δραστηριότητας.² Μεταξύ αυτών των παραμέτρων, κεφαλαιώδους σημασίας θεωρείται η εκτίμηση της καρδιοαναπνευστικής απόδοσης, η ικανότητα δηλαδή πρόσληψης οξυγόνου του καρδιαγγειακού και αναπνευστικού συστήματος σε συνθήκες μέγιστης άσκησης. Η παράμετρος αυτή πρακτικά αντικατοπτρίζει την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\dot{V}O_{2peak}$) στην καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κοπώσεως.³

Η φυσιολογία της άσκησης αφορά τόσο την άμεση ανταπόκριση όσο και την χρόνια προσαρμογή του σώματος στην έντονη προσπάθεια. Οι σκελετικοί μύες απαιτούν το 84% του αιματικού όγκου σε καταστάσεις έντονης καταπόνησης, συνθήκη απαραίτητη προκειμένου να εξασφαλιστεί το απαραίτητο για τη παραγωγή ενέργειας (ATP) O_2 αλλά κι η αποβολή του CO_2 (διατήρηση οξεοβασικής ισορροπίας). Ειδικότερα η αυξημένη πρόσληψη O_2 ($\dot{V}O_{2max}$ -εξωγενής ρυθμός έργου) επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης του γινομένου καρδιακή παροχή (ΚΠ) x αρτηριοφλεβώδους διαφοράς O_2 (AVO_2). Ο όγκος παλμού (ΟΠ) αυξάνει κατά την διάρκεια της άσκησης υπέρμετρα σε σύγκριση με την πρόσληψη O_2 .

Στα μη ασκούμενα άτομα ο ΟΠ αυξάνει έως και 50% σε σχέση με την ηρεμία. Αντίθετα, στους καλά προπονημένους αθλητές, αυξάνει έως και 100% της βασικής του τιμής. Αυτό είναι αποτέλεσμα πολλαπλών μηχανισμών, μεταξύ των οποίων σπουδαιότεροι είναι η αυξημένη συσπαστικότητα της αριστεράς κοιλίας (LV) αλλά και η αυξημένη της πλήρωση μέσω της σύσπασης του φλεβικού δικτύου, της αυξημένης φλεβικής επαναφοράς αλλά και της αυξημένης αρνητικής ενδοθωρακικής πίεσης.

Η επαγόμενη αύξηση του τελοδιαστολικού όγκου (LVEDV) μέσω του μηχανισμού Frank-Starling οδηγεί σε αύξηση του όγκου παλμού. Επιπλέον η καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) αυξάνει γραμμικά με την πρόσληψη O_2 ως απότοκος της συμπαθητικής διέγερσης, με σύγχρονη απόσυρση του παρασυμπαθητικού τόνου, γεγονός που οδηγεί στο διπλασιασμό έως και τριπλασιασμό της κατά τη μέγιστη άσκηση σε σύγκριση με την τιμή ηρεμίας. Τέλος, αύξηση της αρτηριοφλεβώδους διαφοράς στο O_2 κατά την άσκηση επιτυγχάνεται μέσω ανακατανομής της αιματικής ροής από τη νεφρική, σπλαγχνική και δερματική κυκλοφορία στους ασκούμενους μύς, ενέργεια που οδηγεί

έως και σε τριπλασιασμό της απόληψης O_2 στη περιφέρεια με ταυτόχρονη αιμοσυμπύκνωση, ως αποτέλεσμα της απώλειας υγρών του πλάσματος στον ενδιάμεσο χώρο.²

Συγκεκριμένα η ΚΠ δύναται να αυξηθεί έως και 4-5 φορές από τη βασική τιμή ηρεμίας σε καλά προπονημένους αθλητές. Με τα επαναλαμβανόμενα προγράμματα αεροβικής άσκησης παράμετροι όπως ο όγκος παλμού (ΟΠ) και η αρτηριοφλεβώδης διαφορά O_2 αυξάνονται, ενώ η μέγιστη καρδιακή συχνότητα παραμένει σχετικά αμετάβλητη. Αντίθετα η αεροβική άσκηση οδηγεί σε μείωση της ΚΣ ηρεμίας.

Σε ηρεμία η κατανάλωση O_2 υπολογίζεται στα 3.5ml O_2 /Kg/min και ορίζεται ως ένα (1) μεταβολικό ισοδύναμο (MET). Επιπλέον ο ενδογενής ρυθμός έργου - ο οποίος ορίζεται από το γινόμενο καρδιακής συχνότητας (ΚΣ) x αρτηριακή πίεση (ΑΠ) γνωστό κι ως διπλό γινόμενο - αντικατοπτρίζει τις μυοκαρδιακές απαιτήσεις σε O_2 για δεδομένη προσπάθεια. Όσο αυξάνεται η αεροβική ικανότητα του αθλητή οι μυοκαρδιακές απαιτήσεις του σε O_2 για δεδομένη προσπάθεια μειώνονται συνεπεία της βελτιούμενης αθλητικής του επίδοσης.

Από τα τέλη του 19ου αιώνα ο Hensen και συν. (1899)⁴ στην Ουψάλα διαπίστωσαν ότι οι επαγγελματίες σκιέρ εμφάνιζαν διάταση της καρδιακής σιλουέτας κάτι που οδηγούσε σε βελτίωση της αθλητικής τους επίδοσης. Η παραπάνω διαπίστωση αφ' ενός αποτέλεσε την αρχική πλειάδα μελετών έως και σήμερα αφ' ετέρου αντικατοπτρίζει την αντιρροπιστική προσαρμογή της καρδιαγγειακής δομής και λειτουργία των αθλητών στη μακροχρόνια και έντονη άσκηση, γνωστή και ως αθλητική καρδιά.⁵

Αυτή η επαγόμενη προσαρμογή η οποία αφορά και το ηλεκτρικό δίκτυο (ΗΚΓ φημα αθλητή - Εικόνα 1), επιτρέπει στην καρδιά να ανταποκριθεί στις αυξημένες απαιτήσεις της άσκησης.⁶ Ειδικότερα, έκφραση της καρδιακής προσαρμογής αποτελεί η διάταση των κοιλιών και των κόλπων με φυσιολογική ή και υπερφυσιολογική διαστολική λειτουργία.^{1,6}

Πιο συγκεκριμένα, στη προσαρμογή της αριστεράς κοιλίας καθοριστικό ρόλο παίζει η αυξημένη διατοίχωματική τάση της στις αυξημένες συνθήκες πίεσης ή όγκου, σύμφωνα με τον νόμο του Laplace [Ενδοκοιλιακή πίεση x ακτίνα ΑΚ)/(2xπxχος ΑΚ)].⁷

Συνολικά συχνά υπερηχογραφικά ευρήματα συμβατά με αθλητική καρδιά δύνανται να αποτελούν η αύξηση της καρδιακής μάζας, του όγκου και της υπερτροφίας των τοιχωμάτων της. Στην περίπτωση της δεξιάς κοιλίας, αν και γνωρίζουμε ότι πρόκειται για δομή υποκείμενη σε χαμηλές συνθήκες φόρτισης πίεσης, υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας της, στους αθλητές αντοχής η συστολική πνευμονική πίεση δύνανται να αυξηθεί σημαντικά (έως 80mmHg).⁸ Σε αυτή την κατηγορία αθλητών η διάταση των δεξιών κοιλοτήτων δύνανται να αποδοθεί στην αθλητική τους δραστηριότητα.

Τέλος η αορτή λόγω του αυξημένου αιμοδυναμικού φορτίου στην άσκηση αν και φαίνεται να εμφανίζει αυξημένες διαστάσεις έναντι μη ασκούμενων παρόμοιας σωματοδομής, φύλου και ηλικίας σε καμιά περίπτωση δεν ξεπερνάει τα 40mm.⁹

Δεν θα πρέπει να αγνοήσουμε την ανεξάρτητη σημασία του φύλου, της φυλής, της ηλικίας αλλά και του τύπου της άσκησης στην καρδιαγγειακή προσαρμογή.¹⁰ Πιο συγκεκριμένα, διαφορετικό άθλημα με διαφορετικό σχεδιασμό προπόνησης (σχέση δυναμικής/στατικής άσκησης), δύνανται να εκφράζει διαφορετικό καρδιακό φαινότυπο. Στην πραγματικότητα, η μεγάλη πρόκληση του καρδιολόγου είναι, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω (τύπο αθλήματος, τον χρόνο και την ένταση της άσκησης), να διακρίνει ποιες από αυτές τις προσαρμογές είναι αποτέλεσμα φυσικής προσαρμογής και ποιες υποκρύπτουν παθολογία. Γίνεται δηλαδή σαφές ότι μια δομική αλλαγή της καρδιάς μπορεί να αποτελεί φυσιολογική προσαρμογή σε ένα άθλημα αλλά να υποκρύπτει παθολογία σε ένα άλλο.

Διαχρονικά διακρίνουμε δύο τύπους άσκησης. Το δυναμικό τύπο άσκησης (π.χ. δρομείς αντοχής, κωπηλάτες) χαρακτηρίζουν οι συνεχείς συσπάσεις με ακόλουθη χάλαση μεγάλων σκελετικών μυϊκών ομάδων οι οποίες και απαιτούν αύξηση του αερόβιου μεταβολισμού. Αυτό επιτυγχάνεται πρωτίστως με αύξηση της ΚΠ προκειμένου να διασφαλιστεί η αυξημένη προσφορά O₂ στον συνεσπασμένο μυ.³

Αντίθετα, τον στατικό τύπο άθλησης (π.χ. άρση βαρών) χαρακτηρίζει η αύξηση της συστολικής πίεσης (Σ.Π.) –ως αποτέλεσμα της αυξημένης ΚΠ- ενώ η διαστολική πίεση (ΔΠ) είτε μειώνεται

είτε παραμένει αμετάβλητη ως αποτέλεσμα των μειωμένων περιφερικών αγγειακών αντιστάσεων. Το στατικό τύπο άσκησης χαρακτηρίζουν βραχείας διάρκειας έντονες συσπάσεις μιας σκελετικής μυϊκής ομάδας, με αποτέλεσμα αύξηση του μεταφόρτιου και της συστολικής πίεσης.

Στη στατικού τύπου άθληση το καρδιαγγειακό σύστημα διατηρεί τη καρδιακή παροχή παρά τις συνθήκες σύσπασης της αριστεράς κοιλίας (αυξημένου μεταφορτίου). Αν και στα παραπάνω παραδείγματα περιγράφεται η καρδιακή προσαρμογή στη δυναμική και στατικού τύπου άσκηση, στη πραγματικότητα στην πλειοψηφία των αθλημάτων αυτοί οι δύο τύποι άθλησης συνυπάρχουν σε διαφορετικό βαθμό.

Στην αθλητική καρδιολογία, τα πρωτόκολλα άσκησης χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκτίμηση της φυσικής κατάστασης και του επιπέδου απόδοσης των αθλητών (λειτουργική εκτίμηση). Επιπλέον έχουν θέση στην αξιολόγηση αθλητών με συμπτώματα όταν υπάρχει υποψία υποκείμενου καρδιακού νοσήματος ή οικογενειακού ιστορικού κληρονομικού καρδιακού νοσήματος (διαγνωστική προσέγγιση). (Πίνακας 1)

Πίνακας 1.

Ενδείξεις καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κόπωσης στους αθλητές

Ασυμπτωματικοί αθλητές

- ▶ Διάγνωση υποκείμενου καρδιακού νοσήματος με αυξημένη πιθανότητα αιφνιδίου καρδιακού θανάτου
- ▶ Αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης προ της έναρξης της προπόνησης. Ορθή κατάρτιση και παρακολούθηση του προπονητικού προγράμματος
- ▶ Αξιολόγηση της αθλητικής απόδοσης και φυσικής κατάστασης επαγγελματιών αθλητών

Συμπτωματικοί αθλητές

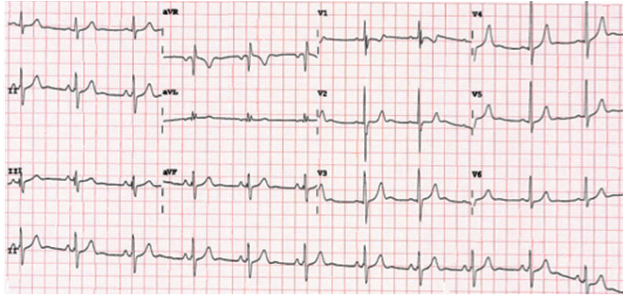
- ▶ Διάγνωση υποκείμενου καρδιαγγειακού ή πνευμονολογικού νοσήματος
- ▶ Αξιολόγηση συμπτωμάτων: δύσπνοια, θωρακαλγία, αίσθημα παλμών, αίσθημα ζάλης (συγκοπή)

Διαχρονική παρακολούθηση και εκτίμηση της προπόνησης

- ▶ Συστάσεις ως προς την ένταση ή τον επανασχεδιασμό του προγράμματος προπόνησης

Πίνακας 1. Συστάσεις για καρδιοαναπνευστική κόπωση σε αθλητές.

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι η λήψη ατομικού και οικογενειακού ιστορικού, η φυσική εξέταση και το ΗΚΓ φημα ηρεμίας είναι απαραίτητα προ-



Εικόνα 1. Αγόρι 17 ετών χωρίς συμπτώματα ή οικογενειακό ιστορικό καλαθοσφαιριστής. Διαπιστώνουμε κριτήρια δεξιάς υπερτροφίας ($RV1+SV5 > 10.5\text{mm}$) σε συνδυασμό με αριστερό άξονα (< -300) ευρήματα που σύμφωνα με την τρέχουσα βιβλιογραφία δεν χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης (αρχείο μονάδας κληρονομικών και σπανίων καρδιαγγειακών νοσημάτων ΩΚΚ).

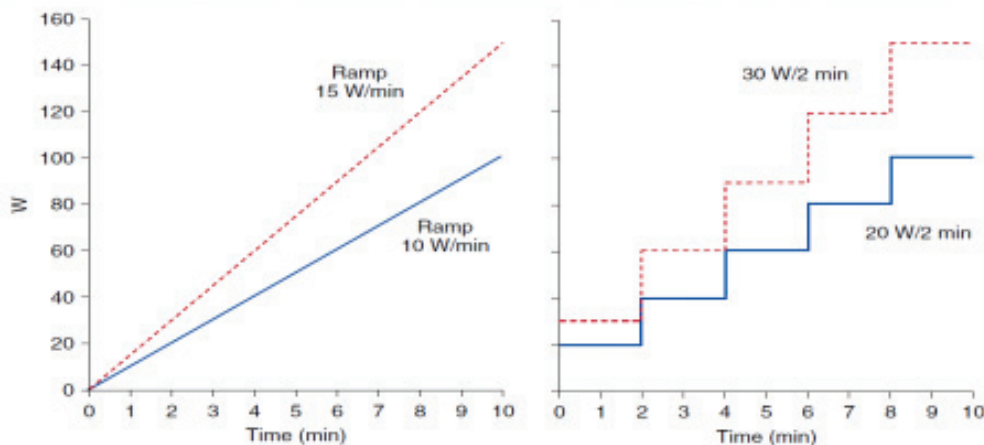
κειμένου να υποβάλλουμε έναν αθλητή σε καρδιοαναπνευστική δοκιμασία.

Τα πλέον διαδεδομένα εργόμετρα στους αθλητές είναι το δαπεδοεργόμετρο (κυλιόμενος τάπητας) και το κυκλοεργόμετρο (ποδήλατο), ενώ σε ειδικές κατηγορίες αθλητών μπορεί να χρησιμοποιηθούν εργόμετρα με χρήση βραχίονα (αθλητές με δυσχρησία κάτω άκρων, αθλητές κωπηλασίας κ.λπ.). Ειδικότερα, η επιλογή εργόμετρου γίνεται με γνώμονα τις μυϊκές ομάδες προς αξιολόγηση, το άθλημα και φυσικά τη διαθεσιμότητα σε εργόμετρο και εμπειρία του κέντρου στο οποίο γίνεται η αξιολόγηση.

Πιο συγκεκριμένα, στο δαπεδοεργόμετρο ο κυ-

λιόμενος τάπητας κινείται ηλεκτρομαγνητικά ενώ η ταχύτητα του και κατά συνέπεια η ένταση της άσκησης αυξάνει σταδιακά (αύξηση ταχύτητας κίνησης και κλίση του τάπητα). Αν και είναι κατάλληλο για εκτίμηση αθλητών όλων των επιπέδων μειονεκτεί έναντι του κυκλοεργόμετρου στις περιπτώσεις αθλητών με διαταραχές ισορροπίας, χαρακτηρίζεται από περισσότερα «παράσιτα» στην ΗΚΓφική καταγραφή (ελεύθερη κίνηση θωρακικού τοιχώματος), ενώ οικονομικά είναι πιο ακριβό. Αν και συνήθως διαθέτει χειρολαβές σημαντικές για διατήρηση της ισορροπίας αυτές ωστόσο συμβάλλουν τόσο σε εσφαλμένο υπολογισμό του παραγόμενου έργου όσο και σε επίτευξη μέγιστης πρόσληψης O_2 (5-15% υψηλότερο σε σύγκριση με το ποδήλατο).

Αντίθετα, στο κυκλοεργόμετρο εφαρμόζεται μια σταδιακά αυξημένη αντίσταση στην περιστροφή των πεταλιών. Ο εξεταζόμενος ποδηλατεί σταθερά στις 50-60 στροφές/λεπτό και το παραγόμενο έργο προκειμένου να την υπερνικήσει καταγράφεται διαρκώς. Στοιχίζει οικονομικά λιγότερο, είναι ασφαλέστερο, μεταφέρεται εύκολα ενώ η συμμετοχή της παχυσαρκίας στην εκτίμηση είναι μικρότερη (ο εξεταζόμενος δεν μεταφέρει το βάρος του). Η διαπίστωση ότι η προσπάθεια εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το κίνητρο του εξεταζόμενου, το επίπεδο εκγύμνασης των κάτω άκρων και την εξοικείωση του εξεταζόμενου με τα πετάλια του ποδηλάτου κα-



Εικόνα 2. Αριστερά πρωτόκολλο συνεχούς αύξησης του έργου (Ramp) - Δεξιά πρωτόκολλο σταθερής αύξησης του έργου κατά στάδια (graded). Στο ramp πρωτόκολλο υπάρχει μια συνεχής αύξηση κατά $1\text{W}/6\text{sec}$ -κόκκινη γραμμή ($10\text{W}/\text{min}$) και $1,5\text{W}/6\text{sec}$ ($15\text{W}/\text{min}$) -μπλε γραμμή αντίστοιχα. Στο graded πρωτόκολλο στο τέλος κάθε 2 λεπτών προστίθενται σταθερά 30W (κόκκινη γραμμή) και 20W (μπλε γραμμή) αντίστοιχα. (Mezzani 2016).

ταγράφονται ως μειονεκτήματα της μεθόδου. Υπάρχει κίνδυνος διακοπής της δοκιμασίας πρώιμα π.χ. λόγω αναφερόμενης κόπωσης κάτω άκρων προ της επίτευξης μέγιστων ή υπομεγίστων παραμέτρων αξιολόγησης.

Ειδικότερα, όσον αφορά τα πρωτόκολλα άσκησης στους αθλητές, χρησιμοποιούνται τόσο πρωτόκολλα αύξησης του έργου (σταθερής ή κατά στάδια) σε κυλιόμενο τάπητα ή κυκλοεργόμετρο (Εικόνα 2) όσο και πρωτόκολλα σταθερού έργου (υπό μέγιστη δοκιμασία). Στόχος είναι τόσο το αναπνευστικό όσο και το καρδιαγγειακό σύστημα να κοπωθούν όμοια, ενώ σχέση της καρδιακής συχνότητας και του $\dot{V}O_{2max}$ θα πρέπει να είναι γραμμική. Το πρωτόκολλο πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε η καρδιοαναπνευστική κόπωση να ολοκληρωθεί εντός 8-12 λεπτών. Αυτό επιτυγχάνεται ιδανικά με πρωτόκολλα ramp (συνεχής αύξηση του έργου κατά την άσκηση) είτε μέσω της διαρκούς αύξησης κλίσης και ταχύτητας στον τάπητα είτε μέσω της διαρκούς αύξησης της αντίστασης στα πετάλια του κυκλοεργόμετρου ενώ ο ρυθμός αύξησης του έργου δύναται να εξατομικεύεται ανά περίπτωση.

Για τους αθλητές αντοχής χρησιμοποιείται το προτεινόμενο πρωτόκολλο άσκησης του πανεπιστημίου του Μόντρεαλ. Θα πρέπει να τονιστεί, ότι σε αντίθεση με τις άλλες ομάδες ελέγχου, σε αθλητή απία διακοπής είναι η έντονη μυϊκή καταπόνηση και όχι η επίτευξη μέγιστης καρδιακής συχνότητας.

Παράμετροι αξιολόγησης κατά την άσκηση και την εργοσπιρομετρία

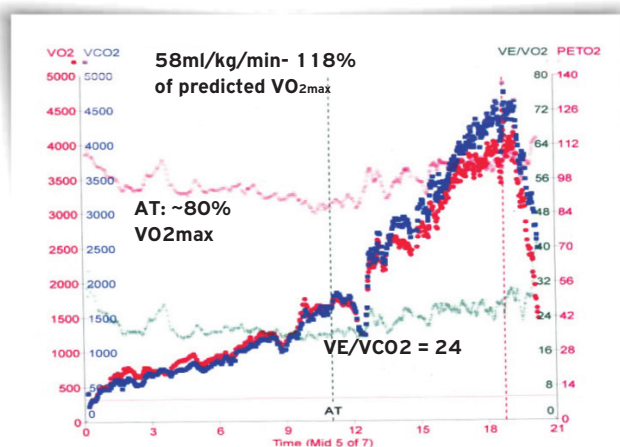
1. Αρτηριακή πίεση (ΑΠ)

Η καταγραφή της αρτηριακής πίεσης (συστολική- διαστολική και μέση) με την χρήση σπιθοσκοπίου από εκπαιδευμένο ιατρικό προσωπικό αποτελεί βασική παράμετρος αξιολόγησης κάθε δοκιμασίας κόπωσης κι ασφαλώς και της καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας. Η μέθοδος έχει περιορισμούς με κύριο τον παραγόμενο από το εργοσπιρόμετρο και το χώρο διεξαγωγής της δοκιμασίας θόρυβο.¹¹ Επιπλέον, επί εργοσπιρομετρίας με ποδήλατο αν και εξασφαλίζεται η σταθερότητα του άνω άκρου με την περιχειρίδα του σφυγμομανόμετρου καθ' όλην τη διάρκεια της δοκιμασίας, η υπερβολική περίσφιξη της χειρολαβής θα πρέπει να αποφεύγεται, δεδομένου ότι οδηγεί εσφαλμένα σε αυξημένη εκτίμηση της αρτηριακής πίεσης λόγω ισομετρικής άσκησης. Αν και σε οι τιμές αρτηριακής πίεσης ηρεμία αυξάνονται με την ηλικία, η μέση τιμή της μέγιστης διαστολικής και της συστολικής πίεσης κατά την άσκηση είναι παρόμοια σε όλες τις ηλικιακές ομάδες.

2. Καρδιακή συχνότητα (ΚΣ)

Η μέγιστη επιτευχθείσα ΚΣ κατά την άσκηση αποδεδειγμένα μειώνεται όσο αυξάνει η ηλικία σε όλες τις μελέτες ενώ επίσης φαίνεται να επηρεάζεται από το φύλο και τον τύπο της άσκησης που επιλέγεται (ποδήλατο, κυλιόμενος τάπητας, τρέξιμο κ.λπ.).¹² Για τον υπολογισμό της μέγιστης προβλεπομένης ΚΣ συνήθως χρησιμοποιείται ο τύπος 220 – ηλικία (υποεκτιμά τη μέγιστη συχνότητα ΚΣ σε μεγαλύτερα άτομα) ή ο τύπος 210- (ηλικία x 0,65).¹³

Η επίτευξη μέγιστης προβλεπομένης ΚΣ αποτελεί ένδειξη ότι ο εξεταζόμενος κατέβαλλε



Εικόνα 3. Φυσιολογικοί παράμετροι καρδιοαναπνευστικής κόπωσης διάρκειας 18.5 min αθλητή αντοχής ηλικίας 27 ετών σε κυλιόμενο τάπητα (πρωτόκολλο Bruce). Η πρόσληψη οξυγόνου στην μέγιστη κόπωση υπολογίζεται σε 58ml/kg/min που αντιστοιχεί στο 123% της μέγιστης προβλεπομένης, ο αναερόβιος ουδός επιτεύχθει στο 80% της μέγιστης πρόσληψης και ενώ το αναπνευστικό ισοδύναμο για το $\dot{V}CO_2$ ($VE/\dot{V}CO_2$) στα 24. Από τους υπόλοιπους δείκτες το ηλικιακό ανταλλαγή αερίων (RER) υπολογίστηκε σε 1.1, το έργο στα 15Mets, ενώ η μέγιστη ΚΣ στο 86% της προβλεπομένης. Αξιοσημείωτη ήταν η ταχεία ανάκαμψη της καρδιακής συχνότητας κατά την αποκατάσταση (αρχείο μονάδες κληρονομικών και σπάνιων καρδιαγγειακών νοσημάτων ΩΚΚ).

τη μέγιστη δυνατή προσπάθεια. Στην αντίθετη περίπτωση, ο περιορισμός της ικανότητας για άσκηση υποδηλώνει καρδιαγγειακή δυσλειτουργία. Πάρα ταύτα, ειδικά σε αθλητές, η χρησιμοποίηση αυτής και μόνον της παραμέτρου ως τεκμήριο επίτευξης μέγιστης κόπωσης είναι εσφαλμένη. Τέλος, η εφεδρεία καρδιακής συχνότητας (ΕΚΣ), η διαφορά δηλαδή μεταξύ της αναμενόμενης βάσει ηλικίας μέγιστης προβλεπόμενης ΚΣ και της μέγιστης ΚΣ που επιτυγχάνεται κατά την διάρκεια της άσκησης, αποτελεί χρήσιμο δείκτη εκτίμησης της σχετικής καταπόνησης του καρδιαγγειακού συστήματος κατά την προσπάθεια. Ωστόσο και αυτός ο δείκτης θα πρέπει να αξιολογείται με περισκεψη, δεδομένου ότι η αδυναμία επίτευξης μέγιστης προβλεπόμενης ΚΣ μπορεί να συσχετίζεται με τη φυλή, ψυχολογική διάθεση (απουσία κινήτρου), χρήση φαρμακευτικών ουσιών (π.χ. β αναστολέα), υποκλινικούς τύπους καρδιαγγειακών νοσημάτων, ενδοκρινολογικά ή μυοσκελετικά νοσήματα.

3. VO_2/VO_{2peak} και γαλακτικό οξύ

Ως πρόσληψη οξυγόνου (VO_2), ορίζεται ο όγκος του οξυγόνου που προσλαμβάνεται από τον εισπνεόμενο αέρα σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ενώ ως μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ορίζεται η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου για ένα συγκεκριμένο άτομο κατά την διάρκεια μέγιστης κόπωσης (VO_{2max} παρουσία plateau: το VO_2 δεν μεταβάλλεται έτι περαιτέρω κατά την άσκηση παρά την αύξηση του καρδιακού έργου, VO_{2peak} : απουσία διακριτού plateau). Η πρόσληψη O_2 στη μέγιστη κόπωση έχει μελετηθεί εκτενώς από έτη και αποτελεί αντικειμενική παράμετρο μέτρησης της ικανότητας για άσκηση.¹⁴ Ένα φυσιολογικό άτομο σε κόπωση αυξανόμενου έργου μπορεί να αυξήσει έως και 16 φορές το VO_2 ηρεμίας, ένας υγιής ενήλικας άνδρας με καθιστική ζωή μπορεί να έχει VO_{2max} 35ml/Kgr/min, ενώ οι αθλητές πάνω από 20 φορές της τιμής ηρεμίας.

Επίσης γνωρίζουμε, ότι αδρά ως αναερόβιος ουδός ορίζεται η τιμή πρόσληψης O_2 σε εκείνη τη φάση της άσκησης που παρατηρείται αύξηση του γαλακτικού οξέος. Από μελέτες σε αθλητές αντοχής, διαπιστώθηκε ότι η ταχύτητα του αθλητή αντοχής στον αναερόβιο ουδό (VLT) έχει άμεση συσχέτιση με το επίπεδο αθλητικής του απόδοσης.

Συμπερασματικά, τόσο η VLT όσο και η τιμή πρόσληψης VO_2 στη VLT ως επί ποσοστό επί τοις % του VO_2 , θεωρούνται προγνωστικοί δείκτες καλής αθλητικής επίδοσης σε αθλητές ανεξαρτήτως ηλικίας, φύλου ή αθλήματος.¹⁵

Η δρομική οικονομία (RE) είναι η κατανάλωση οξυγόνου τρέχοντας σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα εκφράζεται σε χιλιοστόλιτρα οξυγόνου που καταναλώνεται ανά κιλό σωματικού βάρους ανά λεπτό (ml/kg/min) και αποτελεί ισχυρό δείκτη καλής φυσικής κατάστασης. Δρομείς με καλή οικονομία χρησιμοποιούν λιγότερο οξυγόνο για να τρέξουν σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα σε σύγκριση με τους δρομείς με λιγότερο βέλτιστη οικονομία. Όταν συγκρίνονται δρομείς με παρόμοιες τιμές μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}), οι δρομείς με καλύτερη δρομική οικονομία θα κινούνται σε χαμηλότερο ποσοστό της VO_{2max} σε οποιαδήποτε δεδομένη υπομέγιστη ταχύτητα.¹⁶

Τέλος, η μέγιστη ταχύτητα τρεξίματος στον τάπητα (V_{peak}) κατά την άσκηση έχει περιγραφεί ως δείκτης καλής αθλητικής απόδοσης.¹⁷

4. Όγκος παλμού (Ο.Π.)

Ο όγκος παλμού αποτελεί καθοριστική παράμετρος της αυξημένης απόδοσης οξυγόνου (O_2) στους ασκούμενους μυς. Σε αντίθεση με τους υγιείς αθλητές, στους μη ασκούμενους ή σε αθλητές με υποκλινικές μυοκαρδιοπάθειες, μειωμένη χρονότροπη απάντηση ή/και ατελής αύξηση του ΟΠ είναι δυνατό να διαπιστώνεται. Το οξυγόνο παλμού (ΟΠ), δηλαδή η πρόσληψη οξυγόνου ανά καρδιακό παλμό, ορίζεται ως το πηλίκο της πρόσληψης οξυγόνου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή της άσκησης δια της επιτευχθείσας καρδιακής συχνότητας στο ίδιο στιγμιότυπο της δοκιμασίας.

Σε μια σχεδόν μέγιστη κόπωση, στην οποία η αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου φτάνει και διατηρεί τη μέγιστη τιμή της, η μεταβολή του οξυγόνου παλμού θα αντικατοπτρίζει αποκλειστικά τις μεταβολές του καρδιακού όγκου παλμού.

Ανταπόκριση κατά την άσκηση με μεγαλύτερες του προβλεπόμενου τιμές οξυγόνου παλμού και ΚΣ, υποδηλώνει καλύτερη της προβλεπόμενης για το φύλο και την ηλικία καρδιοαναπνευστική λειτουργία.

Ο ρυθμός αύξησης του οξυγόνου παλμού μειώνεται βαθμιαία όσο προσεγγίζει τη μέγιστη προβλεπόμενη τιμή του (καμπύλη υπερβολής). Η μέγιστη προβλεπόμενη τιμή του οξυγόνου παλμού είναι συνάρτηση του σωματότυπου, του φύλου, της ηλικίας, της τιμής αιμοσφαιρίνης αλλά και της φυσικής κατάστασης. Παράδειγμα φυσιολογικής μέγιστης προβλεπόμενης τιμής οξυγόνου παλμού κατά την άσκηση σε κυκλοεργόμετρο είναι η τιμή 5ml O₂/καρδιακό παλμό σε ένα 7χρονο αγόρι, τα 8ml/καρδιακό παλμό σε μια 70χρονη γυναίκα αναστήματος 150cm έως και τα 17 ml/καρδιακό παλμό σε άρρενα ηλικίας 30 ετών και αναστήματος 190cm.

Σε αθλητές επιπέδου, η επιτευχθείσα μέγιστη τιμή οξυγόνου παλμού θα πρέπει να υπερβαίνει την αναμενόμενη για τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά, ηλικία και φύλο προβλεπόμενη τιμή.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η β αναστολές επηρεάζουν θετικά την τιμή του οξυγόνου παλμού.

5. Αερισμός

Στην διάρκεια της άσκησης αυξάνει ο κατά λεπτό αερισμός (VE) δηλαδή ο αέρας ο οποίος διακινείται εντός των πνευμόνων ανά λεπτό. Στους υγιείς ενήλικες και αθλητές σε άσκηση χαμηλής έντασης, αυτό επιτυγχάνεται κυρίως μέσω αύξησης του αναπνεόμενου όγκου (VT). Πιο συγκεκριμένα οι αθλητές αυξάνουν έως και πέντε φορές τον αναπνεόμενο όγκο τους (κατά κύριο λόγο μέσω αύξησης του τελοεισπνευστικού όγκου).

Σε μεγαλύτερη προσπάθεια τόσο ο VT όσο και η αναπνευστική συχνότητα αυξάνουν παράλληλα. Αντίθετα, μετά το 70-80% της μέγιστης προσπάθειας, η περαιτέρω αύξηση του VE επιτελείται μέσω αύξησης της αναπνευστικής συχνότητας.

Σε υψηλού επιπέδου αθλητές, η αναπνευστική συχνότητα αυξάνει έως και 6-7 φορές της τιμής ηρεμίας. Οι υψηλές τιμές VE και μέγιστης πρόσληψης O₂ στους αθλητές συσχετίζονται με αύξηση της καρδιακής παροχής και της αιματικής πνευμονικής ροής. Έτσι, ο λόγος κυψελιδικού αερισμού/αιματικής ροής κυψελιδικών τριχοειδών μπορεί έως και να πενταπλασιαστεί στην μέγιστη προσπάθεια.

6. Πηλίκο ανταλλαγής αερίων

Το πηλίκο ανταλλαγής αερίων, ήτοι ο λόγος του VCO₂ που παράγεται σε σχέση με το VO₂ που καταναλώνεται, αν και υπολογίζεται σε 0,7 έως 0,85 στην ηρεμία (το 75% έως 85% του O₂ που προσλαμβάνεται στους ιστούς μετατρέπεται σε VCO₂) αντιστρέφεται σε υψηλότερα επίπεδα άθλησης φτάνοντας σε 1,1-1,2 και χρησιμοποιείται συχνά ως ένδειξη μέγιστης προσπάθειας.

Στην πραγματικότητα όμως η μέθοδος έχει περιορισμούς (π.χ. υπεραερισμός) και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως τεκμήριο μέγιστης προσπάθειας.

7. Αναπνευστική εφεδρεία

Ορίζεται ως το ποσοστό του μέγιστου εκούσιου αερισμού (MVV) που επιτυγχάνει ο εξεταζόμενος κατά την μέγιστη άσκηση. (MVV-VE_{Peak} / MVVx 100).

Η φυσιολογική τιμή κυμαίνεται μεταξύ 20-40% και χρησιμοποιείται προκειμένου να διαφοροδιαγνώσει τον περιορισμό αναπνευστικής από καρδιαγγειακή αιτιολογία κατά την άσκηση.

Ήδη από το 1923 στο μαραθώνιο της Βοστώνης ο Gordosun αλλά και το 1993 ο Hill συν περιγράφουν επηρεασμένη αναπνευστική λειτουργία σε μαραθωνοδρόμους, ακόμη και τρεις ημέρες μετά τον αγώνα(μειωμένη ζωτική χωρητικότητα). Μάλιστα, διαπιστώθηκε γραμμική συσχέτιση του βαθμού επηρεασμένης αναπνευστικής λειτουργίας και της διάρκειας του αγώνα.

Τέλος σε πρόσφατη μελέτη με καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης, ο Blaber συν ανέδειξαν επίσης μεταβολές τόσο στην αναπνευστική λειτουργία όσο και στον έλεγχο της αρτηριακής πίεσης και της ΚΣ αθλητών υπεραθλωνίου, τόσο πριν όσο και μετά τον αγώνα.

Οι μελετητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτή η μέγιστη παρατεταμένη αναπνευστική προσπάθεια αλλά και ο δυναμικός έλεγχος του αυτόνομου καρδιαγγειακού τόνου αποτέλεσαν καθοριστικούς δείκτες της αθλητικής επίδοσης των υπεραθλητών.¹⁸

Αθλητική καρδιά ή μυοκαρδιοπάθεια.

Η συμβολή της καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κόπωσης

Το πεδίο αλληλοκάλυψης αθλητικής προσαρμογής και υποκλινικής μυοκαρδιοπάθειας

ανέκαθεν αποτέλεσε πρόκληση για τους εμπλεκόμενους με αθλητές καρδιολόγους. Και αυτό γιατί στην μία άκρη του φάσματος ελλοχεύει ο κίνδυνος λανθασμένα «υπερδιάγνωσης» καρδιακής πάθησης με συνέπεια την πρόωρη και άδικη απόσυρση από την αθλητική δράση, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε ψυχολογική και οικονομική φθορά τόσο του αθλητή όσο και του στενού του περιβάλλοντος.

Από την άλλη πλευρά, είναι υπαρκτός ο κίνδυνος υποεκτίμησης πρώιμων ευρημάτων στην περίπτωση υποκλινικής μυοκαρδιοπάθειας (υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια-HCM, διατακτική μυοκαρδιοπάθεια-DCM, αρρυθμιογενετική μυοκαρδιοπάθεια-δεξιάς κοιλίας-ARVC,) που με τη σειρά του εκθέτει πρωτίστως τον αθλητή σε αυξημένο κίνδυνο αιφνιδίου καρδιακού θανάτου και δευτερευόντως τον ιατρό σε δυσμενείς καταστάσεις.

Οι καρδιακοί νόσοι που οδηγούν σε αιφνίδιο θάνατο νέων αθλητών (συνήθως <35ετών) -είτε αφορούν το ηλεκτρικό δίκτυο είτε τη δομή της καρδιάς- είναι κυρίως κληρονομούμενες. Κατά την άσκηση, ο συνδυασμός παθολογικού καρδιολογικού υποστρώματος, αφυδάτωσης, ηλεκτρολυτικών διαταραχών και αυξημένων κατεχολαμινών, πυροδοτεί αρρυθμικό θάνατο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων (0,6-6,8/ 100.000 ανά έτος κυρίως σε άρρενες και δη μαύρους αθλητές).¹⁹

Σήμερα οι αθλητές ανταγωνιστικού ή ερασιτεχνικού επιπέδου, ελέγχονται βάσει δυο σεναρίων. Είτε στο πλαίσιο προαθλητικού ελέγχου ασυμπτωματικών αθλητών με ΗΚΓφημα ηρεμίας, κλινική εξέταση, λήψη ατομικού και οικογενειακού ιστορικού είτε επί συμπτωμάτων, θετικού οικογενειακού ιστορικού καρδιακού νοσήματος ή αιφνιδίου καρδιακού θανάτου και/ή ευρημάτων κατά τη φυσική τους εξέταση.

Στην τελική κρίση, πολλές μελέτες τα τελευταία έτη δείχνουν ότι στην περίπτωση αθλητών στη «γκρίζας ζώνη» σημαντική είναι η συμβολή της καρδιοαναπνευστικής κόπωσης. Έτσι στην περίπτωση αθλητή με υπερτροφία τοιχωμάτων της αριστεράς κοιλίας στη γκρίζα ζώνη (13-15mm) θα πρέπει να αποκλειστεί η πιθανότητα υποκλινικής υπερτροφικής μυοκαρδιοπάθειας. Σημειώνεται, ότι φυσιολογικά μόλις στο 4% αρρένων αθλητών κυρίως της μαύρης φυλής (African/Afro-caribbean) διαπιστώνεται παρόμοιο πάχος τοιχώματος.

Ειδικότερα σε αθλητές αντοχής, απόλυτη

μέγιστη επιτευχθείσα πρόσληψη οξυγόνου(peakVO₂)>50ml/kg/min ή τιμή peakVO₂ μεγαλύτερη από 120% της μέγιστης προβλεπόμενης για το φύλο, την ηλικία και το σωματότυπος του αθλητή συνηγορεί υπέρ της αθλητικής προσαρμογής.

Το σενάριο της αθλητικής καρδιάς ενισχύουν επίσης η επίτευξη αναερόβιου ουδού σε τιμή VO₂ >60% της μέγιστης προβλεπόμενης τιμής πρόσληψης O₂ καθώς και τιμή O₂ παλμού >20ml/καρδιακό παλμό.²⁰

Ο Sharma και συν. το 2000 υπέβαλαν σε καρδιοαναπνευστική κόπωση οκτώ αθλητές υψηλού επιπέδου και οκτώ αθλητές με υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια γονιδιακά τεκμηριωμένοι. Όλοι οι αθλητές εμφάνιζαν όμοιο βαθμού υπερτροφία αριστεράς κοιλίας (13-15mm). Αν και μεταξύ των αθλητών υπήρχαν μικρές διαφορές όσον αφορά το επίπεδο φυσικής τους κατάστασης και τον όγκο προπόνησης στο σύνολο τους οι αθλητές με υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια εμφάνιζαν σαφώς μικρότερη τιμή peakVO₂ έναντι των υγιών.

Φαίνεται ότι στους αθλητές με υποκλινική μυοκαρδιοπάθεια, οι διαταραχές στην πλήρωση της αριστεράς κοιλίας συνεπάγονται αδυναμία επίτευξης ικανοποιητικού όγκου παλμού και κατά συνέπεια καρδιακής παροχής κατά την άσκηση.

Σε πολύ πρόσφατη δημοσίευση ο Sharma και συν. περιγράφοντας το προφίλ του αθλητή αντοχής με υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια διαπίστωσαν ότι ποσοστό μόνο 25% των αθλητών με μυοκαρδιοπάθεια στη καρδιοαναπνευστική κόπωση επιτυγχάνει peakVO₂>120% της μέγιστης προβλεπόμενης τιμής, αναδεικνύοντας έτσι την αρνητική προγνωστική σημασία της μετρηθείσας peakVO₂ σε αυτή την ομάδα αθλητών.²¹

Αντίθετα, σύμφωνα με μελέτη των Αναστασάκη και συν. το 2005, φαίνεται ότι μεταξύ αθλητών δύναμης και ασθενών με υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια παρατηρούνται ομοιότητες στις παραμέτρους καρδιοαναπνευστικής κόπωσης δηλαδή αυτές οι δυο ομάδες καταγράφουν παρόμοιες τιμές peakVO₂ κατά την άσκηση.²²

Καταλήγοντας στην περίπτωση αθλητή αντοχής με υπερτροφία τοιχωμάτων στην γκρίζα ζώνη, οι παράμετροι της καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κοπώσεως σε συνδυασμό με την εκτίμηση των απεικονιστικών ευρημάτων, το ΗΚΓφημα ηρεμίας, το οικογενειακό ιστορικό και

τα συμπτώματα φαίνεται να ξεκαθαρίζουν το τοπίο (Εικόνα 4).

Στην περίπτωση αθλητή με εμμένουσα διάταση της αριστεράς κοιλίας μετά περίοδο αποχής από αθλητική δραστηριότητα θα πρέπει να γίνεται διαφοροδιάγνωση από διατατική μυοκαρδιοπάθεια. Στην πραγματικότητα σε ασυμπτωματικούς αθλητές αντοχής η πιθανότητα διατατικής μυοκαρδιοπάθειας είναι πολύ πιο μικρή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μυοκαρδιοπάθειες δεδομένου ότι η επηρεασμένη συστολική λειτουργία συνεπάγεται ανεπαρκή καρδιακή παροχή κατά την προσπάθεια και επομένως εμφάνιση συμπτωμάτων και περιορισμό στη μέγιστη άσκηση.

Στη μελέτη των La Gerche και συν. (2013), αθλητές αντοχής εμφάνισαν σημαντική διάταση της αριστεράς κοιλίας (>60mm) χωρίς ενδείξεις υποστροφής μετά μικρή περίοδο αποχής από άθληση, σε ποσοστό 15%.²³ Στις περιπτώσεις αυτές, $peakVO_2 < 100\%$ του προβλεπόμενου σε συνδυασμό με την παρουσία έκδηλης κοιλιακής αρρυθμιογένειας κυρίως κατά την άσκηση, συνηγορούν υπέρ της υποκλινικής μυοκαρδιοπάθειας (Εικόνα 5).

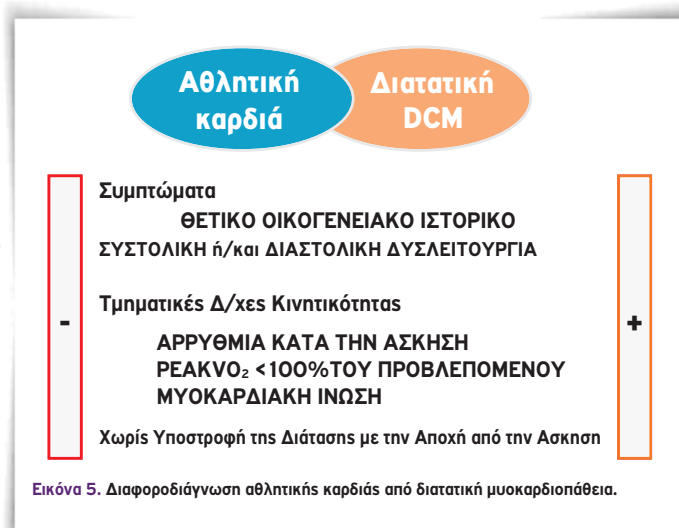
Παρομοίως θα πρέπει να αξιολογούνται οι δείκτες της καρδιοαναπνευστικής κόπωσης και στην περίπτωση αθλητών με έκδηλη δοκιδωση κορυφής (διαφοροδιάγνωση αθλητικής καρδιάς από «σπογγώδη» μυοκαρδιοπάθεια). Σε μελέτη παρατήρησης 1.146 αθλητών στο Ηνωμένο Βασίλειο πληρούνταν υπερηχογραφικά κριτήρια «μη συμπαγούς μυοκαρδιοπάθειας» ποσοστό 8,1% υγιών αθλητών. Εν τούτοις πρέπει να ληφθεί υπόψη το σημαντικό ενδεχόμενο προσαρμοστικής ανάδειξης δοκιδώσεων και η πιθανότητα χαμηλής ειδικότητας των απεικονιστικών δεδομένων για την ταυτοποίηση αυτού του τύπου της μυοκαρδιοπάθειας.

Τέλος, σε ποσοστό μικρότερο του 0,01%, αθλητές αντοχής, ηλικίας μεγαλύτερης των 16 ετών εμφανίζουν αρνητικά στις προκάρδιες απαγωγές V1-V3. Συχνά επίσης εμφανίζουν κοιλιακή αρρυθμιογένεια από το χώρο εξόδου της δεξιάς κοιλίας (RVOT), ενώ τέλος δεδομένου ότι η δεξιά κοιλία υπόκειται σε αυξημένη διατοχωματική τάση κατά την άσκηση, η ανάδειξη ήπιου βαθμού ασύμμετρης διάτασης της δεν αποτελεί ασύνηθες εύρημα. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται η διαφοροδιάγνωση μεταξύ αθλητικής καρδιάς και αρρυθμιολογικού μυοκαρδιοπάθειας.



Επισημαίνεται ότι στο 5% των περιπτώσεων αρρυθμιολογικού μυοκαρδιοπάθειας, η προσβολή αφορά κατά κύριο λόγο την αριστερά κοιλία (LDAC). Στις περιπτώσεις αυτές η επίτευξη $PeakVO_2 < 100\%$ του προβλεπόμενου, και η αυξημένη κοιλιακή έκτοπη δραστηριότητα κατά την άσκηση στην καρδιοαναπνευστική κόπωση, σε συνδυασμό με τα παθολογικά ευρήματα στην απεικόνιση, την 24ωρη καταγραφή του καρδιακού ρυθμού και το θετικό οικογενειακό ιστορικό συνηγορούν υπέρ υποκείμενης παθολογίας.²⁴

Τις τελευταίες δεκαετίες, ιδιαίτερα με την γιγάντωση του δρομικού κινήματος, όλο και μεγαλύτεροι σε ηλικία αθλητές (>35 ετών), συνεχίζουν να ασκούνται συστηματικά. Σε αυτήν την ομάδα



αθλητών (master athletes) η παρουσία παθολογικών ευρημάτων μυοκαρδιακής ισχαιμίας (διαταραχές ST-T, έκτοπη κοιλιακή δραστηριότητα κ.λπ.) στην απλή δοκιμασία κοπώσεως υπολογίζεται περί το 20% των περιπτώσεων με αυξητική τάση προ-ϊούσης της ηλικίας.²⁵

Κατά συνέπεια, με το ενδεχόμενο υποκείμενης παθολογίας, συνήθως στεφανιαίας νόσου, υποβάλλονται συχνά σε περαιτέρω καρδιολογικό έλεγχο.

Αν και βάσει βιβλιογραφικών δεδομένων στη πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν υπάρχει στεφανιαία νόσος (ψευδώς θετικά ευρήματα), φαίνεται ότι η καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης μπορεί να διακρίνει τις περιπτώσεις πραγματικής ισχαιμίας.

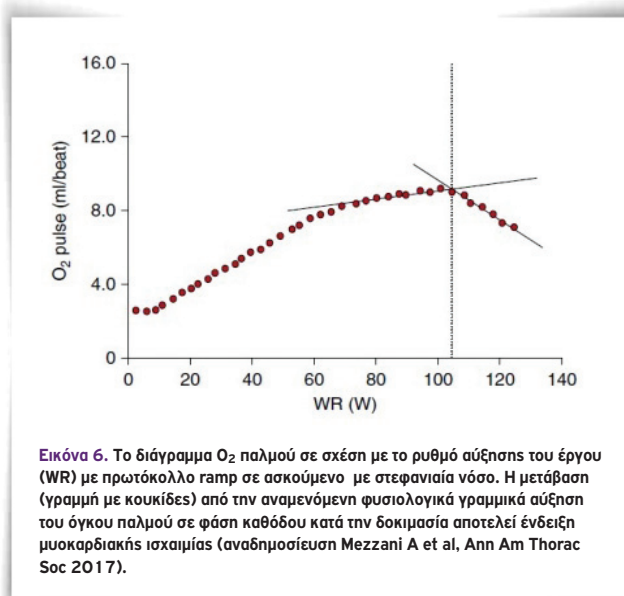
Πιο συγκεκριμένα, η πρώιμη χρονικά επιπέδωση της καμπύλης στο διάγραμμα όγκου παλμού, σε συνδυασμό με την μείωση του λόγου της μεταβολής στην πρόσληψη O₂ (ΔVO₂) προς τον ρυθμό αύξησης του έργου (ΔWR), είναι δύο ανεξάρτητοι προγνωστικοί δείκτες μυοκαρδιακής ισχαιμίας κατά την άσκηση, αυξάνοντας την ευαισθησία της μεθόδου σε 87% από 46% και την ειδικότητα σε 74% από 66% (Εικόνα 6).²⁶

Σήμερα στην αθλητική καρδιολογία, η εις βάθος γνώση της φυσιολογίας της άσκησης, όσον αφορά την καρδιά, και η ορθή ερμηνεία και αξιολόγηση των παραμέτρων της καρδιο-

αναπνευστικής δοκιμασίας κόπωσης αποτελούν προαπαιτούμενο, προκειμένου να διαγνώσουμε υποκείμενη παθολογία σε συμπτωματικούς αθλητές, να αναδείξουμε υποκλινική καρδιακή νόσο σε ασυμπτωματικούς και να βελτιώσουμε την αθλητική επίδοση σχεδιάζοντας κατάλληλα προπονητικά πρωτόκολλα.

Βιβλιογραφία

1. Sanjay Sharma, Jonathan A Drezner, International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes European Heart Journal 2018; 39(16):1466–1480
2. US Department of Health and Human Services. Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention, 1996
3. Guazzi M, Arena R, Halle M, et al. 2016 focused update: clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. Eur Heart J 2018;7;39(14):1144-1161
4. Henschen S. Skilanglauf und Skiwetttlauf. Eine medizinische Sport studie. Mitt Med Klin Uppsala (Jena) 1899; 2 15–18.
5. Galderisi M, Cardim N, D’Andrea A, et al. The multi-modality cardiac imaging approach to the Athlete’s heart: an expert consensus of the European Association of Cardiovascular Imaging. Eur Heart Cardiovas Imaging. 2015;16(4):353
6. George K, Whyte GP, Green DJ, et al. The endurance athlete’s heart: acute stress and chronic adaptation. Br J Sports Med 2012; 46(Suppl 1): i29–36.
7. Ellison GM, Waring CD, Vicinanza C, Torella D. Physiological cardiac remodelling in response to endurance exercise training: cellular and molecular mechanisms. Heart 2012; 98(1): 5–10.
8. Opie LH, Hasenfuss G. Mechanisms of cardiac contraction and relaxation. In Bonow RO, Mann DL, Zipes DP, Libby P(eds), Braunwald’s Heart Disease: A Textbook of Cardiology, Volume 1(9th edn). Philadelphia, PA: Elsevier Saunders, 2012, pp: 459–86.
9. Sharma S, Merghani A, Mont L. Exercise and the heart: the good, the bad, and the ugly. Eur Heart J 2015; 36(23): 1445–53.



10. Boraita A, Heras ME, Morales F, et al. Reference values of aortic root in male and female white elite athletes according to sport. *Circ Cardiovasc Imaging* 2016; 9(10); e005292.
11. American Heart Association. Human blood pressure determination by sphygmomanometry. *Circulation* 1993; 88: 2460–70.
12. Wasserman K Hansen JE, Sue DY, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications (5th edn). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
13. Jones NL, Summers E, Killian KJ. Influence of age and stature on exercise capacity during incremental cycle ergometry in men and women. *Am Rev Respir Dis* 1989; 140: 1373–80.
14. Bassett DR, Jr, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med SciSportsExerc* 2000; 32: 70–84.
15. Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance. Can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med* 2007; 37: 857–80.
16. Ziogas GG, Patras KN, Stergiou N, Georgoulis AD. Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason. *J Strength Cond Res* 2011; 25: 414–19.
17. Noakes TD, Myburgh KH, Schall R. Peak treadmill running velocity during the VO₂max test predicts running performance. *J Sports Sci* 1990; 8: 35–45
18. Blaber AP, Walsh ML, Carter JB, et al. Cardiopulmonary physiology and responses of ultramarathon athletes to prolonged exercise. *Can J Appl Physiol* 2004; 29: 544–63.
19. Landry CH, Allan KS, Connelly KA, et al. Sudden cardiac arrest during participation in competitive sports. *N Engl J Med*. 2017;377(20): 1943–53
20. Sharma S, Elliott PM, Whyte G, et al. Utility of metabolic exercise testing in distinguishing hypertrophic cardiomyopathy from physiologic left ventricular hypertrophy in athletes. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36:864–870.
21. Sharma S, Nabeel Sheikh Clinical Profile of Athletes With Hypertrophic Cardiomyopathy *Circ Cardiovasc Imaging* 2015
22. Anastasakis A, Kotsiopoulou C et al: Similarities in the profile of cardiopulmonary exercise testing between patients with hypertrophic cardiomyopathy and strength athletes *Heart* 2005; 91(11): 1477–1478
23. La Gerche A, Claessen G, Van de Bruaene A, et al. Cardiac MRI: a new gold standard for ventricular volume quantification during high-intensity exercise. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2013; 6(2):329–38
24. G Mascia, E Arbelo. The arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy in comparison to the athletic heart, *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2020 Jul;31(7):1836-1843
25. Van de Sande DA, Breuer MA et al Utility of exercise electrocardiography in pre-participation screening in asymptomatic athletes: a systematic review *Sports Med* 2016; 46(8) 1155-64
26. Chaudhry S, Arena R, Wasserman K, et al. The utility of cardiopulmonary exercise testing in the assessment of suspected microvascular ischemia. *Int J Cardiol*. 2011; 148(1):4

Cardiopulmonary exercise testing in athletes

Konstantinos Ritsatos

*Cardiologist, Senior Registrar,
Unit of Inherited Heart Diseases,
Onassis Cardiac Surgery Center, Athens*

The Sports Heart, as a field of modern cardiology, is of increasing interest since it concerns a wide range of sports activity with particular interest in the adaptation of the cardiovascular and respiratory systems to sports and the improvement of sports performance. Today in sports cardiology, in-depth knowledge of the physiology of exercise, regarding the heart, and the correct interpretation and evaluation of the parameters of cardiorespiratory exercise test are a prerequisite to diagnose underlying pathology in symptomatic athletes, to highlight subclinical heart disease in asymptomatic and to improve athletic performance by designing appropriate training protocols.

Keywords: Cardiopulmonary exercise, athletes, recreational exercise