



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ**

**«ΚΛΗΡΟΝΟΜΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ
ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΝΔΡΕΣ ΗΛΙΚΙΑΣ 18-25 ΕΤΩΝ»**

Στέλιος Κουνανάκης

**Μεταπτυχιακή Διατριβή
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ»**

ΑΘΗΝΑ 2001

© Copyright

Κουναλάκης Στυλιανός του Νικολάου
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντίστασης 41, Δάφνη



ΕΚΦΡΑΣΗ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΩΝ

Η ερευνητική αυτή προσπάθεια δεν θα είχε ολοκληρωθεί επιτυχώς, αν δεν υπήρχε η συμβολή των προσώπων που αναφέρονται παρακάτω.

Ο επιβλέπων Καθηγητής μου κ. Βασίλης Κλεισούρας με οδήγησε ορθά και μεθοδικά στα κακοτράχαλα μονοπάτια της επιστημονικής έρευνας και με ενέπνεε σε κάθε φάση με τρόπο μοναδικό.

Ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Νίκος Γελαδάς με τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του με βοήθησε να ξεπεράσω αρκετά από τα φαινομενικά ανυπέρβλητα προβλήματα που απειλούσαν την ερευνητική μου προσπάθεια.

Η Λέκτορας κα Μαρία Μαριδάκη πίστεψε στην περάτωση της έρευνας και με βοήθησε με κάθε δυνατό μέσο. Την ευχαριστώ θερμά.

Ακόμα ευχαριστώ τον Τάσο Φιλίπου για αυτά που μοιραστήκαμε, την αγωνία, τις σκέψεις, το μόχθο του εργαστηρίου. Η βοήθειά σου Τάσο, ήταν παραπάνω από πολύτιμη.

Η κα Βαγγελακούδη δεν ήταν απλώς η γιατρός που παρευρισκόταν στην πειραματική διαδικασία. Έκανε χρήσιμες παρατηρήσεις, με συμβούλευε και με παρότρυνε σε στιγμές που με κύκλωναν πολλοί προβληματισμοί. Ελένη να είσαι καλά, πιστεύω ότι απέκτησα μια φίλη.

Η προθυμία των διδύμων για την συμμετοχή τους στις μετρήσεις ήταν σίγουρα ο κύριος λόγος που η έρευνα αυτή ολοκληρώθηκε. Αφιέρωσαν τον πολύτιμο χρόνο τους και με εμπιστεύθηκαν δείχνοντας το ζωηρό τους ενδιαφέρον για την επιστήμη. Παιδιά, ένα ευχαριστώ είναι πολύ λίγο.

Στις δύσκολες στιγμές η Τζοάννα ήταν εκεί, να με ενθαρρύνει, με βαθιά πίστη ότι θα τα καταφέρω. Πίστη που μου μετέδιδε ώστε να συνεχίζω, να στέκομαι στα πόδια μου και να προχωράω εκεί που πίστευα ότι ο δρόμος τελειώνει...

Ο μεταπτυχιακός φοιτητής έχει μεγάλη ανάγκη από οικονομική στήριξη, προκειμένου να φέρει σε πέρας τις σπουδές του. Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω για την πολύτιμη χρηματοδότηση που το ΕΠΕΑΕΚ πρόσφερε στηρίζοντας οικονομικά τις προσπάθειές μου.

Η πορεία δεν σταματά εδώ. Όσο υπάρχει αγάπη για τη γνώση, για την χαρτογράφηση της δαιδαλώδους πορείας προς την επιστημονική αλήθεια, οι άνθρωποι θα συνεχίζουν τούτη την αέναη προσπάθεια και όπως λέει και ο ποιητής:

«Λίγο ακόμα
Θα ιδούμε τις αμυγδαλιές ν' ανθίζουν
τα μάρμαρα να λάμπουν στον ήλιο
τη θάλασσα να κυματίζει

λίγο ακόμα,
να σηκωθούμε λίγο ψηλότερα.»

(Από το «Μυθιστόρημα» του Γιώργου Σεφέρη ποίημα ΚΓ', «Λίγο ακόμα». Εκδόσεις Ικαρός, 1982).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να επανεξετασθεί η κληρονομησιμότητα της καρδιοαναπνευστικής αντοχής κατά τη μέγιστη αλλά και την υπομέγιστη προσπάθεια, χρησιμοποιώντας το μοντέλο των διδύμων και τηρώντας πιστά τις υποθέσεις που το διέπουν. Για τη διερεύνηση του θέματος επιλέχθηκαν 10 ζεύγη μονοζυγωτικών (MZ) και 10 διζυγωτικών (DZ) διδύμων ανδρών, ηλικίας 18-25 ετών από την περιοχή της Αττικής. Οι δοκιμαζόμενοι έτρεξαν στο δαπεδοεργόμετρο με ταχύτητα 8 Km · h⁻¹ και αρχική κλίση 1%, που αυξανόταν προοδευτικά κατά 1% κάθε λεπτό μέχρι εξάντλησης. Χρησιμοποιήθηκε εργοσπιρομετρικό σύστημα για τον προσδιορισμό της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη μυϊκή προσπάθεια, καθώς και του αναερόβιου κατώφλιού που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο V, η οποία βασίζεται στην δυσανάλογη αύξηση του αποβαλλόμενου διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τον αερόβιο μεταβολισμό. Ακόμα, μετρίονταν καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας η καρδιακή συχνότητα τηλεμετρικά και με ηλεκτροκαρδιογράφο. Μετά τον τερματισμό της προσπάθειας και στο πέμπτο λεπτό έγινε λήψη αρτηριοποιημένου αίματος και προσδιορισμός της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος φωτοφασματομετρικά. Η στατιστική ανάλυση περιλάμβανε τους μέσους όρους και τις τυπικές αποκλίσεις καθώς και τα στατιστικά κριτήρια t', F' και F για τον έλεγχο των υποθέσεων στις οποίες στηρίζεται ο υπολογισμός του δείκτη κληρονομησιμότητας (h²). Ο δείκτης αυτός εκφράζει τη σχετική συμβολή του γονότυπου στην φαινοτυπική διασπορά των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών.

Με βάση τη σημαντικότητα της γενετικής διακύμανσης στην φαινοτυπική διασπορά υπολογίστηκε ο δείκτης κληρονομησιμότητας για τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (h²= 0.85), την

μέγιστη καρδιακή συχνότητα (h²= 0.86), τον μέγιστο πνευμονικό αερισμό (h²= 0.78), την μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα (h²= 0.97), και για το αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι σε απόλυτες τιμές (h² = 0.63). Οι αντίστοιχες ενδοζευγικές συσχετίσεις για τις παραπάνω παραμέτρους ήταν υψηλές για τους MZ διδύμους (r = 0.40 έως 0.98) και χαμηλότερες για τους DZ (r = -0.10 έως 0,55). Η γενετική διακύμανση αντίθετα δεν παρουσίασε σημαντικότητα για το αναπνευστικό πηλίκο (F = 0.82, ns), την αναπνευστική συχνότητα (F = 2.60, ns) και το αναερόβιο κατώφλι όταν αυτό εκφράστηκε σαν ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (F= 2.57, ns).

Συμπερασματικά φαίνεται ότι η καρδιοαναπνευστική αντοχή, όπως εκφράζεται με την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και το αναερόβιο κατώφλι καθώς και η αναερόβια γαλακτική ικανότητα όπως εκφράζεται από την μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα βρίσκονται υπό έντονο γενετικό έλεγχο.

ABSTRACT

This study focuses on the genetic origin observed in cardiorespiratory endurance using the twin model paying particular attention to the acceptability of the underlying assumptions. Twenty pairs of male twins (10 MZ and 10 DZ) ranging in age from 18 to 25 years (22,4 ± 2,2) were used as subjects. Every twin ran in a treadmill (constant speed of 8 Km · h⁻¹) with progressive rise in slope 1% every minute to exhaustion. An ergospirometric system was used to determine the maximal oxygen

uptake ($\text{VO}_{2\text{max}}$) and ventilatory threshold (VT, V-slope method). Moreover, the heart rate was monitored by a telemetric system. Five minute after exercise, blood sample were taken to measure lactate concentration by spectrophotometer.

Statistical analysis was based on the acceptability of the model assumptions (t' , F' and F tests). The heritability (h^2) was estimated only if these assumptions were satisfied. H^2 is defined as the proportion of phenotypic variance attributable to observed individual differences in actualized genetic potential. The heritability coefficient was 85% for $\text{VO}_{2\text{max}}$ in $\text{ml} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 86% for peak heart rate, 78% for maximum

pulmonary ventilation, 97% for peak lactate concentration and 63% for anaerobic ventilatory threshold. The intra-class coefficients ranged for the above-mentioned attributes from 0.40 to 0.98 for MZ and from -0.10 to 0.55 for DZ twins. The genetic variation was not significant for respiratory ratio ($F=0.88$, ns) and respiratory frequency ($F=2.6$, ns). In conclusion, data obtained supports the hypothesis that genetic factors explain the largest part of the inter-individual variation in cardiorespiratory endurance during maximal and submaximal exercise, as well as anaerobic power.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σελίδα

ΕΚΦΡΑΣΗ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΩΝ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	x
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Ορισμός του προβλήματος.....	3
1.2. Υποθέσεις.....	3
1.3. Σύμβολα και Συντμήσεις.....	3
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	4
2.1. Το μοντέλο των διδύμων.....	4
2.2. Καρδιοαναπνευστική αντοχή.....	6
2.2.1. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.....	7
2.2.2. Μέγιστη καρδιακή συχνότητα.....	9
2.2.3. Μέγιστο οξυγόνο παλμού.....	10
2.2.4. Άλλες καρδιοαναπνευστικές παράμετροι.....	10
2.2.5. Αερόβια ικανότητα σε υπομέγιστη ένταση.....	12
2.3. Μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα.....	12
3. ΜΕΘΟΔΟΣ.....	15
3.1. Δοκιμαζόμενοι.....	15
3.2. Μετρήσεις και όργανα.....	15
3.2.1. Διαδικασία – Σχεδιασμός.....	15
3.2.2. Προσδιορισμός ζυγτισμού.....	16
3.2.3. Ανθρωπομετρήσεις.....	16
3.2.4. Προσδιορισμός καρδιοαναπνευστικών παραμέτρων.....	17
3.2.5. Προσδιορισμός συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα.....	19
3.3. Προκαταρκτική μελέτη.....	19
3.4. Στατιστική ανάλυση.....	20
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	22
4.1. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά.....	22
4.2. Καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές.....	24
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	30
5.1. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά.....	31
5.2. Καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές.....	32
5.2.1. Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου (VO ₂ max).....	32
5.2.2. Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα.....	34
5.2.3. Μέγιστο Οξυγόνο Παλμού.....	34
5.2.4. Αναερόβιο Αναπνευστικό Κατώφλι.....	35
5.2.5. Άλλες Καρδιοαναπνευστικές Παράμετροι.....	36
5.2.6. Μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα.....	37
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	39
6.1. Προβλήματα για παραπέρα μελέτη.....	39

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	46
8.1. Περίληψη της εργασίας σε δύο σελίδες	46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σελίδα

Σχήμα 3-1. Εργοσπιρομετρική δοκιμασία: Ο δοκιμαζόμενος έτρεξε σε δαπεδοεργόμετρο με σταθερή ταχύτητα και προοδευτικά αυξανόμενη κλίση ενώ καταγραφόταν ο όγκος και η σύσταση του αναπνεόμενου αέρα, καθώς και η καρδιακή του συχνότητα.....	18
Σχήμα 4-1. Ανάστημα (cm) κατά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).	23
Σχήμα 4-2. Βάρος (Kg) κατά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).....	24
Σχήμα 4-3. Άλιπο Σωματικό Βάρος (ΑΣΜ: Kg) κατά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).. ...	24
Σχήμα 4-4. Διασπορά της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_2 : ml min^{-1}) κατά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).	26
Σχήμα 4-5. Διασπορά της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_2 : $\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$) κατά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).	26
Σχήμα 4-6. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_2 : $\text{ml kg}^{-1} \text{ΑΣΜ min}^{-1}$) κατά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).....	26
Σχήμα 4-7. Η διασπορά στη μέγιστη καρδιακή συχνότητα (HR : beats min^{-1}) για τα MZ και ΔZ δίδυμα αδέλφια, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).	27
Σχήμα 4-8. Μέγιστος πνευμονικός αερισμός (VE : l min^{-1}) κατά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).. ...	27
Σχήμα 4-9. Το αναπνευστικό ισοδύναμο οξυγόνου(VE/VO_2) κατά τη μέγιστη προσπάθεια ανά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).	27
Σχήμα 4-10. Η διασπορά στο μέγιστο οξυγόνο παλμού (VO_2/HR : ml beat^{-1}) κατά ζεύγη για τα MZ και ΔZ δίδυμα αδέλφια, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark)..	28
Σχήμα 4-11. Η διασπορά στην αναπνευστική συχνότητα (RR : br min^{-1}) κατά τη μέγιστη προσπάθεια ανά ζεύγη για τα MZ και ΔZ δίδυμα αδέλφια και ενδοζευγική συσχέτιση.. ...	28
Σχήμα 4-12. Η διασπορά για τον αναπνεόμενο όγκο αέρα κατά τη μέγιστη προσπάθεια ανά ζεύγη για τα MZ και ΔZ δίδυμα αδέλφια και ενδοζευγική συσχέτιση..	28
Σχήμα 4-13. Αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι (AT : $\text{ml O}_2 \text{min}^{-1} \text{Kg}^{-1}$) κατά ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).....	29

Σχήμα 4-14. Μέγιστη παραγωγή γαλακτικού οξέος (La: mmol l^{-1}) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark).....	29
---	-----------

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Σελίδα

Πίνακας 2-1. Δείκτης κληρονομησιμότητας για την πρόσληψη οξυγόνου (VO_2), την καρδιακή συχνότητα (HR), το οξυγόνο παλμού (O_2 pulse), τον πνευμονικό αερισμό (VE), και την συγκέντρωση γαλακτικού οξέος ([La]) κατά την μέγιστη προσπάθεια καθώς και για την πρόσληψη οξυγόνου σε υπομέγιστη προσπάθεια (VO_2 submax). Οι έρευνες αναφέρονται σε διδύμους και οικογένειες..... **14**

Πίνακας 3-1. Έλεγχος επαναληπτικότητας των μετρήσεων για τις κυριότερες σωματομετρικές και καρδιοαναπνευστικές παραμέτρους..... **19**

Πίνακας 4-1. Τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά (μέσοι όροι $\pm$ σταθερές αποκλίσεις) και οι ενδοζευγικές διαφορές των δοκιμαζόμενων μονοζυγωτικών (MZ) και διζυγωτικών (ΔZ) διδύμων αδελφών..... **22**

Πίνακας 4-2. Καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές και ενδοζευγικές διαφορές (μέσοι όροι $\pm$ σταθερές αποκλίσεις) των δοκιμαζόμενων μονοζυγωτικών (MZ) και διζυγωτικών (ΔZ) διδύμων αδελφών..... **25**

Πίνακας 4-3. Έλεγχος υποθέσεων και κληρονομικοί δείκτες (εξισώσεις Clark και Newman) για τις παραμέτρους απόδοσης (μέγιστες τιμές) διδύμων αδελφών (MZ και ΔZ) ηλικίας 18-25 ετών..... **25**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο φαινότυπος είναι το αποτέλεσμα της επίδρασης του γονότυπου και του περιβάλλοντος. Τα γονίδια δεν εκδηλώνουν την γενετική τους πληροφορία στο κενό, αλλά μέσα σε μια δυναμική διαδικασία αμοιβαίων επιδράσεων με τα ερεθίσματα που δέχονται από το περιβάλλον.

Αυτή καθεαυτή η ύπαρξη των γονιδίων είναι συνυφασμένη με τον έλεγχο της ανάπτυξης, τη μορφολογία και τη λειτουργία του κάθε οργανισμού, καθορίζοντας τη βιοσύνθεση και ελέγχοντας τις βιοχημικές αντιδράσεις που χρειάζεται για να διατηρήσει τα χαρακτηριστικά του. Τα δομικά γονίδια και τα αντίστοιχα ρυθμιστικά συμμετέχουν για τη δημιουργία του γενετικού αρχείου. Η ροή της πληροφορίας με μέσο τον γενετικό κώδικα από τον πυρήνα του κυττάρου προς το κυτταρόπλασμα είναι ανεπίστροφη. Ιδανικοί εκπρόσωποι της ροής αυτής είναι οι μονοζυγωτικοί (MZ) δίδυμοι που αποτελούν τους καλύτερους μάρτυρες της ύπαρξης κληρονομικής επίδρασης στα ατομικά χαρακτηριστικά.

Το μοντέλο των διδύμων, βασίζεται σε αυτή την απόλυτη πληροφορία και εξετάζει την γενετική και περιβαλλοντική ισχύ στη φαινοτυπική διασπορά σε ένα γνώρισμα συγκρίνοντας μονοζυγωτικούς (όμοιος γενετικός κώδικας) και διζυγωτικούς (ΔΖ) (ομοιότητα 50%) διδύμους. Η γενετική διασπορά αφορά την διασπορά των μέσων φαινοτυπικών τιμών των διάφορων γονότυπων του πληθυσμού. Η περιβαλλοντική διασπορά αντίστοιχα αναφέρεται στη μη γενετική ποικιλότητα μεταξύ ατόμων του ίδιου γονότυπου εξαιτίας των άμεσων επιδράσεων των περιβαλλοντικών διαφορών στους φαινότυπους. Το ποσοστό της φαινοτυπικής διασποράς που οφείλεται στην γονοτυπική ποικιλότητα, εκφράζεται με τον δείκτη κλη-

ρονομησιμότητας (h^2). Με τον τρόπο αυτό αναδεικνύεται η σχετική επίδραση του γονότυπου στις ενδοζευγικές διαφορές σε ένα φαινότυπο. Ο δείκτης αυτός δεν αποτελεί βιολογική διαφορά, αλλά το αποτέλεσμα της μικρής ή μεγάλης διασποράς ενός γνώρισματος, που είναι αποτέλεσμα της δράσης των γονιδίων. Οι τιμές του κυμαίνονται από μηδέν έως τη μονάδα και δηλώνουν τη σημαντική επίδραση (τιμές κοντά στη μονάδα) ή την μη επίδραση (τιμές κοντά στο μηδέν) της γονοτυπικής στην περιβαλλοντική ποικιλότητα.

Όπως σημειώνει ο Verschuer το 1939, η δημιουργία του μοντέλου οφείλεται στον Francis Galton, ο οποίος αναζητούσε από το 1875 μια μέθοδο που να εκφράζει τις επιδράσεις της φύσης και των γενετικών παραγόντων. Ο ίδιος ανέφερε ότι δεν είχε βρει κάποια έρευνα, που να προσέγγιζε το θέμα από την δική του οπτική γωνία. Αρχικά το μοντέλο εφαρμόστηκε κυρίως στην ψυχολογία και την ιατρική για την εξέταση της νοητικής ικανότητας και διαφόρων ασθενειών όπως σχιζοφρένεια, διανοητική καθυστέρηση, εγκληματική συμπεριφορά, αλκοολισμός, υπέρταση, αποφρακτική πνευμονοπάθεια, ισχαιμία της καρδιάς, ή ζαχαρώδη διαβήτη (Plomin et al. 1995).

Αργότερα όμως χρησιμοποιήθηκε ευρέως και στην αθλητική επιστήμη για την εξέταση διαφόρων βιολογικών παραγόντων που οριοθετούν την αθλητική απόδοση. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 με την εφαρμογή του μοντέλου των διδύμων, έγινε προσπάθεια καθορισμού του κληρονομικού δείκτη σε ένα ευρύ φάσμα βιολογικών οριζουσών που σχετίζονται με τη λειτουργική απόκριση του οργανισμού κατά την άσκηση. Οι ορίζουσες αυτές αφορούσαν την καρδιακή αντοχή (Klissouras 1971, Howald 1976, Komi et. al. 1976, Adams et al. 1985, Bouchard 1986a,

Klissouras et al. 1989, Bielen et al. 1990, Fagard et al. 1991, Maes et al. 1996, Rodas 1998) την αναερόβια ικανότητα (Klissouras 1971, Komi et al. 1973, Simoneu et al. 1986, Rodas 1998) τα μυϊκά κύτταρα (Howald 1976, Komi et al. 1977, Bouchard et al. 1986b) την νευρομυϊκή απόδοση (Sklad 1972, Williams & Gross 1980, Jones & Klissouras 1986, Maridaki 1999) καθώς και τη σωματική δομή (Bouchard και Perruse 1988, Ohtsuki και Klissouras 1976, Hewitt et al. 1991, Stunkard et al. 1990, Μαριδάκη και Κλεισούρας 1991, Oppert et al. 1997, Sprungen et al. 2000). Την ευρεία χρησιμοποίησή του την οφείλει κατά τον Hopper (1992) στην δυνατότητα που διαθέτει για απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης, ότι οι γενετικοί παράγοντες δεν εξηγούν τη διασπορά σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Αν και έχει περιορισμούς, αποτελεί όπως υποστηρίζει και ο Bouchard (Bouchard et al. 1997) έναν ισχυρότατο σχεδιασμό παρουσίας γενετικής επίδρασης σε έναν φαινότυπο.

Η πρώτη χρήση του μοντέλου στην αθλητική επιστήμη πραγματοποιήθηκε το 1971 (Klissouras 1971) και εστιάζόταν στην γενετική επίδραση των ατομικών διαφορών που παρατηρούνταν στις φυσιολογικές ανταποκρίσεις της αερόβιας και αναερόβιας γαλακτικής ικανότητας. Οι ανταποκρίσεις αυτές σχετίζονταν με την μεταφορά και χρήση του οξυγόνου κατά την μέγιστη μυϊκή προσπάθεια. Από τότε και μέχρι τις μέρες μας έχουν ακολουθήσει αρκετές έρευνες που αναφέρονται στην αερόβια ικανότητα όπως αυτή εκφράζεται από τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) (Klissouras et al. 1973, Howald et al. 1976, Bouchard et al. 1986, Fagard et al. 1991) αλλά και από άλλες συνιστώσες της όπως η καρδιακή συχνότητα, το αναερόβιο κατώφλι, ο πνευμονικός αερισμός, ή ο όγκος της καρδιάς (Adams et al. 1985, Fagard et al.

1987, Van den Bree et al. 1996).

Η σχετική ισχύς του γονότυπου στο γνώρισμα της αερόβιας ικανότητας έχει αποτελέσει πεδίο ερευνητικής αντιπαράθεσης μεταξύ των ερευνητών (Bouchard et al. 1992, Klissouras 1997). Επιπρόσθετα, η συμφωνία η οποία παρατηρείται σε σημαντικές ορίζουσες της καρδιοαναπνευστικής αντοχής όπως η καρδιακή συχνότητα, το οξυγόνο παλμού, ο πνευμονικός αερισμός και το γαλακτικό οξύ κατά την μέγιστη προσπάθεια, καταδεικνύεται μεταξύ των ερευνητών, αλλά με διαφορετικής έντασης ισχύ (Bouchard et al. 1986, Fagard et al. 1991, Klissouras et al. 1971, Rodas 1998). Επίσης, η διερεύνηση της ιδιαίτερης μεταβλητής της πρόσληψης οξυγόνου σε υπομέγιστη προσπάθεια είναι περιορισμένη (Bouchard et al. 1984, Klissouras et al. 1989, Fagard et al. 1991).

Η συνεχής και ενδεδειγμένη έρευνα της κληρονομησιμότητας της καρδιοαναπνευστικής αντοχής είναι μείζονος σημασίας για την αθλητική επιστήμη. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το μοντέλο των διδύμων είναι ένα ισχυρό όπλο στην υπηρεσία της, τόσο σε επίπεδο πρωταθλητισμού, όσο και στην ευρωστία και υγεία.

Επειδή τα αντικρουόμενα αποτελέσματα που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία είναι κυρίως αποτέλεσμα μεθοδολογικών αδυναμιών, η εξαγωγή συμπερασμάτων θα πρέπει να γίνει μετά από σχολαστικό έλεγχο των υποθέσεων για τον καθορισμό του δείκτη κληρονομησιμότητας, ο οποίος θα πρέπει να χρησιμοποιείται με εξαιρετική προσοχή. Το μικρό δείγμα, η επίδραση του περιβάλλοντος η οποία δεν ελέγχθηκε ικανοποιητικά, η φυσική δραστηριότητα των ατόμων ο έλεγχος του ζυγωτισμού και η μη ικανοποίηση των υποθέσεων του μοντέλου αναφέρονται κατά περίπτωση σαν αιτίες της μη ύπαρξης συμφωνίας μεταξύ των ερευνητών (Fagard et al. 1991,

Bouchard et al. 1992, Klissouras 1997). Στα παραπάνω προστίθενται και οι απόψεις του Hopper (1992), του Plomin και των συνεργατών του (1995), καθώς και του Wei Guo (1999) όπου η κριτική τους για την χρήση του μοντέλου έρχεται να υπερθεματίσει για την ύπαρξη τουλάχιστον ενός εκ των προαναφερομένων μεθοδολογικών αδυναμιών.

1.1. Ορισμός του προβλήματος

Στην βιβλιογραφία παρουσιάζονται αντικρουόμενα αποτελέσματα σχετικά με την κληρονομησιμότητα της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Επίσης παρατηρείται μεταξύ των ερευνητών διαφορετικού βαθμού επίδραση του κληρονομικού παράγοντα σε σημαντικές ορίζουσες της καρδιοαναπνευστικής αντοχής όπως η καρδιακή συχνότητα, το οξυγόνο παλμού, ο πνευμονικός αερισμός και το γαλακτικό οξύ κατά την μέγιστη προσπάθεια. Επιπλέον, η κληρονομησιμότητα της πρόσληψης οξυγόνου κατά την υπομέγιστη προσπάθεια δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς.

Σκοπός λοιπόν της έρευνας είναι η επανεξέταση της κληρονομικής ισχύος στην παρατηρούμενη φαινοτυπική διασπορά σε παραμέτρους που σχετίζονται με την καρδιοαναπνευστική αντοχή (πρόσληψη οξυγόνου, πνευμονικός αερισμός, καρδιακή συχνότητα, οξυγόνο παλμού, γαλακτικό οξύ), αφετέρου δε στην προσθήκη πληροφοριών ή και γνώσεων στην υπομέγιστη αερόβια απόδοση (αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι) δίνοντας έμφαση α) στον έλεγχο των υποθέσεων που διέπουν το μοντέλο και β) αποφεύγοντας τα μεθοδολογικά λάθη που κατά περίπτωση μπορεί να αλλοίωσαν τα αποτελέσματα σχετικών ερευνών.

1.2. Υποθέσεις

Οι ερευνητικές υποθέσεις που προκύπτουν είναι: α) υπάρχει σημαντική

επίδραση του γονότυπου στην φαινοτυπική διασπορά σε ότι αφορά την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\text{VO}_{2\text{max}}$) β) υπάρχει σημαντική επίδραση του γονότυπου στην φαινοτυπική διασπορά σε παραμέτρους που σχετίζονται με την καρδιοαναπνευστική αντοχή όπως ο μέγιστος πνευμονικός αερισμός (VE_{max}), η μέγιστη καρδιακή συχνότητα (HR_{max}), το μέγιστο οξυγόνο παλμού (O_2 pulse) η μέγιστη τιμή γαλακτικού οξέος (La_{max}) γ) υπάρχει σημαντική επίδραση του γονότυπου στην φαινοτυπική διασπορά στην υπομέγιστη αερόβια απόδοση (αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι).

1.3. Σύμβολα και Συντμήσεις

ATP: Αδενοτριφωσφορικό οξύ
ΑΣΜ: Άλιπη Σωματική Μάζα
AT: Αναερόβιο Αναπνευστικό Κατώφλι
CK: Κρεατινική Κινάση
(Γ.Ο.), La: Γαλακτικό οξύ (mmol/l)
ΔΖ δίδυμοι: Διζυγωτικοί δίδυμοι
h²: Δείκτης κληρονομησιμότητας (Hest)
HR: Καρδιακή συχνότητα (beat/min)
MZ δίδυμοι: Μονοζυγωτικοί δίδυμοι
Ma, Mw: Μέσοι όροι διασπορών μεταξύ και μέσα στα ζευγάρια αντίστοιχα
O₂ pulse, VO₂/HR: Οξυγόνο παλμού (ml/beat)
PWC 150/kg: Μέγιστη ικανότητα παραγωγής έργου ανά κιλό σωματικού βάρους σε καρδιακή συχνότητα 150 παλμών το λεπτό
r : Ενδοζευγικός (Intra - class) συντελεστής συσχέτισης
RR: Αναπνευστική Συχνότητα (br/min)
RER: Αναπνευστικό Πηλίκο
t', F', F: Κριτήρια στατιστικού ελέγχου
VO₂max : Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου
VCO₂: Αποβολή διοξειδίου του άνθρακα (l/min)
VE : Πνευμονικός αερισμός ή κατά λεπτό όγκος αναπνοής (l/min)

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η εξέταση της κληρονομησιμότητας της καρδιοαναπνευστικής αντοχής με την χρήση του μοντέλου των διδύμων προαπαιτεί τον σαφή προσδιορισμό του ζυγωτισμού και την πιστή τήρηση των υποθέσεων που το διέπουν. Η αναφορά στα δύο αυτά θέματα γίνεται στην πρώτη ενότητα. Ακολουθεί στη δεύτερη ενότητα η ανασκόπηση των ερευνών για τη κληρονομησιμότητα της πρόσληψης οξυγόνου σε μέγιστη και υπομέγιστη ένταση, αλλά και για βασικές ορίζουσες της καρδιοαναπνευστικής αντοχής.

2.1. Το μοντέλο των διδύμων

Η ύπαρξη μονοζυγωτικών και διζυγωτικών διδύμων είναι ένα ισχυρό μέσο διερεύνησης των ατομικών διαφορών σε πολυμορφικά χαρακτηριστικά. Επειδή οι μονοζυγωτικοί δίδυμοι έχουν όμοιες γενετικές καταβολές, οποιαδήποτε διαφορά στη φαινοτυπική διασπορά δεν θα έχει γενετική προέλευση και θα προέρχεται από τις διαφορετικές περιβαλλοντολογικές επιδράσεις. Αντίθετα στα διζυγωτικά δίδυμα, διαφορές στη διασπορά του φαινότυπου εξηγούνται από τις διαφορές και στους δύο παράγοντες, δηλαδή γενετικούς και περιβαλλοντολογικούς. Η ύπαρξη ή μη ενδοζευγικών διαφορών μεταξύ MZ και ΔZ διδύμων, επιτρέπει να βγουν συμπεράσματα για τη σχετική συμβολή της κληρονομικότητας και του περιβάλλοντος στη διασπορά του φαινότυπου ενός συγκεκριμένου γνωρίσματος του ατόμου. Με βάση τις διαφορές αυτές οδηγούμαστε στην εκτίμηση του κληρονομικού δείκτη (Christian 1979).

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται αρκετές εξισώσεις που ακολούθησαν την αρχική του Holzinger (Holzinger 1929, Newman et al. 1937, Falconer,

1960) και την διαφοροποίησαν (Clark, 1956) για τον υπολογισμό του κληρονομικού δείκτη. Ο δείκτης αυτός αντιπροσωπεύει το ποσοστό της φαινοτυπικής διασποράς ενός συγκεκριμένου γνωρίσματος που διαμορφώνεται από κληρονομικούς παράγοντες.

Για την χρησιμοποίηση του μοντέλου και για αποφεύγονται μεθοδολογικά λάθη, είναι απαραίτητος ο σαφής προσδιορισμός του ζυγωτισμού, καθώς και η εκπλήρωση των υποθέσεων που το διέπουν με την χρήση κατάλληλων στατιστικών μεθόδων.

Ο ζυγωτισμός μπορεί να προσδιοριστεί από τον τύπο του πλακούντα και της εμβρυϊκής μεμβράνης (χωρίο και αμνίο) και από τον έλεγχο των γενετικά καθορισμένων ομοιοτήτων και διαφορών τους. Σε ό,τι αφορά τον πρώτο προσδιορισμό, αυτός γίνεται κατά τη γέννηση (Nylander 1970, Thomson και Thomson 1980). Οι γενετικοί όμως χαρακτήρες των διδύμων, κοινοί ή μη, ελέγχονται σε όλη τη μετά τη γέννηση ζωή τους. Για την πλέον αντικειμενική προσέγγιση ερευνητικού χαρακτήρα εξετάζονται όσα περισσότερα γενετικά χαρακτηριστικά είναι δυνατόν να προσδιοριστούν. Ακόμη και μια απλή γενετική διαφορά μπορεί να μας οδηγήσει στον καθορισμό του δίδυμου ζεύγους ως διζυγωτικού. Παράγοντες οι οποίοι εξετάζονται είναι η μορφολογική κατασκευή, οι δερματογλυφές, και αιματολογικά στοιχεία (αντιγόνα ερυθροκυττάρων, σύστημα αντιγόνων HLA) (Strachan και Harris 1994). Ο προσδιορισμός του ζυγωτισμού και η κατάταξη των διδύμων σε MZ και ΔZ ποικίλλει από ερευνητή σε ερευνητή. Αναφερόμενος στην ευκολία χρήσης και άμεσης διάγνωσης της χρησιμοποίησης μορφολογικών χαρακτηριστικών (χρώμα ίριδας ματιών, χρώμα και τύπος μαλλιών, μορφολογία του λοβού των αυτιών, διαπίστωση ύπαρξης ή μη υπολειπόμενων γονιδίων και γενική

ομοιότητα μετά από σύγχρονη σύγκριση των διδύμων), ο Fairbro (1979) συστήνει τον τρόπο αυτό προσδιορισμού του ζυγωτισμού δίνοντας στην μέθοδο ποσοστό ακρίβειας 95%. Ο Burke (1989) διέγινωσε αιματολογικά τον ζυγωτισμό σε 18 ζεύγη διδύμων 9-17 ετών και τον σύγκρινε με το σχήμα του προσώπου. Πρότεινε την μορφολογική κατασκευή του προσώπου σαν μια αρκετά καλή μέθοδο επιβεβαίωσης προσδιορισμού του ζυγωτισμού. Η μέθοδος των δερματογλυφών ενώ παρέχει ένα σημαντικό βοηθητικό στοιχείο για την διάγνωση του ζυγωτισμού, εντούτοις δεν θα πρέπει να αποτελεί την μόνη μέθοδο προσδιορισμού του, ιδιαίτερα όταν αυτός αφορά γυναικείο πληθυσμό (Parisi et al. 1970, Plato et al. 1976). Ο Wilson (1980) χρησιμοποιώντας ομάδες αίματος και άλλα αιματολογικά χαρακτηριστικά υποστήριξε ότι η ακρίβεια προσδιορισμού του ζυγωτισμού είναι 98%. Εκτός από τις ποιοτικές αναφερόμενες μεθόδους προσδιορισμού του ζυγωτισμού ερευνητές χρησιμοποιούν συγκρίσεις μεταξύ μελών της ίδιας οικογένειας (Nance και Corey 1975) ή ερωτηματολόγια. Έτσι η χρήση ερωτηματολογίου θεωρείται από τον Kovar (1986) ασφαλής μέθοδος προσδιορισμού του ζυγωτισμού (95%) για ευρύ πληθυσμό και για παιδιά σχολικής ηλικίας ώστε να μην υπάρξουν απώλειες των δοκιμαζόμενων μετά από εμπλοκή τους σε εργαστηριακές διαδικασίες. Την ακρίβεια στον προσδιορισμό του ζυγωτισμού με ερωτηματολόγιο υποστηρίζει και ο Ooki και οι συνεργάτες του (1990) με υψηλά ποσοστά (91,5-93,5%), όπως επίσης και άλλοι ερευνητές (Karsiel και Eaves 1976, Kings et al. 1980).

Η εγκυρότητα του δείκτη κληρονομησιμότητας ελέγχεται από την παραδοχή τессάρων υποθέσεων (Hopper 1992, Κλεισούρας 1996): α) Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις είναι συγκρίσιμες για τα MZ και ΔZ δι-

δυμα. Η εξασφάλιση της υπόθεσης αυτής γίνεται με τον έλεγχο των παραγόντων που διαμορφώνουν το γνώρισμα, όπως είναι η ηλικία, το φύλλο, η υγεία, το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας και η κοινωνικο-οικονομική κατάσταση. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να ελεγχθούν είτε από την αρχή της έρευνας με την επιλογή του δείγματος (άτομα με παρόμοια χαρακτηριστικά) είτε είναι δυνατόν εκ των υστέρων με κατάλληλες στατιστικές μεθόδους να απομονωθούν οι μεταβλητές που επηρεάζουν το γνώρισμα. Το περιβάλλον βέβαια δεν μένει αμετάβλητο, αλλά θα πρέπει να μεταβάλλεται προς την ίδια κατεύθυνση και τον ίδιο βαθμό για όλα τα άτομα β) Δεν υπάρχει αλληλεπίδραση γονότυπου και περιβάλλοντος στην διαμόρφωση του υπό μελέτη γνωρίσματος. Σύμφωνα με την υπόθεση αυτή οι όμοιες γονοτυπικές διαφορές μπορεί να μην εκφράζονται στον ίδιο βαθμό σαν φαινοτυπικές διαφορές. Όλοι δηλαδή οι γονότυποι μπορεί να μη συμπεριφέρονται όμοια σε μια δεδομένη περιβαλλοντική κατάσταση. Η ανταπόκριση με τη προπόνηση στη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας, εξετάστηκε από τον Weber και τους συνεργάτες του (1976) σε γνησιοδύδιμους αδελφούς, τριών αναπτυξιακών ηλικιών, όπου ο ένας δίδυμος υποβλήθηκε σε αερόβια προπόνηση, ενώ ο άλλος αδερφός περιορίστηκε σε καθημερινές δραστηριότητες. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η επίδραση του γονότυπου στη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας ήταν περιορισμένη (7%). Οι ερευνητές σημείωσαν ότι η αλληλεπίδραση αυτή δεν συνεισφέρει σημαντικά στην συνολική φαινοτυπική διασπορά. Μερικές έρευνες στο Πανεπιστήμιο του Laval στον Καναδά έδειξαν ότι η ευαισθησία της αερόβιας ικανότητας στο προπονητικό ερέθισμα εξαρτάται από το γονότυπο (PrudHome et al. 1984, Hamel et al. 1986, Bouchard et al. 1999). Ο

PrudHome και οι συνεργάτες του μετά από προπόνηση 20 εβδομάδων σε 10 ζεύγη MZ διδύμων υποστήριξαν ότι η επίδραση του γονότυπου στην προσαρμοστικότητα της αερόβιας ικανότητας ήταν σημαντική. Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα του Hamel και των συνεργατών του (1986) σε έξι ζεύγη MZ διδύμων. Ωστόσο, και οι δύο παραπάνω ερευνητές δεν έλαβαν υπόψη τους την αρχική αερόβια ικανότητα των δοκιμαζόμενων, γεγονός που όπως υποστηρίζει ο Klissouras (1989) ανατρέπει τα συμπεράσματα. Επίσης, ο Bouchard και οι συνεργάτες του (1999) μετά από μελέτη σε 86 πυρηνικές οικογένειες αναφέρουν ότι η προπονησιμότητα στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου κληρονομείται κατά 47%. Στην ίδια όμως έρευνα αφήνει ασχολίαστη την μικρή συσχέτιση τόσο της αρχικής αερόβιας ικανότητας, τόσο και της ικανότητας αυτής μετά την προπόνηση για τις διάφορες ομάδες που εξετάστηκαν. Πάντως, αν υπάρξει αλληλεπίδραση γονότυπου και περιβάλλοντος, η δυνατότητα ανίχνευσης της επίδρασης των γονιδίων στο γνώρισμα θα είναι μειωμένη (Bouchard et al. 1997). γ) Δεν υπάρχει συσχέτιση του γνωρίσματος μεταξύ γονέων. Παράγοντας που μπορεί επίσης να επηρεάσει την εγκυρότητα του δείκτη κληρονομησιμότητας είναι η ειδική σχέση μεταξύ των γονέων που να οφείλεται σε επιλεκτικό γάμο (για παράδειγμα μεταξύ δύο αθλητών υψηλού επιπέδου). Είναι πάντως αμφίβολο για το αν χρησιμοποιούνται βιολογικά κριτήρια για την επιλογή συντρόφων. Για την πρόσληψη οξυγόνου η συσχέτιση του γνωρίσματος μεταξύ των γονέων είναι από 0,14 έως 0,28. (Montoye και Gayle 1978, Lesage et al. 1985, Bouchard et al. 1998). Σε μια νεότερη έρευνα η Maes και οι συνεργάτες της (1996) υποστήριξαν ότι η συσχέτιση του γνωρίσματος μεταξύ των γονέων μπορεί να επηρεάσει τη γενετική διασπορά της

καρδιοαναπνευστικής αντοχής κατά 3 έως 6%. Η αναίρεση της υπόθεσης αυτής θα οδηγήσει σε υποεκτίμηση του δείκτη κληρονομησιμότητας, αφού η ομοιότητα μεταξύ των ΔΖ διδύμων θα αυξηθεί (Neale και Cardon 1992). δ) Δεν υπάρχει συσχέτιση του γνωρίσματος μεταξύ γονοτυπικής και περιβαλλοντικής ποικιλότητας. Η υπόθεση αυτή κατά τον Κλεισούρα (1997) είναι μερικώς βάσιμη γιατί στα παιδιά που έχουν ταλέντο στον αθλητισμό δίνεται η δυνατότητα μέσω του κατάλληλου περιβάλλοντος να ασχοληθούν με αυτόν. Επίσης, όπως υποστηρίζουν ο Perusse και οι συνεργάτες του (1989) η συμμετοχή των παιδιών στην άσκηση επηρεάζεται από τους γονείς, όπως μπορεί να έχει γενετική αιτιολογία και η κλίση τους για φυσική δραστηριότητα. Όμως η διασπορά που μπορεί να εξηγηθεί από το γονότυπο είναι 29 και 12% αντίστοιχα για τους δύο παραπάνω παράγοντες.

Στην αποδοχή και τήρηση των παραπάνω υποθέσεων πρέπει να προστεθεί και ο προσεκτικός στατιστικός έλεγχος των κριτηρίων t' , F' και F σύμφωνα με τον Cristian (1979). Τα κριτήρια αυτά εξασφαλίζουν ότι ο τύπος των διδύμων δεν επηρεάζει τους μέσους όρους και την ολική διασπορά του γνωρίσματος (t' και F') καθώς και ότι υπάρχει γενετική διακύμανση (F σημαντικό), η οποία υπολογίζεται με τον κληρονομικό δείκτη.

2.2. Καρδιοαναπνευστική αντοχή

Η καρδιοαναπνευστική αντοχή αποτελεί μια σημαντική ικανότητα του ανθρώπινου οργανισμού και σχετίζεται τόσο με την ευρωστία, όσο και με την αθλητική απόδοση σε αερόβια αγωνίσματα και αθλήματα. Για το λόγο αυτό η διερεύνηση της σχετικής επίδρασης της κληρονομικότητας και του περιβάλλοντος στις παρατηρούμενες ατομικές διαφορές στην καρδιοαναπνευστική αντοχή είναι αναγκαία για την κατανόηση των παραγόντων

που διέπουν την σωματική απόδοση. Η διερεύνηση αυτή θα γίνει τόσο κατά την μέγιστη όσο και κατά την υπομέγιστη προσπάθεια.

2.2.1. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου

Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\text{VO}_{2\text{max}}$) αντιπροσωπεύει την κύρια ορίζουσα και την πιο αντικειμενική εργαστηριακή μέτρηση της αερόβιας ικανότητας. Μπορεί να οριστεί σαν το μέγιστο ποσό οξυγόνου που ο οργανισμός μπορεί να χρησιμοποιήσει κατά τη μέγιστη ή εξαντλητική άσκηση. Αν η ένταση της άσκησης συνεχιστεί πέρα από αυτό το σημείο, τότε η πρόσληψη οξυγόνου παρουσιάζει πλάτωμα ή μειώνεται ελαφρά. Η συμβολή του κληρονομικού παράγοντα στις ατομικές διαφορές της $\text{VO}_{2\text{max}}$ έχει αποτελέσει για τους ερευνητές πεδίο διαφορετικών ή και αντικρουόμενων απόψεων. Το βασικό ερώτημα αν υπάρχουν ανώτατα όρια στην πρόσληψη οξυγόνου κατά την μέγιστη προσπάθεια απάντησε πρώτος ο Κλεισούρας το 1971. Η πρώτη αυτή έρευνα αφορούσε την εξέταση της κληρονομησιμότητας της αερόβιας ικανότητας με το μοντέλο των διδύμων. Για το σκοπό αυτό μετρήθηκαν 25 ζεύγη διδύμων αγοριών (15 MZ και 10 ΔZ) προεφηβικής ηλικίας (7-13 ετών) τα οποία έτρεξαν στο δαπεδοεργόμετρο με κλιμακωτά αυξανόμενη ένταση μέχρι εξάντλησης και βρέθηκε ότι η κληρονομησιμότητα εξηγούσε σε υψηλό ποσοστό ($h^2 = 93.4\%$) την διασπορά του χαρακτηριστικού. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφερε ο ίδιος ερευνητής και οι συνεργάτες του, σε μεγάλο εύρος ηλικιών (9-52 ετών) σε δείγμα από 23 MZ και 16 ΔZ ζεύγη και των δύο φύλων υποστηρίζοντας την σημαντικότητα του γονότυπου σε όλο αυτό το φάσμα (Klissouras et al. 1973). Σε μια νεότερη μελέτη ο παραπάνω ερευνητής και οι συνεργάτες του (Klissouras et

al. 1989) σε 18 ζεύγη MZ και 16 ΔZ παιδιών 7-11 ετών και των δύο φύλων υποστήριξαν -μετά από αυστηρό στατιστικό έλεγχο των ευρημάτων σύμφωνα με τα κριτήρια που έθεσε ο Christian (Christian 1979)- ότι ο δείκτης κληρονομησιμότητας ήταν σημαντικός εξηγώντας το 59-87% της διασποράς στο γνώρισμα ανάλογα με την επιλογή της εξίσωσης που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της κληρονομησιμότητας.

Σε αρμονία με τα συμπεράσματα του Κλεισούρα είναι αυτά του Fagard και των συνεργατών του (Fagard et al. 1987) όπου αρχικά είχαν επισημάνει την σημαντικότητα της γενετικής διακύμανσης στην $\text{VO}_{2\text{max}}$, σε 12 ζευγάρια MZ και 12 ΔZ διδύμων. Το 1991 ο Fagard και οι συνεργάτες του μέτρησαν στο κυκλοεργόμετρο 29 ζευγάρια MZ και 19 ΔZ αρρένων διδύμων 18-31 ετών αναδεικνύοντας δείκτη κληρονομησιμότητας για την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου αρκετά υψηλό ($h^2 = 0,77$). Ο δείκτης αυτός παρέμεινε σε σημαντικά επίπεδα ($h^2 = 0,66$), ακόμα και μετά από την χρήση αυστηρών στατιστικών μεθόδων (κριτήρια Cristian, ανάλυση διαδρομών) για τον αποκλεισμό πιθανών παραγόντων οι οποίοι θα επιδρούσαν στο τελικό ποσοστό της διασποράς. Υποστήριξαν επίσης ότι η κληρονομησιμότητα της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ήταν ανεξάρτητη από την κινητοποίηση αναερόβιων μηχανισμών ενέργειας κατά την μέγιστη άσκηση. Την υψηλή επίδραση της κληρονομικότητας στις παρατηρούμενες διαφορές στην αερόβια ικανότητα υποστήριξαν επίσης η Maes και οι συνεργάτες της (Maes et al. 1996). Μελέτησαν 105 ζεύγη MZ και ΔZ δεκάχρονων διδύμων και των δύο φύλων καθώς και τους γονείς τους σε πολλές συνιστώσες της ευρωστίας, μεταξύ αυτών και της αερόβιας ικανότητας. Η σημαντικότητα των γενετικών και περιβαλλοντικών παραγόντων στη δια-

σπορά της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου εξετάστηκε με ανάλυση διαδρομών. Το 69% της διασποράς αυτής για τους άνδρες και το 87% για τις γυναίκες μπορεί κατά τους ερευνητές να εξηγηθεί από γενετικούς παράγοντες. Για τον Roda και τους συνεργάτες του (1998) η μισή περίπου διασπορά αποδίδεται στην επίδραση του γονότυπου ($h^2 = 0,52$), αλλά αυτό οφείλεται μάλλον όπως υποστηρίζουν και οι ίδιοι οι ερευνητές στο μικρό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε (8 ζεύγη MZ και 8 ΔZ ανδρών). Επιπρόσθετα, όλοι οι δοκιμαζόμενοι ήταν αθλητές σε ομάδες ποδοσφαίρου και καλαθοσφαίρισης. Για τον λόγο αυτό, είναι αμφίβολο αν οι περιβαλλοντικές επιδράσεις μεταβλήθηκαν προς την ίδια κατεύθυνση και τον ίδιο βαθμό για τους διδύμους, συνθήκη αναγκαία για την ισχύ του μοντέλου.

Αντικρουόμενα εμφανίστηκαν τα ευρήματα του Howald και των συνεργατών του (1976), καθώς και του Komí και των συνεργατών του (1976), σημειώνοντας παρόμοια διασπορά στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου τόσο για τους MZ όσο και για τους ΔZ διδύμους. Και οι δύο παραπάνω ερευνητές όμως δεν έλαβαν υπόψη τους τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, μια βασική προϋπόθεση του μοντέλου. Ο Komí και οι συνεργάτες του αναφέρουν χαρακτηριστικά σε μια μετέπειτα έρευνά τους με το ίδιο δείγμα (Komí et al. 1977) ότι δεν υπήρξε τέτοιου είδους έλεγχος στα 14 ζεύγη μονοζυγωτικών και 16 διζυγωτικών διδύμων που εξετάστηκαν. Ο Howald παρόμοια, όταν απέκλεισε από τα 11 ζεύγη μονοζυγωτικών και 6 διζυγωτικών διδύμων αυτά που είχαν εκτεθεί σε αντίθετες επιδράσεις περιβάλλοντος, ανέφερε σημαντικό δείκτη για την αερόβια ικανότητα ($h^2 = 0,68$).

Ο Bouchard και οι συνεργάτες του (1986) μετά από μελέτη σε 106 ζεύγη MZ και 66 ΔZ διδύμων και των δύο φύλων 16-34 ετών συμπέραναν ότι ο

κληρονομικός δείκτης ήταν πολύ μικρότερος από αυτόν που είχε αναφερθεί σε προηγούμενες έρευνες ($h^2 < 0,25$). Για την υποστήριξη των ευρημάτων τους χρησιμοποίησαν τόσο τις δύο παραπάνω μελέτες όσο και έρευνες σε οικογένειες (Montoye και Gayle 1978, Lortie et al. 1982, Lesage et al. 1985). Οι Montoye και Goyle (1978) αναφέρουν μη σημαντική συσχέτιση για την VO_{2max} σε 70 ζεύγη από αδέρφια σημειώνοντας όμως αδυναμία διαχωρισμού της συμβολής των γενετικών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Παρόμοια ευρήματα ανέφεραν και ο Lortie και οι συνεργάτες του (1982) σε 607 άτομα από 160 οικογένειες. Ενώ υποστήριζαν ότι υπάρχει γενετική επίδραση στη διαμόρφωση της VO_{2max} , εντούτοις είναι σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά που αναφέρουν έρευνες με διδύμους. Ο Lesage και οι συνεργάτες του (1985) μετά από έρευνα σε 38 οικογένειες συμπέραναν ότι λιγότερο από 40% της φαινοτυπικής διασποράς της VO_{2max} αποδίδεται στην επίδραση κληρονομικών παραγόντων. Σε μια πιο πρόσφατη έρευνά τους που αφορούσε 86 πυρηνικές οικογένειες, ο Bouchard και οι συνεργάτες του (1998) αναφέρουν μέγιστο βαθμό κληρονομησιμότητας της VO_{2max} 51-59% σημειώνοντας πως γενετικοί και μη γενετικοί παράγοντες συμμετέχουν στην διαμόρφωση του γνωρίσματος αυτού. Υποστήριζαν πως η έρευνά τους αντιπροσώπευε σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό τον πληθυσμό σε σύγκριση με έρευνες σε διδύμους.

Οι Engstrom και Fischbein (1977) μετρώντας άνδρες διδύμους (39 ζεύγη MZ και 55 ΔZ) 18-19 ετών, χρησιμοποίησαν το μέγιστο έργο που επιτεύχθηκε στο κυκλοεργόμετρο για έξι λεπτά (PWC_{max}/kg) σαν δείκτη ικανότητας παραγωγής έργου. Ανέφεραν διπλάσια ενδοζευγική διασπορά για τους ΔZ διδύμους από ότι για τους MZ. Η διασπορά όμως αυτή ήταν πα-

ρόμοια όταν απομόνωσαν τον παράγοντα φυσική δραστηριότητα.

Υπάρχουν τέλος ενδείξεις ότι η γενετική επήρεια στην φαινοτυπική διασπορά της VO_{2max} είναι αποτέλεσμα συγκεκριμένων ενζύμων και γονιδίων. Ο Ronikier και οι συνεργάτες του (1992) μελέτησαν σε 21 ζεύγη MZ και 25 ΔZ διδύμων και των δύο φύλων την κρεατινική κινάση (CK), ένα ένζυμο που καταλύει την ανασύνθεση του αδενοτριφωσφορικού οξέος (ATP) αναφέροντας υψηλό δείκτη κληρονομησιμότητας ($h^2 = 0,68$). Ο Rodas και οι συνεργάτες του (1997) διαπίστωσαν σημαντική σχέση μεταξύ μέγιστης πρόσληψης και της παρουσίας δύο αντιγόνων του συστήματος HLA, του A2 και A11 σε 8 ζευγάρια MZ και 8 ΔZ διδύμων. Ο Rivera και οι συνεργάτες του (1997) μελέτησαν σε 80 πυρηνικές οικογένειες τον πολυμορφισμό του DNA ενός συγκεκριμένου γονιδίου της CK (CKMM) και της VO_{2max} αναφέροντας σημαντική σχέση για τους γονείς αλλά όχι για τα παιδιά. Συμπέραναν ότι η δραστηριότητα του γονιδίου της CK παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των μέγιστων ορίων στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Παρόλα αυτά σε μια επόμενη έρευνά τους (Rivera et al. 1999) δεν δείχνουν κάτι ανάλογο, υποθέτοντας ότι και άλλα γονίδια μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της VO_{2max} ή να αλληλεπιδρούν με το εξεταζόμενο γονίδιο διαφοροποιώντας την ικανότητα της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Αν και τα δεδομένα αυτά αποτελούν μια πρώτη προσέγγιση σε επίπεδο γονιδίων και ανοίγουν νέους ορίζοντες για την μελέτη της καρδιοαναπνευστικής αντοχής, εντούτοις η χρήση του μοντέλου των διδύμων για την εξέταση της επίδρασης του γονότυπου στη φαινοτυπική διασπορά συνεχίζει να είναι μια σημαντική μέθοδος για την αθλητική επιστήμη.

2.2.2. Μέγιστη καρδιακή συχνότητα

Οι ερευνητές έχουν διαφορετικές απόψεις για το βαθμό που η μέγιστη καρδιακή συχνότητα, μια σημαντική συνιστώσα του συστήματος μεταφοράς οξυγόνου, δέχεται γενετικές επιδράσεις (Klissouras 1971, Lesage et al. 1985, Bouchard et al. 1986, Klissouras 1989, Fagard et al. 1991). Ο Κλεισούρας (1971) ανέδειξε υψηλή τιμή του κληρονομικού δείκτη για την μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($h^2=0,86$) στα 25 ζεύγη διδύμων αγοριών (15 MZ και 10 ΔZ) προεφηβικής ηλικίας (7-13 ετών) όταν τα εξέτασε σε δαπεδοεργόμετρο με προοδευτικά αυξανόμενο φορτίο μέχρι εξάντλησης. Ο Bouchard και οι συνεργάτες του (1986) μέτρησαν τον καρδιακό παλμό κατά την μέγιστη προσπάθεια στο κυκλοεργόμετρο, σε ενήλικες και των δύο φύλων (106 MZ και 66 ΔZ διδυμοί 16-34 ετών) υποστηρίζοντας ότι ο κληρονομικός δείκτης ήταν $h^2=0,53$ και 0,58 για τις εξισώσεις των Newman και Falconer αντίστοιχα. Όταν όμως οι ερευνητές χρησιμοποίησαν την εξίσωση του Clark ο δείκτης αυτός έφτασε μόλις το 19%. Κατέληξαν στο ότι η γενετική επίδραση στην φαινοτυπική διασπορά της μέγιστης καρδιακής συχνότητας είναι σημαντική και κυμαίνεται μεταξύ 50 και 55%.

Σε μια νεότερη έρευνα του Κλεισούρα και των συνεργατών του (1989) σε 18 ζεύγη MZ και 16 ΔZ διδύμων παιδιών και των δύο φύλων 7-11 ετών ο κληρονομικός δείκτης βρέθηκε να είναι υψηλός ($h^2=0,91$, 0,77 και 0,62 για τις εξισώσεις των Clark, Newman και Falconer αντίστοιχα). Οι ερευνητές συμπέραναν ότι η μέγιστη καρδιακή συχνότητα είναι υπό γενετικό έλεγχο. Ο Fagard και οι συνεργάτες του (1991), ερεύνησαν την κληρονομησιμότητα της καρδιακής συχνότητας κατά την μέγιστη άσκηση στο κυκλοεργόμετρο, σε ενήλικες διδύμους (29 ζεύγη MZ και 19 ΔZ 18-31 ετών)

υποστηρίζοντας χαμηλότερη επίδραση του γονότυπου ($h^2 = 0.58$ με ανάλυση διαδρομών και 0.56 και 0.45 για τις εξισώσεις των Clark και Newman αντίστοιχα) με το περιβάλλον να έχει πιο μικρή ($e^2 = 0.26$) αλλά σημαντική συμβολή στην φαινοτυπική διασπορά. Σε μια μελέτη σε 38 πυρηνικές οικογένειες ο Lesage και οι συνεργάτες του (1985) υποστήριξαν ότι υπάρχει σημαντική γενετική επίδραση στην μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($F=2.71$, $p<0.01$) αλλά είναι σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά που αναφέρθηκαν από την έρευνα του Κλεισούρα το 1971. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μια έρευνα του Van den Bree και των συνεργατών του (1996) σε ένα ευρύ δείγμα (148 MZ και 111 ΔZ ζεύγη), 11χρονων διδύμων και των δύο φύλων. Εξέτασαν το μέγεθος της συμβολής της γενετικής και περιβαλλοντικής διασποράς στην ολική διασπορά της καρδιακής συχνότητας σε τέσσερα αυξανόμενα προοδευτικά στάδια κυκλοεργομέτρησης. Διαπίστωσαν ότι οι αλλαγές στην διασπορά του φαινότυπου εξηγούνται σε μεγάλο βαθμό από τις αντίστοιχες του γονότυπου παράλληλα με την αύξηση της επιβάρυνσης μέχρι φυσικής ή πνευματικής εξάντλησης.

2.2.3. Μέγιστο οξυγόνο παλμού

Το οξυγόνο παλμού (VO_2/HR) αντιπροσωπεύει το ποσοστό του οξυγόνου που μπορεί να μεταφερθεί από την καρδιά ανά παλμό. Είναι το γινόμενο του όγκου παλμού και της αρτηριοφλεβικής διαφοράς του οξυγόνου και αποτελεί μια σημαντική παράμετρο του συστήματος μεταφοράς του.

Ο Κλεισούρας και οι συνεργάτες του (Klissouras et al. 1973), εξέτασαν στο δαπεδοεργόμετρο 23 ζεύγη MZ και 16 ΔZ διδύμων τα οποία κάλυπταν ένα ευρύ ηλικιακό φάσμα (9-52 ετών) και υποστήριξαν ότι η επίδραση του γονότυπου στο παρεχόμενο οξυγόνο

ανά καρδιακό παλμό κατά τη μέγιστη προσπάθεια είναι ασήμαντη. Διατύπωσαν την άποψη ότι το οξυγόνο παλμού αποτελεί μη αποφασιστικό παράγοντα για τις ενδοζευγικές διαφορές που παρατηρούνται στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Για τον Bouchard και τους συνεργάτες του (1986), το μέγιστο οξυγόνο παλμού ελέγχεται σημαντικά από τον γονότυπο. Μετά από μελέτη σε 106 ζεύγη MZ και 66 ΔZ δίδυμων 16-34 ετών και των δύο φύλων, υποστήριξαν ότι ο κληρονομικός δείκτης ήταν 0.48, 0.63 και 0.72 με την χρήση των εξισώσεων των Clark, Newman και Falkoner αντίστοιχα. Οι ερευνητές εκτίμησαν ότι το ποσοστό μπορεί να φτάνει το 60%, χωρίς το βάρος και το ύψος να διαφοροποιούν σημαντικά τα αποτελέσματα. Ο Κλεισούρας και οι συνεργάτες του (1989) μελέτησαν 18 ζεύγη MZ και 16 ΔZ διδύμων 7-11 ετών και των δύο φύλων και ανέφεραν υψηλές τιμές του κληρονομικού δείκτη ($h^2 = 0.88$ για την εξίσωση του Clark και 0.90 και 0.77 για τις εξισώσεις των Newman και Falkoner αντίστοιχα). Ο Fagard και οι συνεργάτες του (1991) ερεύνησαν το οξυγόνο παλμού κατά τη μέγιστη προσπάθεια στο κυκλοεργόμετρο σε 29 ζεύγη MZ και 19 ΔZ διδύμων 18-31 ετών και μετά από την απομόνωση της επίδρασης του βάρους, των δερματοπτυχών και της φυσικής δραστηριότητας κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο γονότυπος μπορεί να εξηγήσει το 59, 62 και 69% της φαινοτυπικής διασποράς χρησιμοποιώντας ανάλυση διαδρομών, την εξίσωση του Clark και την εξίσωση του Newman αντίστοιχα.

2.2.4. Άλλες καρδιοαναπνευστικές παράμετροι

Οι ενδοατομικές διαφορές που παρατηρούνται στον κατά λεπτό όγκο αέρα κατά τη μέγιστη άσκηση οφείλονται σε μεγάλο βαθμό σε διαφορές

που υπάρχουν στο γονότυπο (Bouchard et al. 1986, Klissouras et al. 1989). Ο Klissouras και οι συνεργάτες του (Klissouras et al. 1973) ενώ αρχικά δεν ανέδειξαν την σημαντική επίδραση του γονότυπου στη διασπορά του πνευμονικού αερισμού κατά τη μέγιστη προσπάθεια στο δαπεδοεργόμετρο σε δείγμα με ευρύ ηλικιακό φάσμα (9-52 ετών), αργότερα όταν το δείγμα είχε μεγαλύτερη ηλικιακή ομοιογένεια (18 ζεύγη MZ και 16 ΔZ διδύμων 7-11 ετών) αναφέρουν υψηλή τιμή του κληρονομικού δείκτη που φτάνει σύμφωνα με την εξίσωση του Clark το 74% και το 73 και 92% με την χρήση των εξισώσεων των Newman και Falkoner αντίστοιχα (Klissouras et al. 1989). Ο Bouchard και οι συνεργάτες του (1986) είχαν σημειώσει νωρίτερα εξετάζοντας στο κυκλοεργόμετρο 106 MZ και 66 ΔZ διδύμους και των δύο φύλων 16-34 ετών, ότι η παρατηρούμενη διασπορά στο μέγιστο πνευμονικό αερισμό έχει γενετική επιρροή, η οποία εξηγεί πάνω από το 50% και ίσως να φτάνει 60% της διασποράς αυτής.

Το αναπνευστικό πηλίκο (RER) αντίθετα, δεν δέχεται έντονες γενετικές επιδράσεις (Fagard et al. 1987, Fagard et al. 1991). Σε μια έρευνα του Fagard και των συνεργατών του (1987) σε 12 ζεύγη MZ και 12 ΔZ διδύμων 18-31 ετών, δεν παρουσιάστηκε σημαντική γενετική διασπορά για το πηλίκο του αποβαλλόμενου CO₂ προς το προσλαμβανόμενο O₂ (F=2,09, NS). Σε μια επόμενη τους έρευνα σε 29 ζεύγη MZ και 19 ΔZ διδύμων ανδρών 18-31 ετών ο Fagard και οι συνεργάτες του (1991) ενίσχυσαν την άποψη ότι οι ατομικές διαφορές στο RER δεν επηρεάζονται από το γονότυπο. Η ανάλυση διαδρομών απέδωσε το 6% της φαινοτυπικής διασποράς σε γενετικές επιδράσεις, ενώ η εξίσωση του Clark το 5%, και η εξίσωση του Newman το 25%.

Οι έρευνες που μελέτησαν την

κληρονομικότητα για το αναπνευστικό ισοδύναμο του οξυγόνου έδειξαν ότι δεν επηρεάζεται από το γονότυπο (Klissouras et al. 1973, Fagard et al. 1987, Fagard et al. 1991). Ο Klissouras και οι συνεργάτες του (1973), υποστήριξαν ότι η γενετική διασπορά ήταν ασήμαντη (F=0,64, NS) και ο ενδοζευγικός συντελεστής συσχέτισης ήταν παρόμοιος (r=0,60 και 0,61) στα 23 ζεύγη MZ και ΔZ διδύμων 9-52 ετών και των δύο φύλων που μελέτησαν. Σε αρμονία με τα συμπεράσματα του Klissouras και των συνεργατών του είναι τα ευρήματα του Fagard και των συνεργατών του (1987). Η ενδοζευγική διασπορά στα 12 ζεύγη MZ και 12 ΔZ διδύμων αδελφών για το αναπνευστικό ισοδύναμο του οξυγόνου ήταν παρόμοια και επομένως δεν εξετάστηκε η σημαντικότητα της γενετικής διασποράς. Όμοια αποτελέσματα αναφέρουν οι ερευνητές σε μια επόμενη μελέτη τους (Fagard et al. 1991) σε μεγαλύτερο δείγμα (29 ζεύγη MZ και 19 ΔZ ανδρών 18 έως 31 ετών). Η φαινοτυπική διασπορά στο αναπνευστικό ισοδύναμο του οξυγόνου οφειλόταν σύμφωνα με την ανάλυση διαδρομών αποκλειστικά σε κοινούς και μη κοινούς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Υπάρχει πάντως ένδειξη ότι η διασπορά στο αναπνευστικό ισοδύναμο του οξυγόνου μπορεί να διαμορφώνεται και από γενετικούς παράγοντες. Σε μια έρευνα του Roda και των συνεργατών του (1998), συμμετείχαν 8 ζεύγη MZ και 8 ΔZ ανδρών σε υπομέγιστη δοκιμασία τεσσάρων σταδίων στο δαπεδοεργόμετρο με προοδευτικά αυξανόμενη ένταση στο κάθε στάδιο. Ενώ στα δύο πρώτα στάδια ο κληρονομικός δείκτης δεν ήταν σημαντικός αλλά είχε ανοδική τάση καθώς η ένταση της άσκησης αυξανόταν, στα δύο τελευταία στάδια ήταν στατιστικά σημαντικός και μάλιστα στο τέταρτο στάδιο υψηλότερος από το τρίτο. Χρειάζεται επιπλέον

έρευνα για την κληρονομησιμότητα του αναπνευστικού ισοδύναμου του οξυγόνου προκειμένου να διευκρινιστεί η συμβολή του γονότυπου και του περιβάλλοντος στη διαμόρφωσή του.

2.2.5. Αερόβια ικανότητα σε υπομέγιστη ένταση

Η αερόβια ικανότητα σε υπομέγιστη ένταση μετράται με την πρόσληψη οξυγόνου ή την παραγωγή έργου, σε σχέση με την παραγωγή γαλακτικού οξέος, με την τιμή του αναπνευστικού πηλίκου ή με συγκεκριμένης καρδιακής συχνότητας (150 παλμούς το λεπτό).

Ο Bouchard και οι συνεργάτες του (1984) μελέτησαν υιοθετημένα και βιολογικών δεσμών αδέρφια (δίδυμα και μη) 9-26 ετών συμπεραίνοντας ότι η διασπορά στην ικανότητα για υπομέγιστο έργο (σε καρδιακή συχνότητα 150 παλμών) είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενη από τον γονότυπο. Παρόλα αυτά, τα συμπεράσματα αυτά δεν επιβεβαιώθηκαν όταν στην ανάλυση συμπεριλήφθηκαν και οι γονείς (Perusse et al. 1987). Στην έρευνα αυτή ο Perusse και οι συνεργάτες του (1987) εξετάζοντας 1630 άτομα από 375 οικογένειες υποστήριξαν ότι η διασπορά στην υπομέγιστη παραγωγή έργου ($PWC_{150/kg}$) εξηγείται σχεδόν αποκλειστικά από μη βιολογικούς παράγοντες.

Ο Κλεισούρας και οι συνεργάτες του (1989) ανέδειξαν σημαντικότητα του γονότυπου για το αναερόβιο γαλακτικό κατώφλι. Ο δείκτης κληρονομησιμότητας για τα 18 ζεύγη MZ και 16 ΔΖ διδύμων 7-11 ετών που μελετήθηκαν ήταν 0.70, 0.59 και 0.75 όταν χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχες εξισώσεις των Clark, Newman και Falconer.

Ο Fagard και οι συνεργάτες του (1991) μελέτησαν μεταξύ άλλων και την κληρονομησιμότητα στην υπομέ-

γιστη αερόβια ικανότητα εκφρασμένη σαν παραγωγή έργου και ικανότητας πρόσληψης οξυγόνου, όταν η καρδιακή συχνότητα είναι 150 παλμοί το λεπτό και το αναπνευστικό πηλίκο 0.95 σε 29 ζεύγη MZ και 19 ΔΖ διδύμων 18-31 ετών. Επίσης, την αλλαγή κλίσης της γραμμής παραγωγής διοξειδίου σε σχέση με την πρόσληψη οξυγόνου. Διαπιστώθηκε η σημαντικότητα του δείκτη κληρονομησιμότητας σε όλες τις παραμέτρους ($h^2 = 0.43-0.74$). Με τον συνυπολογισμό των παραμέτρων βάρους, δερματοπτυχές και φυσική δραστηριότητα, η σημαντικότητα παρέμεινε υψηλή εκτός από την πρόσληψη οξυγόνου σε καρδιακή συχνότητα 150 παλμών το λεπτό η οποία κυμάνθηκε σε μη σημαντικά επίπεδα ($h^2 = 0.16$). Οι ερευνητές συμπέραναν ότι αν και γενετικοί παράγοντες συμβάλλουν σημαντικά στην ενδοατομική μεταβλητότητα της υπομέγιστης αερόβιας ικανότητας, παρόλα αυτά η συμβολή τους είναι μικρότερη σε σύγκριση με αυτήν στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.

2.3. Μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα

Η αναερόβια γαλακτική ικανότητα χαρακτηρίζεται από την παραγωγή μυϊκής ενέργειας χωρίς την παρουσία οξυγόνου. Το προϊόν της αποδόμησης του γλυκογόνου όταν το οξυγόνο δεν επαρκεί για την εκπλήρωση μια συγκεκριμένης προσπάθειας, είναι το γαλακτικό οξύ. Η μέτρηση της συγκέντρωσής του στο αίμα λίγα λεπτά μετά την διακοπή της άσκησης αντικαθιστά την αναερόβια γαλακτική ικανότητα.

Όπως προαναφέρθηκε, το 1971 πραγματοποιήθηκε η πρώτη έρευνα που εξέταζε την κληρονομησιμότητα της αερόβιας ικανότητας (Klissouras 1971). Στην ίδια έρευνα εξετάστηκε και η αναερόβια γαλακτική ικανότητα στα 13 ζεύγη MZ και 9 ΔΖ διδύμων 7-13 ετών, τα οποία έτρεξαν στο δαπε-

δοεργόμετρο μέχρι εξάντλησης. Ο κληρονομικός δείκτης ήταν υψηλός ($h^2=0.81$) με αντίστοιχους ενδοζευγικούς συντελεστές συσχέτισης 0,93 και 0,76 για τα MZ και ΔZ αδέλφια. Ο ίδιος ερευνητής και οι συνεργάτες του (Klissouras et al.1989) επιβεβαίωσαν αργότερα την σημαντική επίδραση του γονότυπου στις παρατηρούμενες ατομικές διαφορές της αναερόβιας γαλακτικής ικανότητας. Εξετάστηκαν 18 ζεύγη MZ και 16 ΔZ διδύμων 7-11 ετών και ο κληρονομικός δείκτης που αναδείχθηκε ήταν 0.74, 0.71 και 0.99 όταν χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχες εξισώσεις των Clark, Newman και Falconer.

Ο Rodas και οι συνεργάτες του

(1998) ανέδειξαν μετά από μελέτη σε 8 ζεύγη MZ και 8 ΔZ ανδρών, σημαντικότητα του δείκτη κληρονομησιμότητας ($h^2 = 0,75$) τρία λεπτά μετά τον τερματισμό της άσκησης ενώ δεν υπήρχε αντίστοιχη σημαντικότητα στην φάση της μέγιστης άσκησης. Υποστήριξε ότι η κληρονομησιμότητα στον αναερόβιο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας στη μέγιστη προσπάθεια ήταν πολύ σημαντική, ίσως περισσότερο και από την αερόβια.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια σύνοψη των μελετών που αφορούν την κληρονομησιμότητα της μέγιστης αερόβιας ικανότητας και των μελετούμενων χαρακτηριστικών της.

Πίνακας 2-1. Δείκτης κληρονομησιμότητας για την πρόσληψη οξυγόνου (VO_2), την καρδιακή συχνότητα (HR), το οξυγόνο παλμού (O_2 pulse), τον πνευμονικό αερισμό (VE), και την συγκέντρωση γαλακτικού οξέος ([La]) κατά την μέγιστη προσπάθεια καθώς και για την πρόσληψη οξυγόνου σε υπομέγιστη προσπάθεια ($VO_{2submax}$). Οι έρευνες αναφέρονται σε διδύμους και οικογένειες.

ΜΕΛΕΤΗ	ΔΟΚΙΜΑΖΟΜΕΝΟΙ			ΚΛΗΡΟΝΟΜΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ (Δείκτης h ²)					
ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΕ ΔΙΔΥΜΟΥΣ									
	Δείγμα	Ηλικία	Φύλο	VO ₂	HR	O ₂ pulse	VE	[La]	VO ₂ submax
Klissouras 1971	15 MZ, 10 ΔZ	7-13	A	93,4 (**)	86 (**)	-	-	81,4 (*)	-
Klissouras et al. 1973	23 MZ, 16 ΔZ	9-52	Γ+A	(#)	NS	NS	NS	-	-
Howald et al. 1976	11 MZ, 6 ΔZ	19	?	NS	NS	NS	-	-	-
Komi et al. 1976	14 MZ, 16 ΔZ	15-24	Γ+A	NS	-	-	-	-	-
Bouchard et al. 1986	53 MZ, 33 ΔZ	16-34	Γ+A	<25 NS	53-58 (**)	49-55 (*)	50-60 (**)	-	-
Fagard et al. 1987	12 MZ, 12 ΔZ	18-31	A	(*)	-	-	-	-	-
Klissouras et al. 1989	18 MZ, 16 ΔZ	7-11	Γ+A	74-87 (**)	91 (#)	88 (*)	74 (*)	74 (*)	59-75 (*)
Fagard et al. 1991	19 MZ, 29 ΔZ	18-31	A	66-74 (#)	58-60 (#)	59-69 (#)	-	-	57 (#)
Maes et al. 1996	43 MZ, 61 ΔZ 97 Μητ. 84 Πατ.	10 ? ?	Γ+A	77 (*)	-	-	-	-	-
Van den Bree et al. 1996	259 Ζεύγη	11	Γ+A	-	(*)	-	-	-	-
Rodas et al. 1998	8 MZ, 8 ΔZ	19-23	A	NS	-	-	-	75 (*)	-
ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΕ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ									
Montoye και Gayle 1978	1066 A 119 Γ	10-69	Γ+A	NS	-	-	-	-	-
Lortie et al. 1982	607	9-52	Γ+A	35-40	-	-	-	-	-
Lesage et al. 1985	137	13-51	Γ+A	<40 NS	~	-	-	~	-
Bouchard et al. 1998	429	16-65	Γ+A	NS	-	-	-	-	-

(*) $p < 0.05$, (**) $p < 0.01$, (#) $p < 0.001$, (NS) μη σημαντικότητα, (~) μέτρια σημαντικότητα, (-) δεν μελετήθηκε, (A) άνδρες, (Γ) γυναίκες, (MZ) μονοζυγωτικοί δίδυμοι, (ΔZ) διζυγωτικοί δίδυμοι.

3. ΜΕΘΟΔΟΣ

3.1. Δοκιμαζόμενοι

Στην έρευνα συμμετείχαν 10 ζεύγη ΜΖ και 10 ΔΖ αρένων διδύμων ηλικίας 18-25 ετών. Οι δοκιμαζόμενοι προέρχονταν από την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών και ανταποκρίθηκαν σε πρόσκληση που τους έγινε από το Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, για συμμετοχή στην έρευνα. Δεν συμμετείχαν σε καμία προπονητική επιβάρυνση κατά την περίοδο των μετρήσεων.

3.2. Μετρήσεις και όργανα

3.2.1. Διαδικασία – Σχεδιασμός.

Πριν από την προσέλευση του κάθε ζευγαριού στο εργαστήριο Εργοφυσιολογίας έγινε ενημέρωση για τη διαδικασία σωματομέτρησης και εργοσπιρομέτρησης, καθώς και για τους σκοπούς των μετρήσεων αυτών. Επίσης, οι δοκιμαζόμενοι ερωτήθηκαν σχετικά με τις καθημερινές τους δραστηριότητες και την πιθανή ενασχόλησή τους με τον αθλητισμό. Αν οι δραστηριότητες των αδελφών δεν ήταν προς την ίδια κατεύθυνση και τον ίδιο περίπου βαθμό το ζευγάρι αποκλειόταν από την έρευνα. Έπειτα ζητούνταν η έγγραφη συναίνεση των δοκιμαζόμενων σύμφωνα με τις υποδείξεις του Αμερικάνικου Κολεγίου Αθλητιατρικής (1991). Επιπλέον δόθηκαν οδηγίες στα αδέλφια ώστε να πληρούν τις προϋποθέσεις εργομέτρησης: α) αποχή από έντονη φυσική δραστηριότητα την προηγούμενη ημέρα της εργομέτρησης β) το διαιτολόγιο να διατηρηθεί σχετικά αμετάβλητο μέχρι την προηγούμενη ημέρα και την ημέρα της εργομέτρησης να έχει παρέλθει τουλάχιστον μία ώρα από ελαφρύ γεύμα αποτελούμενο από υδατάνθρακες γ) την αποφυγή διεγερτικών όπως καφέ ή τσάι, μία ώρα πριν την εργομέτρηση δ) να φέρει αθλητική ενδυμασία η οποία δεν θα του

δυσκολεύει την κίνηση ή την θερμορύθμισή του.

Την ημέρα που το ζευγάρι προσήλθε στο εργαστήριο, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος του ζυγωτισμού. Αρχικά δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο προσωπικής εκτίμησης του ζυγωτισμού, στο οποίο ο κάθε δίδυμος απαντούσε ξεχωριστά.

Έπειτα έγινε (μετά από την συγκατάθεση των δοκιμαζόμενων) έγχρωμη φωτογράφιση του προσώπου του κάθε διδύμου ώστε να είναι δυνατή η προσεκτική επανεκτίμηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών του προσώπου – όπου αυτό χρειάστηκε – και οι παρατηρήσεις καταγράφηκαν από τον εξεταστή στα στοιχεία προς αξιολόγηση.

Ακολούθησε η εκτίμηση του ζυγωτισμού των διδύμων και της κατηγοριοποίησης τους σε μονοζυγωτικούς (ΜΖ) και διζυγωτικούς (ΔΖ) βασιζόμενοι σε ταυτοποίηση ή διαφοροποίηση στο ερωτηματολόγιο και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά. Όσοι δίδυμοι χαρακτηρίστηκαν ΔΖ με βάση τις διαφορές κατατάσσονταν σ' αυτή την κατηγορία. Αντίθετα για τα δίδυμα ζευγάρια που χαρακτηρίστηκαν ΜΖ λόγω ταυτοποίησης γενετικών χαρακτηρισμών πραγματοποιήθηκε αποτύπωση της δερματογλυφής του δεξιού δείκτη.

Μετά από την πρώτη εκτίμηση πραγματοποιήθηκαν οι ανθρωπομετρήσεις και έπειτα ακολούθησε η δαπεδοεργομέτρηση.

Πέντε λεπτά μετά το τέλος της έγινε λήψη αίματος (10 ml) από τη ρώγα του αριστερού παράμεσου για την ανάλυση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος.

Οι συνθήκες του εργαστηρίου ήταν σταθερές (θερμοκρασία 18-22 βαθμοί, σχετική υγρασία 30-60%), υπήρχε αερισμός και δεν επιτράπηκε η ύπαρξη παρατηρητών στο χώρο, οι οποίοι θα μπορούσαν να αλλοιώσουν την σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα. Χρη-

σιμοποιήθηκε επίσης ανεμιστήρας για την ευκολότερη εξάτμιση του ιδρώτα του δοκιμαζόμενου κατά την διαδικασία της εργομέτρησης.

3.2.2. Προσδιορισμός ζυγωτισμού.

Ο ζυγωτισμός των διδύμων ελέγχθηκε α) με ερωτηματολόγιο, β) με σύγκριση των μορφολογικών χαρακτηριστικών γ) με τη διαπίστωση της ύπαρξης ή μη υπολειπόμενων γονιδίων στα αδέλφια δ) με δερματογλυφές και ε) με κατηγοριοποίηση και ταυτοποίηση του τύπου των διδύμων με αιματολογικές εξετάσεις από προηγούμενες μελέτες στο εργαστήριο (για τα MZ αδέλφια).

Το ερωτηματολόγιο που δόθηκε ήταν βασισμένο στις ερωτήσεις που ανέφεραν οι προηγούμενες έρευνες (Kasriel & Eaves 1976, Ooki et al. 1990) και έχει ελεγχθεί για την εγκυρότητά του στον Ελληνικό πληθυσμό από προηγούμενες μελέτες του Εργαστηρίου Εργοφυσιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (Μαριδάκη 1998).

Τα μορφολογικά γνωρίσματα αναφέρονται στο χρώμα και τύπο των μαλλιών (φυσικά), στο χρώμα ματιών, στο σχήμα και τη θέση του λοβού του αυτιού, στο σχήμα του προσώπου και στη γενική ομοιότητα (μετά από φωτογράφιση). Ο καθορισμός του χρώματος των μαλλιών έγινε από ένα δείγμα - χρωματολόγιο με αποχρώσεις οκτώ διαφορετικών τόνων. Η συνάφεια προς τον πλησιέστερο χρωματικό τόνο σημειωνόταν στον προσωπικό φάκελο του δοκιμαζόμενου. Ο προσδιορισμός του χρώματος των ματιών έγινε από δείγμα - χρωματολόγιο που περιλάμβανε δύο αποχρώσεις του πράσινου, δύο αποχρώσεις του μπλε, καφέ και μαύρο χρώμα. Διαφοροποιήσεις ακόμα και σε ένα από τα μορφολογικά στοιχεία οδηγούσε σε κατηγοριοποίηση του ζευγαριού ως ΔΖ.

Η ύπαρξη υπολειπόμενου γονιδίου ελέγχθηκε με την δυνατότητα για σχη-

ματισμό κυλίνδρου με τη γλώσσα. Σύμφωνα με τον Fairbro η ύπαρξη υπολειπόμενου γονιδίου οφείλεται σε κληρονομική ιδιαιτερότητα (Fairbro 1979). Διασταύρωση της εγκυρότητας του προσδιορισμού των ζευγαριών έγινε μετά την ολοκλήρωση και της παραπάνω δοκιμασίας με την δήλωση των διδύμων ή των γονέων τους σχετικά με την ύπαρξη τυποποίησης των αδελφών σε MZ και ΔΖ κατά την γέννηση από τον έλεγχο του πλακούντα. Την δήλωση αυτή είχαν κάνει τα αδέλφια ή οι γονείς τους στη διάρκεια της πρώτης συνάντησης.

Πρόσθετος έλεγχος της εγκυρότητας των προηγούμενων μεθόδων που ακολουθήθηκαν ήταν η επανεξέταση των αντιγόνων των ερυθροκυττάρων για τα χαρακτηρισμένα από τις παραπάνω μεθόδους MZ αδέλφια. Η εξέταση αυτή είχε πραγματοποιηθεί από προηγούμενες μελέτες του εργαστηρίου Εργοφυσιολογίας. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν τον αρχικό προσδιορισμό τους ως MZ. Τα αντιγόνα των ερυθροκυττάρων που είχαν εξεταστεί ήταν:

Αντιγόνα ερυθροκυττάρων: σύστημα ABO, σύστημα MNSs (M, N, S, s) σύστημα P (P), σύστημα Rh (D,C,E,c,e), σύστημα Kell (K,k), σύστημα Duffy (Fy^a,Fy^b), σύστημα Kidd (Jk^a,Jk^b), σύστημα Lewis (Le^a,Le^b) και σύστημα Lutheran (Lu^a,Lu^b). Η εξακρίβωση των αντιγόνων έγινε με τα αντίστοιχα αντισώματα ορού (αντί-A, αντί-B, αντί-AB, αντί-M, αντί-N, αντί-S, αντί-s, αντί-P, αντί-D, αντί-C, αντί-E, αντί-c, αντί-e, αντί-K, αντί-k, αντί-Fy^a, αντί-Fy^b, αντί-Jk^b, αντί-Jk^b, αντί-Le^a, αντί-Le^b, αντί-Lu^a και αντί-Lu^b).

3.2.3. Ανθρωπομετρήσεις

Πριν από την έναρξη της εργοσπιρομέτρησης εξετάστηκαν οι παρακάτω ανθρωπομετρικές παράμετροι:

Σωματικό βάρος. Η μέτρηση έγινε

με ζυγαριά εργαστηρίου (Bilance Salus Milano) ακρίβειας 100 gr, με ελάχιστη ενδυμασία και χωρίς παπούτσια. Στην παραπάνω ζυγαριά έγινε βαθμονόμηση για κάθε μέρα μέτρησης με μηδενική επιβάρυνση και για κάθε πέντε ζευγάρια με σταθμά γνωστής μάζας.

Σωματικό ανάστημα. Η μέτρηση του σωματικού αναστήματος έγινε μ' ένα Martin-type ανθρωπόμετρο ακρίβειας 1 mm με τον δοκιμαζόμενο χωρίς παπούτσια και κοινή ώρα για το κάθε ζευγάρι.

Σωματικό λίπος. Για τον προσδιορισμό της ποσοστιαίας αναλογίας του σωματικού λίπους μετρήθηκαν οι δερματοπτυχές του στήθους, η κοιλιακή και του μηρού. Οι μετρήσεις έγιναν με ένα Harpenden δερματοπτυχόμετρο ακρίβειας 0.1 mm. Το δερματοπτυχόμετρο ήταν βαθμονομημένο με μια σταθερή πίεση μεταξύ των επιφανειών επαφής 10 p/mm².

Με την χρήση των παραπάνω δερματοπτυχών υπολογίστηκε η σωματική πυκνότητα με την εξίσωση των Jackson και Pollock (1978) που αφορά τον εξεταζόμενο πληθυσμό:

$$Db (g / cc) = 1,109380 - 0,0008267 (\Sigma SKF) + 0,0000016 (\Sigma SKF)^2 - 0,0002574 * (H)$$

όπου Db η σωματική πυκνότητα, ΣSKF το άθροισμα των τριών δερματοπτυχών και H η ηλικία.

Στη συνέχεια η σωματική πυκνότητα χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του σωματικού λίπους (BF%) σύμφωνα με την εξίσωση του Siri (1956):

$$BF\% = [(4,95 / Db) - 4,50] * 100$$

3.2.4. Προσδιορισμός καρδιαναπνευστικών παραμέτρων.

Ο προσδιορισμός της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου έγινε με δαπεδοεργόμετρο (ηλεκτρονικό δαπεδοεργόμετρο Runrace HC 1200,

Technogym, Italy) με προοδευτικά αυξανόμενο φορτίο μέχρι εξάντλησης. Σαν μέγιστη τιμή της πρόσληψης οξυγόνου καθορίστηκε εκείνη που επιτεύχθηκε κατά το τελευταίο στάδιο άσκησης.

Αναλυτικότερα η διαδικασία είχε ως εξής: Για δέκα περίπου λεπτά έγινε εξοικείωση του δοκιμαζόμενου με την εργοσπιρομετρική διαδικασία. Ειδικότερα, ο δοκιμαζόμενος εξοικειώθηκε με το βάδισμα και ελαφρύ τρέξιμο στο δαπεδοεργόμετρο καθώς και με τον τρόπο διακοπής της προσπάθειας σε περίπτωση ανάγκης δηλαδή σταμάτημα του δαπεδοεργομέτρου και έξοδος από τον κυλιόμενο διάδρομο. Επίσης εξοικειώθηκε με το σύστημα σπιρομετρίας και εξασκήθηκε ώστε να αναπνέει ρυθμικά και ομοιόμορφα, συνθήκη που είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό του αναερόβιου αναπνευστικού κατωφλίου. Έπειτα επικολλήθηκαν στο στήθος του τα ηλεκτρόδια, για την καταγραφή της καρδιακής συχνότητας. Επιπλέον, εξηγήθηκε στον δοκιμαζόμενο η κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της έντασης της προσπάθειας του Borg. Καρδιακή συχνότητα και πρόσληψη οξυγόνου παρακολουθήθηκαν για ένα λεπτό περίπου σε κατάσταση ηρεμίας.

Ακολούθησε προθέρμανση χωρίς σύνδεση με το εργοσπιρόμετρο και τον ηλεκτροκαρδιογράφο για 5 έως 10 λεπτά με αρχική ταχύτητα 5 Km/h σε οριζόντιο επίπεδο. Η ταχύτητα έφτανε για δύο έως τρία λεπτά τα 8 Km/h έτσι ώστε ο δοκιμαζόμενος να εξοικειωθεί καλύτερα με το τρέξιμο κατά την εργομέτρηση.

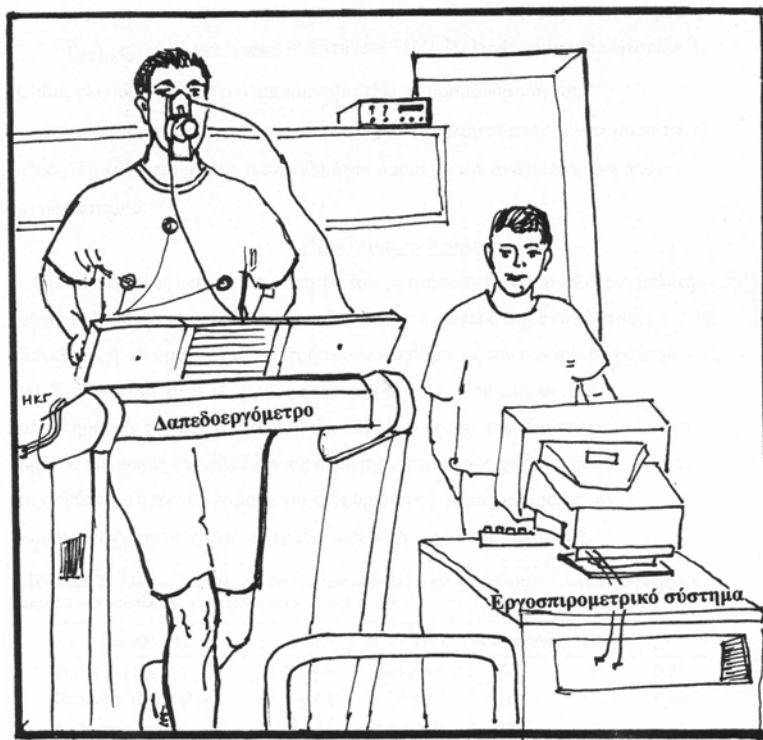
Έπειτα ο δοκιμαζόμενος συνδέθηκε με τον ηλεκτροκαρδιογράφο και το εργοσπιρόμετρο για την έναρξη της δοκιμασίας. Το εργοσπιρομετρικό σύστημα (Med Graphics – Medical Graphics, USA) μετρούσε σε πραγματικό χρόνο τον όγκο και την σύσταση του εκπνεόμενου αέρα, ενώ τα δεδο-

μένα αποθηκεύονταν για επεξεργασία από το λογισμικό του. Η καταγραφή της καρδιακής συχνότητας έγινε με ηλεκτροκαρδιογράφο (Biopack MP100, USA) ο οποίος συνδεόταν με υπολογιστή και την απεικόνιζε σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη του. Η καρδιακή συχνότητα στο τέλος του κάθε σταδίου καταγραφόταν και τηλεμετρικά από παλμογράφο της κατασκευάστριας εταιρίας του δαπεδοεργομέτρου (Runrace HC 1200, Technogym, Italy). Η δαπεδοεργομέτρηση πραγματοποιήθηκε με σταθερή ταχύτητα στον κυλιόμενο ιμάντα (8 Km/h). Η αρχική κλίση ήταν 1% ενώ αυξανόταν 1% ανά λεπτό (τροποποιημένο πρωτόκολλο Astrand). Η δοκιμασία συνεχίστηκε μέχρι εξάντλησης εκτός αν ήταν αναγκαίο να τερματιστεί για την προστασία του δοκιμαζόμενου σύμφωνα με τις ενδείξεις και τα συμπτώματα που υπαγορεύονται από το Αμερικάνικο Κολέγιο Αθλητιατρικής (1991).

Τα κριτήρια επίτευξης της $\dot{V}O_2$ max (Κλεισούρας 1991) ήταν α) υψίπεδο στην πρόσληψη οξυγόνου παρά την αύξηση του φορτίου, β) αναπνευστικό πηλίκο υψηλό (πάνω από 1.1) γ) η καρδιακή συχνότητα να μην διαφέρει περισσότερο από 10 παλμούς από την μέγιστη προβλεπόμενη (220-ηλικία) δ) υποκειμενική κόπωση στην κλίμακα του Borg 19-20 ε) συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα γύρω στα 10 mmol/l.

Μετά το τέλος της εργοσπιρομέτρησης ο δοκιμαζόμενος καθόταν σε καρέκλα και ακολουθούσε η λήψη αρτηριακού-φλεβικού αίματος για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέως.

Δαπεδοεργόμετρο και αναλυτής αερίων βαθμονομούνταν πριν από κάθε μέτρηση (ζεύγος διδύμων). Στο σχήμα 3-1 παρουσιάζεται η εργοσπιρομετρική δοκιμασία στο δαπεδοεργόμετρο.



Σχήμα 3-1. Εργοσπιρομετρική δοκιμασία: Ο δοκιμαζόμενος έτρεξε σε δαπεδοεργόμετρο με σταθερή ταχύτητα και προοδευτικά αυξανόμενη κλίση ενώ καταγραφόταν ο όγκος και η σύσταση του αναπνεόμενου αέρα, καθώς και η καρδιακή του συχνότητα.

3.2.5. Προσδιορισμός συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα

Πέντε λεπτά μετά τον τερματισμό της εργοσπιρομέτρησης έγινε λήψη μεικτού αρτηριακού-φλεβικού αίματος (10 ml) από την ρώγα του αριστερού παράμεσου του δοκιμαζόμενου, για την ανάλυση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος. Η διαδικασία αυτή περιλάμβανε ανάμειξη του αίματος με αντιδραστήρια Lactad (LKM 140) καθώς και άμεση αναγνώριση της συγκέντρωσης γαλακτικού σε φασματοφωτόμετρο τύπου «Microphotometer 8» του οίκου DR

Lange (Germany). Η χημική αντίδραση για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα ακολουθούσε την παρακάτω πορεία:

Lactate+O₂ Lactate Oxidase ⇒ Pyruvate +H₂O₂ H₂O₂+4-Aminophenazone + 4-Chlorophenol ⇒(POD) red quinonimine dye. Η βαθμονόμηση του φασματοφωτόμετρου έγινε με αντιδραστήρια γνωστού περιεχομένου γαλακτικού οξέος. Σε κάθε περίπτωση η ένδειξη ήταν όμοια με την αναγραφόμενη στο αντιδραστήριο.

Πίνακας 3-1. Έλεγχος επαναληπτικότητας των μετρήσεων για τις κυριότερες σωματομετρικές και καρδιοαναπνευστικές παραμέτρους (μέσοι όροι, n=9).

Μεταβλητές	A Μέτρηση	B Μέτρηση	% Διαφορά	t	r
Βάρος (Kg)	81,1 ± 8,6	80,5 ± 8,6	0,7	*	0,99
Ποσοστό Λίπους (%)	12,1 ± 4,3	11,9 ± 4,3	6	ns	0,98
Σ. Πυκνότητα	1,1 ± 0,01	1,1 ± 0,01	0,2	ns	0,98
Άθροισμα Δερματοπτυχών (mm)	41 ± 15,3	40 ± 15	5,8	ns	0,98
VO ₂ (ml/kg/min)	46,7 ± 7,8	47,3 ± 7,8	1,2	ns	0,97
VO ₂ (ml/min)	3790 ± 777	3825 ± 762	0,9	ns	0,99
RER	1,15 ± 0,1	1,13 ± 0,02	1,6	ns	0,67
VE (l/min)	131 ± 27,8	131 ± 25,8	0,6	ns	0,99
RR (br/min)	47,4 ± 7,1	47,1 ± 7,7	0,7	ns	0,98
HR (b/min)	192 ± 10,3	192 ± 9,7	0,3	ns	0,98
AT (ml O ₂ /min)	2671 ± 652	2697 ± 814	1,0	ns	0,91

t: έλεγχος t για εξαρτημένα δείγματα, * σημαντικό σε επίπεδο $p < 0.05$, ns = μη σημαντικό, r = συντελεστής συσχέτισης.

3.3. Προκαταρκτική μελέτη

Η διασφάλιση της επαναληπτικότητας των μετρήσεων έγινε με πιλοτική μελέτη μέσω του ελέγχου t για εξαρτημένα δείγματα σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$. Επιπλέον, η εγκυρότητα των μετρήσεων ελέγχθηκε με τον συντελεστή συσχέτισης (r). Στην μελέτη αυτή συμμετείχαν εννέα (9) δοκιμαζόμενοι, οι οποίοι ολοκλήρωσαν την πειραματική διαδικασία δύο φορές, την ίδια περίπου ώρα της ημέρας και χωρίς να αλλάζουν τις δραστηριότητές τους το διάστημα μεταξύ των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα για τις κυριότερες σω-

ματομετρικές και καρδιοαναπνευστικές παραμέτρους παρουσιάζονται στον πίνακα 3-1.

Σε καμία μεταβλητή δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μετρήσεων ($p > 0.05$) με εξαίρεση το σωματικό βάρος, το οποίο άλλαξε ελαφρά (από 81,1 σε 80,5 Kg). Η ποσοστιαία διαφορά ήταν από 0,1 – 1,6% για τις καρδιοαναπνευστικές παραμέτρους, ενώ για τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά οι διαφορές αυτές κυμάνθηκαν από 0.2-11%. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν υψηλός για όλες τις μεταβλητές ($r = 0.67$ έως 0.99) διασφαλίζοντας το έγκυρο της μέτρη-

σης. Σε αντίστοιχες μελέτες οι διαφορές σε επαναληπτικές μετρήσεις ήταν από 6-10% (Fagard et al. 1987, Fagard et al. 1991), ενώ ο συντελεστής συσχέτισης κυμάνθηκε από 0.84 έως 0.98 (Lesage et al. 1985, Bouchard et al. 1986a, Van den Bree et al. 1996). Στο παράρτημα 1A και 1B παρουσιάζονται οι αρχικές τιμές, οι μέσοι όροι, ο έλεγχος των διαφορών και η συσχέτιση για τις καρδιοαναπνευστικές και σωματομετρικές μεταβλητές.

3.4. Στατιστική ανάλυση

Η αριθμητική μέση τιμή ($\bar{X}$) και η σταθερή απόκλιση (sd) υπολογίστηκαν ως περιγραφικά χαρακτηριστικά των δεδομένων.

Για την εξαγωγή του δείκτη κληρονομησιμότητας για τις επιλεγμένες βιολογικές παραμέτρους ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία: Έγινε ανάλυση διασποράς για κάθε μεταβλητή με έναν παράγοντα ANOVA. Οι παράγοντες στην περίπτωση αυτή είναι τα ζεύγη των διδύμων. Έτσι η μεταβλητότητα (διασπορά)

Πίνακας 3-2. Γενική ανάλυση διασποράς για το μοντέλο των διδύμων

ΠΗΓΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ		MONOZYΓΩΤΙΚΑ		ΔΙΖΥΓΩΤΙΚΑ	
		B.E.	M.T	B.E.	M.T
ΜΕΤΑΞΥ ΖΕΥΓΑΡΙΩΝ	ΤΩΝ	$N_{MZ}-1$	Ma_{MZ}	$N_{ΔZ}-1$	$Ma_{ΔZ}$
ΜΕΣΑ ΖΕΥΓΑΡΙΑ	ΣΤΑ	N_{MZ}	Mw_{MZ}	$N_{ΔZ}$	$Mw_{ΔZ}$

B.E.: Βαθμοί ελευθερίας, N_{MZ} : Αριθμός μονοζυγωτικών ζευγαριών, $N_{ΔZ}$: Αριθμός διζυγωτικών ζευγαριών, M.T.: Μέσος όρος διασπορών, Ma_{MZ} και $Ma_{ΔZ}$: Μέση διασπορά μεταξύ των ζευγαριών που ισούται με την ολική διασπορά μεταξύ των ζευγαριών προς τους βαθμούς ελευθερίας και Mw_{MZ} και $Mw_{ΔZ}$: Μέση διασπορά μέσα στα ζευγάρια που ισούται με την ολική διασπορά μέσα στα ζευγάρια προς τους βαθμούς ελευθερίας.

χωρίστηκε σε αυτή μεταξύ των ζευγαριών και σε αυτή μέσα στα ζευγάρια (Πίνακας 3-2).

Πρώτη ένδειξη επίδρασης του κληρονομικού παράγοντα είναι όταν ο λόγος της διασποράς μεταξύ των ομάδων με την διασπορά μέσα στις ομάδες είναι μεγάλος και επιπρόσθετα των MZ μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των ΔZ.

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για την ύπαρξη συσχέτισης ανάμεσα στους μέσους όρους και τον τύπο των διδύμων καθώς και στις ολικές διασπορές και τον τύπο των ομάδων :

α) Έλεγχος για την ύπαρξη συσχέτισης ανάμεσα στους μέσους όρους και τον τύπο των διδύμων

$$t' = \frac{\bar{Y}_{MZ} - \bar{Y}_{ΔZ}}{\sqrt{(Ma_{MZ}/2 N_{MZ}) + (Ma_{ΔZ}/2 N_{ΔZ})}}$$

$$\text{με B.E.} = [(Ma_{MZ}/2 N_{MZ}) + (Ma_{ΔZ}/2 N_{ΔZ})]^2 / [(Ma_{MZ}/2 N_{MZ}) 2/(N_{MZ}-1)] + [(Ma_{ΔZ}/2 N_{ΔZ}) 2/(N_{ΔZ}-1)]$$

όπου $\bar{Y}_{MZ}$, $\bar{Y}_{ΔZ}$ ο μέσος όρος της μεταβλητής για τους μονοζυγωτικούς και τους διζυγωτικούς διδύμους αντίστοιχα.

β) Έλεγχος για την ύπαρξη συσχέτισης ανάμεσα στις ολικές διασπορές και τον τύπο των διδύμων

$$F' = (Ma_{ΔZ} + Mw_{ΔZ}) / (Ma_{MZ} + Mw_{MZ}) \text{ ή}$$

$$F' = (Ma_{MZ} + Mw_{MZ}) / (Ma_{ΔZ} + Mw_{ΔZ})$$

με $B.E. MZ = (M_{MZ} + W_{MZ})^2 / [(M_{MZ})^2 / (N_{MZ}-1)] + [(W_{MZ})^2 / N_{MZ}]$ και αντίστοιχους B.E. για τους διζυγωτικούς.

Περιμένουμε να μην υπάρξει στατιστικά σημαντική διαφορά τόσο ανάμεσα στους μέσους όρους (t'), όσο και στις ολικές διαφορές (F'). Αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά αυτό σημαίνει ότι η παράμετρος εξαρτάται από τον τύπο των διδύμων (ζυγωτισμός).

Έπειτα έγινε έλεγχος για την ύπαρξη γενετικής διακύμανσης:

α) Έλεγχος για την ύπαρξη γενετικής διακύμανσης

$$F = M_{AZ} / M_{MZ}$$

(Λόγος γενετικής διασποράς)

με τους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας.

Εάν ο λόγος είναι υψηλός, δηλαδή εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις ενδοζευγικές διασπορές θα γίνει υπολογισμός του

δείκτη κληρονομησιμότητας. Από τις παρακάτω 3 εξισώσεις χρησιμοποιήθηκε κυρίως η πρώτη, γιατί είναι η μόνη που κάνει χρήση των ενδοζευγικών διαφορών και άρα των γενετικών διασπορών. Ενδεικτικά θα παρουσιαστεί και η εξίσωση του Newman η οποία χρησιμοποιεί την ενδοζευγική συσχέτιση για την εξαγωγή του κληρονομικού δείκτη. Με την εξίσωση του Falconer έχει παρατηρηθεί υπερεκτίμηση της τιμής (Bouchard et al. 1986, Μαριδάκη και συνεργάτες 1992) και δεν χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα. Οι προτεινόμενες εξισώσεις για τον προσδιορισμό κληρονομικού δείκτη είναι:

$$h^2 = (M_{AZ} - M_{MZ}) / M_{AZ}$$

(Εξίσωση Clark)

$$h^2 = R_{MZ} - R_{AZ} / (1 - R_{AZ})$$

(Εξίσωση Newman)

$$h^2 = 2 (R_{MZ} - R_{AZ})$$

(Εξίσωση Falconer)

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σκοπός της έρευνας ήταν να διερευνηθεί η σχετική ισχύς του γονότυπου και του περιβάλλοντος στις ατομικές διαφορές που παρατηρούνται στην καρδιοαναπνευστική αντοχή κατά τη μέγιστη και την υπομέγιστη προσπάθεια. Σε άμεση συνάφεια όμως

με την καρδιοαναπνευστική αντοχή βρίσκονται τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζομένων, τα οποία και θα παρουσιαστούν στην πρώτη ενότητα. Στην δεύτερη ενότητα εξετάζονται οι ενδοζευγικές διαφορές και η κληρονομησιμότητα στις καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές.

Πίνακας 4-1. Τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά (μέσοι όροι $\pm$ σταθερές αποκλίσεις) και οι ενδοζευγικές διαφορές των δοκιμαζόμενων ($n = 40$) μονοζυγωτικών (MZ) και διζυγωτικών (ΔΖ) διδύμων αδελφών.

Μεταβλητές	MZ (n=20)	Διαφορά	Διαφορά %	ΔΖ (n=20)	Διαφορά	Διαφορά %
Ηλικία (έτη)	22,7 $\pm$ 1,7			22,1 $\pm$ 2,6		
Ανάστημα (cm)	177,1 $\pm$ 8,4	0,10 $\pm$ 0,32	0,06 $\pm$ 0,20	178,4 $\pm$ 5,7	3,60 $\pm$ 4,09	1,9 $\pm$ 2,2
Βάρος (Kg)	73 $\pm$ 10,1	2,70 $\pm$ 2,33	3,44 $\pm$ 2,59	80,7 $\pm$ 10	4,49 $\pm$ 4,01	5,6 $\pm$ 5,1
Άλιπο βάρος (Kg)	65 $\pm$ 7	1,67 $\pm$ 1,21	2,56 $\pm$ 1,94	69 $\pm$ 6,7	3,71 $\pm$ 3,59	5,3 $\pm$ 5,3
Ποσοστό Λίπους (%)*	10,5 $\pm$ 5	0,76 $\pm$ 0,56	9,43 $\pm$ 6,53	14,22 $\pm$ 5	2,50 $\pm$ 1,55	16,4 $\pm$ 10,3
Σωμ. Πυκνότητα**	1,07 $\pm$ 0,01	37,1 $\pm$ 34,1 [#]	0,35 $\pm$ 0,32	1,06 $\pm$ 0,01	57,4 $\pm$ 35,7 [#]	0,54 $\pm$ 0,33
Δερματοπτυχές (mm)						
Άθροισμα	37,7 $\pm$ 16,6	5,40 $\pm$ 5,31	13,32 $\pm$ 9,45	50,5 $\pm$ 16,7	8,71 $\pm$ 5,30	15,8 $\pm$ 9,6
Στήθους	9,4 $\pm$ 5,9	0,76 $\pm$ 0,56	9,43 $\pm$ 6,53	12 $\pm$ 5,8	2,85 $\pm$ 2,52	18,9 $\pm$ 11,2
Κοιλ. Χώρας	16,4 $\pm$ 8,6	3,4 $\pm$ 4,1	17,9 $\pm$ 14,9	22,7 $\pm$ 8,4	5,00 $\pm$ 5,04	20,3 $\pm$ 16,3
Μηρού	11,9 $\pm$ 3,5	1,72 $\pm$ 1,34	13,48 $\pm$ 9,48	15,8 $\pm$ 4,4	3,46 $\pm$ 2,22	19,1 $\pm$ 8,8

* Εξίσωση Siri (1956) ** Εξίσωση Jackson και Pollock (1978)

[#] Οι τιμές είναι $\times 10^3$

4.1. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά.

Τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων και οι ενδοζευγικές διαφορές στα χαρακτηριστικά αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 4-1.

Η ηλικία των μονοζυγωτικών (MZ) και διζυγωτικών (ΔΖ) διδύμων είναι κατά μέσο όρο 22.7 ± 1.7 και 22.1 ± 2.6 χρόνια αντίστοιχα. Το ανάστημα για τους MZ είναι 177 ± 8.4 cm και οι ενδοζευγικές διαφορές τους πολύ χαμηλές (0.1 cm ή 0.06%). Για τους ΔΖ οι διαφορές αυτές είναι μεγαλύτερες (3.6 cm ή 1.97%) ενώ ο μέσος όρος βρίσκεται στα ίδια περίπου επί-

πεδα (178.4 ± 5.7 cm) με τον αντίστοιχο των MZ. Η ίδια εικόνα παρουσιάζεται και στο βάρος, όπου οι MZ δίδυμοι έχουν σχεδόν την μισή κατά μέσο όρο ενδοζευγική διαφορά (2.7 Kg ή 3.44% έναντι 4.49 Kg ή 5.68% των ΔΖ). Είναι επίσης κατά 7.8 Kg ελαφρύτεροι από τα ΔΖ αδέλφια (73 ± 10.2 Kg για τους MZ και 80.8 ± 10.1 Kg για τους ΔΖ). Οι διαφορές αυτές αμβλύνονται ελαφρά όταν η σωματική μάζα εκφράζεται ως άλιπη (ΑΣΜ). Η ποσοστιαία διαφορά είναι $2.56 \pm 1.94\%$ για τους MZ και $5.35 \pm 3.34\%$ για τους ΔΖ διδύμους και η διαφορά στους μέσους όρους των δύο ομάδων είναι τέσσερα (4) κιλά.

Πίνακας 4-2. Έλεγχος υποθέσεων και κληρονομικοί δείκτες (εξισώσεις Clark και Newman) για τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά διδύμων ανδρών (MZ και ΔZ) ηλικίας 18-25 ετών (n=40)

Μεταβλητές	Ενδοζευγική Συσχέτιση (r)		Έλεγχος Υποθέσεων			Κληρονομησιμότητα (h ²)	
	MZ (n=20)	ΔZ (n=20)	t'	F'	F	Clark [#]	Newman ^{##}
Ανάστημα (cm)	1,00	0,59	-0,42 ns	2,21ns	280***	1,00	1,00
Βάρος (Kg)	0,94	0,88	-0,73 ns	1,02 ns	2,97*	0,65	0,49
ΑΣΜ (Kg)	0,96	0,87	-1,32 ns	1,10 ns	6,18**	0,84	0,65
Ποσοστό Λίπους (%)	0,92	0,86	-1,67 ns	1,00 ns	1,84 ns		

*** Επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.001$, ** Επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.01$, * Επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$, ns = μη σημαντικό

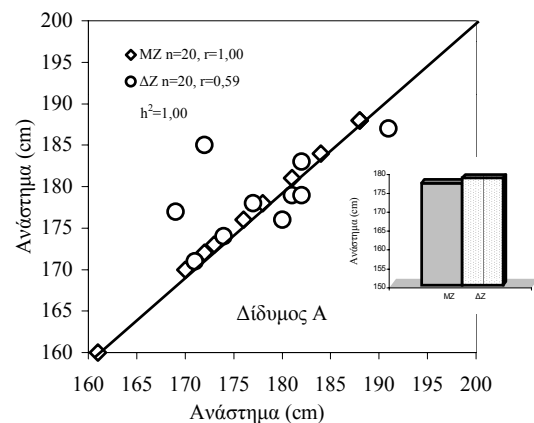
Εξίσωση του Clark: $(WMS_{DZ} - WMS_{MZ}) / WMS_{DZ}$ ## Εξίσωση του Newman: $(r_{MZ} - r_{DZ}) / (1 - r_{DZ})$

Το ποσοστό του λίπους για τους MZ ήταν $10.5 \pm 5\%$ κατά μέσο όρο ενώ για τους ΔZ $14.22 \pm 5\%$. Οι ενδοζευγικές διαφορές και για την παραπάνω μεταβλητή είναι μεγάλες (0.76 Kg ή 9.43% για τους MZ και 2.5 Kg ή 16.46% για τους ΔZ). Οι μέσοι όροι καθώς και οι ενδοζευγικές διαφορές για τις δερματοπτυχές ήταν σαφώς μικρότερες για τα MZ σε σύγκριση με τα ΔZ αδέλφια. Η μεγαλύτερη διαφορά στο μέσο όρο παρουσιάστηκε στην κοιλιακή χώρα (16.4 ± 8.6 mm για τους MZ και 22.7 ± 8.4 mm για τους ΔZ), ενώ οι ενδοζευγικές διαφορές ήταν υψηλότερες στην δερματοπτυχή του στήθους (0.76 mm ή 9.43% για τους MZ και 2.85 mm ή 18.99% για τους ΔZ).

Η ενδοζευγική συσχέτιση (πίνακας 5) για το ανάστημα ήταν απόλυτη για τους MZ ($r = 1.00$), ενώ χαμηλή για τους ΔZ ($r = 0.59$) διδύμους. Ο έλεγχος για την ύπαρξη συσχέτισης ανάμεσα στους μέσους όρους και τον τύπο των διδύμων (t') αλλά και την ύπαρξη συσχέτισης ανάμεσα στις ολικές διασπορές και τον τύπο των διδύμων (F') δεν παρουσίασε σημαντικότητα, ενώ η γενετική διακύμανση ήταν σημαντική ($F = 280$, $p < 0.001$).

Έτσι αφού ικανοποιήθηκαν οι στατιστικές αυτές υποθέσεις, υπολογίστηκε ο δείκτης κληρονομησιμότητας που βρέθηκε να είναι ίσος προς τη μο-

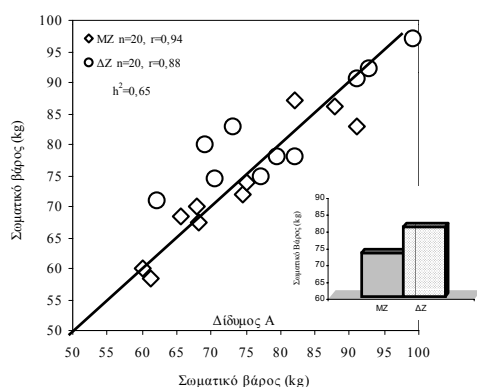
νάδα (σχήμα 4-1). Αυτό σημαίνει ότι η φαινοτυπική διασπορά του αναστήματος μπορεί να εξηγηθεί αποκλειστικά από το γονότυπο.

**Σχήμα 4-1.** Ανάστημα (cm) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και οι σταθερές αποκλίσεις των δύο ομάδων.

Ο δείκτης κληρονομησιμότητας (h^2) εκφράζεται κυρίως με την εξίσωση του Clark που αναφέρεται στην διαφορά των ενδοζευγικών διασπορών των δύο ομάδων και δευτερευόντως με την εξίσωση του Newman ο οποίος χρησιμοποιεί τις ενδοζευγικές συσχετίσεις. Η δεύτερη εξίσωση θεωρείται λιγότερο αξιόπιστη και με μικρότερη ισχύ.

Η υψηλή ενδοζευγική συσχέτιση των MZ αλλά και των ΔZ διδύμων

στο βάρος ήταν υψηλή ($r = 0.94$ για τους MZ και 0.88 για τους ΔZ) και η γενετική διακύμανση παρουσίασε οριακή σημαντικότητα ($F=2.97$, $p<0.05$). ο κληρονομικός δείκτης για το βάρος ήταν σε χαμηλά επίπεδα (0.65 και 0.49 για τις εξισώσεις των Clark και Newman αντίστοιχα) (σχήμα 4-2).



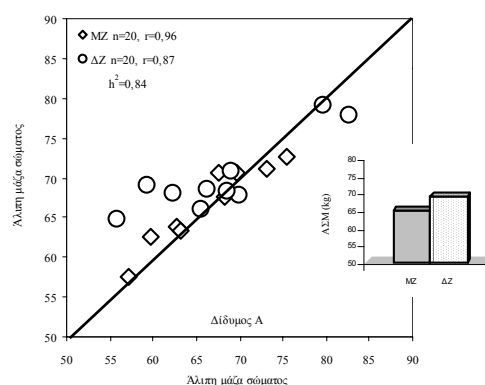
Σχήμα 4-2. Βάρος (Kg) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και οι σταθερές αποκλίσεις των δύο ομάδων.

Ο παραπάνω όμως δείκτης είναι υψηλότερος όταν η σωματική μάζα είναι άλιπη (ΑΣΜ) (0.65 και 0.84 για τις αντίστοιχες εξισώσεις). Η ενδοζευγική συσχέτιση για τους MZ αυξάνεται ($r = 0.96$) ενώ για τους ΔZ μειώνεται ($r = 0.87$) (πίνακας 4-2, σχήμα 4-3). Στο ποσοστό του λίπους η ενδοζευγική συσχέτιση ήταν υψηλότερη για τους MZ ($r = 0.92$) σε σύγκριση με τους ΔZ ($r = 0.86$) χωρίς ωστόσο να εμφανίζεται σημαντική γενετική διακύμανση ($F = 1.84$, ns).

4.2. Καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές

Οι ενδοζευγικές διαφορές των MZ και ΔZ διδύμων για τις καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές παρουσιάζονται στον πίνακα 4-3, ενώ ο έλεγχος των υποθέσεων και οι κληρονομικοί δείκτες για τις προσαρμογές αυτές

στον πίνακα 4-4.



Σχήμα 4-3. Άλιπο Σωματικό Βάρος (ΑΣΜ: Kg) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και οι σταθερές αποκλίσεις των δύο ομάδων.

Η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) παρουσιάζει μικρές ενδοζευγικές διαφορές για τους MZ διδύμους ($5.7 \pm 3.48\%$), οι οποίες δεν αλλάζουν όταν η μεταβλητή εκφραστεί ανά κιλό σωματικού βάρους ($5.7 \pm 5\%$), αλλά μειώνονται περίπου στο μισό ($2.54 \pm 3.90\%$) όταν απομονωθεί και ο παράγοντας λίπος. Οι διαφορές αυτές είναι σχεδόν διπλάσιες για τους ΔZ διδύμους για τις δύο πρώτες εκφράσεις της VO_2 (9.3 ± 8.9 και 10.8 ± 7.5 για την πρόσληψη οξυγόνου σε $ml \cdot min^{-1}$ και $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ αντίστοιχα), ενώ για την τρίτη ($ml \cdot kg \cdot AΣM^{-1} \cdot min^{-1}$) τετραπλασιάστηκε ($9.8 \pm 8,8\%$). Ο δείκτης κληρονομησιμότητας κυμάνθηκε από 0.83 έως 0.88 , όταν υπολογίστηκε με την εξίσωση Clark που αναφέρεται στην ενδοζευγική διασπορά, η οποία θεωρείται η πιο αποδεκτή μέθοδος. Αλλά και με την εξίσωση Newman που χρησιμοποιεί τις ενδοζευγικές συσχετίσεις, ο δείκτης κυμάνθηκε από 0.72 έως 0.81 . Η υψηλότερη κληρονομησιμότητα παρατηρήθηκε όταν η πρόσληψη οξυγόνου εκφράστηκε σε $ml \cdot kg \cdot AΣM^{-1} \cdot min^{-1}$.

Πίνακας 4-3. Καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές και ενδοζευγικές διαφορές (μέσοι όροι $\pm$ σταθερές αποκλίσεις) των δοκιμαζόμενων ($n = 40$) μονοζυγωτικών (MZ) και διζυγωτικών (ΔΖ) διδύμων αδελφών.

Μεταβλητές	MZ (n=20)	Διαφορά	Διαφορά %	ΔΖ (n=20)	Διαφορά	Διαφορά %
VO ₂ (ml/min)	3172 $\pm$ 415	183,4 $\pm$ 109,6	5,7 $\pm$ 3,48	3554 $\pm$ 465	371,8 $\pm$ 406,9	9,3 $\pm$ 8,9
VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	44,02 $\pm$ 5,9	2,4 $\pm$ 1,8	5,7 $\pm$ 5	44,62 $\pm$ 7,4	5,6 $\pm$ 4,91	10,8 $\pm$ 7,5
VO ₂ (ml·kg ΑΣΜ ⁻¹ ·min ⁻¹)	48,6 $\pm$ 5,3	2,54 $\pm$ 1,65	2,45 $\pm$ 3,90	51,76 $\pm$ 6,89	5,9 $\pm$ 6,37	9,8 $\pm$ 8,82
RER	1,10 $\pm$ 0,05	0,04 $\pm$ 0,04	3,8 $\pm$ 3,6	1,12 $\pm$ 0,05	0,04 $\pm$ 0,04	3,4 $\pm$ 3,1
HR (b/min)	196,5 $\pm$ 5,6	2,2 $\pm$ 2	1,1 $\pm$ 1,0	198,95 $\pm$ 8,8	6,7 $\pm$ 4,5	3,3 $\pm$ 2,1
VE/VO ₂	30,2 $\pm$ 3,2	3,0 $\pm$ 2,1	9,4 $\pm$ 6,5	30,4 $\pm$ 4,6	5,0 $\pm$ 4,9	14,1 $\pm$ 11,6
VE (l/min)	95,1 $\pm$ 11,2	7,0 $\pm$ 6,6	7,0 $\pm$ 5,9	107,56 $\pm$ 17,9	17,3 $\pm$ 10,8	14,7 $\pm$ 9,3
V _T (L)	1,98 $\pm$ 0,27	0,18 $\pm$ 0,18	8,7 $\pm$ 8,2	2,27 $\pm$ 0,29	0,27 $\pm$ 0,34	10,5 $\pm$ 11,5
VO ₂ /HR (ml/b)	16,1 $\pm$ 2,2	0,9 $\pm$ 0,7	5,5 $\pm$ 4,3	17,9 $\pm$ 2,3	1,8 $\pm$ 2,0	8,9 $\pm$ 9,0
RR (br/min)	48,4 $\pm$ 4,4	2,2 $\pm$ 3,3	4,3 $\pm$ 6,3	48 $\pm$ 9,1	5,1 $\pm$ 3,6	10,4 $\pm$ 8
AT (ml O ₂ /min/Kg)	30,6 $\pm$ 4,8	3,01 $\pm$ 2,2	9,6 $\pm$ 6,8	32,4 $\pm$ 5,36	4,96 $\pm$ 3,6	13,7 $\pm$ 8,9
AT (% VO ₂ max)	69 $\pm$ 4,3	4,6 $\pm$ 4,0	6,2 $\pm$ 5,2	73,1 $\pm$ 7,8	8,48 $\pm$ 4,63	10,8 $\pm$ 5,13
La (mmol/l)	10,7 $\pm$ 1,8	0,3 $\pm$ 0,2	2,8 $\pm$ 1,4	10,4 $\pm$ 1,7	1,6 $\pm$ 0,9	14,0 $\pm$ 7,0

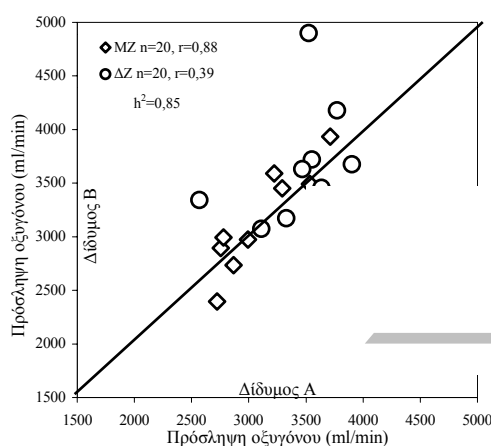
Πίνακας 4-4. Έλεγχος υποθέσεων και κληρονομικοί δείκτες (εξισώσεις Clark και Newman) για τις παραμέτρους απόδοσης (μέγιστες τιμές) διδύμων αδελφών (MZ και ΔΖ) ηλικίας 18-25 ετών ($n=40$)

Μεταβλητές	Ενδοζευγική Συ- σχέτιση (r)		Έλεγχος Υποθέσεων			Κληρονομησιμότητα (h ²)	
	MZ (n=20)	ΔΖ (n=20)	t'	F'	F	Clark [#]	Newman ^{##}
VO ₂ (ml/min)	0,88	0,39	-2,14 ns	1,22 ns	6,46**	0,85	0,81
VO ₂ (ml/kg/min)	0,87	0,55	-0,22 ns	1,55 ns	5,98**	0,83	0,72
VO ₂ (ml/kg LBM/min)	0,86	0,26	-1,17 ns	1,66 ns	8,40**	0,88	0,81
VCO ₂ (ml/min)	0,91	0,43	-2,44ns	1,14 ns	6,51**	0,85	0,85
RER	0,37	0,28	-1,41ns	1,28 ns	0,82 ns		
HR (b/min)	0,86	0,58	-0,79 ns	2,47 ns	7,31**	0,86	0,68
VE/VO ₂	0,40	-0,10	-0,17 ns	2,02 ns	3,59*	0,72	0,48
VE (l/min)	0,67	0,35	-2,16 ns	2,41 ns	4,59*	0,78	0,48
V _T (L)	0,65	-0,10	-2,87 ns	1,08 ns	2,99*	0,65	0,67
VO ₂ /HR (ml/b)	0,88	0,40	-1,89 ns	1,11 ns	5,43**	0,82	0,80
RR (br/min)	0,66	0,82	0,14 ns	4,20*	2,60 ns		
AT (ml O ₂ /min/Kg)	0,73	0,34	-0,90 ns	1,20 ns	3,00*	0,63	0,59
AT (% VO ₂ max)	0,26	0,26	-1,63 ns	3,30*	2,57 ns		
La (mmol/l)	0,98	0,39	0,42 ns	1,28 ns	30,17***	0,97	0,97

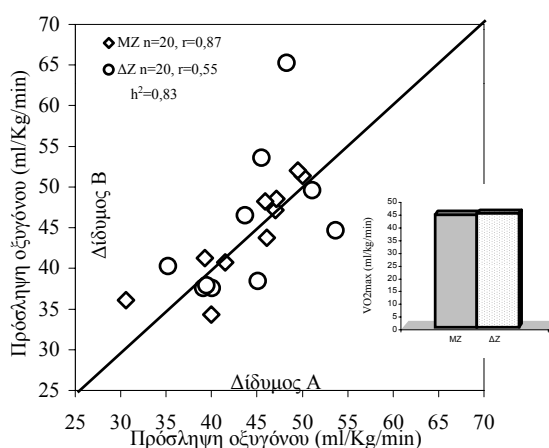
*** Επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.001$, **Επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.01$

* Επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$, ns = μη σημαντικό

Εξίσωση του Clark: $(WMS_{DZ} - WMS_{MZ}) / WMS_{DZ}$ ## Εξίσωση του Newman: $(r_{MZ} - r_{DZ}) / (1 - r_{DZ})$



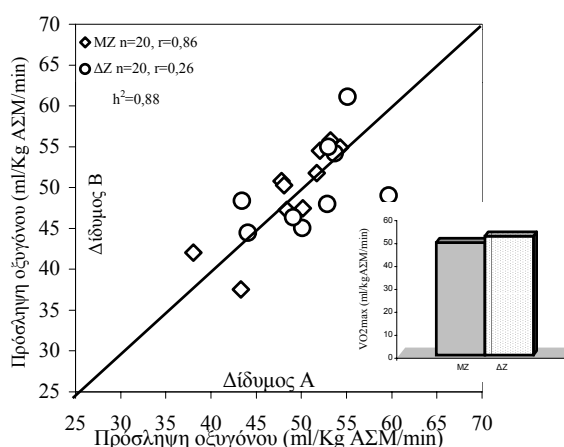
Σχήμα 4-4. Διασπορά της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_2 : $ml \cdot min^{-1}$) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔΖ (κύκλοι) διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο απεικονίζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων



Σχήμα 4-5. Διασπορά της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_2 : $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔΖ (κύκλοι) διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο απεικονίζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων.

Οι ενδοζευγικές συσχετίσεις κυμάνθηκαν από 0.86 έως 0.88 για τους MZ και από 0.26 έως 0.55 για τους ΔΖ διδύμους με τη μεγαλύτερη διαφορά να σημειώνεται μετά την απομόνωση των παραμέτρων βάρους και λιπώδους ιστού (πίνακας 4-4). Στα σχήματα 4-4, 4-5 και 4-6 παρουσιάζεται η διασπορά της

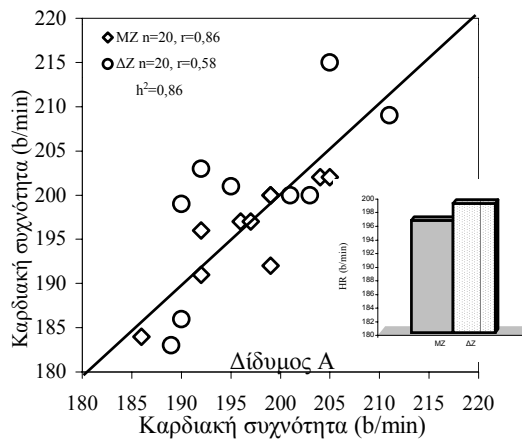
μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου για τα μονοζυγωτικά και τα δυζυγωτικά δίδυμα αδέρφια.



Σχήμα 4-6. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_2 : $ml \cdot kg^{-1} \cdot AΣM \cdot min^{-1}$) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔΖ (κύκλοι) διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων.

Για το αναπνευστικό πηλίκο δεν εμφανίστηκε σημαντική γενετική διακύμανση ($F = 0.82$, ns). Οι ενδοζευγικές διαφορές ήταν μεγαλύτερες στους MZ διδύμους ($3.8 \pm 3.6\%$) και μικρότερες στους ΔΖ ($3.4 \pm 3.1\%$) με τις αντίστοιχες συσχετίσεις ελαφρά υψηλότερες για την πρώτη ομάδα (0.37 για τους MZ και 0.28 για τους ΔΖ).

Τριπλάσια απόλυτη, αλλά και ποσοστιαία ενδοζευγική διαφορά υπήρξε για την καρδιακή συχνότητα (2.2 ± 2 παλμούς το λεπτό ή $1.1 \pm 1\%$ για τους MZ και 6.7 ± 4.5 ή $3.3 \pm 2.1\%$ για τους ΔΖ) με την συσχέτιση των τιμών μέσα στα ζευγάρια να είναι σαφώς υψηλότερη στους MZ ($r = 0.86$) και μέτρια στους ΔΖ ($r = 0.58$) (σχήμα 4-7). Ο δείκτης κληρονομησιμότητας ήταν 0.86 και 0.68 σύμφωνα με τις εξισώσεις των Clark και Newman αντίστοιχα (πίνακας 4-4).



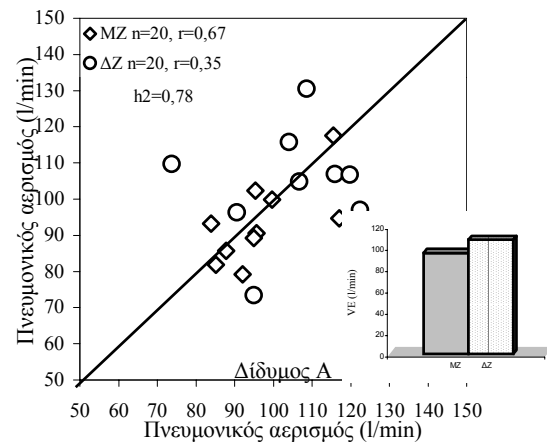
Σχήμα 4-7. Η διασπορά στη μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($HR: \text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$) για τα MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) δίδυμα αδέρφια, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων για τη μεταβλητή.

Ο μέγιστος πνευμονικός αερισμός εμφάνισε κατά μέσο όρο την διπλάσια διαφορά μέσα στα ζευγάρια ($7 \pm 5.9\%$ για τους MZ και $14.7 \pm 9.3\%$ για τους ΔZ), καθώς επίσης και την διπλάσια περίπου συσχέτιση ($r = 0.67$ για τους MZ και $r = 0.33$ τους ΔZ) (σχήμα 4-8). Σύμφωνα με την εξίσωση του Clark ένα υψηλό ποσοστό από την παρατηρούμενη διασπορά στο μέγιστο πνευμονικό αερισμό εξηγείται από το γονότυπο ($h^2 = 0.78$), ενώ σύμφωνα με την αντίστοιχη του Newman το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο ($h^2 = 0.48$).

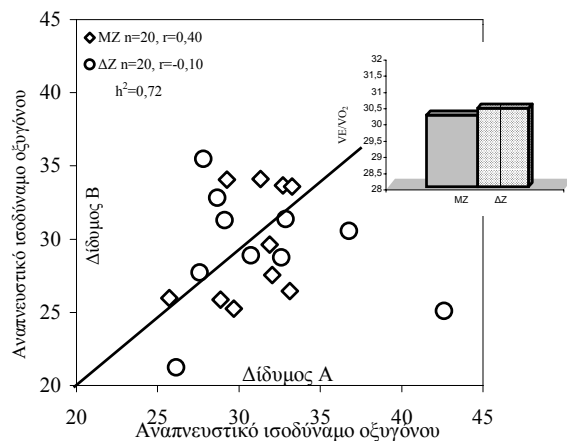
Παρόμοιες αντίστοιχες τιμές κληρονομησιμότητας παρατηρήθηκαν για το αναπνευστικό ισοδύναμο του οξυγόνου (VE/VO_2) ($h^2 = 0.72$ και 0.48). Η ενδοζευγική συσχέτιση ήταν μεγαλύτερη για τους MZ ($r = 0.40$) σε σύγκριση με τους ΔZ δίδυμους ($r = -0.10$), αλλά σε χαμηλά επίσης επίπεδα (πίνακας 4-4). Μικρότερες ήταν οι ενδοζευγικές διαφορές για την πρώτη ομάδα (MZ: $9.4 \pm 6.5\%$, ΔZ: $14.1 \pm 11.6\%$) (πίνακας 4-3, σχήμα 4-9).

Υψηλότερος ήταν ο κληρονομικός δείκτης για την μέγιστη ποσότητα

οξυγόνου ανά καρδιακό παλμό ($h^2 = 0.80$ και 0.82 για τις εξισώσεις των Clark και Newman).

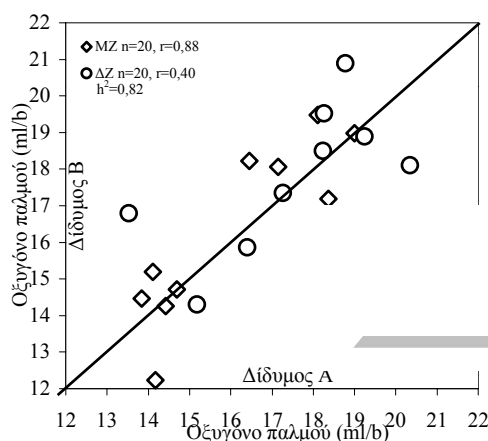


Σχήμα 4-8. Μέγιστος πνευμονικός αερισμός ($VE: \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο απεικονίζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων.



Σχήμα 4-9. Το αναπνευστικό ισοδύναμο οξυγόνου (VE/VO_2) κατά τη μέγιστη προσπάθεια ανά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) διδύμων αδελφών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων

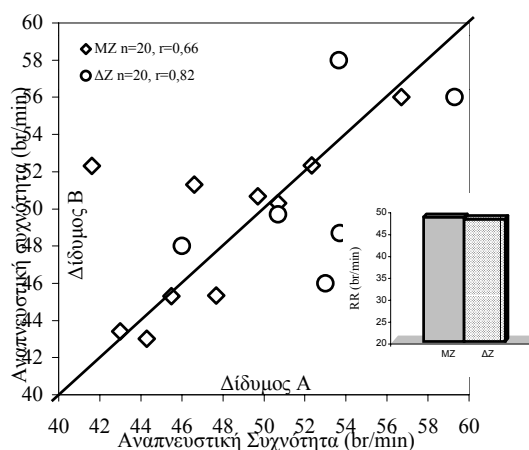
Η συσχέτιση που παρατηρήθηκε μέσα στα ζεύγη των MZ διδύμων ήταν άνω του διπλάσιου ($r = 0.88$) από αυτή των ΔZ ($r = 0.40$) (σχήμα 11). Οι αντίστοιχες ποσοστιαίες διαφορές ήταν $5.5 \pm 4.3\%$ και $8.9 \pm 9\%$ (πίνακας 4-3).



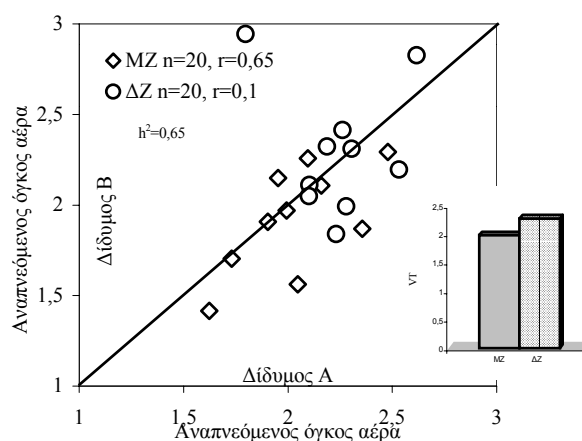
Σχήμα 4-10. Η διασπορά στο μέγιστο οξυγόνο παλμού ($VO_2/HR: ml \cdot beat^{-1}$) κατά ζεύγη για τα MZ (ρόμβοι) και ΔΖ (κύκλοι) δίδυμα αδέρφια, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων.

Η αναπνευστική συχνότητα εμφάνισε κατά μέσο όρο 6.1% μικρότερη ενδοζευγική διαφορά για τους MZ διδύμους ($4.3 \pm 6.3\%$ για τους MZ και $10.4 \pm 8\%$ για τους ΔΖ). Η συσχέτιση όμως ήταν επίσης μικρότερη για την πρώτη ομάδα ($r = 0.66$ για τους MZ και 0.82 για τους ΔΖ). Οι ολικές διασπορές των δύο ομάδων παρουσίασαν σημαντικές διαφορές ($F' = 4.2$, $p < 0.05$) ενώ αντίθετα η γενετική διακύμανση δεν ήταν σημαντική ($F = 2.6$, ns). Ενδεικτικά, στο σχήμα 4-11 παρουσιάζεται η διασπορά για τους MZ και ΔΖ διδύμους σε μια μεταβλητή που δεν παρουσίασε σημαντική γενετική διασπορά.

Η γενετική διακύμανση για τον αναπνεόμενο όγκο αέρα ήταν οριακά σημαντική ($F=2.99$, $p < 0.05$) και ο κληρονομικός δείκτης για αυτή τη μεταβλητή ήταν 0.65 και 0.67 για τις εξισώσεις των Clark και Newman. Στο σχήμα 4-12 παρουσιάζεται η διασπορά του αναπνεόμενου όγκου αέρα για τους MZ και ΔΖ διδύμους καθώς και οι αντίστοιχες ενδοζευγικές συσχετίσεις.



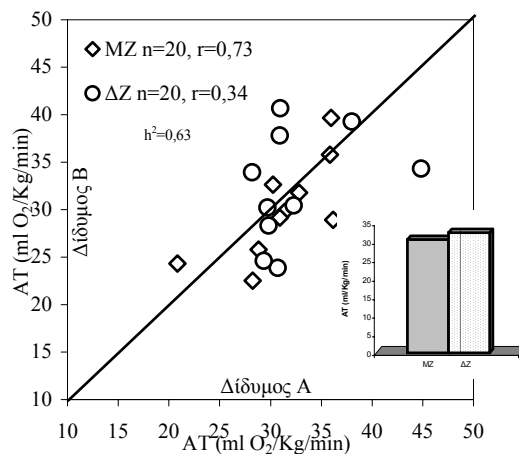
Σχήμα 4-11. Η διασπορά στην αναπνευστική συχνότητα ($RR: br \cdot min^{-1}$) κατά τη μέγιστη προσπάθεια ανά ζεύγη για τα MZ (ρόμβοι) και ΔΖ (κύκλοι) δίδυμα αδέρφια και ενδοζευγική συσχέτιση. Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων.



Σχήμα 4-12. Η διασπορά για τον αναπνεόμενο όγκο αέρα (L/br) κατά τη μέγιστη προσπάθεια ανά ζεύγη για τα MZ (ρόμβοι) και ΔΖ (κύκλοι) δίδυμα αδέρφια και ενδοζευγική συσχέτιση. Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων.

Οι διαφορές μέσα στα ζευγάρια για το αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι ήταν κατά μέσο όρο $9.61 \pm 6.82\%$ για τους MZ και $13.67 \pm 8.84\%$ για τους ΔΖ διδύμους, με ενδοζευγικές συσχετίσεις 0.73 και 0.34 αντίστοιχα. Η γενετική διακύμανση ήταν σημαντική ($F= 3.00$, $p < 0.05$) και ο δείκτης κληρονομησιμότητας 0.63 και 0.59 σύμφωνα με τις εξισώσεις των Clark και Newman (πίνακας 4-3, σχήμα 4-

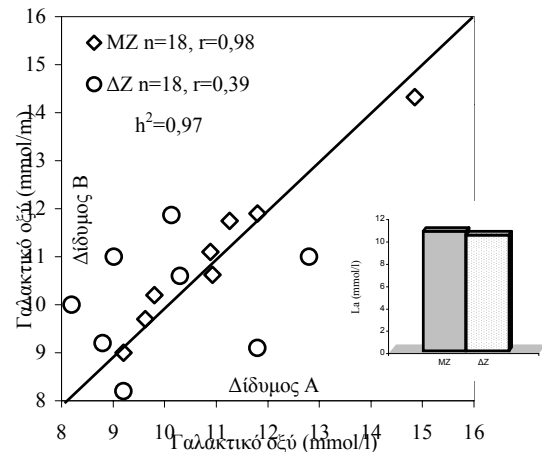
13).



Σχήμα 4-13. Αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι (AT: $\text{mlO}_2\text{min}^{-1}\text{Kg}^{-1}$) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων για τη μεταβολή.

Η διακύμανση όμως αυτή δεν ήταν σημαντική ($F = 2.57$, ns) όταν το αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι εκφράστηκε σαν ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, ενώ το αντίθετο συνέβη με τις ολικές διασπορές μεταξύ των ομάδων ($F' = 3.3$, $p < 0.05$). Οι συσχετίσεις εξισώθηκαν ($r = 0.26$ και για τις δύο ομάδες), ενώ οι ενδοζευγικές ποσοστιαίες διαφορές μειώθηκαν ($6.2 \pm 5.2\%$ για τους MZ 10.8 ± 5.13 για τους ΔZ).

Η μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα έδειξε κατά μέσο όρο μικρές διαφορές για τον A σε σύγκριση με τον B δίδυμο για την ομάδα των MZ ($2.8 \pm 1.4\%$), ενώ οι διαφορές αυτές ήταν μεγάλες για τους ΔZ ($14 \pm 7\%$). Η συσχέτιση μέσα στα ζεύγη για την πρώτη ομάδα ήταν 0.98, ενώ για την δεύτερη 0.39 και ο δείκτης κληρονομιμότητας που αναδείχθηκε ήταν πολύ υψηλός ($h^2 = 0.97$) (πίνακας 4-4, σχήμα 4-14).



Σχήμα 4-14. Μέγιστη παραγωγή γαλακτικού οξέος (La: mmol l^{-1}) κατά ζεύγη MZ (ρόμβοι) και ΔZ (κύκλοι) διδύμων ανδρών, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων για τη μεταβολή.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Πριν από τη συζήτηση των αποτελεσμάτων, είναι αναγκαία μια παρουσίαση των θεμάτων που οριοθετούν την έρευνα. Τα θέματα αυτά αφορούν το μοντέλο των διδύμων και τις μετρήσεις. Δύο βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή του μοντέλου είναι ο ακριβής καθορισμός του ζυγωτισμού, καθώς και η προσεκτική επιλογή του δείγματος. Επιπλέον, ήταν απαραίτητη η εξασφάλιση της ακρίβειας και εγκυρότητας των μετρήσεων με την πιστή τήρηση των κανόνων εργομέτρησης και την διεξαγωγή πιλοτικής μελέτης.

Ο χαρακτηρισμός ενός ζευγαριού ως MZ ή ΔZ καθορίζει την πορεία της έρευνας και μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά συμπεράσματα. Στην παρούσα έρευνα καταβλήθηκε κάθε δυνατή προσπάθεια για την εξασφάλιση αυτής της συνθήκης. Η χρήση ερωτηματολογίου, οι δερματογλυφές, η εξέταση των μορφολογικών χαρακτηριστικών, οι πληροφορίες κατά τη γέννηση που δόθηκαν από τους γονείς, ο έλεγχος για την ύπαρξη υπολειπόμενου γονιδίου, καθώς και οι αιματολογικές εξετάσεις που είχαν πραγματοποιηθεί από προηγούμενες έρευνες στο εργαστήριο Εργοφυσιολογίας, διασφάλισαν σε μεγάλο ποσοστό την ακρίβεια του χαρακτηρισμού.

Η επιλογή του δείγματος επίσης έγινε με ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε να υπάρχει τήρηση των υποθέσεων του μοντέλου. Το εύρος ηλικίας ήταν σχετικά μικρό (18-25 ετών), ήταν ίδιου φύλου και όλα τα ζεύγη είχαν παρόμοια τοπογραφική προέλευση. Η ωριμότητα στο δείγμα διασφάλισε την εξάλειψη των διαφορών των MZ διδύμων που πιθανόν να υπήρχαν κατά τη γέννηση (Wilson 1986), και την πλήρη ωρίμανση του νευρομυϊκού συστήματος. Το κοινό φύλο και προ-

έλευση μείωσαν ακόμα περισσότερο τους εμπλεκόμενους παράγοντες οι οποίοι θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα. Για τη διασφάλιση των κοινών περιβαλλοντικών επιδράσεων, οι δοκιμαζόμενοι ερωτήθηκαν για το επάγγελμα και τις δραστηριότητές τους στον ελεύθερο χρόνο τους. Πιο συγκεκριμένα η εργασία έπρεπε να μην είναι χειρωνακτική για τον ένα δίδυμο και καθιστική για τον άλλο, γεγονός που θα επηρέαζε την αντοχή τους. Επίσης οι δραστηριότητες στον ελεύθερο χρόνο τους έπρεπε να είναι παρόμοιες και να επηρεάζουν τον οργανισμό τους στον ίδιο περίπου βαθμό. Ζεύγη που είχαν εκτεθεί σε αντίθετες κατευθύνσεις και βαθμούς περιβαλλοντικά ερεθίσματα αποκλείστηκαν από την έρευνα. Στοιχεία αποκλεισμού ήταν η ενασχόληση του ενός αδελφού με αθλητική δραστηριότητα ή με επάγγελμα τέτοιο που θα μπορούσε να αλλοιώσει την ορθότητα της υπόθεσης των όμοιων περιβαλλοντικών επιδράσεων. Πιο συγκεκριμένα, τρία ζεύγη αποκλείστηκαν από την έρευνα. Στα δύο υπήρξε πρόσφατο ιστορικό τραυματισμού στο γόνατο ενώ στο τρίτο υπήρχαν σαφώς αντίθετα περιβαλλοντικά ερεθίσματα (τελείως διαφορετικός τρόπος ζωής). Η υπόθεση των όμοιων περιβαλλοντικών επιδράσεων τόσο μεταξύ των αδελφών όσο και μεταξύ των δύο ομάδων ελέγχθηκε και στατιστικά με τα κριτήρια t' και F' του Christian (1979) τα οποία εξασφάλιζαν την ομοιότητα των μέσων όρων και της ολικής διασποράς με τον τύπο των διδύμων. Όλα τα ζεύγη, τέλος, προέρχονταν από το ίδιο περίπου κοινωνικό-οικονομικό επίπεδο.

Για την εξασφάλιση της ακρίβειας των μετρήσεων αλλά και της εγκυρότητάς τους τηρήθηκαν σχολαστικά όλοι οι κανόνες εργομέτρησης και πραγματοποιήθηκε πιλοτική μελέτη. Η εργοσπιρομέτρηση αλλά και οι σωματομετρήσεις πραγματοποιή-

θηκαν σε συνθήκες εργαστηρίου και περίπου την ίδια ώρα της ημέρας. Επίσης η πλήρης εξοικείωση με το εργοσπιρομετρικό σύστημα και το δαπεδοεργόμετρο ήταν απαραίτητη προϋπόθεση έναρξης της δοκιμασίας. Για την διασφάλιση της επίτευξης της $\dot{V}O_{2max}$ κατά τη δαπεδοεργομέτρηση απαιτήθηκε από τους δοκιμαζόμενους πλήρωση των κριτηρίων επίτευξης της όπως πλάτωμα στην πρόσληψη οξυγόνου, αναπνευστικό πηλίκο μεγαλύτερο του 1.1, καρδιακή συχνότητα ± 10 παλμούς από τη μέγιστη προβλεπόμενη, υποκειμενική κόπωση στην κλίμακα του Borg 19-20 και συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα κοντά στα 10 mmol/l. Επιπλέον, η πιλοτική μελέτη εξασφάλισε την εγκυρότητα της μέτρησης με έλεγχο της επαναληπτικότητας. Οι μέσοι όροι των διαφορών στις επαναληπτικές μετρήσεις ήταν σε χαμηλά επίπεδα (0.1-1.2%) και η συσχέτιση των τιμών στις μετρήσεις αυτές πολύ υψηλή (0.67-0.99).

5.1. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά

Τα ευρήματα της έρευνας για την κληρονομησιμότητα του αναστήματος, του βάρους και του ποσοστού λίπους θα παρουσιαστούν συγκριτικά με αυτά άλλων ερευνών και θα συζητηθεί η παρατηρούμενη συμφωνία ή διαφωνία με τα παραπάνω αποτελέσματα.

Το ανάστημα στην παρούσα έρευνα φαίνεται να ελέγχεται ισχυρά από τα γονίδια. Η σημαντική γενετική διακύμανση εξηγεί απόλυτα την φαινοτυπική διασπορά του χαρακτηριστικού ($h^2 = 1.00$). Σε απόλυτη συμφωνία με τα παραπάνω βρίσκονται και τα ευρήματα άλλων ερευνητών (Bouchard και Lortie 1984, Hewitt et al 1991, Szopa 1992, Μαριδάκη και συν. 1992, Μαριδάκη 1998). Αξίζει να σημειωθεί ότι στην έρευνα της Μαρι-

δάκη (1998) ο δείκτης ήταν υψηλότερος ($h^2 = 1.00$) σε κορίτσια σε μετεφηβική, από αυτά στην προεφηβική ηλικία ($h^2 = 0.98$). Η ερευνήτρια παρατήρησε μεγαλύτερη σύγκλιση τιμών στις MZ δίδυμες και απόκλιση τους στις ΔΖ. Η τάση αυτή εμφανίζεται και στην έρευνα του Wilson (1986) σε 952 παιδιά μέχρι 9 ετών. Ενώ κατά τη γέννηση δεν υπήρχε συσχέτιση του γνωρίσματος και του τύπου των διδύμων, στα 9 έτη η συσχέτιση αυτή ήταν 0,93 για τους MZ και 0,49 για τους ΔΖ.

Ο κληρονομικός δείκτης για το σωματικό βάρος ήταν αρκετά χαμηλότερος από ότι στο ανάστημα ($h^2 = 0.65$ και 0.49 σύμφωνα με τις εξισώσεις Clark και Newman αντίστοιχα) και οι ενδοζευγικές συσχετίσεις αρκετά υψηλές και για τις δύο ομάδες (0.94 για τους MZ και 0.88 για τους ΔΖ). Όταν όμως η σωματική μάζα ήταν άλιπη, η γενετική διακύμανση ισχυροποιήθηκε, παραμένοντας όμως και πάλι σε χαμηλότερα από αυτά του αναστήματος ($h^2 = 0.84$ για την εξίσωση Clark και 0.65 για την εξίσωση Newman).

Χαμηλότερες τιμές του δείκτη κληρονομησιμότητας για το σωματικό βάρος συγκριτικά με το ανάστημα, αναφέρουν και άλλοι ερευνητές (Mueller 1985, Wilson 1986). Ο Hewitt και οι συνεργάτες του (1991) όμως αναδεικνύουν μεν υψηλό κληρονομικό δείκτη για το ανάστημα και το βάρος, αλλά είναι υψηλότερος για τη σωματική μάζα ($h^2 = 0.77$ για το ανάστημα και 0.96 για το βάρος). Το σωματικό βάρος είναι μια μεταβλητή που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες (διατροφικές συνήθειες, τρόπος ζωής, ορμόνες). Το διαφορετικό ποσοστό κληρονομησιμότητας που παρουσιάζεται από τους ερευνητές είναι μάλλον αποτέλεσμα της μικρής ή μεγαλύτερης συμβολής κατά περίπτωση των παραγόντων που το συνιστούν.

Η μη σημαντική γενετική διακύμανση στο ποσοστό του σωματικού

λίπους έρχεται να υπερθεματίσει για τις χαμηλότερες τιμές του κληρονομικού δείκτη που παρατηρήθηκαν στην παρούσα έρευνα για το σωματικό βάρος. Αν και η ενδοζευγική συσχέτιση ήταν υψηλότερη για τους MZ σε σχέση με τους ΔZ διδύμους, η γενετική διασπορά ($F=1.64$, ns) δεν επέτρεψε την εξαγωγή του δείκτη. Σε έρευνες που το δείγμα τους είναι μικρότερης ηλικίας το ποσοστό του λίπους δέχεται έντονες γενετικές επιρροές (Μαριδάκη 1998). Επιπλέον, σε έρευνες όπου οι MZ διδύμοι μεγάλωσαν σε διαφορετικό περιβάλλον παρουσίασαν όμοιες ενδοζευγικές συσχετίσεις με αυτούς που ανατράφηκαν στην ίδια οικογένεια (Stunkard et al. 1990, Price et al. 1991).

Σύμφωνα με τον Bouchard και τους συνεργάτες του (1997) η κληρονομησιμότητα για το λιπώδη ιστό είναι 50-80% αλλά όταν προστεθούν και συγγενείς στο σχεδιασμό, ο γονότυπος εξηγεί το 25-40% της φαινοτυπικής διασποράς. Τέλος η αλληλεπίδραση γονότυπου και ενεργητικής ισορροπίας για το βάρος και το λίπος εξηγούν κατά τον ίδιο ερευνητή σε ένα βαθμό τις υψηλότερες τιμές του δείκτη που παρουσιάζονται στο μοντέλο των διδύμων (Poehlman et al. 1986, Poehlman et al. 1987).

5.2. Καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές

Επειδή η καρδιοαναπνευστική αντοχή είναι ένας σημαντικός παράγοντας τόσο στην αθλητική απόδοση σε αερόβια αγωνίσματα και αθλήματα, όσο και στην ευρωστία, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε τη σχετική επίδραση του γονότυπου και του περιβάλλοντος στις παρατηρούμενες ατομικές διαφορές των παραμέτρων που την συνιστούν. Η σπουδαιότητα της επίδρασης του γονότυπου στις διαφορές αυτές αποτυπώνεται με γλαφυρότητα στα λόγια του Olf Astrand, ενός από τους πιο αναγνωρι-

σμένους εργοφυσιολόγους του δεύτερου μισού του εικοστού αιώνα: «Ο καλύτερος τρόπος για να γίνεις πρωταθλητής είναι να επιλέξεις τους γονείς σου!». Στα πλαίσια αυτού του προβληματισμού της σχετικής επίδρασης του γονότυπου και του περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε τούτη η έρευνα, η οποία εξέτασε την κύρια ορίζουσα της καρδιοαναπνευστικής αντοχής που είναι η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, αλλά και βασικές συνιστώσες της όπως είναι η μέγιστη καρδιακή συχνότητα, το μέγιστο οξυγόνο παλμού, ο μέγιστος πνευμονικός αερισμός και το αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι. Επίσης εξετάστηκε και η επίδραση του γονότυπου στις ατομικές διαφορές που παρατηρούνται και στην αναερόβια γαλακτική ικανότητα όπως αυτή εκφράστηκε από την συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα, μετά τον τερματισμό μέγιστης προσπάθειας.

5.2.1. Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου (VO_{2max})

Η αερόβια ικανότητα όπως αυτή εκφράζεται μέσα από την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) στην παρούσα έρευνα, φαίνεται να βρίσκεται υπό γενετικό έλεγχο. Η επίδραση του γονότυπου στην φαινοτυπική διασπορά της VO_{2max} ήταν σημαντική ($p<0,01$), ακόμα και όταν απομονώθηκαν το σωματικό βάρος και το λίπος. Στη πρώτη περίπτωση οι τιμές του δείκτη έπεσαν και οι ενδοζευγικές συσχετίσεις αυξήθηκαν για τους ΔZ διδύμους (από 0,39 σε 0,55). Όταν όμως και το σωματικό λίπος απομονώθηκε, παρατηρήθηκε η μικρότερη συσχέτιση ($r=0,26$) για τους ΔZ διδύμους και ο υψηλότερος κληρονομικός δείκτης ($h^2=0,88$) για τη πρόσληψη οξυγόνου. Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν αναδείχτηκε σημαντική γενετική επίδραση στη διασπορά του ποσοστού του λίπους, οδηγούμαστε

στο συμπέρασμα ότι το σωματικό λίπος είναι ο κύριος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει αυτή τη διακύμανση του κληρονομικού δείκτη για την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Οι σχεδόν διπλάσιες ενδοζευγικές διαφορές για τους ΔΖ διδύμους συγκριτικά με τους ΜΖ σε όλες τις εκφράσεις της πρόσληψης οξυγόνου έδωσαν υψηλές τιμές του δείκτη κληρονομησιμότητας (0,83-0,88 και 0,72-0,81 σύμφωνα με τις εξισώσεις των Clark και Newman αντίστοιχα). Οι τιμές αυτές βρίσκονται σε αρμονία με τα αποτελέσματα του Κλεισούρα (1971, 1973, 1989) του Fagard και των συνεργατών του (1987, 1991) καθώς και της Maes και των συνεργατών της (1996), οι οποίοι αναφέρουν σημαντικές τιμές του δείκτη. Οι διακυμάνσεις στην τιμή του είναι αποτέλεσμα της επιλογής του δείγματος, καθώς και της στατιστικής προσέγγισης του θέματος. Η χρησιμοποίηση αυστηρότερων μεθόδων (απομόνωση παραγόντων, ανάλυση διαδρομών) έχει σαν αποτέλεσμα διαφορετικό κληρονομικό δείκτη, ο οποίος όμως διατηρείται πάντα σε σημαντικά επίπεδα. Όλοι οι παραπάνω ερευνητές υποστηρίζουν την σημαντικότητα του ποσοστού της διασποράς στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου που μπορεί να εξηγηθεί από το γονότυπο και είναι σε συμφωνία με τα παρόντα ευρήματα. Σε αντίθεση με την παραπάνω θέση και συνεπώς και με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, είναι οι έρευνες των Howald (1976) του Komí και των συνεργατών του (1976) καθώς και των Bouchard και των συνεργατών του (1986). Οι τιμές του κληρονομικού δείκτη κυμαίνονται σύμφωνα με τις παραπάνω μελέτες σε ασήμαντα επίπεδα και επομένως υπάρχει μικρή γενετική επίδραση στην VO_{2max} .

Όπως προαναφέρθηκε, ο ενδεδειγμένος έλεγχος των υποθέσεων του μοντέλου και ιδιαίτερα των περιβαλλοντικών επιδράσεων αποτελεί τη βάση, αλλά

και την προϋπόθεση για την εξαγωγή του δείκτη. Οι Komí και οι συνεργάτες του (1976) αναφέρουν ότι δεν υπήρχε έλεγχος σε περιβαλλοντικούς παράγοντες που πιθανόν να επιδρούσαν στην αλλοίωση των αποτελεσμάτων (υγεία, φυσική δραστηριότητα, κοινωνικοοικονομική κατάσταση). Ο Howald (1976) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι όταν απέκλεισε δύο ζεύγη ΜΖ διδύμων τα οποία είχαν εκτεθεί σε αντίθετες περιβαλλοντικές επιδράσεις ο δείκτης ανήλθε στο 68%.

Έλλειψη μνείας για τη συγκρισιμότητα των επιδράσεων του περιβάλλοντος γίνεται και στην έρευνα του Bouchard και των συνεργατών του (1986), η οποία περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος ηλικιών (16-34 ετών) και των δύο φύλων.

Σειρά μελετών σε οικογένειες (Montoye και Gayle 1978, Lortie et al. 1982, Lesage et al. 1985) φτάνουν στο συμπέρασμα ότι μη γενετικοί παράγοντες συμβάλουν στις ενδοατομικές διαφορές που υπήρχαν στο φαινότυπο του χαρακτηριστικού. Η προσέγγιση όμως του θέματος με αυτό τον τρόπο δεν επιτρέπει να εξετάσει ο ερευνητής ξεχωριστά την συμβολή των γενετικών και περιβαλλοντικών παραγόντων, αλλά την συνεισφορά τους στο φαινότυπο μέσα από οικογενειακές συσχετίσεις (Bouchard et al. 1997). Επιπλέον εντοπίζονται κάποια σημεία τα οποία αποδυναμώνουν την ισχύ των αποτελεσμάτων (πρόβλεψη και όχι μέτρηση της VO_{2max} , σημαντικές αλλά πολύ μικρές συσχετίσεις). Το μοντέλο της Maes και των συνεργατών της (1996), το οποίο περιελάμβανε 105 ζεύγη διδύμων αλλά και τους γονείς τους, ανέδειξε τιμές του δείκτη κληρονομησιμότητας παρόμοιες με αυτές μελετών μόνο με διδύμους (πίνακας 1). Επίσης ανέφερε συσχέτιση των γνωρισμάτων μεταξύ των γονέων, γεγονός που οδηγεί στη υποεκτίμηση του δείκτη (Neale και Gardon 1992). Τα παραπάνω ενισχύ-

ουν την άποψη ότι η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου βρίσκεται υπό έντονο γενετικό έλεγχο.

5.2.2. Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα

Η καρδιακή συχνότητα αποτελεί μια σημαντική συνιστώσα του συστήματος μεταφοράς οξυγόνου. Η σχετική συμμετοχή της καρδιακής αντλίας στην VO_{2max} και επομένως και στην καρδιοαναπνευστική αντοχή μέσω της καρδιακής παροχής είναι σημαντική. Η γενετική διακύμανση στην μέγιστη καρδιακή συχνότητα στην παρούσα έρευνα ήταν σημαντική ($F=7,31$, $p<0,05$) και εξηγούσε το 68-86% της φαινοτυπικής διασποράς. Οι διαφορές μεταξύ των MZ ζευγαριών ήταν 3 φορές μικρότερες, ακόμα και αν οι τιμές της VO_{2max} ή ο χρόνος διάρκειας της δοκιμασίας ήταν διαφορετικός.

Τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα του Κλεισούρα (1971) ($h^2=0,86$) ο οποίος μελέτησε τον καρδιακό παλμό κατά τη μέγιστη άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο. Την σημαντικότητα του κληρονομικού δείκτη για την μέγιστη καρδιακή συχνότητα υποστήριξε ο ερευνητής και σε επόμενη μελέτη του (Κλεισούρας και συνεργάτες 1989) με παρόμοιο περίπου εύρος (62-91%). Χαμηλότερες όμως τιμές του δείκτη κληρονομησιμότητας αναφέρει ο Bouchard και οι συνεργάτες του (1986) ($h^2=0,58$) υποστηρίζοντας παρόλα αυτά τη σημαντικότητα των γενετικών επιδράσεων στο μέγιστο καρδιακό παλμό ανά λεπτό. Όμως όπως προαναφέρθηκε, στη μελέτη αυτή υπάρχει αμφίβολος έλεγχος των περιβαλλοντικών επιδράσεων. Πιθανόν ο δείκτης να ήταν σε υψηλότερα επίπεδα μέσα από ένα τέτοιο αυστηρό έλεγχο.

Ο Fagard και οι συνεργάτες του (1991) συμφωνούν στην σημαντικότητα των γενετικών επιδράσεων στην

μέγιστη καρδιακή συχνότητα αναφέροντας ίδιο περίπου κληρονομικό δείκτη με τους προηγούμενους ερευνητές ($h^2=0,45-0,58$). Για τους ερευνητές, μικρή αλλά σημαντική επίδραση έχει και το περιβάλλον (26%), ενώ οι κοινοί περιβαλλοντικοί παράγοντες εξηγούν το 16% της διασποράς. Οι ίδιοι ερευνητές πάντως αναφέρουν δυσκολία συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων τους λόγω διαφορών στην επιλογή του δείγματος, στο πρωτόκολλο άσκησης ή στη στατιστική ανάλυση.

Την άποψη ότι η μέγιστη καρδιακή συχνότητα ελέγχεται σε σημαντικό βαθμό από τα γονίδια, υπερθεματίζουν τα ευρήματα των Van den Bree και των συνεργατών του (1996), τα οποία εξηγούν ισχυρότερη επίδραση των γονιδίων στην φαινοτυπική διασπορά καθώς η ένταση της προσπάθειας προσεγγίζει το μέγιστο.

5.2.3. Μέγιστο Οξυγόνο Παλμού

Το οξυγόνο παλμού είναι ένας δείκτης των αποθεμάτων απόδοσης του κάρδιο-κυκλοφορικού συστήματος (Hollman και Hettinger 1980). Όσο υψηλότερη η τιμή του τόσο μεγαλύτερη η δυνατότητα διάθεσης των αποθεμάτων από το κάρδιο-κυκλοφορικό σύστημα.

Το μέγιστο οξυγόνο παλμού βρίσκεται σύμφωνα με το αποτέλεσμα της παρούσας μελέτης υπό έντονο γενετικό έλεγχο. Οι ενδοζευγικές διαφορές είναι μικρές για τους MZ διδύμους και μεγάλες για τους ΔΖ, διαμορφώνοντας έτσι μεγάλη συσχέτιση μέσα στα ζευγάρια για τη πρώτη ομάδα ($r=0,88$) και μικρή για τη δεύτερη ($r=0,40$). Το 80-82% της φαινοτυπικής διασποράς μπορεί να εξηγηθεί από το γονότυπο, ποσοστό αρκετά υψηλό συγκριτικά με ευρήματα αντίστοιχων ερευνών.

Πιο συγκεκριμένα, ο Bouchard και οι συνεργάτες του (1986) υποστη-

ρίζουν σημαντικότητα του κληρονομικού δείκτη, αλλά σε πιο χαμηλά επίπεδα (έως 0.60). Η τιμή όμως αυτή ίσως να ήταν υψηλότερη αν ο έλεγχος των περιβαλλοντικών επιδράσεων ήταν αυστηρότερος. Παρόμοιες τιμές κληρονομησιμότητας για το οξυγόνο παλμού κατά τη μέγιστη προσπάθεια αναφέρουν ο Fagard και οι συνεργάτες του (1991) (από 0,57 έως και 0,60), μετά από τη απομόνωση ύψους, βάρους και φυσικής δραστηριότητας καθώς και με ανάλυση διαδρομών σαν στατιστική μέθοδο. Σε ελαφρά υψηλότερη τιμή του ($h^2=0,80$) κατέληξαν ο Κλεισούρας και οι συνεργάτες του (1989). Στην έρευνα αυτή η ηλικιακή επιλογή του δείγματος για την απομόνωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων ήταν αυστηρότερη (7-11 ετών), κάτι που ενισχύει το γεγονός ότι η απόλυτη τιμή του δείκτη είναι στενά συνδεδεμένη με την επιλογή του δείγματος.

Από όλες τις έρευνες αναδεικνύεται η σημαντική επίδραση του γονότυπου στη διαμόρφωση των ατομικών διαφορών που παρατηρούνται στο οξυγόνο παλμού κατά τη μέγιστη προσπάθεια. Η σημαντικότητα του κληρονομικού δείκτη που αναδεικνύεται από την παρούσα έρευνα είναι σε συμφωνία με τις προηγούμενες μελέτες. Ο υψηλότερος κληρονομικός δείκτης που παρατηρείται είναι μάλλον αποτέλεσμα της επιλογής του δείγματος.

Εξαίρεση στα παραπάνω αποτελεί η διαπίστωση του Ντάνη (1977) ότι το μέγιστο οξυγόνο παλμού φαίνεται να εξαρτάται εξίσου από την προπόνηση και τη κληρονομικότητα κατά 38 και 39% αντίστοιχα. Οι χαμηλότερη τιμή κληρονομησιμότητας αποδίδεται πιθανά στη διαφορετική μεθοδολογική προσέγγιση (co-twin study) και τον αριθμό του δείγματος (9 ζεύγη MZ διδύμων).

5.2.4. Αναερόβιο Αναπνευστικό Κατώφλι

Το αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι προσδιορίζεται από τη δυσανάλογη αύξηση του πνευμονικού αερισμού σε σχέση με την πρόσληψη οξυγόνου. Η ανάγκη για επιπλέον αερισμό οφείλεται στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο είναι προϊόν της ένωσης του γαλακτικού οξέος με τα διατανθρακικά του πλάσματος. Το κατώφλι αυτό είναι δείκτης έναρξης από τον αερόβιο στον αναερόβιο μεταβολισμό και επομένως αντιπροσωπεύει υπομέγιστη προσπάθεια. Στην παρούσα έρευνα εκφράστηκε με δύο μορφές: σε απόλυτες τιμές του προσλαμβανόμενου οξυγόνου, καθώς και σαν ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης. Στην πρώτη περίπτωση φαίνεται να υπάρχει σημαντική γονοτυπική επίδραση στην εμφάνιση του αναερόβιου κατωφλίου, η οποία εξηγεί το 59 έως 63% της παρατηρούμενης διασποράς.

Σε αρμονία με τα παραπάνω ευρήματα είναι η άποψη του Fagard και των συνεργατών του (1991), ότι το σημείο έναρξης του αναερόβιου μεταβολισμού εκφρασμένο σαν αναερόβιο κατώφλι είναι γενετικά ελεγχόμενο και σχετικά ανεξάρτητο από την VO_{2max} . Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα αυτό όταν μελέτησαν την πρόσληψη οξυγόνου σε αναπνευστικό πηλίκο 0,95 καθώς και την έναρξη της δυσανάλογης αύξησης του διοξειδίου σε σχέση με τη πρόσληψη αυτή. Υποστήριζαν ότι η κληρονομησιμότητα της VO_{2max} είναι ανεξάρτητη από τους μηχανισμούς αναερόβιας παραγωγής ενέργειας, γιατί παρέμεινε σε σημαντικά επίπεδα ακόμα και όταν οι παράγοντες αυτοί απομονώθηκαν. Πρέπει να σημειωθεί ότι και στη παρούσα μελέτη το αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι προσδιορίστηκε σύμφωνα με τη δυσανάλογη αύξηση του διοξειδίου σε σχέση με το προσλαμβανόμενο οξυγόνο (μέθοδος

V κλήσης), όπως περιγράφεται από τον Wasserman και τους συνεργάτες του (1987). Τα αποτελέσματα επομένως είναι άμεσα συγκρίσιμα και η συμφωνία τους οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το αναερόβιο κατώφλι όταν αναφέρεται στην πρόσληψη οξυγόνου σε απόλυτες τιμές είναι γενετικά ελεγχόμενο. Τα παραπάνω ενισχύονται από τα ευρήματα του Κλεισούρα και των συνεργατών του (1989), οι οποίοι ανέφεραν σημαντικότητα του κληρονομικού δείκτη για το αναερόβιο γαλακτικό κατώφλι (0,59-0,75). Το αντίθετο όμως συμβαίνει όταν συνδέεται με τη μέγιστη προσπάθεια εκφραζόμενο ως ποσοστό της $\dot{V}O_{2max}$. Στην προκειμένη περίπτωση η υψηλή συσχέτιση μεταξύ των MZ διδύμων ($r=0.73$) και η χαμηλή των ΔΖ ($r=0.26$), που είχε παρατηρηθεί προηγουμένως, πέφτει αντίστοιχα σε κοινή τιμή συσχέτισης και για τα δύο είδη διδύμων ($r=0.26$). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ασήμαντη γενετική διασπορά ($F=2.57$, ns) η οποία δεν επιτρέπει την εξαγωγή του κληρονομικού δείκτη.

Όλοι πάντως οι ερευνητές, καθώς και τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, συμφωνούν στο γεγονός ότι ο γονότυπος συμβάλλει σε μικρότερο βαθμό στις παρατηρούμενες ατομικές διαφορές της πρόσληψης οξυγόνου κατά την υπομέγιστη προσπάθεια συγκριτικά με την μέγιστη.

5.2.5. Άλλες Καρδιοαναπνευστικές Παράμετροι

Ο κατά λεπτό αερισμός είναι το γινόμενο της αναπνευστικής συχνότητας και του αναπνεόμενου όγκου αέρα. Η αύξηση στον κατά λεπτό αερισμό μπορεί να είναι αποτέλεσμα του βάθους ή της συχνότητας της αναπνοής ή και των δύο. Στην παρούσα έρευνα, ο πνευμονικός αερισμός κατά την μέγιστη προσπάθεια επηρεάζεται από το γονότυπο σε σημαντικό βαθμό ($h^2=0,48-0,78$). Σε αρμονία με τα πα-

ραπάνω είναι τα ευρήματα του Bouchard και των συνεργατών του (1986), οι οποίοι υποστήριξαν ότι η συμβολή του γονότυπου στη διασπορά του μέγιστου πνευμονικού αερισμού είναι 60%. Ελαφρά υψηλότερη επιρροή του γονότυπου και σε μεγαλύτερη συμφωνία με τα παρόντα ευρήματα, αναφέρουν ο Κλεισούρας και οι συνεργάτες του (1989). Η κληρονομησιμότητα στη διασπορά του κατά λεπτό όγκου αέρα κατά τη μέγιστη προσπάθεια ήταν 0.74 και 0.73 για τις εξισώσεις των Clark και Newman αντίστοιχα.

Οριακά σημαντική ήταν στην παρούσα έρευνα η γενετική διασπορά για τον αναπνεόμενο όγκο αέρα. Ο κληρονομικός δείκτης ήταν 0.65 και 0.67 για τις εξισώσεις των Clark και Newman αντίστοιχα. Η συχνότητα αναπνοής όμως δεν φάνηκε να επηρεάζεται από γενετικούς παράγοντες ($F=2,60$ ns), καθώς οι διαφορές για τους MZ διδύμους ήταν μεν μικρότερες, αλλά οι ενδοζευγικές συσχετίσεις υψηλότερες για τους ΔΖ. Το γεγονός ότι η ρύθμιση της αναπνοής είναι ένα σύνθετο και πολυπαραγοντικό φαινόμενο (συνιστώσα χημικών και νευρικών ερεθισμάτων) μπορεί να εξηγήσει σε κάποιο βαθμό την απουσία γενετικών επιδράσεων για την μέγιστη συχνότητα αναπνοής. Πρέπει να σημειωθεί ότι για τον αναπνεόμενο όγκο αέρα αλλά και για την συχνότητα αναπνοής η γενετική διακύμανση ήταν οριακά σημαντική και μη σημαντική αντίστοιχα. Για την επιβεβαίωση των παραπάνω ευρημάτων είναι απαραίτητη η παραπέρα έρευνα.

Όπως για την αναπνευστική συχνότητα, έτσι και για το αναπνευστικό πηλίκο η γενετική επίδραση ήταν ασήμαντη ($F=0.82$, ns). Ενώ η πρόσληψη οξυγόνου δέχεται ισχυρές γενετικές επιδράσεις (πίνακας 6) κάτι παρόμοιο δεν συμβαίνει με το πηλίκο του παραγόμενου διοξειδίου προς το προσλαμβανόμενο οξυγόνο. Το φαι-

νόμενο αυτό μπορεί να οφείλεται στην διαφορετική χρονική στιγμή διακοπής της προσπάθειας του ενός δυδίου σε σχέση με τον αδελφό του. Ενώ ο ένας μόλις επιτεύχθηκε η VO_{2max} να σταμάτησε την προσπάθεια, ο άλλος να συνέχισε χρησιμοποιώντας τον αναερόβιο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας. Η υπόθεση όμως αυτή δεν επαληθεύτηκε γιατί από τη μία πλευρά υπήρχε σημαντική ενδοζευγική συσχέτιση και για τις δύο ομάδες στην διάρκεια εργοσπιρομέτρησης ($r=0.94$ για τους MZ και 0.72 για τους ΔZ) και από την άλλη η συσχέτιση παραγωγής γαλακτικού και αναπνευστικού πηλίκου ήταν χαμηλή ($r=0.05$). Στη μη ύπαρξη γενετικής επίδρασης κατέληξαν και ο Fagard με τους συνεργάτες του (1991), οι οποίοι απέδωσαν στα γονίδια μόνο το 6% της φαινοτυπικής διασποράς. Παρόμοια, χρειάζεται παραπέρα μελέτη προκειμένου να προσδιοριστεί η σχετική επίδραση του γονότυπου και του περιβάλλοντος στο αναπνευστικό πηλίκο.

Ο λόγος του κατά λεπτό αερισμού προς την πρόσληψη οξυγόνου (αναπνευστικό ισοδύναμο του οξυγόνου) είναι δείκτης αναπνευστικής οικονομίας. Τα συστήματα ελέγχου της αναπνοής κρατούν σε ένα μεγάλο εύρος έντασης της άσκησης το αναπνευστικό ισοδύναμο του οξυγόνου σταθερό. Κατά την μέγιστη άσκηση όμως αυξάνει, καθώς χρειάζεται περισσότερος αέρας για την πρόσληψη ενός λίτρου οξυγόνου. Στην παρούσα έρευνα το ισοδύναμο αυτό κατά τη μέγιστη άσκηση δέχεται γενετικές επιδράσεις σύμφωνα με την εξίσωση του Clark ($h^2=0.72$) ενώ όταν χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Newman αυτές ήταν οριακές ($h^2=0.48$). Αντίθετα είναι τα αποτελέσματα του Fagard και των συνεργατών του (1991), οι οποίοι υποστήριξαν ότι η συμβολή του γονότυπου ήταν μηδενική. Η διαμόρφωση των ατομικών διαφορών στον κατά λεπτό αερισμού προς την πρόσληψη

οξυγόνου οφειλόταν κατά τους ερευνητές σε κοινούς και μη περιβαλλοντικούς παράγοντες. Πιθανή εξήγηση πρέπει να αναζητηθεί στην πολυπλοκότητα ρύθμισης της αναπνοής για την κάλυψη των αναγκών του οργανισμού σε οξυγόνο. Χρειάζεται πάντως παραπέρα διερεύνηση της επίδρασης του γονότυπου στον τρόπο ρύθμισης της αναπνοής, κατά την ηρεμία και την άσκηση.

5.2.6. Μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα

Η ικανότητα παραγωγής μυϊκής ενέργειας με έλλειψη οξυγόνου αναφέρεται στη λειτουργία του αναερόβιου γαλακτικού μηχανισμού. Το γαλακτικό οξύ, προϊόν της αποδόμησης του μυϊκού γλυκογόνου κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, παράγεται στο μυϊκό περιβάλλον και λίγα λεπτά μετά την διακοπή της προσπάθειας παρατηρείται η μέγιστη συγκέντρωσή του στο αίμα. Η συγκέντρωση αυτή αντανακλά την αναερόβια γαλακτική ικανότητα.

Στην παρούσα έρευνα, η επίδραση του γονότυπου στις ατομικές διαφορές που παρατηρούνται για την μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα ήταν σημαντική. Ο κληρονομικός δείκτης ήταν πολύ υψηλός ($h^2=0.97$), με την ενδοζευγική συσχέτιση για τους MZ 0.98 ενώ για τους ΔZ 0.39 . Σε συμφωνία με τα ευρήματα της έρευνας αυτής είναι του Klissoura (1971) του Klissoura και των συνεργατών του (1989) του Roda και των συνεργατών του (1998), καθώς και της Μαριδάκη (1998). Αν και οι έρευνες του Klissoura (1971, 1989) και της Μαριδάκη (1998) αφορούσαν παιδιά, ενώ του Roda και των συνεργατών του ενήλικα άτομα όπως και η παρούσα έρευνα, ο δείκτης ήταν υψηλός ($h^2=0.74-0.99$). Φαίνεται λοιπόν ότι και κατά τα αναπτυξιακά χρόνια όπου ο οργανισμός είναι ανώριμος στην ανοχή συγκέντρωσης γαλακτι-

κού οξέος, αλλά και στην πλήρη ωρίμανση, οι ατομικές διαφορές που οφείλονται σε γενετικούς παράγοντες είναι μεγαλύτερες στους ΔΖ από ότι στους ΜΖ με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε υψηλό δείκτη κληρονομησιμότητας για όλες τις ηλικιακές φάσεις.

Αυτό μας οδηγεί στην συμφωνία ότι η επίδραση που ασκεί ο γονότυπος στις παρατηρούμενες διαφορές της αναερόβιας γαλακτικής ικανότητας όπως αυτή εκφράζεται από τη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα μετά τον τερματισμό της μέγιστης προσπάθειας είναι σημαντική.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τήρηση των υποθέσεων που διέπουν το μοντέλο των διδύμων διασφάλισε τη μεγαλύτερη δυνατή εγκυρότητα της εξαγωγής του δείκτη κληρονομησιμότητας για τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά. Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης επιβεβαιώθηκε η σημαντική επιρροή του γονότυπου στην παρατηρούμενη φαινοτυπική διασπορά της καρδιοαναπνευστικής αντοχής. Πιο συγκεκριμένα:

1. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) δέχεται έντονες γενετικές επιδράσεις. Η αερόβια ικανότητα που εκφράζεται από την παραπάνω παράμετρο οριοθετείται σε σημαντικό βαθμό από τον γονότυπο.
2. Η σχετική ισχύς της κληρονομικότητας ήταν σημαντική και για παραμέτρους που συνιστούν την καρδιοαναπνευστική αντοχή όπως ο μέγιστος πνευμονικός αερισμός (VE_{max}), η μέγιστη καρδιακή συχνότητα (HR_{max}), τον μέγιστο οξυγόνο παλμού (VO_2/HR_{max}), και το αναπνευστικό ισοδύναμο του οξυγόνου (VE/VO_{2max}).
3. Το αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι δέχεται χαμηλότερες,

αλλά σημαντικές γονοτυπικές επιρροές.

4. Ο αναερόβιος μεταβολισμός, όπως αυτός εκφράζεται από τη μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα, είναι γενετικά ελεγχόμενος.
5. Η φαινοτυπική διασπορά των σωματομετρικών χαρακτηριστικών (ανάστημα, βάρος) είναι σε υψηλό βαθμό καθορισμένη από το γονότυπο, ενώ αντίθετα το ποσοστό του λίπους δέχεται έντονες περιβαλλοντικές επιδράσεις.

6.1. Προβλήματα για παραπέρα μελέτη

Η κληρονομησιμότητα αποτελεί τη μια πτυχή του ερωτήματος αν ο πρωταθλητής γεννιέται ή γίνεται. Η άλλη πτυχή αφορά την προσαρμοστικότητα του χαρακτηριστικού στο ερέθισμα. Θα ήταν λοιπόν εξαιρετικά ενδιαφέρον να μελετηθεί η επίδραση ενός προπονητικού προγράμματος σε MZ και ΔZ δίδυμα αδέλφια, έτσι ώστε να ελεγχθεί αν η καρδιοαναπνευστική αντοχή θα εξακολουθούσε να εμφανίζει σημαντικό γονιδιακό έλεγχο. Η απομόνωση του παράγοντα προσαρμογή θα δώσει ξεκάθαρες πλέον απαντήσεις για το τι καθορίζει τα ανώτατα όρια στην καρδιοαναπνευστική αντοχή και επομένως στην απόδοση σε αερόβια αθλήματα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams, T., F., Yanowitz, A., Fisher, J., et al. (1985). Heritability of cardiac size: an echocardiographic and electrocardiographic study of monozygotic and dizygotic twins. *Circulation*, 71, 39-44.
- American College of Sports Medicine (1991). Guidelines for exercise test administration. In Lea & Febiger (Eds.), *Guidelines for exercise testing and prescription* (volume 4, pp. 55-89) Philadelphia.
- Bielen, E., Fagard, R., Amery, A. (1990). Inheritance of heart structure and physical exercise capacity: A study of left ventricular structure and exercise capacity in 7-year-old twins. *European Heart Journal*, 11, 7-16.
- Bouchard, C., Lortie, G., Simoneau, J., A., et al. (1984). Submaximal power output in adopted and biological siblings. *Annals of Human Biology*, 11, 303-309.
- Bouchard, C., Lortie, G. (1984) Heredity and endurance performance. *Sports Medicine* 1, 38-64.
- Bouchard, C., Lesage, R., Lortie, G., et al. (1986). Aerobic performance in brother's dizygotic and monozygotic twins. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 18, 639-646.
- Bouchard, C., Simoneau, J., A., Boulay, M., R., et al. (1986b). Genetic effects in human skeletal muscle fiber type distribution and enzyme activities. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 64, 1245-1251.
- Bouchard, C., Perusse, L., Leblanc, C., et al. (1988). Inheritance of the amount and distribution of human body fat. *International Journal of Obesity*, 12, 205-215.
- Bouchard, C., Perusse, L., Leblanc, C. (1990). Using MZ twins in experimental research to test for the presence of a genotype-environment interaction effect. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 39, 85-89.
- Bouchard, C., Dionne, F., T., Simoneau, J., A., Boulay, M., R. (1992). Genetics of aerobic and anaerobic performances. In: J. O. Hollozy (Ed), *Exercise and Sport Science Reviews* (volume 20, pp. 27-58). Williams and Wilkins, Baltimore.
- Bouchard, C., Pérusse, L. (1996) Current status of the human obesity gene map. *Obesity Research*, 4, 81-90.
- Bouchard, C., Malina, R., M., Perusse, L. (1997). Genetics and performance. In Bouchard, C., Malina, R., M., Perusse, L. (Eds.) *Genetics of fitness and physical performance* (pp. 311-345). Human Kinetics, Champaign, USA.
- Bouchard, C., Daw, E., W., Rice, T., et al. (1998). Familial resemblance for VO_{2max} in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (2), 252-258.
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J., et al. (1999). Familial aggregation for VO_{2max} response to exercise training: results from the HERITAGE family study. *Journal of Applied Physiology*, 87 (3), 1003-1008.
- Burke, P., H., (1989). Intrapair facial differences in twins. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 38, 37-47.

- Christian, J., C. (1979). Testing twin means and estimating genetic variance: Basic methodology for the analysis of quantitative twin data. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 28, 35-40.
- Clark, P., J. (1956). The heritability of certain anthropometric characters as ascertained from measurements of twins. *American Journal of Human Genetics*, 7, 49-54.
- Engstrom, L., M., Fischbein, S. (1977). Physical capacity in twins. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 26, 159-165.
- Fagard, R., Broeke, C., Bielen, E., Amery, A. (1987). Maximum oxygen uptake and cardiac size and function in twins. *American Journal of Cardiology*, 60, 1362-1367.
- Fagard, R., Bielen, E., Amery, A. (1991). Heritability of aerobic power and anaerobic energy generation during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 70 (1), 357-362.
- Fairpo, G. (1979). The problem of determining twins zygoty for epidemiological studies. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 28, 21-33.
- Falconer, D., S. (1960). Quantitative Genetics. Ronald Press, New York.
- Gedda, L. (1960). Sports and genetics. A study on twins (351 pairs). *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 9(4), 387-401.
- Guo, Sun-Wei (1999). The behaviors of some heritability estimators in the complete absence of genetic factors. *Human heredity*, 49, 215-228.
- Hamel, P., Simoneau, J., A., Lortie, G., Boulay, M., R., Bouchard, C. (1986). Heredity and muscle adaptation to endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(6), 690-696.
- Hewitt, J., K., Stunkard, A., J., Carroll, D., et al. (1991). A twin study approach towards understanding genetic contributions to body size and metabolic rate. *Acta Geneticae Medicae et Gemellologiae*, 40, 133-146.
- Holzinger, J., J. (1929). The relative effect of nature and nurture in twin differences. *J. Educ. Psychol.* 20, 241-248.
- Hopper, J., L. (1992). The Epidemiology of Genetic Epidemiology. *Acta Geneticae Medicae et Gemellologiae*, 41, 261-273.
- Howald, H. (1976). Ultrastructure and biochemical functions of skeletal muscle in twins. *Annals of Human Biology*, 3, 455-462.
- Jackson, A., S., Pollock, M., L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*, 40, 497-504.
- Jones, B., Klissouras, V. (1986). Genetic variation in the force-velocity relation of human muscle. In: *Sport and Human Genetics*, R.M. Malina and C. Bouchard (eds). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers Inc. (pp.155-163), Champaign, Illinois.
- Karsiel, J., Eaves, L. (1976). The zygoty of twins: Further evidence on the agreement between diagnosis by blood groups and written questionnaires. *J. Biosoc. Sci.* 8, 263-266.
- King, M., C., Friedman, G., D., Lattanzio, D., et al. (1980). Diagnosis of twin zygoty by self-assessment and by genetic analysis. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 29,

- 121-126.
- Klissouras, V. (1971). Heritability of adaptive variation. *Journal of Applied Physiology*, 31(3), 338-344.
- Klissouras, V. (1997). Heritability of adaptive variation: An old problem revisited. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37 (1), 1-6.
- Klissouras, V., Paxinos, T., Danis, A., Maridaki, M., Koskolou, M. (1989). Genetic strength and biological determinants of sports performance. *World congress of sports science*. Colorado springs, Oct. 28 – Nov. 3.
- Klissouras, V., Pirnay, F., Petit, J., M. (1973). Adaptation to maximal effort: Genetics and age. *Journal of Applied Physiology*, 35(2), 288-293.
- Komi, P., V., Klissouras, V., Karvinen, E. (1973). Genetic Variation in the Neuromuscular Performance. *Int. Z. Angew. Physiol.* 31, 289-304.
- Komi, P., V., Vitasalo, J., H., T., Havu, M., et al. (1976). Physiological and structural performance capacity: effect of heredity. In: *Biomechanics V*, P.V. Komi (Ed.), (p.p. 118-123) Baltimore, University Park Press.
- Komi, P., V., Vitasalo, J., H., T., Havu, M., et al. (1977). Skeletal muscle fibers and muscle enzymes activities in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiologica Scandinavica*, 100, 385-392.
- Kovar, R. (1986). The determination of twin zygosity by questionnaire method. *Acta Universitatis Carolinae Gymnica*, 22(2), 117-121.
- Κλεισούρας, Β. (1991). Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. *Εργομετρία, μέτρηση της μυϊκής προσπάθειας* (σελ. 139-156). Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Lesage, R., Simoneau, J., A., Jobin, J., et al. (1985). Familial resemblance in maximal heart rate, blood lactate and aerobic power. *Human Heredity*, 35, 182-189.
- Lortie, G., Bouchard, C., Leblanc, C., et al. (1982). Familial similarity in aerobic power. *Human Biology* 54 (4), 801-812.
- Maes, H., M., Beunen, G., P., Vlietinck, R., F., Neale, M., C., et al. (1996). Inheritance of physical fitness in 10-yr-old twins and their parents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (12), 1479-1491.
- Maridaki, M., Klissouras, V. (1991). Somatotype in young monozygotic and dizygotic twins. *Proc. 2nd IOC World Congress on Sport Science*, Barcelona.
- Montoye, H., J., Gayle, R. (1978). Familial relationships in maximal oxygen uptake. *Human Biology* 50 (3), 241-249.
- Mueller, W., H. (1983). The genetics of human fatness. *Year book. Phys. Anthropol.* 26, 215-230.
- Mueller, W., H. (1985) The genetics of size and shape in children and adults. In: Falconer, F., Tanner, J., M., (eds). *Human growth: A comprehensive treatise. Methodology, ecological, genetic, and nutritional effects on growth*. (Vol. 3, p.p. 145-68). New York: Plenum Press.
- Μαριδάκη, Μ. (1998). Κληρονομησιμότητα της ωριμότητας και της μυϊκής απόδοσης σε κορίτσια ηλικίας 10-18 ετών. *Διδακτορική διατριβή*, Αθήνα.
- Μαριδάκη, Μ., Κυπριανός, Μ. και Κλεισούρας, Β. (1992). Μορφολογικές διακυμάνσεις κατά την

- αναπτυξιακή ηλικία: Γενετική βάση. *Πρακτικά Συνεδρίου Ορίζοντες Αθλητικής Επιστήμης*, Αθήνα.
- Nance, W., A., Corey, L., A. (1975). Genetic models for the analysis of data from the families of identical twins. *Genetics*, 83, 811-826.
- Neale, M., C., Cardon, L., R. (1992). Methodology for genetic studies of twins and families. Kluwer Academic Publishers, London.
- Newman, H., H., Freeman, F., N., Holzinger, J., J. (1937). Twins: A study of heredity and environment, University of Chicago Press, Chicago.
- Nylander, P., P., S. (1970), Placental Forms and Zygosity Determination of Twins in Ibadan, Western Nigeria. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 19,49-54.
- Ντάνης, Α. (1997). Βιολογικές προσαρμογές στην προεφηβική και εφηβική ηλικία: Κληρονομικότητα και προπόνηση. *Διδακτορική διατριβή*, Αθήνα.
- Ooki, S., Yamada, K., Asaka, A., Hayakawa, K. (1990). Zygosity Diagnosis of Twins by Questionnaire. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 39,109-115.
- Oppert, J., M., Nadeau, A., Tremblay, A., et al. (1997). Negative energy balance with exercise in identical twins: plasma glucose and insulin responses. *American Journal of Physiology*, 272, E248-E254.
- Parisi, P., Alciati, G., Bacco, M. (1970). Heredity and environment in finger and palm prints. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 19,157-159.
- Perusse, L., Leblanc, C., Bouchard C. (1987). Inter – generation transmission of physical fitness in the Canadian population. *Canadian Journal of Sports Science*, 13 (1), 8-14.
- Perusse, L., Lortie, G., Leblanc, C., et al. (1987). Genetic and environmental sources of variation in physical fitness. *Annals of Human Biology*, 14, 425-434.
- Perusse, L., Tremblay, A., Leblanc, C., Bouchard, C. (1989). Genetic and environmental influences on level of habitual physical activity and exercise participation. *American Journal of Epidemiology*, 129,1012-22.
- Plato, C., C., Schwartz, J., T., Wertenstecki, W. (1976). Dermatoglyphic investigations in twins and siblings. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 25,167-173.
- Plomin, R., DeFries, J., C., McKlearn, G., E. (1995). Twin studies. In: *Behavioral genetics* (pp. 309-340). W. H. Freeman and Company, New York.
- Poehlman, E., T., Tremblay, A., Després, J., P., Fontaine, E., Pérusse, L., Thériault, G., Bouchard, C. (1986) Genotype-controlled changes in body composition and fat morphology following overfeeding in twins. *American Journal of Clinical Nutrition*, 44,723-31.
- Poehlman, E., T., Tremblay, A., Marcotte, M., Pérusse, L., Thériault, G., Bouchard, C. (1987) Heredity and changes in body composition and adipose tissue metabolism after short-term exercise-training. *European Journal of Applied Physiology* 56,398-402.
- Price, R., A., Gottesman, I. (1991) Body fat in identical twins reared apart: Roles for genes and environment. *Behavioral Genetics* 21,1-7.
- Prud'Homme, D., Bouchard, C.,

- Leblanc, C., et al. (1984). Sensitivity of maximal aerobic power is genotype depended. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 16(5), 489-493.
- Rivera, M., Dionne, F., Simoneau, J., et al. (1997). Muscle-specific creatine kinase gene polymorphism and VO_{2max} in the HERITAGE family study. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29(10), 1311-1317.
- Rivera, M., Perusse, L., Simoneau J., A., et al. (1999). Linkage between a muscle specific CK gene marker and VO_{2max} in the HERITAGE family study. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31(5), 698-701.
- Rodas, G., Calvo, M., Estruch, A., et al. (1998). Heritability of running economy: a study made on twins brothers. *European Journal of Applied Physiology* 77, 511-516.
- Rodas, G., Ercilla, G., Javierre, C. et al. (1997). Could the A2 AII human leukocyte antigen locus correlate with maximal aerobic power? *Clinical Science*, 92, 331-333.
- Ronikier, A., Sklad, M., Tyszkiewicz M. (1992). Effects of hereditary and environmental factors on creatine kinase activity in twins. *Biology of Sport*, 9(1), 33-36.
- Shephard, R., J., Thomas, S., Weller, I. (1991). The Canadian home fitness test: 1991 Update. *Sports Medicine*, 11, 358.
- Siri, W., E. (1956). The gross composition of the body. *Advances in Biological and Medical Physics*, 4, 239-280.
- Sklad, M. (1972). Similarity of movements in twins. *Wychowante Fizyczne I Sport* 3, 121-141.
- Slaughter, M., H., Lohman, T., G., Boileau, R., A., et al. (1988). Skin fold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*, 60, 709-723.
- Spungen, A., M., Wang, J., Pierson, R., N., et al. (2000). Soft tissue body composition differences in monozygotic twins discordant for spinal cord injury. *Journal of Applied Physiology*, 88, 1310-1315.
- Strachan, T., Harris, R. (1994). The HLA system. In: *Principles and practice of medical genetics* (pp. 1453-1460).
- Stunkard, A., J., Harris, J., R., Pedersen, N., L., McClearn, G., E. (1990). The body mass index of twins who have been reared apart. *New Engl. Journal of Medicine* 322, 1483-1487.
- Stunkard, A., J., Harris, J., R., Pedersen, N., L., McClearn, G., E. (1990). The body-mass index of twins who have been reared apart. *New Engl. Journal of Medicine* 322, 1483-87.
- Szopa, J. (1992). Genetic and environmental conditioning of somatic development of children between the ages of seven and fourteen: results of longitudinal family research. Academy of physical education in Cracow.
- Thomson, J., Thomson, M., W. (1980). Twins in medical genetics. In *Genetics in medicine* (pp. 309-319), W., B. Saunders company, Philadelphia.
- Van den Bree, M., B., M., Schieken, R., M., Moskowitz, W., B., Eaves L., J. (1996). Genetic regulation of hemodynamic variables during dynamic exercise. The MCV twin study. *Circulation*, 94, 1864-1869.
- Von Verschuer, F. (1939). Twin research from the time of Francis

- Galton to the present-day. *Prod. Roy. Soc.* (pp. 62-81), London.
- Wasserman, K., Hansen, J., Sue, D., Whipp, B. (1987). Measurement of the physiological response to exercise, (pp. 27-44). In *Principles of exercise testing and interpretation*. Lea & Febiger (eds), Philadelphia.
- Weber, G., Kartodiharjo, W., Klissouras, V. (1976). Growth and physical training with reference to heredity. *Journal of Applied Physiology*, 40 (2), 211-215.
- Williams, L., R., Gross, J., B. (1980). Heritability of motor skill. *Acta Geneticae Medicae et Gemellologiae*, 29,127-136.
- Wilson, R., S. (1980). Bloodtyping and Twin Zygosity. Reassessment and extension. *Acta Geneticae Medicae Gemellologiae*, 29,103-120.
- Wilson, R., S. (1986) Twins: Genetic influence on growth (pp1-21). In: *Sport and human genetics*. Malina, R.M. Bouchard, C., (eds). Champaign, IL: Human Kinetics.

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

8.1. Περίληψη της εργασίας σε δύο σελίδες.

ΚΛΗΡΟΝΟΜΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΝΔΡΕΣ ΗΛΙΚΙΑΣ 18-25 ΕΤΩΝ

Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού,
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Σ. Κουναλάκης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

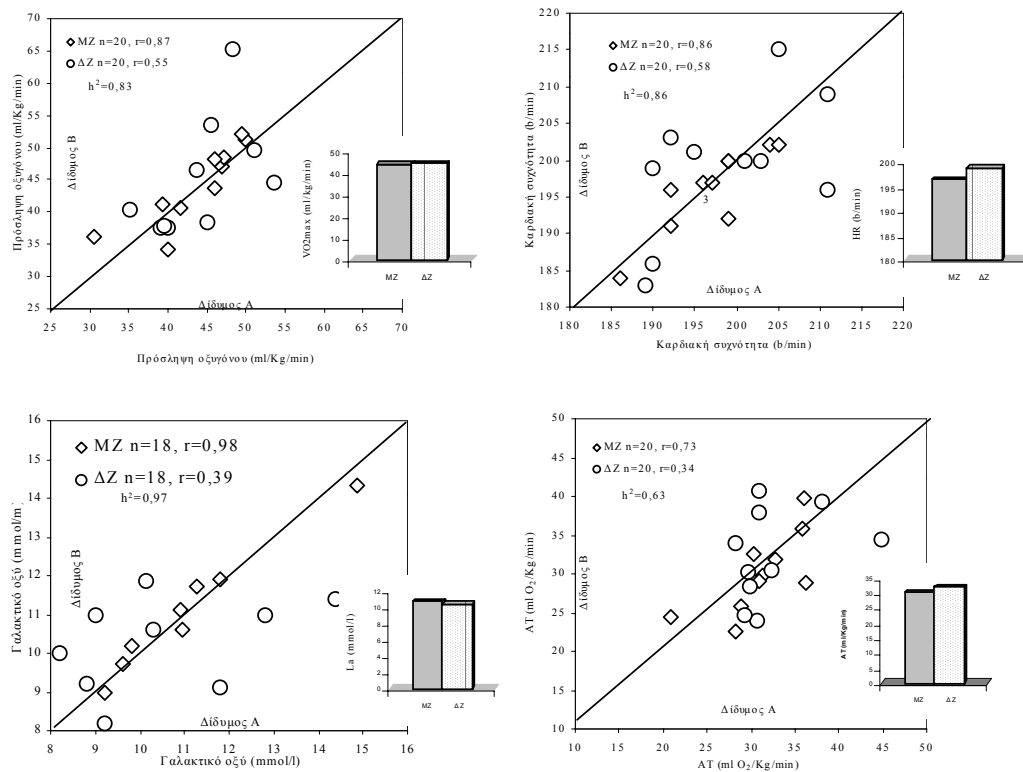
Οι απόψεις των ερευνητών σχετικά με την κληρονομησιμότητα της καρδιοαναπνευστικής αντοχής με την χρήση του μοντέλου των διδύμων διαφέρουν (Klissouras 1971, Bouchard et al. 1986, Fagard et al. 1991, Maes et al. 1996). Οι διαφορές απορρέουν από μεθοδολογικές αδυναμίες και αφορούν κυρίως τις υποθέσεις του μοντέλου αυτού. Αντικρουόμενα είναι τα αποτελέσματα για την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_2max), ενώ παρατηρείται μεταξύ των ερευνητών διαφορετικού βαθμού επίδραση του κληρονομικού παράγοντα σε σημαντικές ορίζουσες της καρδιοαναπνευστικής αντοχής όπως η καρδιακή συχνότητα (HR), ο πνευμονικός αερισμός (VE) και το γαλακτικό οξύ (La) κατά την μέγιστη προσπάθεια. Επιπλέον, η κληρονομησιμότητα της πρόσληψης οξυγόνου κατά την υπομέγιστη προσπάθεια δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Για τη διερεύνηση του θέματος επιλέχθηκαν 10 ζεύγη μονοζυγωτικών (MZ) και 10 διζυγωτικών (DZ) διδύμων ανδρών, ηλικίας 18-25 ετών από την περιοχή της Αττικής. Οι δοκιμαζόμενοι έτρεξαν στο δαπεδοεργόμετρο με ταχύτητα $8 \text{ Km} \cdot \text{h}^{-1}$ και αρχική κλίση 1%, που αυξανόταν προοδευτικά κατά 1% κάθε λεπτό μέχρι εξάντλησης. Χρησιμοποιήθηκε εργοσπιρομετρικό σύστημα για τον προσδιορισμό της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη μυϊκή προσπάθεια, καθώς και του αναερόβιου κατώφλιου που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο V, η οποία βασίζεται στην δυσανάλογη αύξηση του αποβαλλόμενου διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τον αερόβιο μεταβολισμό. Ακόμα, μετρίονταν καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας η καρδιακή συχνότητα τηλεμετρικά και με ηλεκτροκαρδιογράφο. Μετά τον τερματισμό της προσπάθειας και στο πέμπτο λεπτό έγινε λήψη αρτηριοποιημένου αίματος και προσδιορισμός της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος φωτοφασματομετρικά. Η στατιστική ανάλυση περιλάμβανε τους μέσους όρους και τις τυπικές αποκλίσεις καθώς και τα στατιστικά κριτήρια t' , F' και F για τον έλεγχο των υποθέσεων στις οποίες στηρίζεται ο υπολογισμός του δείκτη κληρονομησιμότητας (h^2). Ο δείκτης αυτός εκφράζει τη σχετική συμβολή του γονότυπου στην φαινοτυπική διασπορά των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση τη σημαντικότητα της γενετικής διακύμανσης στην φαινοτυπική διασπορά υπολογίστηκε ο δείκτης κληρονομησιμότητας για τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($h^2 = 0.85$), την μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($h^2 = 0.86$), τον μέγιστο πνευμονικό αερισμό ($h^2 = 0.78$), το αναερόβιο αναπνευστικό κατώφλι ($h^2 = 0.63$) και για την μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα ($h^2 = 0.97$). Οι αντίστοιχες ενδοζευγικές συσχετίσεις για τις παραπάνω παραμέτρους ήταν υψηλές για τους MZ διδύμους ($r = 0.40$ έως 0.98) και χαμηλότερες για τους DZ ($r = -0.10$ έως 0.55). Η γενετική διακύμανση αντίθετα δεν παρουσίασε σημαντικότητα για το αναπνευστικό πηλίκο ($F = 0.82$, ns), την αναπνευστική συχνότητα ($F = 2.60$, ns) και το αναερόβιο κατώφλι όταν αυτό εκφράστηκε σαν ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ($F = 2.57$, ns).



Σχήμα 1: Η διασπορά της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_2 : $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (HR : $beats \cdot min^{-1}$), της μέγιστης συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα (La : $mmol \cdot l^{-1}$) και του αναερόβιου αναπνευστικού κατωφλίου (AT : $ml O_2 \cdot min^{-1} \cdot Kg^{-1}$) για τα MZ (ρόμβοι) και ΔΖ (κύκλοι) δίδυμα αδέρφια, ενδοζευγική συσχέτιση και δείκτης κληρονομησιμότητας (εξίσωση Clark). Στο ένθετο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και των δύο ομάδων για τη μεταβλητή.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η πιστή τήρηση των υποθέσεων που διέπουν το μοντέλο των διδύμων διασφάλισε τη μεγαλύτερη δυνατή εγκυρότητα του δείκτη κληρονομησιμότητας για τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά. Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι σε αρμονία με αυτά των Klissoura (1971), Fagard et al. (1991) και Maes et al. (1996) για την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και σε αντίθεση με τα συμπεράσματα των Bouchard et al. (1986) οι οποίοι υποστήριζαν ότι η γενετική διακύμανση για την παράμετρο αυτή ήταν ασήμαντη. Συμφωνία όμως μεταξύ των ερευνητών για την σημαντικότητα της επίδρασης του γονότυπου στο φαινότυπο υπάρχει για τον πνευμονικό αερισμό και την καρδιακή συχνότητα κατά την μέγιστη προσπάθεια, καθώς και για το αναερόβιο κατώφλι αλλά και την μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα. Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας ανέδειξαν παρόμοιες ή ελαφρά υψηλότερες τιμές του κληρονομικού δείκτη για τις παραπάνω παραμέτρους. Συμπερασματικά φαίνεται ότι η καρδιοαναπνευστική αντοχή, όπως εκφράζεται με την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και το αναερόβιο κατώφλι καθώς και η αναερόβια γαλακτική ικανότητα όπως εκφράζεται από την μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα βρίσκονται υπό έντονο γενετικό έλεγχο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bouchard C., Lesage R., Lortie G., et al. (1986). Aerobic performance in brother's dizygotic and monozygotic twins. *Med. Sci. Sports Exercise* 18: 639-646.
- Fagard R., Bielen E., Amery A. (1991). Heritability of aerobic power and anaerobic energy generation during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 70(1): 357-362.
- Klissouras V. (1971). Heritability of adaptive variation. *Journal of Applied Physiology*, 31(3): 338-344.
- Maes H.M., Beunen G. P., Vlietinck R. F., Neale M.C., et al. (1996). Inheritance of physical fitness in 10-yr-old twins and their parents. *Med. Sci. Sports Exercise* 28 (12): 1479-1491.

