

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΟΒΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ
ΔΙΑΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ (HIIT) ΣΕ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ
ΑΠΟΤΥΠΩΝΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΓΕΝΙΚΗ ΑΙΜΑΤΟΣ

Της Μαρίας Καλτσάτου

Επιβλέπων Καθηγητής

Αθανάσιος Τζιαμούρτας

Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για τη μερική
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του
Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Άσκηση και Υγεία» της Σχολής
Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Εγκεκριμένο από το καθηγητικό σώμα

1^{ος} Επιβλέπων καθηγητής: Τζιαμούρτας Αθανάσιος

2^{ος} Επιβλέπων καθηγητής: Κουτεντάκης Ιωάννης

3^{ος} Επιβλέπων καθηγητής: Φατούρος Ιωάννης

2016

2016

Μαρία Καλτσάτου

© All Rights Reserved

Περίληψη

Εισαγωγή: Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις αιματολογικές αλλαγές όσων αθλούνται, καθώς αυτές μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στις επιδόσεις τους, αλλά και στη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος.

Σκοπός: Η διερεύνηση της επίδρασης μιας αερόβιας δοκιμασίας και μιας υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης(HIIT) στις παραμέτρους της γενικής αίματος σε νέους άρρενες ηλικίας 17-32 ετών.

Υλικό και μέθοδος: Δώδεκα νεαροί άνδρες ηλικίας 17-32 ετών έλαβαν μέρος στη μελέτη. Οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε δύο συνεδρίες άσκησης. Η μια συνεδρία ήταν αερόβια με ένταση στο 70% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, που είχε οριστεί στην πρώτη επίσκεψη διάρκειας 30 λεπτών. Η δεύτερη συνεδρία ήταν έντονη επαναλαμβανόμενη άσκηση (υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση). Σε αυτή τη συνεδρία οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 4 wingate test. Για τις δύο συνεδρίες άσκησης, πραγματοποιήθηκε αιμοληψία πριν, αμέσως μετά, 24, 48, και 72 ώρες μετά το τέλος της άσκησης.

Αποτελέσματα: Ο απόλυτος αριθμός των λευκών αιμοσφαιρίων αυξήθηκε κατά 3.200(49%) μετά την άσκηση HIIT και κατά 1.700(29,3%) μετά την αερόβια, ενώ στα λεμφοκύτταρα η αύξηση ήταν 68,3% κατά την HIIT και 35% κατά την αερόβια. Στο σύνολο των λευκοκυττάρων, στα πολυμορφοπύρρηνα και στα λεμφοκύτταρα οι τιμές αμέσως μετά τη δοκιμασία διέφεραν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές και στις δύο δοκιμασίες($p<0,05$). Ο απόλυτος αριθμός των ερυθρών αιμοσφαιρίων αυξήθηκε κατά 420.000(9%- $p=0,099$) μετά την αερόβια άσκηση και κατά 112.000(2,2%- $p=0,076$) μετά τη HIIT. Διαφορά αμέσως μετά την αερόβια δοκιμασία παρατηρήθηκε στις τιμές των αιμοπεταλίων($p=0,015$). Μεταβολές παρατηρήθηκαν και στον MCHC, πριν και μετά τη δοκιμασία(αερόβια/HIIT- $p<0,05$).

Συμπεράσματα: Τα ευρήματα της μελέτης δείχνουν ότι η άσκηση επηρεάζει σημαντικά τις τιμές κυρίως των λευκών αιμοσφαιρίων, τόσο μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση, όσο και μετά την αερόβια άσκηση, με την επίδραση της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης να υπερτερεί σημαντικά. Οι μεταβολές αυτές ενδέχεται να έχουν σημαντικό ενδιαφέρον για την κατάσταση του ανοσοποιητικού συστήματος ειδικά σε μακροχρόνια βάση και χρήζουν περαιτέρω συστηματικής έρευνας.

Abstract

Background: There is a growing interest in the hematological changes for those who exercise and the effect of exercise on their performance and the function of their immune system.

Aim: To examine the effect of an intense aerobic exercise and high intensity interval training (HIIT) on the parameters of complete blood count in young men 17-32 years-old.

Material and methods: Twelve young men 17-32 years-old participated in the study. The participants underwent two training sessions. The first session was aerobic at 70% of maximal oxygen uptake (VO_{2max}), which was set at the first visit, lasting 30 minutes. The second session was high intensity interval training. In this session the participants underwent 4 wingate tests. Blood samples were collected before, immediately after and 24, 48 and 72 hours after the end of the exercise

Results: The number of white blood cells increased by 3.200 (49%) after HIIT and 1700 (29,3%) after aerobic exercise. The lymphocytes increased by 68,3% after HIIT and by 35% after aerobic exercise. The total number of white blood cells and the number of neutrophils and lymphocytes was significantly different immediately after both aerobic exercise and HIIT, compared to the other values ($p < 0,05$). The number of red blood cells increased by 420.000 (9%- $p = 0,099$) after aerobic exercise and by 112.000 (2,2%- $p = 0,076$) after HIIT. The number of platelets differed significantly immediately after aerobic exercise ($p = 0,015$). Significant changes were observed at the MCHC before and after the two exercise sessions (aerobic/HIIT- $p < 0,05$).

Conclusions: The results of the study suggest that both HIIT and aerobic exercise affect the number of white blood cells, and a greater effect is observed after high intensity interval

training. These changes could be of an interest to the individuals who examine the effects of exercise on the immune system and require further research.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ.12
1.1 ΤΟ ΑΙΜΑ	σελ.12
1.1.1 ΤΟ ΠΛΑΣΜΑ	σελ.13
1.1.2 ΤΑ ΕΜΜΟΡΦΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΙΜΑΤΟΣ	σελ.15
1.2 Η ΓΕΝΙΚΗ ΑΙΜΑΤΟΣ	σελ.23
1.3 Η ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΑΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ	σελ.26
1.3.1 ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΘΛΗΤΕΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΡΙΕΣ	σελ.26
1.3.2 Η ΑΙΜΟΡΕΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ	σελ.28
1.3.3 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΙΜΑΤΟΚΡΙΤΗ ΚΑΙ ΤΑ ΕΡΥΘΡΑ ΑΙΜΟΣΦΑΙΡΙΑ	σελ.33
1.3.4 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΙΜΟΣΦΑΙΡΙΝΗ	σελ.34
1.3.5 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΑ ΛΕΥΚΟΚΥΤΤΑΡΑ (ΛΕΥΚΑ ΑΙΜΟΣΦΑΙΡΙΑ)	σελ.35
1.3.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΑ ΟΥΔΕΤΕΡΟΦΙΛΑ	σελ.37
1.3.7 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΑ ΑΙΜΟΠΕΤΑΛΙΑ	σελ.38
1.4 ΚΛΙΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	σελ.39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	σελ.40
2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	σελ.40
2.2 ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	σελ.40
2.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	σελ.42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	σελ.44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ	σελ.62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ.71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ.73

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μελέτες επίδρασης της άσκησης στα ερυθρά αιμοσφαίρια του αίματος

Πίνακας 2: Μελέτες επίδρασης της άσκησης στα λευκά αιμοσφαίρια του αίματος

Πίνακας 3: Δημογραφικά και σωματομετρικά χαρακτηριστικά του δείγματος

Πίνακας 4: Μέσος όρος μέγιστων και μέσων τιμών ισχύος μετά από την πραγματοποίηση άσκησης ΗΠΤ

Πίνακας 5: Ποσοστιαία διαφορά στην αύξηση των τιμών λευκών αιμοσφαιρίων, λεμφοκυττάρων και MCHC πριν και αμέσως μετά τη δοκιμασία

Πίνακας 6: Διαφορές στις τιμές των λευκών αιμοσφαιρίων και των υποομάδων τους στις διάφορες χρονικές στιγμές κατά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση και την αερόβια δοκιμασία

Πίνακας 7: Διαφορές στις τιμές των αιματολογικών παραμέτρων στις διάφορες χρονικές στιγμές κατά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση και την αερόβια δοκιμασία

ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Αύξηση λεμφοκυττάρων σε αερόβια άσκηση και υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση

Γράφημα 2: Μεταβολή του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 3: Μεταβολή του αριθμού των λεμφοκυττάρων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 4: Μεταβολή του ποσοστού των λεμφοκυττάρων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 5: Μεταβολή του αριθμού των μονοκυττάρων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 6: Μεταβολή του ποσοστού των μονοκυττάρων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 7: Μεταβολή του αριθμού των πολυμορφοπύρηνων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 8: Μεταβολή του ποσοστού των πολυμορφοπύρηνων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 9: Μεταβολή του αριθμού των αιμοπεταλίων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 10: Μεταβολή του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 11: Μεταβολή του MCV πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 12: Μεταβολή του MCHC πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 13: Μεταβολή του MCH πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 14: Μεταβολή της αιμοσφαιρίνης πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

Γράφημα 15: Μεταβολή του αιματοκρίτη πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το αίμα

Το αίμα ανήκει σε έναν από τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος, σε ρευστή μορφή. Αποτελείται από το υγρό στοιχείο, το πλάσμα, μέσα στο οποίο αιωρούνται τα έμμορφα στοιχεία του αίματος, τα οποία είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τα λευκά αιμοσφαίρια και τα αιμοπετάλια (Αποστολάκης 1993). Το αίμα κυκλοφορεί σε ολόκληρο το σώμα μέσα στο καρδιαγγειακό σύστημα, και μεταφέρει οξυγόνο καθώς και τις απαραίτητες μεταβολικές ουσίες και ορμόνες στα κύτταρα του σώματος, ενώ απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα και τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού (Αποστολάκης 1993)

Οι λειτουργίες του αίματος διακρίνονται σε:

1. Λειτουργία μεταφοράς. Αποτελεί την κυριότερη λειτουργία του αίματος, καθώς μέσω αυτού μεταφέρονται τα αναπνευστικά αέρια οξυγόνο- O_2 και διοξείδιο του άνθρακα- CO_2 προς τους ιστούς και τους πνεύμονες αντίστοιχα, οι θρεπτικές και δομικές ουσίες του οργανισμού και τα διάμεσα και τελικά προϊόντα του μεταβολισμού προς τις θέσεις τελικής αποδόμησης ή απέκκρισής τους. Ακόμη με το αίμα μεταφέρεται θερμότητα στο πλαίσιο της θερμορρύθμισης, ενώ συμβάλλει και στη ρύθμιση της οξεοβασικής ισορροπίας με τη συνεχή μεταφορά μέσω του αίματος όλων των ανταλλασσόμενων ουσιών.

2. Λειτουργίες άμυνας. Το αίμα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην άμυνα του οργανισμού. Σε αυτή συμμετέχουν ειδικές πρωτεΐνες του πλάσματος, τα αντισώματα, το σύστημα του συμπληρώματος καθώς και τα λευκά αιμοσφαίρια. Επίσης, ειδική αμυντική λειτουργία θεωρείται και το φαινόμενο της αιμόστασης, χάρη στο οποίο περιορίζεται η απώλεια αίματος μετά από κάποια βλάβη του αγγειακού τοιχώματος, το οποίο και βασίζεται κυρίως σε ιδιότητες των συστατικών του αίματος (αιμοπετάλια, παράγοντες πήξεως).

3. Λειτουργίες ρυθμίσεως. Αφορούν στη μεταφορά διαμέσου του αίματος ουσιών (ορμόνες) που ρυθμίζουν την αύξηση, το μεταβολισμό και γενικότερα τη λειτουργία όλων των ιστών και οργάνων του ανθρώπινου σώματος.

Το συνολικό ποσό του αίματος στους ενήλικες αντιστοιχεί στα 5,5-8% του βάρους του σώματος, έτσι κατά μέσο όρο στον άνδρα κυκλοφορούν περίπου 5 λίτρα αίματος και στη γυναίκα 4 λίτρα. Από το συνολικό ποσό του αίματος το 60-70% κυκλοφορεί στις φλέβες, το 15-22% στις αρτηρίες, το 5-8% στα τριχοειδή και το 5-10% στις καρδιακές κοιλότητες (Αποστολάκης 1993).

1.1.1 Το πλάσμα

Το πλάσμα είναι ωχροκίτρινο, υδατικό διάλυμα, το οποίο περιέχει ανόργανα άλατα, πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες, βιταμίνες, ένζυμα, ορμόνες και αέρια (οξυγόνο- O_2 , διοξείδιο του άνθρακα- CO_2 , άζωτο- N_2). Τα συστατικά του πλάσματος υποδιαιρούνται σε λειτουργικά και μεταφερόμενα. Στα λειτουργικά συστατικά του πλάσματος ανήκουν:

1. Το ύδωρ. Αποτελεί το κυριότερο συστατικό του πλάσματος (92%) και η ποσότητά του διατηρείται σταθερή χάρη σε έναν μηχανισμό δυναμικής ισορροπίας, σύμφωνα με τον οποίο ποσότητες ύδατος εγκαταλείπουν συνεχώς τον ενδαγγειακό χώρο διαμέσου του τριχοειδικού τοιχώματος προς τον διάμεσο χώρο, ενώ συγχρόνως ίση ποσότητα ύδατος επανέρχεται από τον διάμεσο χώρο προς το αίμα είτε μέσω του τριχοειδικού τοιχώματος ή μέσω του λεμφικού συστήματος.

2. Οι πρωτεΐνες. Η συνολική ποσότητα των πρωτεϊνών είναι συνήθως 65-75g/L. Από αυτά, τα 2-4g/L αντιστοιχούν στο ινωδογόνο, τα 40-54g/L στη λευκωματίνη και τα 20-31g/L στις σφαιρίνες. Το ινωδογόνο συμμετέχει στο μηχανισμό της πήξης του αίματος και στο σχηματισμό του θρόμβου με τη μετατροπή του σε ινώδες. Η λευκωματίνη είναι πρωτεΐνη

με την οποία συνδέονται αρκετές ουσίες του πλάσματος, όπως χολοχρωστικές, λιπίδια, μεταλλικά ιόντα αλλά και φάρμακα. Οι σφαιρίνες διακρίνονται σε υποκατηγορίες με διαφορετικές λειτουργίες. Στις α₁-σφαιρίνες ανήκουν οι λιποπρωτεΐνες, όπως η πολύ υψηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνη VLDL, η υψηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνη HDL καθώς και οι πρωτεΐνες οξείας φάσεως, οι οποίες είναι μόρια που αυξάνονται μετά από κάποια βλάβη των ιστών. Στις α₂-σφαιρίνες ανήκουν ορισμένες γλυκοπρωτεΐνες καθώς και οι πρωτεΐνες μεταφοράς ορμονών όπως η θυροξίνη, η κορτιζόλη, αλλά και άλλων ουσιών όπως η βιταμίνη B12 και η χολερυθρίνη. Στις β-σφαιρίνες ανήκουν οι περισσότερες λιποπρωτεΐνες του πλάσματος, η αιμοπιξίνη και η τρανσφερρίνη. Στις γ-σφαιρίνες ανήκουν οι ανοσοσφαιρίνες, πρωτεΐνες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην άμυνα του οργανισμού.

3. Τα ανόργανα συστατικά του πλάσματος. Σε αυτά ανήκουν διάφορα ιόντα, όπως νατρίου, χλωρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου καθώς και ρίζες φωσφορικές,θειικές και διττανθρακικές.

Εκτός από τα λειτουργικά συστατικά του πλάσματος υπάρχουν και τα μεταφερόμενα, τα οποία χρησιμοποιούν το πλάσμα ως μέσο μεταφοράς στα διάφορα σημεία του οργανισμού.

Τα κυριότερα μεταφερόμενα συστατικά είναι:

1. Τα λιπίδια, κυριότερα από τα οποία είναι η ελεύθερη χοληστερόλη, οι εστέρες της χοληστερόλης, τα τριγλυκερίδια, τα ελεύθερα λιπαρά οξέα και τα φωσfolιπίδια.
2. Οι ουσίες του υπολειπόμενου αζώτου, στις οποίες περιλαμβάνονται τα αμινοξέα, η ουρία, το ουρικό οξύ, η αμμωνία και η κρεατινίνη.
3. Η γλυκόζη, που αποτελεί την κύρια άμεση καύσιμη ύλη όλων των κυττάρων.
4. Τα διάμεσα προϊόντα του μεταβολισμού των υδατανθράκων και των λιπών, με κυριότερα τα γαλακτικό οξύ, το πυρουβικό οξύ, το β-υδροξυβουτυρικό οξύ και το ακετοξικό οξύ.

5. Οι ορμόνες, οι οποίες μεταφέρονται μέσω του αίματος από τη θέση παραγωγής τους στα όργανα-στόχους τους. Ορισμένες ορμόνες κυκλοφορούν στο αίμα συνδεδεμένες, σε ανενεργό μορφή, με ειδικές πρωτεΐνες μεταφοράς. Με τον τρόπο αυτό το αίμα, μέσω της περιεκτικότητάς του στις συνδετικές αυτές πρωτεΐνες, ασκεί σημαντική επίδραση στην τελική δράση των αντιστοίχων ορμονών.

6. Οι χολοχρωστικές, οι οποίες αποτελούν τελικά προϊόντα της αποδόμησης της αιμης. Κυριότερη χολοχρωστική είναι η χολερυθρίνη.

7. Βιταμίνες και ένζυμα. Στο αίμα κυκλοφορούν ουσίες που έχουν βιταμινικό χαρακτήρα για τον οργανισμό καθώς και ένζυμα με ποικίλη προέλευση και λειτουργία (Αποστολάκης 1993).

1.1.2 Τα έμμορφα στοιχεία του αίματος

Τα ερυθρά αιμοσφαίρια

Τα ερυθρά αιμοσφαίρια ή ερυθροκύτταρα είναι απύρνηνοι, αμφίκοιλοι κυτταρικοί δίσκοι. Ο αριθμός τους είναι, κατά μέσο όρο, στον άνδρα $5,1 \times 10^6/\mu\text{l}$ (όρια $4,3-5,9 \times 10^6/\mu\text{l}$) και στη γυναίκα $4,5 \times 10^6/\mu\text{l}$ (όρια $3,5-5,5 \times 10^6/\mu\text{l}$). Το βασικό συστατικό των ερυθρών αιμοσφαιρίων είναι η αιμοσφαιρίνη (Hemoglobin-Hb). Στο αίμα υπάρχουν 14-17g/100ml (μέσος όρος 15,1 g/100ml) αιμοσφαιρίνης στον άνδρα και 12-15 g/100ml (μέσος όρος 13,5 g/100ml) στη γυναίκα. Η εκατοστιαία κατ' όγκο αναλογία των ερυθρών αιμοσφαιρίων στο συνολικό όγκο του αίματος ονομάζεται αιματοκρίτης (Hematocrite-Hct). Η τιμή του αιματοκρίτη εξαρτάται από τον αριθμό των ερυθρών αιμοσφαιρίων, το μέσο όγκο κάθε ερυθρού αιμοσφαιρίου και τον όγκο του πλάσματος. Στους ενήλικες η μέση τιμή στον άνδρα είναι 47% (όρια 39-55%) και στη γυναίκα 42% (όρια 36-48%). Η μορφή των ερυθρών αιμοσφαιρίων είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία τους, η οποία αφορά κυρίως στη σύνδεση του οξυγόνου με την

αιμοσφαιρίνη στους πνεύμονες και τη μεταφορά και απελευθέρωσή του στους ιστούς (Ηλιόπουλος 1990).

Η ερυθροποίηση

Η παραγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων, η ερυθροποίηση, ξεκινά από τον εμβρυϊκό σάκο και συνεχίζεται στο ήπαρ, το σπλήνα και τους λεμφαδένες του εμβρύου που ωριμάζει. Στο τέλος της κύησης, και μετά τη γέννηση, η διαδικασία αυτή περιορίζεται στο μυελό των οστών. Σταδιακά, η συμμετοχή των μακρών οστών μειώνεται και στην ενήλικη ζωή μόνο ο μυελός των οστών στους σπονδύλους, τις πλευρές, στο στήθος, στα οστά του κρανίου, στα οστά της ωμικής ζώνης και στα οστά της λεκάνης συμμετέχει.

Τα πρόδρομα κύτταρα (βλαστικά-stem cells) έχουν την ικανότητα να παράγουν κάθε τύπο των κυττάρων του αίματος. Διαιρούμενα δίνουν τα κύτταρα της ερυθράς σειράς τα οποία διαιρούνται περαιτέρω και ωριμάζουν, συνθέτοντας αιμοσφαιρίνη και σχηματίζοντας τους νορμοβλάστες. Στη συνέχεια αποβάλλεται το πυρηνικό υλικό και απορροφάται το ενδοπλασματικό δίκτυο και έτσι σχηματίζεται αρχικά το δικτυοερυθροκύτταρο και τελικά το ώριμο ερυθροκύτταρο. Τα δικτυοερυθροκύτταρα αποτελούν λιγότερο από το 2% του συνολικού αριθμού των ερυθροκυττάρων. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται σε περιόδους ταχείας παραγωγής ερυθρών αιμοσφαιρίων, όπου περισσότερα ανώριμα κύτταρα εισέρχονται στην κυκλοφορία.

Η καταστροφή των ερυθρών αιμοσφαιρίων

Τα ερυθρά αιμοσφαίρια έχουν μέσο όρο ζωής 120 ημέρες και η καταστροφή τους γίνεται στο σπλήνα. Τα μακροφάγα του δικτυοενδοθηλιακού συστήματος διαχωρίζουν την αιμοσφαιρίνη σε αίμη και σφαιρίνη. Η σφαιρίνη ανακυκλώνεται ενώ η αίμη μετατρέπεται σε χολερυθρίνη,

η οποία στη συνέχεια μεταβολίζεται στο ήπαρ και απομακρύνεται με τη χολή (Ηλιόπουλος 1990).

Η ρύθμιση της ερυθροποίησης

Στο φυσιολογικό άτομο ο αριθμός των ερυθρών αιμοσφαιρίων στο αίμα παραμένει σταθερός. Η ισορροπία αυτή είναι δυναμική και όχι στατική, καθώς υπάρχει συνεχής φθορά και απομάκρυνση από την κυκλοφορία των γηρασμένων ερυθρών αιμοσφαιρίων, τα οποία αντικαθίστανται από νέα κύτταρα. Μια αύξηση του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων στη περιφέρεια αναστέλλει την παραγωγή νέων, ενώ μια ελάττωση θα προκαλέσει αύξηση της παραγωγής τους (αρνητική παλίνδρομη ρύθμιση). Η ερυθροποίηση ελέγχεται από μια ορμόνη, την ερυθροποιητίνη, η οποία παράγεται κατά 80-90% από τους νεφρούς, ενώ η υπόλοιπη παράγεται στο ήπαρ. Ειδική διεγερτική δράση στην ερυθροποίηση ασκεί η έλλειψη οξυγόνου αυξάνοντας την παραγωγή της ερυθροποιητίνης, η οποία διεγείρει τον μυελό των οστών και την παραγωγή ερυθροκυττάρων. Η ερυθροποίηση διεγείρεται ακόμη και από ορισμένες ορμόνες, όπως είναι τα ανδρογόνα, τα γλυκοκορτικοειδή και η θυροξίνη. Επιπρόσθετα, η ομαλή εξέλιξη της ερυθροποίησης εξαρτάται και από την επάρκεια των απαραίτητων δομικών συστατικών των ερυθρών αιμοσφαιρίων στον οργανισμό, όπως είναι οι πρωτεΐνες, ο σίδηρος, η βιταμίνη B12 και το φολικό οξύ (Αποστολάκης 1993).

Τα λευκά αιμοσφαίρια

Πρόκειται για εμπύρηντα κύτταρα, που είναι επιφορτισμένα με αμυντική κυρίως λειτουργία. Υποδιαιρούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, α) τα κοκκώδη λευκά αιμοσφαίρια ή κοκκιοκύτταρα (granulocytes) ή κύτταρα της μυελικής σειράς, β) τα λεμφοκύτταρα και γ) τα μονοκύτταρα ή μεγάλα μονοπύρηντα. Οι δύο τελευταίες κατηγορίες μπορούν να χαρακτηριστούν και ως άκοκκα λευκοκύτταρα. Ανάλογα με τις χρωστικές ιδιότητες των

κοκκίων που περιέχουν στο κυτταρόπλασμά τους, τα κοκκιοκύτταρα διακρίνονται σε ουδετερόφιλα, βασεόφιλα και ηωσινόφιλα. Τα ουδετερόφιλα, ανάλογα με το βαθμό ωριμότητάς τους υποδιαιρούνται σε μεταμυελοκύτταρα, ραβδοπύρηνα και πολυμορφοπύρηνα, τα τελευταία είναι τα πιο ώριμα. Ο αριθμός των λευκών αιμοσφαιρίων στο περιφερικό αίμα κυμαίνεται φυσιολογικά από 4.000-11.000/μl, συνήθως όμως βρίσκεται μέσα στα όρια 6.000-9.000/μl.

Η διάρκεια ζωής των λευκών αιμοσφαιρίων ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο τους. Τα κοκκώδη λευκά αιμοσφαίρια ζουν 6-10 ημέρες, το περισσότερο όμως από αυτό το χρονικό διάστημα αφορά στην αρχική παραμονή τους στο μυελό των οστών. Στη συνέχεια ακολουθεί μια βραχεία παραμονή μέσα στο αίμα διάρκειας 3-14 ωρών και τέλος μία περίοδος 12-36 ωρών στους ιστούς. Η διάρκεια ζωής των μεγάλων μονοπύρηνων δεν είναι ακριβώς καθορισμένη, καθώς πολλά από αυτά εγκαθίστανται για αόριστο χρόνο στους ιστούς ως μακροφάγα, ενώ στο αίμα παραμένουν κατά μέσο όρο 8,5 ώρες. Ορισμένα από τα λεμφοκύτταρα ζουν ένα ή περισσότερα χρόνια ενώ σε άλλα η διάρκεια ζωής περιορίζεται σε λίγες ώρες. Συνήθως τα μεγάλα λεμφοκύτταρα ζουν από 1-60 ημέρες, ενώ το 90% των μικρών λεμφοκυττάρων ζουν ένα μήνα και τα υπόλοιπα έχουν μακρά μέση διάρκεια ζωής που μπορεί να ποικίλλει από 6-24 μήνες (Αποστολάκης 1993).

Τα ουδετερόφιλα

Τα ουδετερόφιλα αποτελούν το 50-80% των λευκών αιμοσφαιρίων που κυκλοφορούν στο αίμα. Μια σημαντική ιδιότητά τους είναι η φαγοκυττάρωση, μια διαδικασία κατά την οποία περιβάλλουν και καταστρέφουν επιβλαβείς παράγοντες. Τα ουδετερόφιλα φαγοκυτταρώνουν κυρίως βακτηρίδια και γενικά μικρά σωματίδια, για το λόγο αυτό ονομάζονται και μικροφάγα, και στη συνέχεια τα καταστρέφουν με τη βοήθεια μιας σειράς ενζύμων καθώς και των λυσοσωμάτων (Gartner 2011).

Τα βασεόφιλα

Αποτελούν περίπου το 0,5% των λευκών αιμοσφαιρίων και τα κοκκία τους περιέχουν μεγάλες ποσότητες ηπαρίνης και ισταμίνης. Με την απελευθέρωση της ηπαρίνης ενεργοποιείται η λιποπρωτεϊνική λιπάση στο αίμα, ένα ένζυμο που προκαλεί τη διάσπαση των λιπών, την αύξηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων στο πλάσμα και επομένως την προώθηση του μεταβολισμού των τριγλυκεριδίων. Η ισταμίνη των κοκκίων απελευθερώνεται σε ορισμένες αλλεργικές αντιδράσεις, μετά από σύνδεση των συμπλεγμάτων ανοσοσφαιρινών IgE με αλλεργιογόνα αντιγόνα σε ειδικούς κυτταρικούς υποδοχείς της μεμβράνης των βασεόφιλων (Gartner 2011).

Τα ηωσινόφιλα

Αποτελούν το 1-4% των κυκλοφορούντων λευκών αιμοσφαιρίων. Εμφανίζουν περιορισμένη φαγοκυτταρική ικανότητα και τα κοκκία τους περιέχουν διάφορα ένζυμα και μικροβιοκτόνες ουσίες. Συμμετέχουν στην καταστροφή των παρασιτικών κυττάρων καθώς και σε αλλεργικές αντιδράσεις (Gartner 2011).

Τα μονοκύτταρα

Αποτελούν το 2-5% του συνολικού αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων. Από τα μονοκύτταρα προέρχονται όλα τα μακροφάγα των ιστών ή ιστοκύτταρα, το σύνολο των οποίων αποτελεί το κύριο μέρος του δικτυοενδοθηλιακού συστήματος. Εκτός, όμως, από την έντονη φαγοκυτταρική τους ικανότητα τα μονοκύτταρα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κυτταρική ανοσία, καθώς εκκρίνουν ιντερλευκίνη 1, η οποία ενεργοποιεί τα Τ-λεμφοκύτταρα, ενώ έχουν και σημαντικό αντιγονοπαρουσιαστικό ρόλο (Gartner 2011).

Τα λεμφοκύτταρα

Είναι τα μόνα μη φαγοκυτταρικά λευκά αιμοσφαίρια και αποτελούν το 25-30% των λευκών αιμοσφαιρίων του αίματος. Η κύρια σημασία των λεμφοκυττάρων αφορά στην παραγωγή των αντισωμάτων και στη δημιουργία και εξέλιξη ποικίλων άλλων ανοσολογικών, και γενικότερα αμυντικών, απαντήσεων.

Τα λεμφοκύτταρα διαιρούνται σε B- και τα T-λεμφοκύτταρα καθώς και στα φυσικά κύτταρα φονείς (Natural Killer cells – NK). Τα B-λεμφοκύτταρα συμμετέχουν στην παραγωγή των αντισωμάτων, καθώς μεταφέρουν ανοσοσφαιρίνες επιφανείας ή αντισώματα και ενεργοποιούνται μόλις συνδεθούν με κάποιο αντιγόνο. Κάθε B-λεμφοκύτταρα συνδέεται με ένα απλό αντιγόνο και αυτό οδηγεί στην παραγωγή κυκλοφορούντων αντισωμάτων με την ίδια ειδικότητα. Με τον τρόπο αυτό τα B-λεμφοκύτταρα ενεργοποιούνται, πολλαπλασιάζονται και τα θυγατρικά κύτταρα μετατρέπονται σε πλασματοκύτταρα και κύτταρα μνήμης. Τα πλασματοκύτταρα δρουν ως μονάδες παραγωγής ειδικών αντισωμάτων. Τα κύτταρα μνήμης εντείνουν την ικανότητα των κυττάρων να ενεργοποιούνται από τα διάφορα αντιγόνα.

Τα T-λεμφοκύτταρα ενεργοποιούνται από την έκθεση σε ξένα αντιγόνα, τα οποία συνδέονται με ειδικούς υποδοχείς της επιφάνειάς τους. Οι απαντήσεις που ελέγχονται από τα T-λεμφοκύτταρα είναι σημαντικές στις ιογενείς λοιμώξεις. Τα καρκινικά κύτταρα μεταφέρουν ανώμαλα αντιγόνα, τα οποία προκαλούν την ευαισθητοποίηση των T-λεμφοκυττάρων και προλαμβάνουν την ανάπτυξη κλινικών νοσημάτων. Η ανοσία που ελέγχεται από τα κύτταρα αυτά είναι, επίσης, σπουδαία στην απόρριψη μεταμοσχευμένων οργάνων, όταν τα αντιγόνα του δότη δεν ταιριάζουν πλήρως με αυτά του δέκτη. Η ενεργοποίηση των T-λεμφοκυττάρων οδηγεί σε πολλαπλασιασμό και ενεργοποίηση αυτών. Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι T-λεμφοκυττάρων με διαφορετικές λειτουργίες:

1. Τα κυτταροτοξικά T-λεμφοκύτταρα, τα οποία καταστρέφουν κύτταρα που μεταφέρουν το αντιγόνο στο οποίο είναι ευαίσθητα.

2. Τα βοηθητικά T-λεμφοκύτταρα, τα οποία έχουν ανοσία που σχετίζεται με τα αντισώματα, αλλά δεν έχουν απευθείας δράση στα ξένα αντιγόνα ή κύτταρα. Όταν τα κύτταρα αυτά ενεργοποιηθούν από κατάλληλα αντιγόνα απελευθερώνουν έναν αριθμό ουσιών, τις λευκοκίνες, οι οποίες ερεθίζουν άλλα κύτταρα του ανοσολογικού μηχανισμού. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η δραστηριότητα των μακροφάγων, κινητοποιώντας τον πολλαπλασιασμό και την ενεργοποίηση των T- και B-λεμφοκυττάρων.

3. Τα ρυθμιστικά T-λεμφοκύτταρα (παλαιότερα γνωστά ως κατασταλτικά), τα οποία αναστέλλουν τη λειτουργία των λεμφοκυττάρων. Αυτός ο μηχανισμός ελέγχει την ανοσολογική απάντηση, μειώνοντας τον κίνδυνο ανοσολογικής καταστροφής των φυσιολογικών κυττάρων του σώματος.

Η παραγωγή λευκών αιμοσφαιρίων

Τα λευκά αιμοσφαίρια προέρχονται από τα πολυδύναμα πρόδρομα κύτταρα του μυελού των οστών (stem cells), τα οποία διαιρούνται και ωριμάζουν, δίνοντας γένεση σε δύο κυτταρικές σειρές προγονικών λευκοκυττάρων:

- Η μυελική σειρά: αυτή προκαλεί τη δημιουργία τριών τύπων κοκκιοκυττάρων καθώς και των μονοκυττάρων και των μακροφάγων. Όλα αυτά τα κύτταρα έχουν σημαντική φαγοκυτταρική δράση.
- Η λεμφοειδής σειρά: από αυτή τη σειρά παράγονται τα λεμφοκύτταρα. Τα B-λεμφοκύτταρα ωριμάζουν στο μυελό των οστών πριν κατανεμηθούν στους λεμφικούς ιστούς του σώματος. Οι πρόδρομες μορφές των T-λεμφοκυττάρων πιστεύεται ότι μεταναστεύουν αρχικά στο θύμο, ενώ ωριμάζουν πλήρως πριν εγκατασταθούν στους ώριμους λεμφικούς ιστούς.

Η ρύθμιση της παραγωγής των λευκών αιμοσφαιρίων

Έχει απομονωθεί στο αίμα και στα ούρα μια σειρά αυξητικών παραγόντων, οι λεγόμενοι colony stimulating factors-CSF (παράγοντες διέγερσης αποικιών), οι οποίοι προωθούν τις μιτώσεις στο μυελό των οστών. Οι ουσίες αυτές παράγονται από μακροφάγα, μεγάλα μονοκύτταρα και T- λεμφοκύτταρα. Η παρουσία ορισμένων τοξινών οδηγεί σε αύξηση των CSF και επομένως σε αύξηση της παραγωγής κοκκιοκυττάρων στο μυελό των οστών και σε επίταση της απελευθέρωσής τους προς το αίμα. Ακόμη, έχει περιγραφεί η ύπαρξη ενός ξεχωριστού παράγοντα απελευθέρωσης των κοκκιοκυττάρων προς το αίμα (leucocytosis inducing factor-LIF), ο οποίος αυξάνεται με την επίδραση διαφόρων μικροβιακών παραγόντων. Οι παράγοντες που αναστέλλουν τον πολλαπλασιασμό των λευκών αιμοσφαιρίων χαρακτηρίζονται γενικά ως χαλόνες. Τόσο οι ουσίες αυτές όσο και οι CSF δρουν πιθανότατα στη φάση της ενεργοποίησης των μονοδύναμων αρχέγονων προγονικών μορφών των κοκκιοκυττάρων. Σημαντικό ρόλο στην παραγωγή των λευκών αιμοσφαιρίων διαδραματίζουν και διάφορες ορμόνες. Τα γλυκοκορτικοειδή αυξάνουν το ρυθμό καταστροφής των ηωσινόφιλων, βασεόφιλων και λεμφοκυττάρων, ελαττώνοντας, με τον τρόπο αυτό, τον αριθμό τους στο αίμα. Αντίθετη επίδραση έχουν στα ουδετερόφιλα, προκαλώντας αύξηση του αριθμού τους στο αίμα (Gartner 2011).

Τα αιμοπετάλια

Τα αιμοπετάλια ή θρομβοκύτταρα είναι κύτταρα χωρίς πυρηνική ουσία, τα οποία προέρχονται από το κυτταρόπλασμα των μεγακαρυοκυττάρων, που βρίσκονται στον ερυθρό μυελό των οστών (και σε μικρό αριθμό στα πνευμονικά αγγεία). Κατά την εμβρυϊκή ζωή τα μεγακαρυοκύτταρα παράγονται στο σπλήνα και στο ήπαρ, ενώ κατά την εξωμήτριο ζωή στον ερυθρό μυελό των οστών. Ο αριθμός των αιμοπεταλίων κυμαίνεται γύρω στις 250.000/μl (140.000-360.000) και η μέση διάρκεια ζωής τους είναι 9 ημέρες (6-12). Το 1/3 του συνόλου

των αιμοπεταλίων βρίσκεται συγκεντρωμένο στο αίμα του σπλήνα, ενώ τα άλλα 2/3 κατανέμονται στην υπόλοιπη κυκλοφορία. Ο ρόλος των αιμοπεταλίων είναι η συμβολή τους στην πρόληψη ή την αποκατάσταση της αιμορραγίας, διαδικασία που ονομάζεται αιμόσταση. Η αιμόσταση περιλαμβάνει τον σπασμό των αγγείων και τον σχηματισμό του θρόμβου. Η ρύθμιση του αριθμού των αιμοπεταλίων εξαρτάται κυρίως από τη θρομβοποιητίνη (thrombopoiesis stimulating factor), η οποία προκαλεί την ωρίμανση των αιμοπεταλίων και την απελευθέρωσή τους προς το αίμα από τον ερυθρό μυελό (Αποστολάκης 1993).

1.2 Η γενική αίματος

Η γενική εξέταση αίματος (complete blood count-CBC/full blood count-FBC) είναι μια από τις πιο συχνά ζητούμενες διαγνωστικές εξετάσεις από τους κλινικούς γιατρούς και συνήθως περιλαμβάνει 13-19 παραμέτρους, ενώ εισάγονται συνεχώς πρόσθετες παράμετροι. Η κλινική χρησιμότητα της εργαστηριακής αυτής εξέτασης είναι τεράστια (Osei-Bimpong et al., 2012). Είναι ένας γρήγορος και οικονομικός τρόπος εκτίμησης των κυττάρων του περιφερικού αίματος (Αποστολάκης, 1993). Η γενική αίματος παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τα έμμορφα στοιχεία του αίματος, τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τα λευκά αιμοσφαίρια και τα αιμοπετάλια καθώς και για διάφορες άλλες παραμέτρους, ενώ αποτελεί συνδυασμό μέτρησης και παρατήρησης (μικροσκόπησης). Το εύρος της κλινικής χρησιμότητας της γενικής αίματος είναι πολύ μεγάλο. Για παράδειγμα, μια αύξηση ή μια ελάττωση του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων μπορεί να οφείλεται σε κάποια διαταραχή του μυελού των οστών, σε λοίμωξη ή σε τοξικότητα κάποιου χημειοθεραπευτικού παράγοντα. Ακόμη, μια ελάττωση του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων μπορεί να υποδηλώνει αναιμία, ενώ η εξέταση και άλλων παραμέτρων της γενικής αίματος θα καθορίσει τον τύπο της αναιμίας. Τέλος, ο αριθμός των αιμοπεταλίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί η λειτουργικότητα του μυελού των οστών αλλά και να διαγνωστούν πιθανές διαταραχές της αιμόστασης (Osei-Bimpong et

al., 2012).

Παράμετροι της γενικής αίματος

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η γενική εξέταση αίματος προσδιορίζει τον αριθμό και των τύπο των έμμορφων στοιχείων του αίματος. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι:

1. Ερυθρά αιμοσφαίρια

- i. Ο αριθμός των ερυθρών αιμοσφαιρίων (Red Blood Cells – RBC), ο οποίος προσδιορίζεται βάσει της αρχής μεταβολής της αντίστασης ή της αρχής σκεδασμού ακτίνας λέιζερ.
- ii. Η αιμοσφαιρίνη (Hemoglobin - Hb) που περιέχεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια μετράται, μετά τη μετατροπή της σε κυανομεθαιμοσφαιρίνη, σε φωτόμετρο. Η μέθοδος αυτή είναι μέθοδος αναφοράς μέτρησης της αιμοσφαιρίνης. Οι σύγχρονοι αναλυτές χρησιμοποιούν αντιδραστήριο ελεύθερου κυανίου, είτε με τη μετατροπή της αιμοσφαιρίνης σε οξυαιμοσφαιρίνη, είτε με τη μετατροπή της σε νατριούχο-λαϊρυλο-θειοαιμοσφαιρίνη.
- iii. Μέσος όγκος ερυθρών αιμοσφαιρίων (Mean Corpuscular Volume – MCV). Αποτελεί δείκτη εκτίμησης του όγκου των ερυθρών αιμοσφαιρίων και υπολογίζεται διαιρώντας τον μέσο όρο του ύψους των ηλεκτρικών παλμών με τον αριθμό των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Οι φυσιολογικές τιμές κυμαίνονται από 80 έως 100fl.
- iv. Μέση περιεκτικότητα αιμοσφαιρίνης ανά ερυθροκύτταρο (Mean Corpuscular Hemoglobin – MCH). Εκφράζει το μέσο ποσό της αιμοσφαιρίνης που περιέχεται σε κάθε ερυθρό αιμοσφαίριο και υπολογίζεται με τον τύπο $\text{Αιμοσφαιρίνη (g/dl)} \times 10 / \text{Αριθμός ερυθρών αιμοσφαιρίων (10}^6/\mu\text{l)}$. Οι φυσιολογικές τιμές κυμαίνονται από 26-34pg.

- v. Μέση εκατοστιαία περιεκτικότητα σε αιμοσφαιρίνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων (Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration – MCHC). Υπολογίζεται από τον τύπο $\text{Αιμοσφαιρίνη(g/dl)} / \text{Αιματοκρίτης} \times 100$ και οι φυσιολογικές τιμές κυμαίνονται από 32 έως 36g/100ml.
 - vi. Ο αιματοκρίτης (Hematocrite-Hct), που ορίζεται ως η εκατοστιαία κατ' όγκο αναλογία των ερυθρών αιμοσφαιρίων στο συνολικό όγκο του αίματος. Προκύπτει έμμεσα από τον τύπο $(\text{MCV} \times \text{RBC})/10$.
 - vii. Εύρος κατανομής του όγκου των ερυθρών αιμοσφαιρίων (Red Cell Distribution Width – RDW). Αποτελεί δείκτη που εκφράζει την ομοιογένεια ή την ετερογένεια του όγκου των ερυθρών αιμοσφαιρίων και οι φυσιολογικές τιμές κυμαίνονται από 11,5 έως 14,5%.
 - viii. Δικτυοερυθροκύτταρα (ΔΕΚ). Αποτελούν νεαρά ερυθρά αιμοσφαίρια και είναι χαρακτηριστικό διαγνωστικό σημείο αυξημένης ερυθροποίησης. Οι φυσιολογικές τους τιμές κυμαίνονται από 0,2 έως 2%.
2. Λευκά αιμοσφαίρια. Ο αριθμός των λευκών αιμοσφαιρίων μετράται βάσει της αρχής μεταβολής της αντίστασης ροής. Παράλληλα, υπολογίζεται και ο λευκοκυτταρικός τύπος (Differential Count) των πέντε πληθυσμών των λευκών αιμοσφαιρίων (ουδετερόφιλα, βασεόφιλα, ηωσινόφιλα, λεμφοκύτταρα, μονοπύρηνα). Ο λευκοκυτταρικός τύπος υπολογίζεται σύμφωνα με τις αρχές αντίστασης οπής, σκεδασμού φωτεινής ακτίνας, αγωγιμότητας, με ανοσοκυτταροχημικές μεθόδους (χρώση υπεροξειδάσης) και με την κυτταρομετρία φθορισμού.
3. Αιμοπετάλια. Ο αριθμός των αιμοπεταλίων υπολογίζεται με την ηλεκτρονική μέθοδο (αρχή μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης), με την οπτική μέθοδο (σκεδασμός ακτίνας λείζερ), με την οπτική μέτρηση με φθορισμό και με την χρήση αντι-CD61 αντισωμάτων (ανοσολογική μέτρηση).

- i. Μέσος όγκος αιμοπεταλίων (Mean Platelet Volume – MPV). Αποτελεί σημαντικό δείκτη του όγκου των αιμοπεταλίων και αξιολόγησης διαφόρων αιματολογικών και αιμορραγικών διαταραχών. Οι φυσιολογικές τιμές κυμαίνονται από 8-12fl.
- ii. Εύρος κατανομής μεγέθους αιμοπεταλίων (Platelet Distribution Width - PDW). Αποτελεί δείκτη μεγέθους των αιμοπεταλίων και οι φυσιολογικές του τιμές κυμαίνονται από 12-28% (McGeown 2000).

1.3 Η γενική εξέταση αίματος και η σχέση της με την άσκηση

1.3.1 Εξετάσεις για αθλητές και αθλήτριες

Μεταξύ των παραμέτρων που εξετάζονται στο αίμα, μεγάλη σημασία έχουν τα λευκά αιμοσφαίρια, τα ερυθρά αιμοσφαίρια και τα αιμοπετάλια. Και τα τρία αυτά είδη κυττάρων παράγονται στο μυελό των οστών και στη συνέχεια απελευθερώνονται στο αίμα που κυκλοφορεί στο σώμα (Βασάλος, 2014).

Τα διαστήματα αναφοράς (γνωστότερα ως φυσιολογικές τιμές) για κάθε παράμετρο, εξαρτώνται από τη μέθοδο μέτρησης και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου (όπως η ηλικία και το φύλο). Για το λόγο αυτόν, οι τιμές του εξεταζόμενου αθλητή θα πρέπει να συγκρίνονται με το εύρος αναφοράς για κάθε τιμή, του εργαστηρίου που ανέλυσε το δείγμα του. Οι περιγραφόμενες παράμετροι, αφορούν σε κατά τεκμήριο υγιή άτομα (Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης, 2012).

Σε ανασκόπηση από τον Haaland και τους συνεργάτες του (2008), συντέθηκαν τα διαθέσιμα στοιχεία από προοπτικές κλινικές δοκιμές που ασχολήθηκαν με το ερώτημα: ποια είναι, αν υπάρχουν, τα αποτελέσματα της τακτικής αερόβιας ή/και της άσκησης αντοχής στο ανοσοποιητικό σύστημα, σε υγιείς ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας; Συνολικά, σε υγιείς ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας, η τακτική άσκηση, ιδιαίτερα η αερόβια, φαίνεται ότι είναι

φιλική προς το ανοσοποιητικό σύστημα, βοηθώντας στην αντιστάθμιση μειωμένων προσαρμοστικών αποκρίσεων και χρόνιας φλεγμονής. Υπάρχει η πιθανότητα η ιδιαίτερα εντατική άσκηση να μπορεί να προκαλέσει και οξείες ανοσολογικές αλλαγές που δεν είναι ωφέλιμες, όπως η μειωμένη δραστικότητα των φυσικών κυττάρων φονέων (Natural Killer cells – NK), η οποία θα μπορούσε να προδιαθέσει σε λοίμωξη σε ορισμένα άτομα. Ωστόσο, λαμβανομένων υπόψη των πιθανών ωφελειών της τακτικής άσκησης στο ανοσοποιητικό σύστημα και των πολλών ισχυρών πλεονεκτημάτων σε άλλα συστήματα, τα στοιχεία που δείχνουν ότι δεν υπάρχουν αποκλειστικά και μόνον οφέλη, δεν θα πρέπει να αποθαρρύνουν τους επαγγελματίες υγείας από το να προτείνουν τακτική άσκηση σε, κατά τα άλλα, υγιείς ενήλικες, ακόμη και σε μεγαλύτερες ηλικίες (Haaland et al., 2008).

Η εξέταση αίματος γίνεται επανειλημμένα σε αθλητές υψηλού επιπέδου, αν και η προπόνηση και ο ανταγωνισμός μπορούν να επιδράσουν στα αποτελέσματα και τα φυσιολογικά εύρη, για εξαιρετικά δραστήρια άτομα. Ως παράδειγμα, αναφέρεται η μελέτη των Meyer και Meister (2011) για τη συλλογή δεδομένων αναφοράς για επαγγελματίες ποδοσφαιριστές. Στη μελέτη αυτή, 467 άρρενες ποδοσφαιριστές των δύο σημαντικότερων γερμανικών πρωταθλημάτων παρατηρήθηκαν στη διάρκεια μιας ολόκληρης αγωνιστικής περιόδου. Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία φλεβικού αίματος 4 φορές με ένα τυποποιημένο τρόπο για να καθοριστούν οι τιμές γενικής αίματος, ασπαρτικής αμινοτρανσφεράσης (AST), αλανινικής αμινοτρανσφεράσης (ALT), κρεατινικής κινάσης (CK), κρεατινίνης, ουρίας, ουρικού οξέος, χοληστερίνης, ηλεκτρολυτών, φερριτίνης, της C αντιδρώσας πρωτεΐνης (CRP) και της θυρεοειδοτρόπου ορμονης (TSH). Υπήρξαν σημαντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της περιόδου στον αιματοκρίτη, την κρεατινίνη, το ουρικό οξύ (μείωση), την CK, την AST, την ουρία, το νάτριο, το κάλιο, το μαγνήσιο, και την TSH (αύξηση). Μόνο οι αλλαγές στον αιματοκρίτη και την CK ήταν αρκετά μεγάλες για να επηρεάσουν ενδεχομένως στις κλινικές αποφάσεις, σε ποδοσφαιριστές (Meyer and Meister, 2011).

Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις αιματολογικές αλλαγές όσων αθλούνται, είτε κάνουν πρωταθλητισμό, είτε απλώς για αναψυχή. Εξακολουθούν όμως να μην υπάρχουν αρκετές κρίσιμες πληροφορίες για κάθε αγώνισμα ξεχωριστά, όπως η διακύμανση των λευκοκυττάρων μετά από μια διαδρομή μαραθωνίου μέσης απόστασης. Στη μελέτη του Lippi και των συνεργατών του (2010), σε 17 μεσήλικες άνδρες που προπονούσαν, πριν από μαραθώνιο 21 χιλιομέτρων, στον τερματισμό και 3, 6 και 24 ώρες μετά από αυτόν, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για όλες τις παραμέτρους που μελετήθηκαν. Ο αιματοκρίτης, η αιμοσφαιρίνη, τα ερυθρά αιμοσφαίρια και ο αριθμός των αιμοπεταλίων αυξήθηκαν σημαντικά μέχρι το τέλος της διαδρομής και επανήλθαν στις προ του αγωνίσματος τιμές 3 ώρες μετά τον τερματισμό. Τα λευκοκύτταρα, τα ουδετερόφιλα, τα μονοκύτταρα και τα βασεόφιλα αυξήθηκαν μετά τον αγώνα, έφτασαν στην κορυφαία τιμή στις 3 ώρες και επέστρεψαν στην βασική τιμή μετά από 24 ώρες. Αντίθετα, τα ηωσινόφιλα μειώθηκαν σημαντικά μετά τον αγώνα, έφθασαν στη χαμηλότερη τιμή στις 3 ώρες και σιγά-σιγά επανήλθαν στις προ του αγωνίσματος τιμές σε 24 ώρες. Τα λεμφοκύτταρα αυξήθηκαν σημαντικά μετά τον αγώνα, μειώθηκαν 3 ώρες αργότερα και επανήλθαν στις προ του αγωνίσματος τιμές μετά από 6 ώρες. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μια ενδιάμεση απόσταση μαραθωνίου, η οποία είναι μια δημοφιλής μορφή ψυχαγωγικού αθλήματος σε όλο τον κόσμο, σχετίζεται με παροδική λευκοκυττάρωση, ουδετεροφιλία, μονοκυττάρωση και βασεοφιλία, αλλά επίσης προκαλεί οξεία ηωσινοπενία, αλλαγές που αντιστρέφονται όλες πλήρως, 24 ώρες μετά την ολοκλήρωση του αγωνίσματος (Lippi et al., 2010).

1.3.2 Η αιμορεολογία της άσκησης

Η αιμορεολογία της άσκησης είναι ένα αναπτυσσόμενο κεφάλαιο στην κλινική αιμορεολογία. Έχουν γίνει πολλές μελέτες τις τελευταίες δεκαετίες για να κατανοηθεί η συμπεριφορά του αίματος και των συστατικών του κατά τη διάρκεια της οξείας άσκησης ή

ως απάντηση σε χρόνια άσκηση (π.χ. προπόνηση). Έχει αναφερθεί ότι σημαντική αλλαγή προκύπτει κατά τη διάρκεια της άσκησης, όπως η αύξηση του ιξώδους του πλάσματος και του αίματος και η μείωση της ικανότητας παραμόρφωσης των ερυθρών αιμοσφαιρίων (RBCs). Η άσκηση, ανεξάρτητα από την έντασή της, προκαλεί οξείες τροποποιήσεις στη ροή του αίματος, με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους αυτού. Εκτός από τις αλλαγές στον αιματοκρίτη και το ιξώδες του πλάσματος, οι οποίες είναι πιθανό να αντανακλούν κυρίως μεταβολές των υγρών, υπάρχουν επίσης αλλαγές στις φυσιολογικές ιδιότητες των ερυθροκυττάρων. Η πλέον εδραιωμένη είναι η μείωση της ικανότητας παραμόρφωσης των ερυθροκυττάρων. (Brun et al., 2010; Varlet-Marie et al., 2003).

Η επίδραση της άσκησης στη συσσώρευση των ερυθροκυττάρων ερευνήθηκε σε 19 αθλητές υψηλού επιπέδου, σε μελέτη του Varlet-Marie και των συνεργατών του (2003). Η ιξωδομετρία δείχνει μια αύξηση του ιξώδους του αίματος, που εξηγείται από μια αύξηση του αιματοκρίτη (+8% $p<0,01$) και του ιξώδους του πλάσματος (+7% $p<0,01$). Ο δείκτης ακαμψίας των ερυθροκυττάρων και η ικανότητα συσσώρευσης των ερυθροκυττάρων μετρήθηκε χωρίς μεταβολή. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στη συσσώρευση και την αραίωση μετά από 25 λεπτά άσκησης. Ο αρχικός χρόνος συσσώρευσης (TA) μειώθηκε κατά 33% ($p<0.01$), ενώ ο τελικός χρόνος συσσώρευσης μειώθηκε κατά 13,6% ($p<0,01$). Ο TA συσχετίστηκε με αεροβική ικανότητα εργασίας ($r=0,73$, $P=0,005$), η οποία συσχετίστηκε αρνητικά με το ιξώδες του αίματος σε ανάπαυση ($r = -0,57$, $P = 0,043$) (Varlet-Marie et al., 2003). Μία σημαντική σχέση παρατηρήθηκε μεταξύ TA και των αρχικών επιπέδων ινωδογόνου ($r=0.71$, $P<0,01$). Η συρρίκνωση του όγκου του πλάσματος κατά τη διάρκεια άσκησης βρέθηκε να εξηγείται στατιστικά από την απώλεια ύδατος, ανάλογα με το συνολικό φορτίο εργασίας. Έτσι, αναδεικνύεται μια αύξηση στην ικανότητα συσσώρευσης και μια μείωση της ικανότητας αραίωσης των ερυθρών αιμοσφαιρίων κατά τη διάρκεια της άσκησης, ανάλογη με τις βασικές τιμές για το ινωδογόνο (Varlet-Marie et al., 2003). Έχει

δεχθεί ότι η οξεία υπομέγιστη άσκηση αυξάνει τόσο την ικανότητα συσσώρευσης των ερυθροκυττάρων, όσο και την ικανότητα αραίωσης. Η έκταση της αύξησης αυτής είναι ανάλογο με τα επίπεδα του ινωδογόνου πριν από την άσκηση. Αυτές οι αλλαγές είναι πιθανό να έχουν φυσιολογική σημασία, αλλά πρέπει να μελετηθούν πιο εκτεταμένα (Varlet-Marie et al., 2003).

Παράδοξα στην αιμορεολογία της άσκησης

Βασικά, όσο πιο αραιό είναι το αίμα, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση της άσκησης. Ωστόσο, αντίθετα, η άσκηση προκαλεί μια οξεία αύξηση του ιξώδους του αίματος. Στην πραγματικότητα, οι αιμορεολογικές αλλαγές που επάγονται από την άσκηση μπορούν να περιγραφούν ως ένα τριφασικό φαινόμενο: οξείες επιδράσεις (υπεριξώδες κυρίως λόγω αιμοσυμπύκνωσης, αλλά και λόγω ορισμένων μεταβολών των ιδιοτήτων των RBCs), όψιμες επιδράσεις (υπερενυδάτωση με αποτέλεσμα την αιμοδιάλυση) και μια χρόνια κατάσταση, η οποία μπορεί να ονομαστεί ως αιμορεολογική «ετοιμότητα» (Connes et al., 2010).

Ωστόσο, ανάλογα με το πρότυπο προπόνησης ή την έντασή της, μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα αποτελέσματα. Ένα πρώτο παράδοξο είναι ότι η οξεία άσκηση μπορεί είτε να είναι επιβλαβής, είτε να βελτιώσει τη ρεολογία του αίματος, ανάλογα με το επίπεδο προπόνησης του ατόμου και το πρόγραμμα (τη συνταγή) προπόνησης. Προηγούμενες μελέτες ανέφεραν μείωση στην ικανότητα παραμόρφωσης των RBC κατά τη διάρκεια της άσκησης και οι συγγραφείς τους υπέθεσαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο αίμα και/ή το οξειδωτικό στρες μπορεί να είναι υπεύθυνα για τη μείωση της ικανότητας παραμόρφωσης των RBC. Ωστόσο, αναφέρθηκε μια παράδοξη αύξηση της παραμορφωσιμότητας κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας κόπωσης σε εκπαιδευμένους αθλητές. Αυτή η φαινομενική αντίφαση θα μπορούσε να βρει μια απάντηση στα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν κατά τη διάρκεια ενός πειράματος *in vitro*, τα οποία δείχνουν ότι το ανιόν του γαλακτικού οξέος

μειώνει την ικανότητα παραμόρφωσης των RBCs σε μη προπονημένα άτομα, ενώ την αυξάνει σε προπονημένα άτομα (Connes et al., 2010).

Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι προπονημένοι αθλητές, και οι ιδιαίτερα καλά προπονημένοι αθλητές αντοχής, ενδέχεται να διαθέτουν ειδικά σχεδιασμένα RBC, τα οποία αντιμετωπίζουν πολύ καλά το γαλακτικό οξύ στο αίμα. Απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για να διευκρινιστούν οι ακριβείς μηχανισμοί (Connes et al., 2010).

Το δεύτερο παράδοξο είναι το παράδοξο του αιματοκρίτη, πράγμα που σημαίνει ότι οι καλά προπονημένοι αθλητές έχουν ένα μάλλον χαμηλό αιματοκρίτη που σχετίζονται με άλλες βελτιώσεις, μεταβολικές και απόδοσης της άσκησης, ενώ οι αθλητές με υψηλό αιματοκρίτη συχνά υπερπροπονούνται ή/και έχουν έλλειψη σιδήρου, και ότι το ιξώδες του αίματος (και η ικανότητα αποσυσώρευσης των RBCs) τείνει να αυξηθεί. Στην πραγματικότητα, κατά τη διάρκεια των ωρών μετά την άσκηση, υπάρχει μια αύξηση του όγκου του πλάσματος, η οποία αντιπροσωπεύει μια αντιστροφή του οξέος υπεριξώδους που παρατηρείται ως απόκριση στην οξεία άσκηση, με αποτέλεσμα μια «αυτοαιμοδιάλυση». Η επανάληψη της άσκησης κατά τη διάρκεια διαδοχικών ημερών οδηγεί σε μια χρόνια αυτοαιμοδιάλυση, με αποτέλεσμα πρότυπα χαμηλού αιματοκρίτη - χαμηλού ιξώδους (Brun et al., 2010; Connes et al., 2010).

Το τελευταίο παράδοξο που προτείνεται αφορά στο υψηλό ιξώδες του αίματος σε φορείς δρεπανοκυτταρικής αναιμίας (Sickle Cell Trait-SCT), αλλά οι οποίοι έχουν κανονική αεροβική φυσική κατάσταση. Αρκετές μελέτες ανέφεραν αυξημένο ιξώδες του αίματος ανάπαυσης και άσκησης σε φορείς SCT και συνήθως προτείνεται ότι το φαινόμενο αυτό θα μπορούσε να μειώσει την αερόβια φυσική κατάσταση σε αυτό τον πληθυσμό. Ωστόσο, η αεροβική φυσική κατάσταση των SCT φορέων είναι απολύτως φυσιολογική. Πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα υποστηρίζουν την υπόθεση ότι το υπεριξώδες θα μπορούσε, στην πραγματικότητα, να αντιπροσωπεύει έναν δυνητικό αντισταθμιστικό μηχανισμό στη ρύθμιση

των περιφερικών αντιστάσεων και της αιμάτωσης των ιστών σε διάφορες ασθένειες. Έτσι, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι το υπερξώδες των φορέων SCT θα μπορούσε, και πάλι, να διεγείρει την αγγειοδιαστολή και να αντισταθμίσει τις αρνητικές επιπτώσεις των άλλων αλλαγών (μείωση της ικανότητας παραμόρφωσης των RBC, ενεργοποίηση λευκοκυττάρων και αιμοπεταλίων) στη ροή του αίματος και την οξυγόνωση των ιστών. Απαιτούνται μελέτες για την επικύρωση ή να ακύρωση αυτής της υπόθεσης (Brun et al., 2010; Connesa et al., 2010).

Λόγω των μεταβολικών αλλαγών που επάγονται από τη σωματική δραστηριότητα, οι αιμορεολογικές ιδιότητες στους ασθενείς με δρεπανοκυτταρική αναιμία, μπορεί να επιδεινωθούν ακόμα περισσότερο και να αυξηθεί ο κίνδυνος για αποφρακτικά αγγειακά επεισόδια. Ωστόσο, λίγες μελέτες δείχνουν ότι η μέτρια σωματική δραστηριότητα θα μπορούσε να είναι ευεργετική και όχι επιβλαβής σε ασθενείς με δρεπανοκυτταρική αναιμία (Sickle Cell Anemia, SCA). Ο ορισμός του τι μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρια σωματική δραστηριότητα σε ασθενείς με SCA, δεν είναι ακριβής. Η μελέτη του Waltz και των συνεργατών του (2012) εξέτασε τις επιδράσεις από μια σύντομη δοκιμασία με σταδιακά αυξανόμενη άσκηση ποδηλασίας που διεξάγεται μέχρι το πρώτο αναπνευστικό κατώφλι ή ουδό (first ventilatory threshold), με διαφορετικούς βιοδείκτες. Αιματολογικές και αιμορεολογικές παράμετροι συγκρίθηκαν μεταξύ 8 ασθενών με SCA και 13 υγιών ατόμων πριν, αμέσως μετά το τέλος της άσκησης και σε 12, 36 και 60 ώρες μετά την άσκηση. Δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική αιματολογική ή αιμορεολογική μεταβολή από την άσκηση, στις δύο ομάδες. Ωστόσο, η άσκηση οδήγησε σε καθυστερημένη βελτίωση του ουδού αποσυσώρευσης των ερυθροκυττάρων του αίματος σε 36 και 60 ώρες μετά την άσκηση στην ομάδα SCA, που παραλληλίζεται με την μείωση του αριθμού των αιμοπεταλίων σε αυτή την ομάδα. Η παρούσα μελέτη δείχνει ότι η άσκηση μπορεί να είναι επωφελής για τη ροή του αίματος στη μικροκυκλοφορία (Waltz et al., 2012).

1.3.3 Η επίδραση της άσκησης στον αιματοκρίτη και τα ερυθρά αιμοσφαίρια

Ο αιματοκρίτης αυξάνεται κατά το πέρασμα από την παιδική ηλικία στην εφηβεία και από την εφηβεία στην ενήλικη ζωή. Η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη στο άρρεν φύλο, με αποτέλεσμα να έχει υψηλότερες τιμές αιματοκρίτη από το θήλυ φύλο, από την εφηβεία και μετά. Ο αιματοκρίτης αυξάνεται κατά τη διαβίωση σε μεγάλο υψόμετρο. Επίσης αυξάνεται μετά από χορήγηση ερυθροποιητίνης και μπορεί να αυξηθεί μετά από χορήγηση αναβολικών ανδρογόνων στεροειδών. Οι δυο τελευταίοι τρόποι αύξησης του αιματοκρίτη απαγορεύονται από τη WADA (World Anti-Doping Agency, Παγκόσμιος Οργανισμός Αντιντόπινγκ). Τέλος, ο αιματοκρίτης μπορεί να είναι ελαφρά μειωμένος κατά το χρονικό διάστημα από μερικές ώρες έως και μερικές ημέρες μετά από άσκηση (ή μόνιμα στους τακτικά ασκούμενους) λόγω αύξησης του όγκου του πλάσματος, ως αποτέλεσμα ενδαγγειακής μετακίνησης ύδατος που συμβαίνει κατά την άσκηση και την αποκατάσταση. Κάτι τέτοιο δεν επηρεάζει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο, αφού δεν μεταβάλλει τη συνολική ποσότητα των ερυθροκυττάρων. Οι αθλητές δεν φαίνεται να έχουν αυξημένη συχνότητα αναιμίας σε σύγκριση με τον γενικό πληθυσμό. Ο αιματοκρίτης σχετίζεται θετικά με την αερόβια ικανότητα (Dunford and Doyle, 2015; Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης, 2012).

Προπονημένοι αθλητές, ιδιαίτερα σε αθλήματα αντοχής, έχουν μειωμένο αιματοκρίτη (αναιμία των σπορ). Αυτό δεν είναι αναιμία με την κλινική έννοια, επειδή οι αθλητές έχουν στην πραγματικότητα αυξημένη συνολική μάζα ερυθροκυττάρων και αιμοσφαιρίνης στην κυκλοφορία, σε σχέση με άτομα που κάνουν καθιστική ζωή. Η ελαφρά μείωση του αιματοκρίτη λόγω προπόνησης, οφείλεται στην αύξηση του όγκου του πλάσματος (Plasma Volume-PV). Οι μηχανισμοί που αυξάνουν την συνολική μάζα των ερυθροκυττάρων μέσω της προπόνησης δεν είναι πλήρως κατανοητοί. Παρά τη διέγερση της ερυθροποίησης, η άσκηση μπορεί να μειώσει την μάζα των ερυθρών αιμοσφαιρίων, κυρίως αυτών σε φάση

γήρανσης, λόγω ενδαγγειακής αιμόλυσης, η οποία προκαλείται από μηχανική ρήξη, όταν τα ερυθροκύτταρα διέρχονται μέσω τριχοειδών αγγείων σε μύες που βρίσκονται σε σύσπαση, και από συμπίεση των ερυθροκυττάρων, π.χ., σε πέλματα ποδιών κατά τη διάρκεια αγωνίσματος δρόμου ή σε παλάμες χεριών στους αρσιβαρίστες. Από κοινού, οι προσαρμογές αυτές προκαλούν ελάττωση της μέσης ηλικίας του πληθυσμού των κυκλοφορούντων ερυθρών αιμοσφαιρίων σε εκπαιδευμένους αθλητές. Τα νεότερα ερυθρά αιμοσφαίρια χαρακτηρίζονται από βελτιωμένη απελευθέρωση οξυγόνου και ικανότητα παραμόρφωσης, οι οποίες βελτιώνουν επίσης την παροχή οξυγόνου στους ιστούς κατά τη διάρκεια της άσκησης (Mairbäurl, 2013).

Ο αριθμός ερυθροκυττάρων επηρεάζεται από τις ίδιες παραμέτρους που επηρεάζουν τον αιματοκρίτη. Ο αριθμός ερυθροκυττάρων σχετίζεται θετικά με την αερόβια ικανότητα (Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης, 2012). Κατά τη διάρκεια της άσκησης, το καρδιαγγειακό σύστημα πρέπει να τροφοδοτεί τους μύες που εργάζονται. Η κύρια λειτουργία των ερυθροκυττάρων του αίματος κατά την άσκηση είναι η μεταφορά του O_2 από τους πνεύμονες προς τους ιστούς και η παράδοση του μεταβολικά παραγόμενου CO_2 στους πνεύμονες για την εκπνοή. Η αιμοσφαιρίνη συμβάλλει στη ρυθμιστική ικανότητα του αίματος, και η απελευθέρωση τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και μονοξειδίου του αζώτου (NO) από τα ερυθροκύτταρα του αίματος συμβάλλει στην αγγειοδιαστολή και τη βελτίωση της ροής του αίματος στους μύες που εργάζονται. Αυτές οι λειτουργίες απαιτούν επαρκείς ποσότητες ερυθροκυττάρων στην κυκλοφορία (Mairbäurl, 2013).

1.3.4 Η επίδραση της άσκησης στην αιμοσφαιρίνη

Η συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης στο αίμα επηρεάζεται από τις ίδιες παραμέτρους που επηρεάζουν τον αιματοκρίτη. Η συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης στο αίμα σχετίζεται θετικά

με την αερόβια ικανότητα (Dunford and Doyle, 2015; Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης, 2012)

Πίνακας 1. Μελέτες επίδρασης της άσκησης στα ερυθρά αιμοσφαίρια του αίματος

Αναφορά	Δοκιμασία	Επίδραση στα ερυθρά αιμοσφαίρια
Ercan et al (1996)	Αερόβια	↑ RBC
Unal et al (2005)	Αερόβια	↑ RBC
Bezci & Kaya (2010)	Αερόβια	↑ RBC
Lippi et al 2010	Αερόβια	↑ MCV
Kandi (2013)	Αερόβια	↑ RBC, ↑Hb

↑: αύξηση ↓: πτώση

1.3.5 Επίδραση της άσκησης στα λευκοκύτταρα (λευκά αιμοσφαίρια)

Η τακτική άσκηση είναι μεγάλης σημασίας για τη δημόσια υγεία. Έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική στην πρόληψη και θεραπεία πολλών διαδεδομένων ασθενειών στον δυτικό πολιτισμό, συμπεριλαμβανομένης της υπέρτασης, της στεφανιαίας νόσου και του σακχαρώδους διαβήτη. Ένας σημαντικός τρόπος για να βελτιωθεί η κατανόηση αυτών των ευεργετικών επιδράσεων, είναι η διερεύνηση των κυτταρικών και μοριακών αποκρίσεων στην άσκηση. Η άσκηση έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας σημαντικός ρυθμιστής των κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματος και των λειτουργιών τους. Υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία ότι η καταπόνηση λόγω της άσκησης προκαλεί μια παρόμοια με τη φλεγμονή αντίδραση του ανοσοποιητικού συστήματος, με την ενεργοποίηση τόσο των προφλεγμονωδών, όσο και των αντι-φλεγμονωδών οδών. Η ισορροπία μεταξύ των δύο υποτίθεται ότι εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης. Έτσι, η οξεία εξαντλητική άσκηση αναμένεται ότι μειώνει παροδικά την ανοσοποιητική ικανότητα των ατόμων, ενώ η μέτρια άσκηση έχει μια

αντιφλεγμονώδη επίδραση με βελτιωμένες δυνατότητες κατά των λοιμώξεων. (Büttner et al., 2007).

Οι παρατηρήσεις που έγιναν δείχνουν ότι η άσκηση πριμοδοτεί μια σειρά από προ- και αντιφλεγμονώδεις παράγοντες και παράγοντες αύξησης των κυκλοφορούντων λευκοκυττάρων, προετοιμάζοντας ίσως τον οργανισμό να ανταποκριθεί αποτελεσματικά σε μια ποικιλία στρεσογόνων παραγόντων (Zaldivar et al., 2006).

Τα λευκά αιμοσφαίρια όμως εκφράζουν και δεκάδες χιλιάδες γονίδια, των οποίων τα επίπεδα έκφρασης τροποποιούνται από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ο σκοπός της μελέτης του Büttner και των συνεργατών του (2007) ήταν να διερευνήσει τις επιδράσεις της οξείας άσκησης στο προφίλ γονιδιακής έκφρασης (GEPS) των WBC και τον προσδιορισμό των κατάλληλων γονιδίων που μπορεί να χρησιμεύσουν ως δείκτες για την παρακολούθηση της άσκησης και του φόρτου άσκησης. Πέντε άνδρες συμμετείχαν και εκτέλεσαν μια εξαντλητική δοκιμασία σε κυλιόμενο διάδρομο, στο 80% της μέγιστης πρόσληψης O_2 (VO_2 max) και μια μέτρια δοκιμασία σε διάδρομο (moderate treadmill test, MT) στο 60% του VO_2 max για τον ίδιο ακριβώς χρόνο, δύο εβδομάδες αργότερα (Büttner et al., 2007). Παρά τις διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται, η συνοχή των αποτελεσμάτων του Büttner και των συνεργατών του (2007) με τα δεδομένα έκφρασης μιας άλλης μελέτης, του Connolly και των συνεργατών του (2004), δείχνει ότι τα αποτυπώματα (ή χάρτης) γονιδιακής έκφρασης αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την παρακολούθηση των φόρτων άσκησης και της προπόνησης και με τον τρόπο αυτό συμβάλλουν στην αποφυγή κινδύνων για την υγεία, που σχετίζονται με την άσκηση (Büttner et al., 2007; Connolly et al., 2004).

Θα πρέπει να επισημανθεί και ένα φαινόμενο στρες/φλεγμονώδους ενεργοποίησης σε υγιείς ανθρώπους, η λευκοκυττάρωση μετά την άσκηση. Ο Zaldivar και οι συνεργάτες του (2006) έκαναν την υπόθεση ότι, παρά την αύξηση των κυκλοφορούντων φλεγμονωδών κυττάρων, η

άσκηση παραδόξως θα επάγει την έκφραση αμφότερων των προ- και αντι-φλεγμονωδών κυτταροκινών και των αυξητικών παραγόντων στο εσωτερικό αυτών των κυττάρων. Συλλογικά, οι παρατηρήσεις που έγιναν δείχνουν ότι η άσκηση πριμοδοτεί μια σειρά από προ- και αντι-φλεγμονώδεις παράγοντες και παράγοντες αύξησης των κυκλοφορούντων λευκοκυττάρων, προετοιμάζοντας ίσως τον οργανισμό για να ανταποκριθεί αποτελεσματικά σε μια ποικιλία στρεσογόνων παραγόντων που επιβάλλονται από την άσκηση (Zaldivar et al., 2006).

1.3.6 Επίδραση της άσκησης στα ουδετερόφιλα

Η άσκηση και η κόπωση επάγει ανοσορρυθμιστικά αποτελέσματα, όπως αλλαγές στον αριθμό και τις ιδιότητες των ουδετερόφιλων, των B, T και NK (Natural Killer cells-φυσικά κύτταρα φονείς) κυττάρων και μονοκυττάρων στο περιφερικό αίμα. Λόγω της σημασίας για τις επιστήμες της ιατρικής και του αθλητισμού, έχουν γίνει μελέτες με τα λευκά αιμοσφαίρια στο περιφερικό αίμα (Nakamura et al., 2010). Η άσκηση προκαλεί εντυπωσιακές παροδικές φυσιολογικές αλλαγές στο σώμα, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης της κυκλοφορίας του αίματος, της αυξημένης θερμοκρασίας του σώματος, των ορμονικών μεταβολών, της εμφάνισης των πρωτεϊνών θερμικού σοκ, του οξειδωτικού στρες, της παραγωγής ιντερλευκινών και υποδοχέων, όπως και πολλών άλλων ουσιών που σχετίζονται με φλεγμονώδεις διεργασίες. Ορισμένοι από αυτούς τους φυσιολογικούς τελεστές έχουν συζητηθεί, μαζί με επιδράσεις τους επί των κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματος στο αίμα, τη λεγόμενη επίδραση επί της ανοσοϊκανότητας. Μεταξύ των αλλαγών στην ανοσοϊκανότητα, η απότομη αύξηση του αριθμού των ουδετερόφιλων κυττάρων είναι η πιο σημαντική. Άλλα κύτταρα, όπως τα NK (Natural Killer cells – φυσικά κύτταρα φονείς) κύτταρα, τα μονοκύτταρα και υποκατηγορίες τους, επηρεάζονται επίσης (Nakamura et al., 2010).

Πίνακας 2. Μελέτες επίδρασης της άσκησης στα λευκά αιμοσφαίρια του αίματος

Αναφορά	Δοκιμασία	Επίδραση στα λευκά αιμοσφαίρια
Oshida et al (1988)	Αερόβια	↑ λευκοκυττάρων
Gabriel et al (1992)	Αναερόβια	↑ λευκοκυττάρων
Hack et al (1992)	Αερόβια	↑ ουδετεροφίλων, λεμφοκυττάρων
Benoni et al (1995)	Αερόβια	↑ λευκοκυττάρων
Nielsen et al (1996)	Αναερόβια	↑ λευκοκυττάρων
Wolach et al 1998	Αναερόβια	↑ λευκοκυττάρων
Kappel (1998)	Αερόβια	↑ λευκοκυττάρων (σε έντονη άσκηση)
Yamada et al (2002)	Αερόβια	↑ ουδετεροφίλων
Risoy et al (2003)	Αερόβια	↑ λευκοκυττάρων
Alibeyoglu et al (2008)	Αερόβια	↓ λεμφοκυττάρων
Deilami et al (2013)	Αερόβια/Αναερόβια	↑ ουδετεροφίλων, μονοκυττάρων (>50%)
Atan & Alacam (2015)	Αερόβια/Αναερόβια	↑↑ λεμφοκυττάρων, μονοκυττάρων (αερόβια) ↑↑ ηωσινοφίλων (αναερόβια)

↑: Αύξηση ↓: πτώση

1.3.7 Η επίδραση της άσκησης στα αιμοπετάλια

Η μέτρησή τους έχει κάποια χρησιμότητα στους αθλητές, με την έννοια της αποφυγής θρομβοεμβολικού επεισοδίου, από τυχόν υπέρμετρη αύξησή τους. Έχει τεκμηριωθεί αύξησή τους μετά την άσκηση, που σχετίζεται με την ένταση της άσκησης (Posthuma et al., 2015). Τα αιμοπετάλια μετριώνται άλλωστε έτσι κι αλλιώς στη γενική αίματος μαζί με τον αιματοκρίτη, την αιμοσφαιρίνη, τον αριθμό ερυθροκυττάρων και τον αριθμό λευκοκυττάρων (Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης, 2012).

1.4 Κλινικές εφαρμογές

Για να αποδώσει το μέγιστο δυνατό όφελος, η βιοχημική παρακολούθηση αθλητών θα πρέπει να είναι τακτική και προγραμματισμένη (περίπου ανά τρίμηνο ως εξάμηνο ή σε ορόσημα του προπονητικού μακρόκυκλου). Επισημαίνεται ότι χρήσιμες πληροφορίες για τους αθλητές μπορούν να προκύψουν και από βιοχημικές αναλύσεις σε άλλα βιολογικά δείγματα (όπως ούρα, σάλιο και μυϊκή βιοψία). Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των βιοχημικών εξετάσεων πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένους επιστήμονες και συγκεκριμένα από γιατρούς, βιοχημικούς και (για τους δείκτες θρεπτικής κατάστασης) διατροφολόγους-διαιτολόγους (Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης 2012).

Ένας έλεγχος της προπόνησης που βασίζεται στη γονιδιακή έκφραση ανοίγει την προοπτική να σχεδιαστεί στο μέλλον ένα «τσιπ άσκησης» που μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα καινοτόμο εργαλείο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών προπόνησης. Η γνώση της ατομικής απόκρισης στην άσκηση θα μπορούσε να βελτιώσει την ικανότητά μας για τη βελτιστοποίηση της δοσολογίας της άσκησης και του χρόνου ανάνηψης (Büttner et al., 2007).

Η πιλοτική εργασία του Karvinen και των συνεργατών του (2014) δείχνει ότι η άσκηση που χρησιμοποιεί ιμάντες αντίστασης μπορεί να περιορίσει την πτώση του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων, αλλά όχι των ερυθρών αιμοσφαιρίων σε ασθενείς με καρκίνο του πνεύμονα που έλαβαν θεραπευτική χημειοθεραπεία. Επιπλέον, το πρόγραμμα άσκησης που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι ασφαλές και εφικτό για αυτόν τον πληθυσμό (Karvinen et al. 2014). Μελλοντικές μελέτες μεγάλης κλίμακας απαιτούνται για την περαιτέρω επικύρωση αυτών των αποτελεσμάτων, τόσο στον καρκίνο του πνεύμονα, όσο και σε άλλους πληθυσμούς καρκινοπαθών (Karvinen et al. 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Σκοπός της μελέτης

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης μιας έντονης αερόβιας και μιας υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης στις παραμέτρους της γενικής αίματος στο αίμα νέων αρρένων ηλικίας 17-32 ετών, που συμμετείχαν σε μια δοκιμασία άσκησης αερόβιας και υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση. Ο στόχος ήταν να μελετηθεί η διακύμανση των τιμών αμέσως μετά την άσκηση και σε βάθος χρόνου 3 ημερών μετά την παύση της δοκιμασίας.

2.2 Πληθυσμός και διαδικασία

Δώδεκα νεαροί άνδρες ηλικίας 17-32 ετών έλαβαν μέρος στη μελέτη. Εμφανίστηκαν εθελοντικά στο Κέντρο Έρευνας και Αξιολόγησης της Φυσικής Απόδοσης (ΚΕΑΦΑ) της ΣΕΦΑΑ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τρεις φορές. Όλες οι πειραματικές διαδικασίες εκτελέστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα της επιτροπής της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τη σωστή μεταχείριση ανθρώπων-συμμετεχόντων σε ερευνητικές μελέτες.

Την πρώτη φορά έγινε αξιολόγηση των σωματομετρικών χαρακτηριστικών (ύψος, βάρος, ποσοστό λίπους). Το ύψος και το βάρος μετρήθηκαν με κλίμακα και ζυγαριά ‘Seca’. Το ποσοστό λίπους μετρήθηκε βάσει γνωστών μεθόδων. Έπειτα υποβλήθηκαν σε μία αξιολόγηση μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου στο κυκλοεργόμετρο χρησιμοποιώντας έναν αναλυτή αερίων (carefusion, oxycan mobile, Jaeger). Τις επόμενες δύο φορές εμφανίστηκαν για να πραγματοποιήσουν τις δύο συνεδρίες άσκησης. Η σειρά έγινε με τυχαιοποιημένο τρόπο. Η μια συνεδρία άσκησης ήταν αερόβια. Η έντασή της καθορίστηκε στο 70% της

μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, που έχει οριστεί με την πρώτη επίσκεψη. Η διάρκεια της άσκησης ορίστηκε στα 30 λεπτά. Η δεύτερη συνεδρία άσκησης ήταν έντονη επαναλαμβανόμενη άσκηση. Σε αυτή τη συνεδρία οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 4 wingate test (ποδήλατο monarck, Vansbro, Sweden). Η επιβάρυνση για το κάθε test ορίστηκε στο 7,5% του σωματικού βάρους του κάθε μετέχοντα και η διάρκεια του κάθε test ήταν 30 δευτερόλεπτα. Το διάλειμμα μεταξύ των test ήταν 4 λεπτά. Για τις δύο συνεδρίες άσκησης, πραγματοποιήθηκε αιμοληψία πριν, αμέσως μετά, 24, 48, και 72 ώρες μετά το τέλος της άσκησης και προσδιορίστηκαν οι παράμετροι της γενικής αίματος (ανλυτής Orphee – mythic 18).

Αναλυτικότερα, στην πρώτη επίσκεψη του δοκιμαζόμενου στο εργαστήριο μετρήθηκε το ύψος το βάρος και το ποσοστό λίπους. Έπειτα έγινε μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου με τη βοήθεια αναλυτή αερίων. Η δοκιμασία πραγματοποιήθηκε σε κυκλοεργόμετρο (monarck, Vansbro, Sweden). Ο δοκιμαζόμενος ξεκινούσε να ποδηλατίζει στις 70 στροφές (rpm) χωρίς καμία αντίσταση. Κάθε 2 λεπτά προσθέτονταν στο ποδήλατο αντίσταση (300g), ενώ ο δοκιμαζόμενος συνέχιζε να ποδηλατίζει με τον ίδιο ρυθμό. Όταν έφτανε σε σημείο κόπωσης και με βάση τα αποτελέσματα του αναλυτή αερίων η διαδικασία σταματούσε. Στην επόμενη επίσκεψη ο δοκιμαζόμενος πραγματοποιούσε είτε την αερόβια είτε την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση.

Διαδικασία αερόβιας άσκησης: Ο δοκιμαζόμενος ερχόταν έπειτα από νηστεία στη διαδικασία και στις αιμοληψίες. Αρχικά γινόταν αιμοληψία πριν την δοκιμασία. Έπειτα ο δοκιμαζόμενος έκανε στατικό ποδήλατο για τη διάρκεια των 30 λεπτών. Η αντίσταση που είχε ήταν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης και το βάρος ανάλογο των αποτελεσμάτων της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Η ένταση ορίστηκε στο 70% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου που

πραγματοποιήθηκε κατά την πρώτη επίσκεψη του. Αμέσως μετά το τέλος της άσκησης πραγματοποιήθηκε και δεύτερη αιμοληψία. Αιμοληψίες έγιναν 24, 48 και 72 ώρες μετά το τέλος της άσκησης .

Υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση: : Ο δοκιμαζόμενος ερχόταν έπειτα από νηστεία στη διαδικασία και στις αιμοληψίες. Αρχικά γινόταν αιμοληψία πριν την δοκιμασία. Στη συνέχεια συμμετείχε σε 4 Wingate test. Η διαδικασία του Wingate test περιλαμβάνει: Ο δοκιμαζόμενος ανεβαίνει σε κυκλοεργόμετρο το οποίο είναι συνδεδεμένο με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή εφοδιασμένο με το κατάλληλο λογισμικό. Αρχίζει και ποδηλατίζει με την μέγιστη ταχύτητα του. Μόλις παρατηρηθεί πλάτώ στις στροφές του κυκλοεργόμετρου, βάρος ορισμένο στο 7,5% του σωματικού βάρους του δοκιμαζόμενου εναποτίθεται ακαριαία στην υποδοχή του ποδηλάτου. Έπειτα ο δοκιμαζόμενος ποδηλατεί για 30 δευτερόλεπτα στη μέγιστη ένταση που μπορεί να πετύχει. Το διάλειμμα μεταξύ των επαναλήψεων έχει οριστεί στα 4 λεπτά. Έπειτα, έγινε αιμοληψία αμέσως. Αιμοληψίες ακολούθησαν 24, 48 και 72 ώρες μετά το τέλος της άσκησης.

2.3 Στατιστική ανάλυση

Έγινε περιγραφική και επαγωγική στατιστική ανάλυση. Οι διαφορές για κάθε δοκιμασία μεταξύ των διαφόρων χρονικών στιγμών αξιολογήθηκαν με τη μέθοδο repeated measures analysis, ενώ σε κάθε χρονική στιγμή οι διαφορές εκτιμήθηκαν με το t-test κατά ζεύγη. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ANCOVA με συμμεταβλητή τη μεταβολή του όγκου του πλάσματος για τον υπολογισμό της αλλαγής του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων. Το

επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε σε $p=0,05$. Χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS 22.0.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η μέση τιμή της ηλικίας ήταν $22,42 \pm 4,10$ έτη και του BMI $23,38 \pm 2,01 \text{ kg/m}^2$. Η μέγιστη καρδιακή συχνότητα έφθασε τους $185,17 \pm 7,13$ παλμούς ανά λεπτό (παλ), ενώ η μέση τιμή του $\text{VO}_{2\text{max}}$ ήταν $45,3 \pm 9,9 \text{ ml/kg/min}$.

Πίνακας 3. Δημογραφικά και σωματομετρικά χαρακτηριστικά του δείγματος

	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	MT	TA
Ηλικία (έτη)	12	17	32,0	22,42	4,10
BMI (kg/m^2)	12	19,6	26,5	23,38	2,01
Σωματικό λίπος (%)	10	3,8	20,4	10,75	5,13
Μέγιστη Καρδιακή	12	172	197	185,17	7,13
Συχνότητα (παλ)					
$\text{VO}_{2\text{max}}$ (ml/kg/min)	12	31,6	60,3	45,33	9,90

Η αερόβια άσκηση πραγματοποιήθηκε μέσα στα προκαθορισμένα επίπεδα της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ($70.0 \pm 2.0\% \text{ VO}_{2\text{max}}$). Στα wingate-test η μέση παραγωγή ισχύος ήταν ($412.5 \pm 77.3 \text{ watt}$). Η μέση θερμιδική κατανάλωση για έναν από τους συμμετέχοντες στη διάρκεια των 30 λεπτών αερόβιας άσκησης ήταν 525 ± 81 θερμίδες ενώ στη συνολική διάρκεια κατά την διεξαγωγή των τεσσάρων wingate-test ήταν 335 ± 129 θερμίδες.

Πίνακας 4: Μέσος όρος μέγιστων και μέσων τιμών ισχύος μετά από την πραγματοποίηση άσκησης HIIT

Variable	Mean \pm SD
Peak power (W)	590,8 \pm 86,8
Peak power(W/kg)	8,0 \pm 1,3
Minimum power (W)	290,1 \pm 64,8
Minimum power(W/kg)	3,8 \pm 0,7
Average power (W)	412,5 \pm 77,3
Average power (W/kg)	5,5 \pm 0,9
Power drop (W/s)	9,2 \pm 3,1
Power drop (W/s/kg)	0,1 \pm 0,05

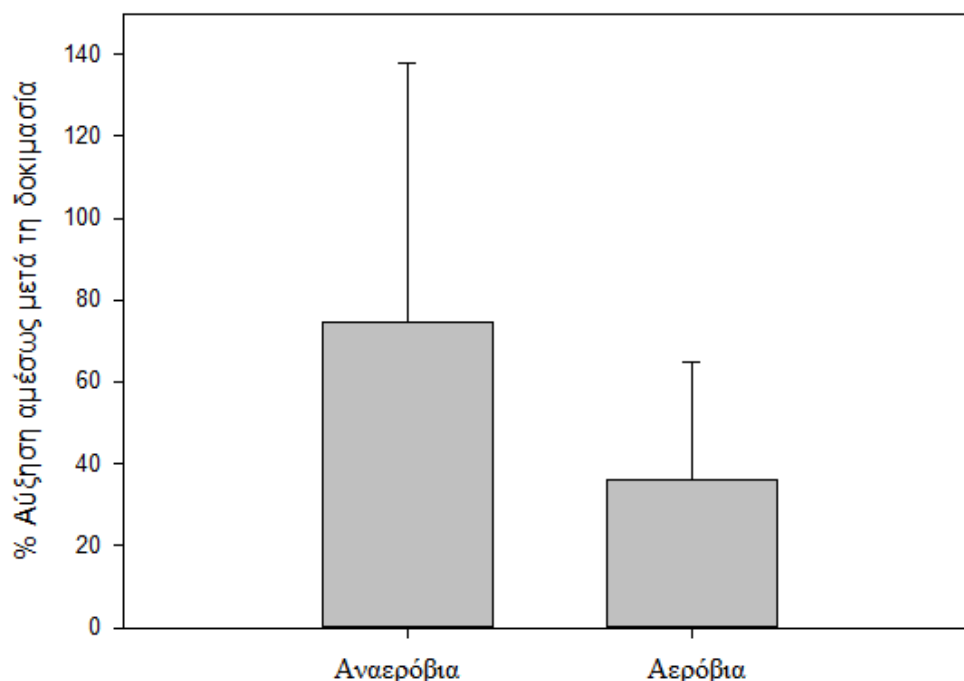
HIIT: high-intensity interval raining – υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση

Όταν συγκρίθηκαν οι διαφορές του συνολικού αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων, των λεμφοκυττάρων και του MCHC, στατιστικά σημαντική διαφορά βρέθηκε μόνο στην περίπτωση των λεμφοκυττάρων

Πίνακας 5. Ποσοστιαία διαφορά στην αύξηση των τιμών λευκών αιμοσφαιρίων, λεμφοκυττάρων και MCHC πριν και αμέσως μετά τη δοκιμασία

		95% ΔΕ				
Πριν από τη δοκιμασία		MT	TA	Κατώτερο	Ανώτερο	P
Ζεύγος 1	WBC (HIIT– Αερόβια) (%)	21,88	33,43	-0,58	44,33	0,055
Ζεύγος 2	Λεμφοκύτταρα (HIIT– Αερόβια)(%)	44,28	57,92	5,37	83,18	0,030
Ζεύγος 3	MCHC (HIIT– Αερόβια) (%)	-8,59	18,47	-20,32	3,15	0,136

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η ποσοστιαία διαφορά στην αύξηση των λεμφοκυττάρων μεταξύ της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης και της αερόβιας δοκιμασίας, αμέσως μετά τη δοκιμασία ($p=0,03$).



Γράφημα 1. Αύξηση λεμφοκυττάρων σε αερόβια άσκηση και υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση

Ο απόλυτος αριθμός των λευκών αιμοσφαιρίων ανεβαίνει κατά 3.200 περίπου (ποσοστό 49%) μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση και κατά 1.700 (29,3%) μετά την αερόβια. Και στις δυο περιπτώσεις η διαφορά των τιμών αμέσως μετά τη δοκιμασία ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές. Επίσης, διαφορά υπήρξε στις τιμές πριν από τις δοκιμασίες, με τις τιμές να είναι υψηλότερες πριν από την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση. Όταν υπολογίστηκε η ποσοστιαία αύξηση (πριν-μετά) διαπιστώθηκε οριακή μόνο διαφορά μεταξύ της αερόβιας δοκιμασίας και της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης ($p=0,055$). Αντίθετα, στα λεμφοκύτταρα η αύξηση είναι

68,3% κατά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση και 35% κατά την αερόβια άσκηση. Επειδή και σε αυτήν την περίπτωση υπήρξαν διαφορές κατά τις βασικές τιμές πριν τις δύο δοκιμασίες, υπολογίστηκε η ποσοστιαία (πριν-μετά αύξηση), η οποία παρέμενε στατιστικά σημαντική υπέρ της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης. Η αύξηση στα μονοκύτταρα ήταν επίσης υψηλότερη αμέσως την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση σε σύγκριση με την αερόβια δοκιμασία ($p=0,025$ - 47% στη ΗΠΤ έναντι 17% στην αερόβια). Διαφορές παρατηρήθηκαν και στην αύξηση των πολυμορφοπύρηνων, με τις τιμές να είναι υψηλότερες αμέσως μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση ($p=0,041$). Στο σύνολο των λευκοκυττάρων, στα πολυμορφοπύρρηνα και στα λεμφοκύτταρα οι τιμές αμέσως μετά τη δοκιμασία διέφεραν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές, τόσο κατά την αερόβια δοκιμασία, όσο και κατά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση (Πίνακας 6).

Όταν μελετήθηκε η μεταβολή του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων πριν και μετά το τέλος κάθε δοκιμασίας σε σχέση με τη μεταβολή του όγκου του πλάσματος, παρατηρήθηκε ότι μόνο στην υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση η αύξηση του συνολικού αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων παρέμεινε στατιστικά σημαντική και ανεξάρτητη από τη μεταβολή του όγκου του πλάσματος ($p<0,05$). Αντίθετα, η αύξηση του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων στην αερόβια δοκιμασία δεν είναι στατιστικά σημαντική όταν συνυπολογιστεί η μεταβολή στον όγκο του πλάσματος ($p=0,170$).

Πίνακας 6. Διαφορές στις τιμές των λευκών αιμοσφαιρίων και των υποομάδων τους στις διάφορες χρονικές στιγμές κατά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση (HIIT) και την αερόβια δοκιμασία

Δοκιμασία		ΠΡΙΝ	META	24h	48h	72h	p*
		MT±TA	MT±TA	MT±TA	MT±TA	MT±TA	
Λευκοκύτταρα (/μl)	HIIT	6550±791	9783±2093	6058±652	6058±710	5854±1072	0,016
	Αερόβια	5783±692	7545±1518	5916±824	5975±880	5972±1060	0,006
	p**	0,023	0,002	0,628	0,710	0,895	
Λεμφοκύτταρα (/μl)	HIIT	2441,6±583,8	4108,3±1269,5	2108,3±407,7	2108,3±405,5	2027,2±504,1	0,004
	Αερόβια	2041,6±431,6	2736,3±598,7	2025±402,5	2066,6±439,7	1945,4±277	0,021
	p**	0,037	0,002	0,560	0,809	0,637	
Λεμφοκύτταρα %	HIIT	37,3±8,0	42,1±9,6	35,2±6,9	35,5±7,9	34,8±5,3	0,001
	Αερόβια	35,5±7,7	36,7±6,5	34,6±8,1	34,6±6,7	33,3±5,5	0,598
	p**	0,317	0,014	0,781	0,683	0,428	

Μονοκύτταρα (/μl)	HIIT	566,6±143,5	833,3±296,4	516,6±126,7	516,6±140,3	472,7±142	0,066
	Αερόβια	583,3±228,9	681,8±140,1	575±226,1	600±324,7	572,7±283,1	0,373
	p**	0,772	0,025	0,294	0,233	0,182	
Μονοκύτταρα%	HIIT	8,5±1,4	8,3±1,9	8,7±2,3	8,6±1,7	8,3±2,3	0,362
	Αερόβια	9,9±3,5	9,1±2,3	9,8±3,7	9,9±4,7	9,7±4,1	0,768
	p**	0,145	0,044	0,244	0,250	0,269	
Πολυμορφοπύρηνα (/μl)	HIIT	3550±686,8	4841,6±1596,2	3416,6±714,5	3416,6±737,1	3336,3±688,8	0,041
	Αερόβια	3175±644	4145,4±1284	3300±759,1	3358,3±707,7	3427,2±874,1	0,029
	p**	0,064	0,020	0,633	0,698	0,837	
Πολυμορφοπύρηνα%	HIIT	54,1±8,1	49,4±10,2	56±7,5	56,3±8,3	56,8±5,3	0,003
	Αερόβια	54,4±6	54,1±6,7	55,4±6,5	55,9±5,7	56,9±5	0,626

p**	0,804	0,021	0,779	0,844	0,922
------------	-------	--------------	-------	-------	-------

*Repeated measures analysis, διαφορές μεταξύ διαφόρων χρονικών στιγμών

**Paired samples t-test, διαφορές μεταξύ ομάδων

Ο απόλυτος αριθμός των ερυθρών αιμοσφαιρίων ανεβαίνει κατά 420.000 περίπου (ποσοστό 9%) μετά την αερόβια άσκηση και κατά 112.000 (2,2%) μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση. Και στις δυο περιπτώσεις η διαφορά των τιμών αμέσως μετά τη δοκιμασία ήταν ενδεικτική στατιστικής σημαντικότητας σε σχέση με τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές, χωρίς όμως να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αερόβιας δοκιμασίας και της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης. Αντίθετα, ο MCV αυξάνεται περισσότερο μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση, με οριακά στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την αερόβια ($p=0,055$), ενώ η διαφορά είναι λίαν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τις τιμές στις υπόλοιπες χρονικές στιγμές. Αντίστοιχα ήταν τα ευρήματα και για τον MCHC, χωρίς όμως να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές αμέσως μετά την πραγματοποίηση της αερόβιας δοκιμασίας. Διαφορά υπήρξε στις τιμές πριν από τις δοκιμασίες, με τις τιμές να είναι υψηλότερες πριν από την αερόβια δοκιμασία. Ωστόσο, όταν υπολογίστηκε η ποσοστιαία αύξηση (πριν - μετά) δεν διαπιστώθηκε διαφορά μεταξύ αερόβιας δοκιμασίας και υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης. Διαφορά αμέσως μετά την αερόβια δοκιμασία παρατηρήθηκε τις τιμές των αιμοπεταλίων. Η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές, με την αύξηση να είναι υψηλότερη (21%) στην αερόβια δοκιμασία έναντι 9% στην υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση ($p=0,015$) (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Διαφορές στις τιμές των αιματολογικών παραμέτρων στις διάφορες χρονικές στιγμές κατά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση (HIIT) και την αερόβια δοκιμασία

Δοκιμασία		ΠΡΙΝ	META	24h	48h	72h	p*
		MT±TA	MT±TA	MT±TA	MT±TA	MT±TA	
Ερυθρά αιμοσφαίρια (RBC)	HIIT	5,15x10 ⁶ /μl±0,67	5,26 x10 ⁶ /μl ±0,52	4,95 x10 ⁶ /μl ±0,46	4,93 x10 ⁶ /μl ±0,47	4,83 x10 ⁶ /μl ±0,47	0,076
	Αερόβια	4,88 x10 ⁶ /μl ±0,5	5,3 x10⁶/μl ±0,93	4,91 x10 ⁶ /μl ±0,56	4,94 x10 ⁶ /μl ±0,66	4,94 x10 ⁶ /μl ±0,66	0,099
	p**	0,176	0,725	0,838	0,951	0,342	
Αιμοσφαιρίνη (Hb)	HIIT	14,46g/dl±1,44	14,93g/dl±1,20	14,14g/dl±1,48	14,46g/dl±2,06	13,59g/dl±1,24	0,262
	Αερόβια	13,89g/dl±1,75	15,33g/dl±2,80	14,06g/dl±1,86	13,98g/dl±1,80	13,85g/dl±1,60	0,108
	p**	0,323	0,613	0,864	0,438	0,620	
Αιματοκρίτης (Hct)	HIIT	44,38%±4,43	45,8%±3,55	42,91%±4,16	42,84%±4,50	41,66%±3,54	0,068
	Αερόβια	41,8%±4,71	46,04%±8,12	42,16%±5,35	42,33%±4,55	42,16%±4,42	0,128

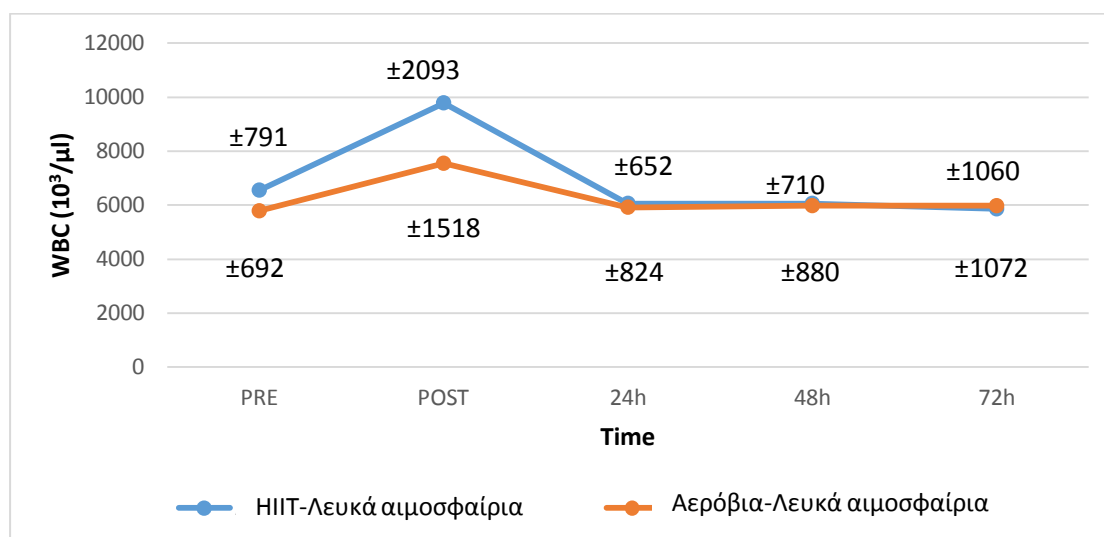
	p**	0,158	0,857	0,602	0,732	0,587	
MCV	HIIT	86,68fl±7,33	88,02fl±7,48	86,95fl±7,43	87,05fl±7,44	86,64fl±7,68	0,005
	Αερόβια	85,87fl±7,96	87,12fl±7,09	86,00fl±7,91	86,17fl±8,20	85,89fl±8,45	0,458
	p**	0,227	0,055	0,176	0,227	0,233	
MCH	HIIT	28,25pg±2,61	29,81pg±6,24	28,68pg±2,93	28,55pg±2,82	28,32pg±3,28	0,801
	Αερόβια	28,55pg±3,17	29,03pg±2,94	28,72pg±3,17	28,47pg±3,46	28,24pg±3,42	0,344
	p**	0,368	0,452	0,923	0,874	0,228	
MCHC	HIIT	32,58g/dl±1,00	34,02g/dl±6,22	32,94g/dl±1,11	32,78g/dl±1,64	32,63g/dl±1,31	0,003
	Αερόβια	33,19g/dl±1,24	33,31g/dl±1,29	33,38g/dl±1,73	33,03g/dl±2,13	32,81g/dl±1,22	0,057
	p**	0,040	0,592	0,372	0,579	0,789	
Αιμοπετάλια (PLT)	HIIT	213750/μl±66042	233833/μl ±38825	223667/μl ±44908	214083/μl ±45514	216909/μl ±54599	0,702
	Αερόβια	215167/μl ±50900	260455/μl ±83423	225667/μl ±53251	224083/μl ±47044	216000/μl ±39608	0,015

p**	0,928	0,183	0,846	0,352	0,988
------------	-------	-------	-------	-------	-------

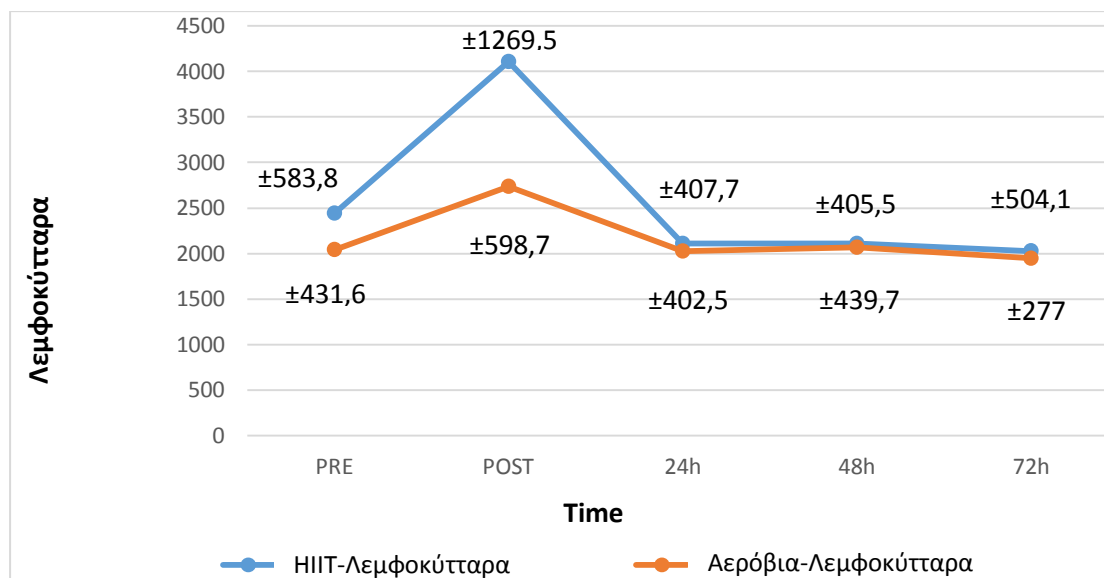
*Repeated measures analysis, διαφορές μεταξύ διαφόρων χρονικών στιγμών

**Paired samples t-test, διαφορές μεταξύ ομάδων

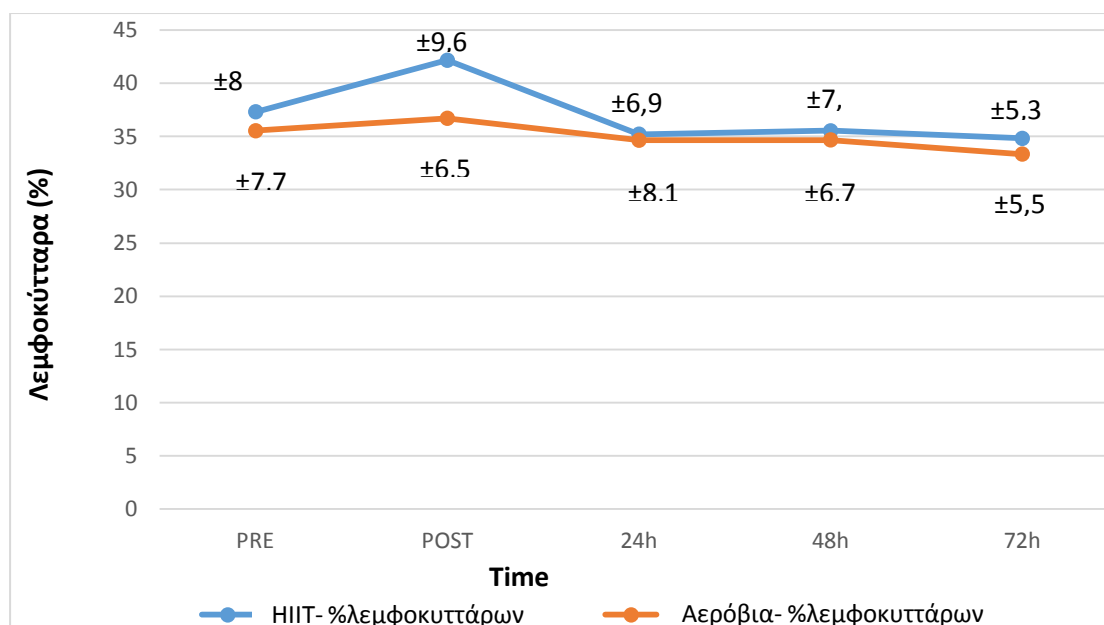
Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζονται οι μεταβολές στις αιματολογικές παραμέτρους και για τις δύο δοκιμασίες κατά τις διάφορες χρονικές στιγμές. Σε όλες τις περιπτώσεις είναι έκδηλη η κορύφωση των τιμών αμέσως μετά την άσκηση.



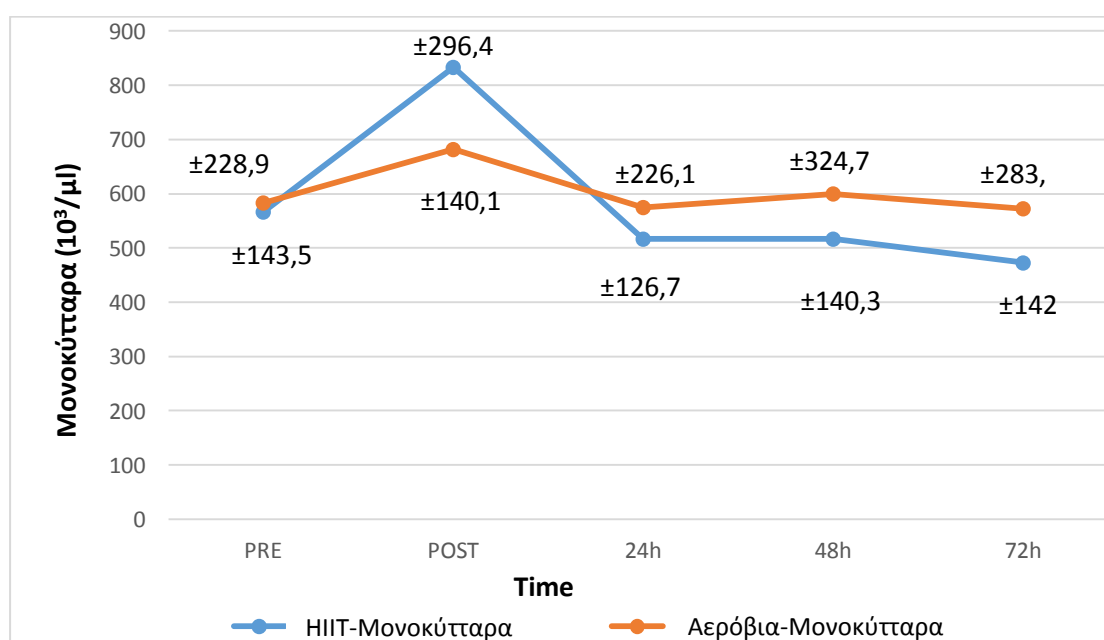
Γράφημα 2. Μεταβολή του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



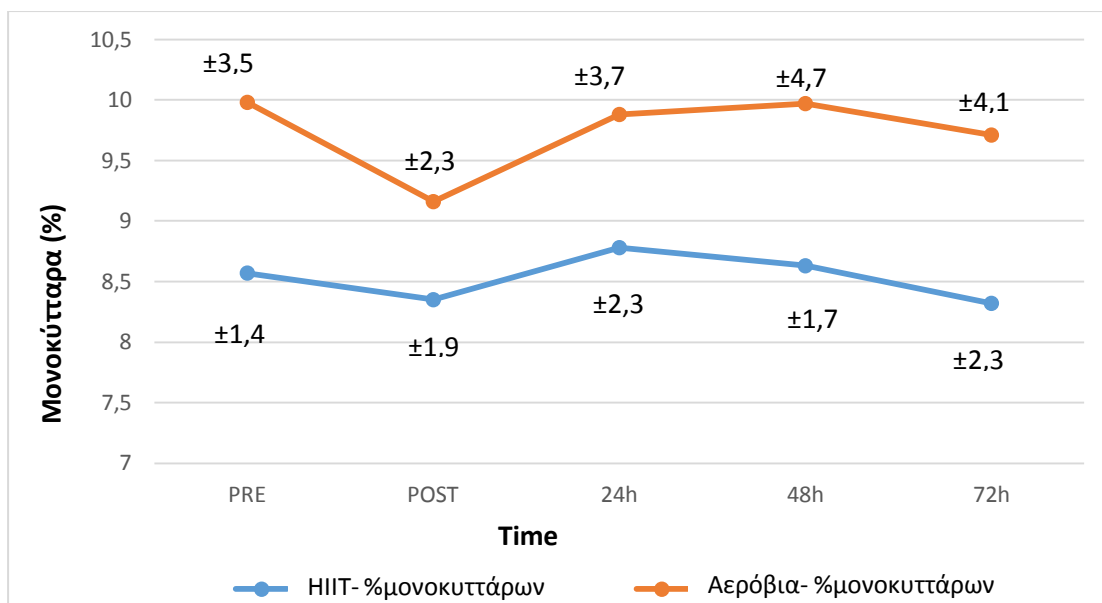
Γράφημα 3. Μεταβολή του αριθμού των λεμφοκυττάρων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



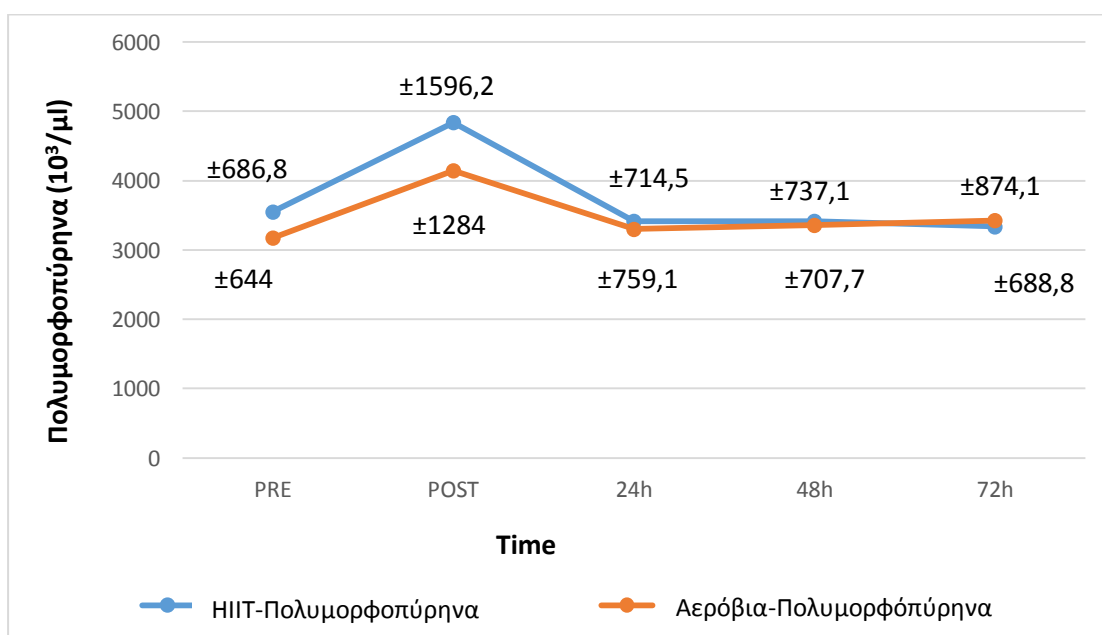
Γράφημα 4. Μεταβολή του ποσοστού των λεμφοκυττάρων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



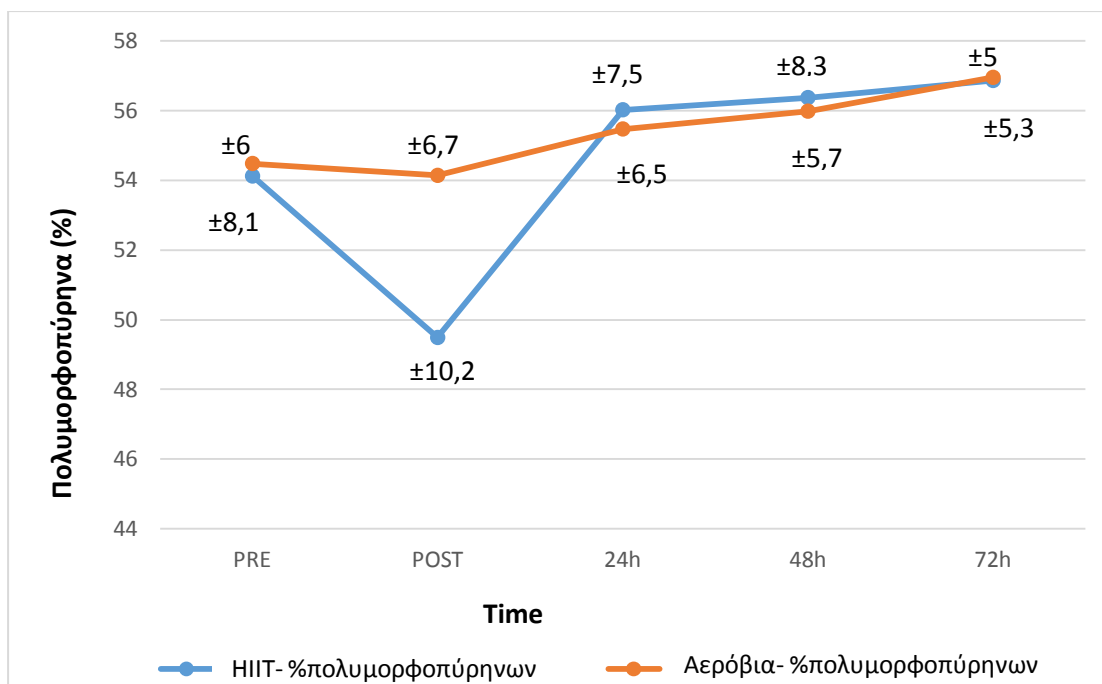
Γράφημα 5. Μεταβολή του αριθμού των μονοκυττάρων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



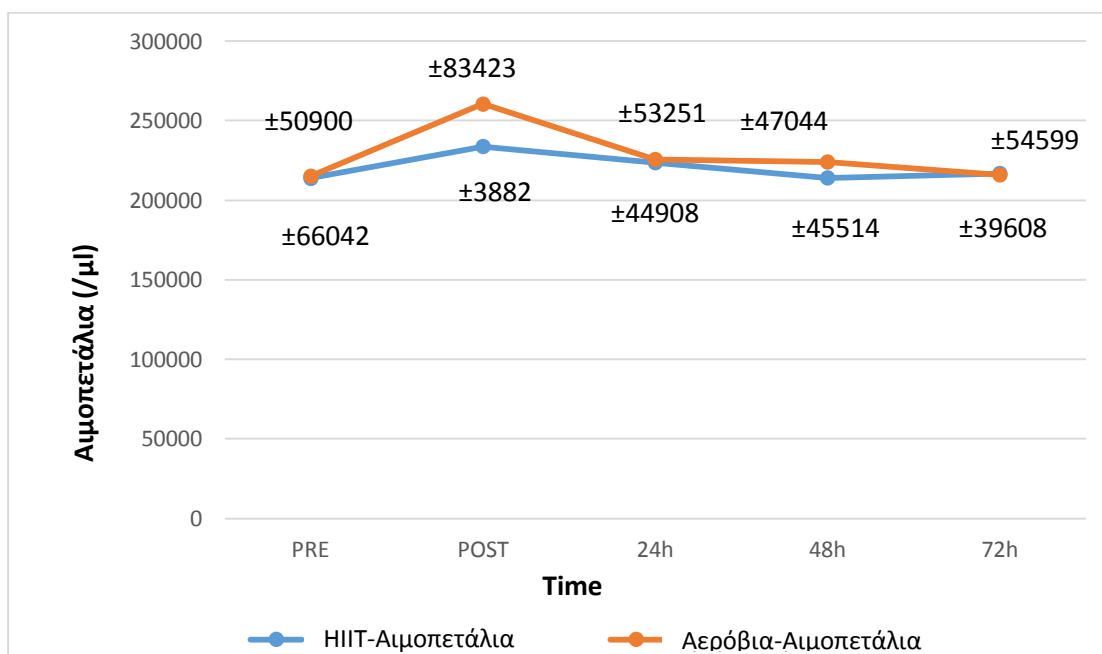
Γράφημα 6. Μεταβολή του ποσοστού των μονοκυττάρων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



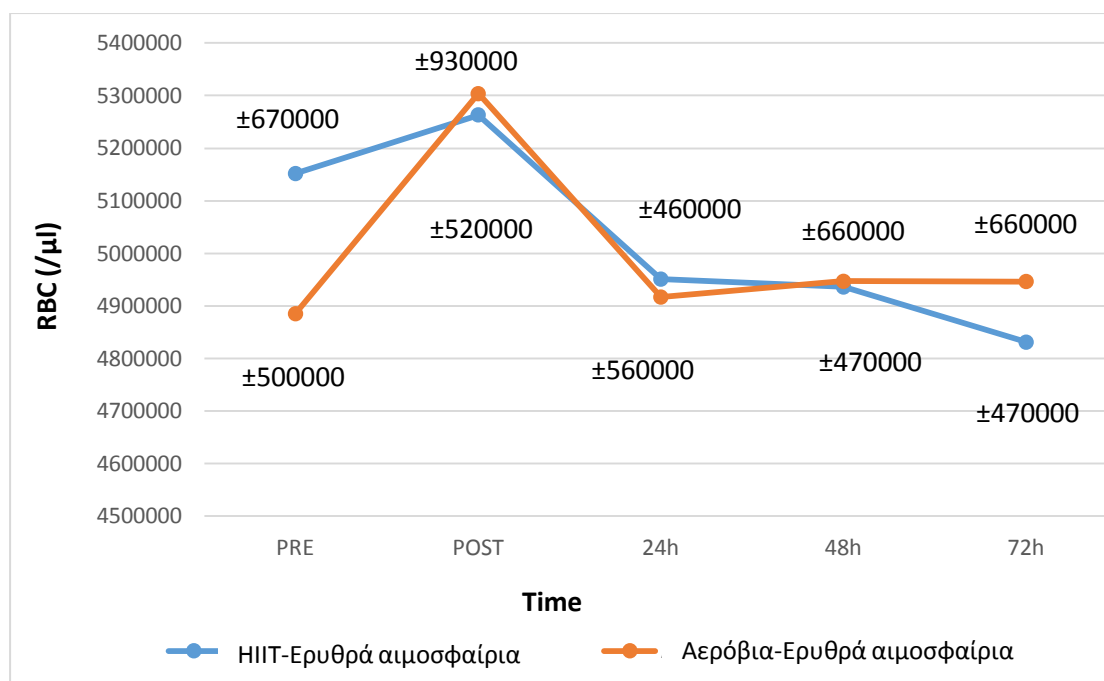
Γράφημα 7. Μεταβολή του αριθμού των πολυμορφοπύρηνων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες.



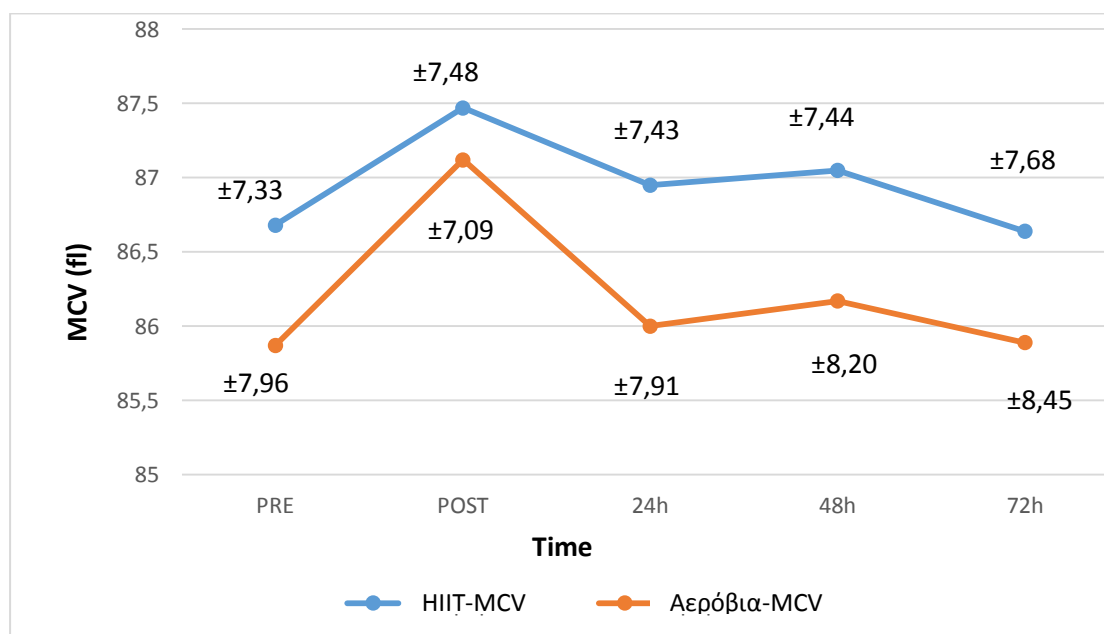
Γράφημα 8. Μεταβολή του ποσοστού των πολυμορφύρητων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



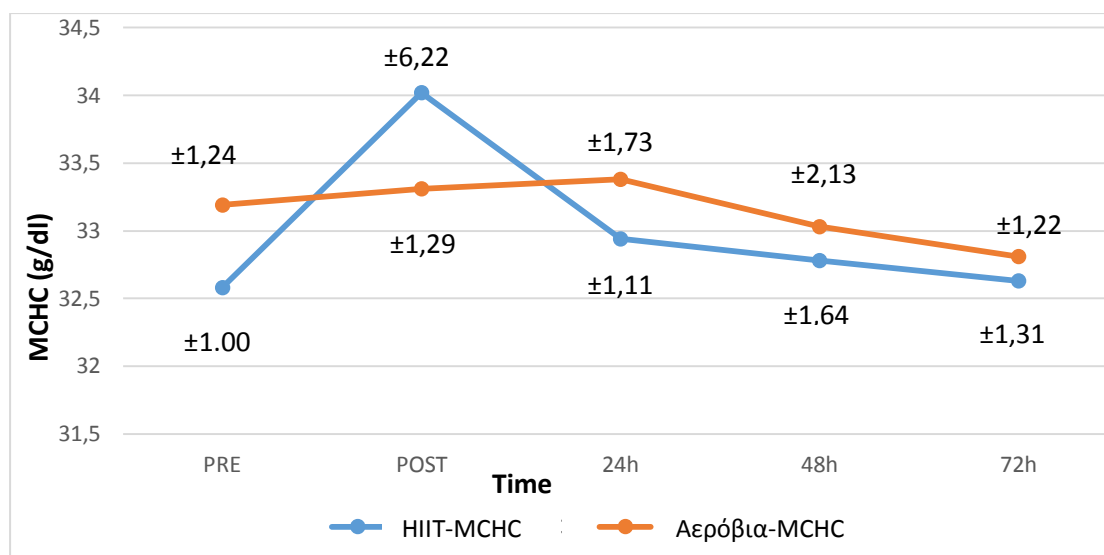
Γράφημα 9. Μεταβολή του αριθμού των αιμοπεταλίων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



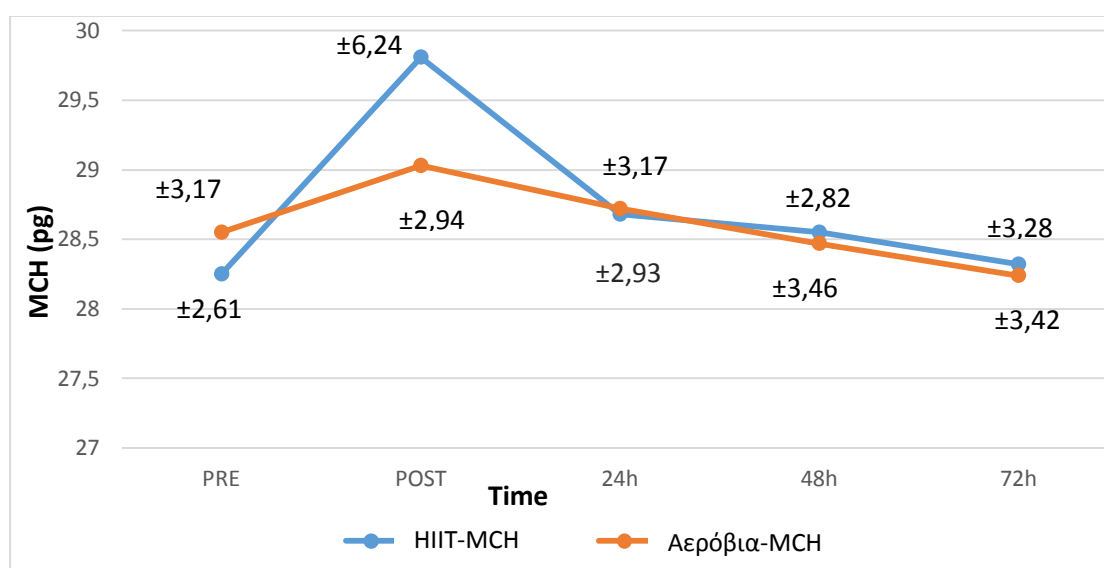
Γράφημα 10. Μεταβολή του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



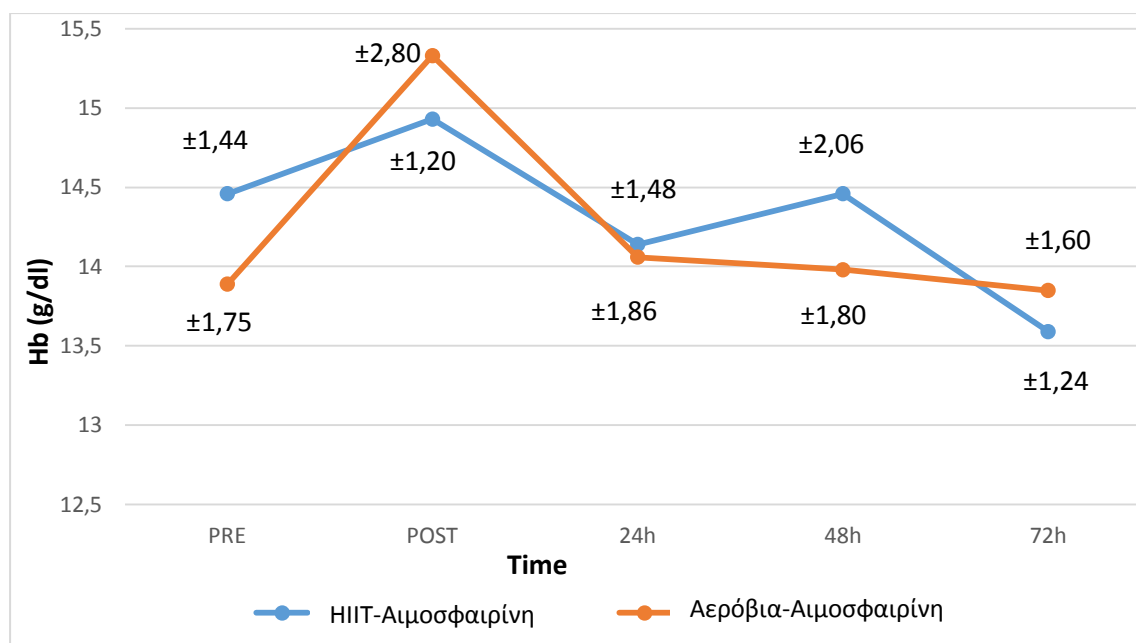
Γράφημα 11. Μεταβολή του MCV πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



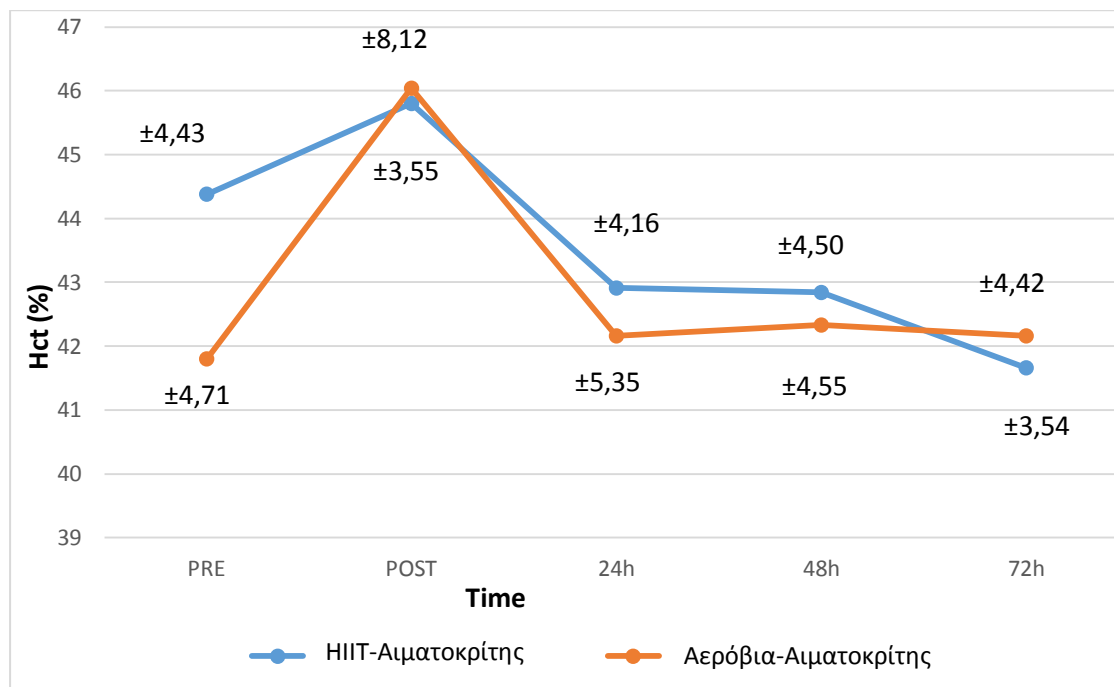
Γράφημα 12. Μεταβολή του MCHC πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



Γράφημα 13. Μεταβολή του MCH πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



Γράφημα 14. Μεταβολή της αιμοσφαιρίνης πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες



Γράφημα 15. Μεταβολή του αιματοκρίτη πριν και μετά τις δύο δοκιμασίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο κύριος σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης μιας έντονης αερόβιας άσκησης και μιας υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης στις παραμέτρους της γενικής αίματος στο αίμα νέων αρρένων ηλικίας 17-32 ετών, που συμμετείχαν σε μια δοκιμασία άσκησης με αερόβιο και αναερόβιο χαρακτήρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, παρατηρείται εκσεσημασμένη λευκοκυττάρωση, τόσο μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση, όσο και μετά την αερόβια άσκηση. Στα λεμφοκύτταρα η αύξηση ήταν 68,3% κατά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση και 35% κατά την αερόβια προπόνηση, ενώ στα μονοκύτταρα η αύξηση ήταν επίσης υψηλότερη αμέσως μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση σε σύγκριση με την αερόβια δοκιμασία. Στο σύνολο των λευκών αιμοσφαιρίων, στα πολυμορφοπύρρηνα και στα λεμφοκύτταρα οι τιμές αμέσως μετά τη δοκιμασία διέφεραν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές, τόσο κατά την αερόβια δοκιμασία, όσο και κατά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση. Αύξηση του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων παρατηρήθηκε και στις δυο δοκιμασίες, με παράλληλη αύξηση του MCV, ο οποίος αυξάνεται περισσότερο μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση. Αντίστοιχα ήταν τα ευρήματα και για τον MCHC. Στα αιμοπετάλια, η αύξηση ήταν υψηλότερη (21%) στην αερόβια δοκιμασία σε σύγκριση με την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση (9%). Συνοψίζοντας, σε όλα τα έμμορφα συστατικά του αίματος παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση αμέσως μετά τις δοκιμασίες. Η αύξηση των λεμφοκυττάρων ήταν ιδιαίτερα έντονη στην περίπτωση της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης, ενώ στα αιμοπετάλια στην αερόβια άσκηση.

Οι μεταβολές στις αιματολογικές παραμέτρους μετά από την (αερόβια ή αναερόβια) άσκηση διαπιστώνονται σε πολλές μελέτες και τα δεδομένα δείχνουν ότι αφορούν κυρίως σε αυξήσεις των λευκών και των ερυθρών αιμοσφαιρίων, με τις πρώτες να αποδίδονται στην

κινητοποίηση των λευκών αιμοσφαιρίων λόγω των ορμονικών μεταβολών που επιφέρει η άσκηση και τις δευτερές στην απώλεια πλάσματος κατά την άσκηση. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για τα λεμφοκύτταρα, με τη μακροχρόνια άσκηση να έχει ευεργετικές επιδράσεις στην εν γένει βιολογική τους συμπεριφορά (Borghini et al., 2015; Chilton et al., 2014).

Στη μελέτη του Deilami και των συνεργατών του (2013) διερευνήθηκε η επίδραση της έντονης αερόβιας και αναερόβιας άσκησης στο αίμα 15 αρρένων φοιτητών 22-25 ετών και με χρονική απόσταση μεταξύ κάθε δοκιμασίας τις 10 ημέρες. Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν οι μεταβολές στον αριθμό των λευκών αιμοσφαιρίων του αίματος πριν, αμέσως, 1 ώρα και 24 ώρες μετά την αερόβια δοκιμασία Ellestad για τον προσδιορισμό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Βρέθηκε ότι 1 και 24 ώρες μετά, τόσο στην περίπτωση της αερόβιας, όσο και της αναερόβιας άσκησης τα ουδετερόφιλα και τα μονοκύτταρα αυξάνονταν σε επίπεδα άνω του 50% από τις βασικές τιμές. Η αύξηση των λευκοκυττάρων ήταν υψηλότερη στην περίπτωση της αναερόβιας άσκησης, με ιδιαίτερα έντονη την αύξηση των μονοκυττάρων, ενώ τα ουδετερόφιλα ήταν περισσότερο αυξημένα στην περίπτωση της αερόβιας άσκησης, χωρίς οι διαφορές να είναι στατιστικά σημαντικές μεταξύ των δύο δοκιμασιών. Ο Aghaalinezhad (2002) έδειξε ότι η μακροχρόνια άσκηση στο 85% του αναερόβιου ουδού, συγκρινόμενη με την ίδια δραστηριότητα, αλλά στο 100% του αναερόβιου ουδού, αυξάνει σημαντικά σε αριθμό τα ουδετερόφιλα και τα λευκοκύτταρα κατά τη διάρκεια της άσκησης, μέχρι και 4 ώρες μετά από αυτή.

Ο Oshida και οι συνεργάτες του (1988), στη μελέτη τους σε 5 άρρενες που δεν είχαν προπονηθεί και 6 προπονημένους άρρενες που είχαν ασκηθεί για 2 ώρες, με κατανάλωση οξυγόνου στο 60% της μέγιστης πρόσληψης, διαπίστωσαν ότι η άσκηση αυξάνει τον αριθμό των λευκών αιμοσφαιρίων και στις δύο ομάδες. Ο Kappel και οι συνεργάτες του (1998), σύγκριναν τις αλλαγές στους ανοσιακούς παράγοντες σε εξάσκηση με ήπια ένταση ($25\% \text{VO}_{2\text{max}}$), σε μέτρια ένταση ($50\% \text{VO}_{2\text{max}}$) και σε υψηλή ένταση με ($75\% \text{VO}_{2\text{max}}$).

Παρατήρησαν μια αύξηση μόνο μετά από έντονη άσκηση στα λευκά αιμοσφαίρια. Ιδιαίτερως δε αυτή στα ουδετερόφιλα και μονοκύτταρα συνεχίστηκε έως δύο ώρες μετά την πραγματοποίηση της δοκιμασίας. Ο Benoni και οι συνεργάτες του (1995), έδειξαν ότι μετά από 10 λεπτά ποδηλασίας υπό εργομετρία, με καρδιακό ρυθμό 150 παλμούς/λεπτό, ο αριθμός των ουδετερόφιλων αυξήθηκε. Ο Yamada και οι συνεργάτες του (2002), εξέτασαν 12 αθλητές χειμερινών αθλημάτων σε διάδρομο, στη μέγιστη ταχύτητα, και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αριθμός των ουδετερόφιλων παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα μέχρι 2 ώρες μετά την άσκηση.

Ο Gabriel και οι συνεργάτες του (1992), εξέτασαν την επίδραση 4 ωρών ποδηλασίας υπό εργομετρία με την ένταση του αναερόβιου κατωφλίου στο 70% του μέγιστου. Μετά την προπόνηση, ο αριθμός των μονοκυττάρων και ουδετερόφιλων επέστρεψε στα βασικά επίπεδα. Φαίνεται ότι η διάρκεια της άσκησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα στις μεταβολές των λευκών αιμοσφαιρίων. Ο Henson και οι συνεργάτες του (2001), εξέτασαν τη λειτουργία του ανοσοποιητικού 20 κορυφαίων αθλητριών και 19 μη αθλητριών ηλικίας 22-24 ετών και κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι δεν υπήρξε σημαντική διαφορά στον αριθμό των μονοκυττάρων. Ο Hack και οι συνεργάτες του (1992) εξέτασαν τις επιδράσεις της αερόβιας άσκησης σε προπονημένα και μη άτομα στον αριθμό των λευκοκυττάρων και των λεμφοκυττάρων, αλλά και στην κινητοποίηση των μακροφάγων Ως αποτέλεσμα, μετά από αυτό το εντατικό πρόγραμμα προπόνησης, ο αριθμός των λευκοκυττάρων και λεμφοκυττάρων αυξήθηκε, η δραστητικότητα των μακροφάγων όμως μειώθηκε. Ανάλογα με τα αποτελέσματα του Hack και των συνεργατών του (1992) για τη λειτουργία των μακροφάγων ήταν και του Wong και των συνεργατών του (1990) σε πειραματικά μοντέλα.. Ο Wolach και οι συνεργάτες του (1998) εξέτασαν μια αναερόβια δοκιμασία Wingate σε 7 γυμνάστριες και 6 μη αθλήτριες, ηλικίας 10-12 ετών, με ποδηλασία μέγιστης προσπάθειας, διάρκειας 30 δευτερολέπτων, υπό εργομετρία. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μετά από 24

ώρες, ο αριθμός των λεμφοκυττάρων και ουδετερόφιλων έφτασε στο επίπεδο πριν από την άσκηση. Ο Nielsen και οι συνεργάτες του (1996), εξέτασαν τις επιδράσεις κωπηλασίας διάρκειας 6 λεπτών στο εργόμετρο, σε δύο ημέρες (3 συνεδρίες ανά ημέρα), σε 8 άρρενες. Δείγματα αίματος μετρήθηκαν πριν, κατά τη διάρκεια και 24 ώρες μετά από κάθε άσκηση. Ως αποτέλεσμα, κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης των λευκοκυττάρων, ουδετερόφιλα και λεμφοκύτταρα επέστρεψαν στα επίπεδα ανάπαυσης. Τα αποτελέσματα της έρευνάς μας συμφωνούν με αυτά των Gabriel και των συνεργατών του (1992), Nielsen και των συνεργατών του (1999) και Wolach και των συνεργατών του (1998).

Ο Alibeyoglu και οι συνεργάτες του (2008) βρήκε ότι οι τιμές των λεμφοκυττάρων μειώνονταν την πρώτη ώρα μετά την άσκηση, ενώ σε μια άλλη μελέτη, μια σημαντική αύξηση των λευκοκυττάρων βρέθηκε ως αποτέλεσμα εφαρμογής οξείας άσκησης διάρκειας 60 λεπτών (Beydagi et al. 1994).

Στη μελέτη των Atan και Alacam (2015), διερευνήθηκαν οι μεταβολές στις αιματολογικές παραμέτρους μετά από αερόβιες και αναερόβιες ασκήσεις και διερευνήθηκε το κατά πόσον οι δύο διαφορετικές ασκήσεις έχουν διαφορετικές επιδράσεις στις αιματολογικές παραμέτρους. Η μελέτη περιελάμβανε 25 άνδρες αθλητές στους οποίους παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών των λευκών αιμοσφαιρίων 1 λεπτό μετά το πέρας της άσκησης, ανεξάρτητα από το αν επρόκειτο για αερόβια ή αναερόβια δοκιμασία. Η δοκιμασία Shuttle run ήταν η αερόβια άσκηση και η δοκιμασία RAST η αναερόβια. Διαφορές μεταξύ αναερόβιας και αερόβιας άσκησης αναφέρθηκαν στις τιμές των μονοκυττάρων και των λεμφοκυττάρων (υψηλότερες στην αερόβια άσκηση) και των ηωσινόφιλων (υψηλότερες στην αναερόβια). Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα αιμοπετάλια και στις άλλες αιματολογικές παραμέτρους. Σημειώνεται ωστόσο ότι στα ουδετερόφιλα παρατηρήθηκε μείωση αμέσως μετά την άσκηση και αύξηση στα 60 λεπτά σε τιμές υψηλότερες των βασικών.

Ο Lippi και οι συνεργάτες του (2010) μελέτησαν 31 αθλητές μεσαίου επιπέδου προπόνησης (διάρκεια προπόνησης 217 ± 32 λεπτά/εβδομάδα), οι οποίοι έτρεξαν σε αγώνα ημιμαραθώνιου 21,1 χιλιομέτρων. Συλλέχθηκαν δείγματα αίματος πριν από τον αγώνα, στο τέλος, και 3 και 20 ώρες μετά. Ο MCV αυξήθηκε σημαντικά κατά το τέλος της διαδρομής και επέστρεψε στην αρχική τιμή 3 ώρες μετά (Lippi 2010).

Ο Kandi και οι συνεργάτες του (2013) διερεύνησαν την επίδραση συνεδρίας μέγιστης άσκησης το πρωί και το απόγευμα, επί ορισμένων αιματολογικών παραγόντων. Συλλέχθηκαν δείγματα αίματος από τις δύο ομάδες πριν, αμέσως μετά και 2 ώρες μετά την άσκηση. Βρήκαν σημαντικές διαφορές στα επίπεδα αιμοσφαιρίνης και ερυθροκυττάρων, σε διαφορετικά στάδια της δειγματοληψίας αίματος. Δεν παρατηρήθηκε διαφορά στο επίπεδο της αιμοσφαιρίνης και των ερυθροκυττάρων πριν και δύο ώρες μετά την άσκηση, όπως σε αυτή τη μελέτη. Δεδομένου ότι, η ποσότητα του πλάσματος στο αίμα μειώνεται κατά τη διάρκεια της άσκησης, η αιμοσφαιρίνη, ο αιματοκρίτης και τα ερυθρά αιμοσφαίρια αυξάνονται (Gun, 1991; Sawka et al., 2000). Η αύξηση αυτή είναι προσωρινή, γιατί οι παράμετροι του αίματος επιστρέφουν στα φυσιολογικά επίπεδα κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης (Gun 1991). Η κατάσταση αυτή εξηγεί την αύξηση των αιματολογικών παραμέτρων, 1 λεπτό μετά την άσκηση.

Ο αριθμός των ερυθρών αιμοσφαιρίων, 1 λεπτό μετά από ασκήσεις, τόσο αερόβιες όσο και αναερόβιες, αυξήθηκε σε σύγκριση με αυτές που υπήρχαν πριν από την άσκηση, αλλά μετά από 60 λεπτά οι τιμές αυτές παρατηρήθηκε ότι επέστρεψαν στα προηγούμενα επίπεδα. Αυτές οι αυξήσεις αναφέρθηκε ότι εξαρτώνται από την απώλεια του πλάσματος που προκαλείται από την άσκηση (Londeann 1978). Φάνηκε ότι ορισμένες μελέτες υποστήριζαν αυτό το εύρημα (Bezci και Kaya, 2010; Ercan et al., 1996; Unal et al., 2005). Ο Unal και οι συνεργάτες του (2005) διαπίστωσαν ότι υπήρξε μια αύξηση στον αριθμό των ερυθρών αιμοσφαιρίων, 30 λεπτά μετά από την αερόβια άσκηση. Σε μια μελέτη των Bezci και Kaya

(2010), τα επίπεδα των ερυθρών αιμοσφαιρίων των γυναικών που κάνουν taekwondo εξετάστηκαν και μια σημαντική αύξηση συνέβη στα επίπεδα των ερυθρών αιμοσφαιρίων των αθλητών, ως αποτέλεσμα της οξείας δραστηριότητας. Διαπιστώθηκε ότι ενώ οι τιμές των ερυθρών αιμοσφαιρίων ήταν $4,40 \times 10^6$ πριν από την άσκηση, η τιμή αυξήθηκε στο $4,50 \times 10^6$ μετά την άσκηση (Bezci and Kaya 2010). Ο Ercan και οι συνεργάτες του (1996), με τη σειρά τους, ανέφεραν ότι τα επίπεδα των ερυθρών των συμμετεχόντων παρουσίασαν σημαντική αύξηση μετά από αγώνα δρόμου αντοχής 3000 μέτρων, σε σύγκριση με το επίπεδο πριν από τον αγώνα. Στη μελέτη τους, η αύξηση του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων εξηγείται από το μηχανισμό της αιμοσυμπύκνωσης.

Στη μελέτη του Lippi και των συνεργατών του (2010), ο αριθμός των αιμοπεταλίων, των ερυθρών αιμοσφαιρίων και ο αιματοκρίτης αυξήθηκαν μετά τον αγώνα δρόμου και επέστρεψαν στα αρχικά επίπεδα 3 ώρες μετά, όπως στην παρούσα μελέτη (Lippi 2010). Ο Beydagı και οι συνεργάτες του (1994) επισήμαναν ότι, αν και η αύξηση στις αιματολογικές παραμέτρους παρατηρήθηκε αμέσως μετά την άσκηση, επέστρεψαν στα βασικά τους στο επίπεδο ανάπαυσης 24 ώρες μετά την άσκηση.

Στη μελέτη του Risøy και των συνεργατών του (2003), καλά προπονημένοι αθλητές πραγματοποίησαν έντονη άσκηση 60 λεπτών των κάτω άκρων. Δείγματα αίματος ελήφθησαν πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άσκηση και κατόπιν την επόμενη ημέρα. Περίπου 5 ώρες μετά την άσκηση, η κοκκιοκυττάρωση έφθασε το 150% των βασικών τιμών. Ορμόνες και κυττοκίνες μετρήθηκαν επίσης και παρατηρήθηκε αύξηση της αυξητικής ορμόνης κατά τη διάρκεια, αλλά και 5 λεπτά μετά την άσκηση, χωρίς μεταβολές σε άλλες ορμόνες. Ωστόσο, η βραχεία αναερόβια άσκηση φαίνεται να είναι εκείνη που προκαλεί σημαντική κινητοποίηση των διαφόρων υποπληθυσμών των λευκοκυττάρων. Η αυξημένη αιματική ροή και οι αυξημένες κατεχολαμίνες ευθύνονται για την κινητοποίηση και απότομη αύξηση των λεμφοκυττάρων και των μονοκυττάρων (Gabriel et al., 1992).

Όσον αφορά τα αιμοπετάλια, η σημαντική αύξηση που παρατηρήθηκε στη δική μας μελέτη, αναφέρεται και από άλλους ερευνητές και αποδίδεται επίσης σε ορμονικούς λόγους. Πράγματι, στη μελέτη του Herren και των συνεργατών του (1992) διαπιστώθηκε αύξηση του αριθμού των αιμοπεταλίων ανάλογα με την ένταση της άσκησης, μια παρατήρηση που αργότερα επιβεβαιώθηκε από άλλους ερευνητές (Cadroy et al, 2002; Chicharro et al., 1994). Μόνο μία μελέτη ανέφερε μειωμένο αριθμό αιμοπεταλίων μετά από πολύ μακροχρόνια άσκηση (Robach et al., 2012), αλλά αυτό συνοδεύτηκε επίσης από μειωμένο αιματοκρίτη, γεγονός που καθιστά πιθανό ότι και τα δύο ευρήματα μπορεί να αποδοθούν σε αιμοδιάλυση. Σε δύο μελέτες δεν περιγράφεται καμία αλλαγή στον αριθμό των αιμοπεταλίων μετά την άσκηση (Bartsch et al., 1990; Wang et al., 1994). Φαίνεται ότι η αύξηση των αιμοπεταλίων είναι ανεξάρτητη της διάρκειας της άσκησης, αλλά και του όγκου του πλάσματος (Posthuma et al., 2015).

Αν και υπάρχει ομοφωνία ότι η άσκηση προκαλεί μεταβολές στις τιμές των αιματολογικών παραμέτρων, το είδος των μεταβολών (αύξηση ή ελάττωση) και το είδος των κυττάρων που αυτή αφορά αποτελούν αντικείμενο έρευνας και διχογνωμίας, με τις περισσότερες μελέτες να δείχνουν ότι η αερόβια άσκηση οδηγεί σε αύξηση τιμών των κυττάρων του αίματος, με τις έρευνες να εστιάζονται κυρίως στις τιμές των λευκών αιμοσφαιρίων και ειδικά των λεμφοκυττάρων, τα οποία και παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ανοσολογικό ενδιαφέρον. Αντίθετα, τα ευρήματα που αφορούν στην αναερόβια άσκηση είναι λιγότερο ομοιογενή. Στην παρούσα μελέτη αντίθετα, η αναερόβια δοκιμασία φαίνεται να προκαλεί τη μεγαλύτερη αύξηση τιμών. Φαίνεται πως η άσκηση, ανεξάρτητα από την αερόβια ή αναερόβια φύση της, προκαλεί την απελευθέρωση κυτταροκινών από τους μυς, αλλά και τα ενδοθηλιακά και κύτταρα του αίματος που με τη σειρά τους προάγουν τη μετακίνηση κυρίως των λευκοκυττάρων. Ανάμεσά τους ξεχωρίζουν η ιντερλευκίνη -6 (IL-6) και η IL-1β (Peake et al., 2014). Επίσης, ο ορμονικός «συναγερμός» που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της

άσκησης με την έκκριση κορτιζόλης και αυξητικής ορμόνης συμβάλλει στην απελευθέρωση των λευκοκυττάρων από το αγγειακό διαμέρισμα στην κυκλοφορία του αίματος, όπως και στην κινητοποίηση των προγονικών τους προβαθμίδων στο μυελό των οστών (Kim et al., 2014; Paulsen et al., 2005). Πρόκειται για μια κατάσταση ανάλογη ενός ελεγχόμενου «stress», κατά το οποίο ο οργανισμός προσπαθεί να επιστρατεύσει μηχανισμούς που θα του επιτρέψουν να διατηρήσει την ομοιόστασή του σε συνθήκες καταπόνησης και να ανταποκριθεί επιτυχώς στις περιβαλλοντικές προκλήσεις.

Οι διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις των μελετών, αλλά και η σύνθεση του δείγματος (στις περισσότερες περιπτώσεις πρόκειται για πολύ νέους ενήλικες αθλητές) πιθανόν να ευθύνονται για αυτές τις διαφορές μεταξύ της παρούσας μελέτης και των άλλων μελετών που προαναφέρθηκαν. Η χρόνια έντονη άσκηση έχει επιδράσεις στις συγκεντρώσεις των κυττάρων αίματος, καθώς διαφοροποιεί το ορμονικό προφίλ των ασκουμένων, αλλά και τη βιολογία των λευκών αιμοσφαιρίων. Επίσης, η χρησιμοποίηση διαφορετικών δοκιμασιών μπορεί να ευθύνεται για τα διαφορετικά αποτελέσματα, ειδικά στην περίπτωση της αναερόβιας άσκησης. Στους αθλητές χρησιμοποιούνται συχνά αναερόβιες δοκιμασίες που προσπαθούν να μιμηθούν την άσκηση σε πραγματικές συνθήκες, όπως αυτές που οι αθλητές αντιμετωπίζουν στα αγωνίσματά τους, ενώ το Wingate test αποτελεί μια εργαστηριακή δοκιμασία αναφοράς. Ένα ακόμα στοιχείο που διαφοροποιείται είναι το επίπεδο της VO_2max . Τα αποτελέσματα καθίστανται δύσκολα συγκρίσιμα και χρειάζονται περισσότερες μελέτες που να αξιολογούν μεταξύ άλλων και τις επιπτώσεις των διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων. Το μικρό δείγμα της έρευνας, το μεγάλο ηλικιακό εύρος και το γεγονός ότι για κάποιους από τους συμμετέχοντες δεν ήταν διαθέσιμες οι τιμές σε όλες τις φάσεις των δοκιμασιών αποτελούν περιορισμούς της έρευνας και δεν επιτρέπουν την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Ωστόσο, αποτελούν παράλληλα και ένδειξη ότι οι

επιδράσεις της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης ειδικά στα λεμφοκύτταρα χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη είχε ως στόχο να διερευνηθεί η επίδραση της έντονης αερόβιας άσκησης και της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης στις παραμέτρους της γενικής αίματος στο αίμα νέων αρρένων. Τα ευρήματα συνηγορούν υπέρ μιας ουσιαστικής επίδρασης της άσκησης στις τιμές πρωτίστως των λευκών αιμοσφαιρίων και δευτερευόντως των άλλων αιματολογικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται εκσεσημασμένη λευκοκυττάρωση, τόσο μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση, όσο και μετά την αερόβια άσκηση, με την επίδραση της υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση να υπερτερεί σημαντικά της αερόβιας δοκιμασίας. Όταν συνυπολογίστηκε η μεταβολή του όγκου του πλάσματος φάνηκε ότι στατιστικά σημαντική ήταν η αύξηση του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων μόνο μετά την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση και πιθανόν η μεταβολή του όγκου του πλάσματος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν υπολογίζεται η μεταβολή του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων. Σε όλα τα έμμορφα συστατικά του αίματος παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση αμέσως μετά τις δοκιμασίες, αν και αυτή δεν ήταν συμμετρική. Η αύξηση των λεμφοκυττάρων ήταν ιδιαίτερα έντονη στην περίπτωση της υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης, ενώ στα αιμοπετάλια στην αερόβια δοκιμασία. Οι μεταβολές στις αιματολογικές παραμέτρους μετά από την (αερόβια ή ΗΙΠΤ) άσκηση διαπιστώνονται σε πολλές μελέτες και τα δεδομένα δείχνουν ότι αφορούν κυρίως σε αυξήσεις των λευκών και των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Η κινητοποίηση των λευκών αιμοσφαιρίων λόγω των ορμονικών μεταβολών που επιφέρει η άσκηση και η απώλεια πλάσματος αντίστοιχα κατά την άσκηση ευθύνονται για τις μεταβολές αυτές. Παρόλο που οι ερευνητές συμφωνούν ότι η άσκηση επηρεάζει σημαντικά τις τιμές των αιματολογικών παραμέτρων, υπάρχουν διχογνωμίες σχετικά με το είδος των μεταβολών (αύξηση ή ελάττωση) και το είδος των κυττάρων που αυτή αφορά. Ωστόσο, οι περισσότερες μελέτες

δείχνουν ότι η αερόβια άσκηση προκαλεί αύξηση τιμών των κυττάρων του αίματος, ειδικά των λευκών αιμοσφαιρίων και ακόμα περισσότερο λεμφοκυττάρων, τα οποία και παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ανοσολογικό ενδιαφέρον και είναι και τα καλύτερα μελετημένα. Στην παρούσα μελέτη η υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση φαίνεται να προκαλεί τη μεγαλύτερη αύξηση τιμών. Η ίδια η άσκηση, είτε αερόβια, είτε υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση, προκαλεί την απελευθέρωση κυτταροκινών από τους μυς, αλλά και τα ενδοθηλιακά και κύτταρα του αίματος που με τη σειρά τους προάγουν τη μετακίνηση κυρίως των λευκοκυττάρων. Επίσης, η ορμονική αναστάτωση που συνοδεύει την άσκηση, με την έννοια της προσαρμογής στο στρες, κινητοποιεί περαιτέρω τα κύτταρα του αίματος, αλλά και τις προβαθμίδες τους στο μυελό. Κατά την άσκηση, ο οργανισμός προσπαθεί να επιστρατεύσει μηχανισμούς που θα του επιτρέψουν να διατηρήσει την ομοιόστασή του σε συνθήκες καταπόνησης και να προσαρμοστεί σε νέα δεδομένα. Οι μεταβολές αυτές ενδέχεται να έχουν σημαντικό ενδιαφέρον για την κατάσταση του ανοσοποιητικού συστήματος του οργανισμού, ειδικά σε μακροχρόνια βάση και χρήζουν περαιτέρω συστηματικής έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Αποστολάκης, Μ., *Στοιχεία Φυσιολογίας του Ανθρώπου*. Vol. τόμος Α. 1993, Θεσσαλονίκη

McGeown, J.C., *Συνοπτική Φυσιολογία του Ανθρώπου* 2000: Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης.

Βασάλος, Μ. Κ. (2014). *Λευκά αιμοσφαίρια: Τι δείχνουν οι τιμές τους. Τι δείχνουν οι τιμές υψηλών λευκών αιμοσφαιρίων σε μια εξέταση αίματος και τι σημαίνει να έχω χαμηλά λευκά αιμοσφαίρια*; [online]

Διαθέσιμο από: <http://www.iatronet.gr/ygeia/iatrikes-exetaseis/article/25887/lefka-aimosfairia-ti-deixnoyn-oi-times-toys.html>

[Accessed: 1st June 2015].

Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης (2012). *Βιοχημικές Εξετάσεις Αθλητών Και Αθλητριών - Χρησιμότητα και Αξιολόγηση*. [online]

Διαθέσιμο από: http://www.eevfa.gr/web/documents/Bioximikes_Eksetaseis.pdf

[Accessed: 1st June 2015].

Gartner, Leslie P. (2011), *Ιστολογία*, εκδ. Παρισιάνου, Αθήνα

Ηλιόπουλος Γ (1990). *Φυσιολογία και Φυσιοπαθολογία του Αίματος και των Αιμοποιητικών Οργάνων*, εκδ.Πασχαλίδη, Αθήνα

Αγγλόφωνη

Aghaalinezhad, H., Sarrafnezhad, A., Gharakhanlou, R., Memari, A., Mirshafiei, A., and Nikbin, B. (2002). Effect of vitamin E and C in prevention of athletes' immune system weakness. *Olympic* 10:73-83.

Alibeyoglu, A. (2008). Investigation of Serum Enzymes and Hematological Changes in Young Man after Acute Endurance Exercise. *Master Thesis, Unpublished*.

Atan, T., Alacam, H. (2015). The Effects of Acute Aerobic and Anaerobic Exercise on Blood Parameters. *Anthropologist*, 19(1): 87-93.

Bartsch, P., Haeberli, A., Straub, P.W. (1990). Blood coagulation after long distance running: antithrombin III prevents fibrin formation. *Thromb Haemost*, 63:430-434.

Benoni, G., Bellavite, P., Adami, A., Chirumbolo, S., Lippi, G., Brocco, G., and Cuzzolin, L. (1995). Effect of acute exercise on some haematological parameters and neutrophil functions in active and inactive subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70:187-191.

Beydagi, H., Çoksevim, B., and Temocin, S. (1994). Effects of exercise on red blood cell parameters in groups who engaged and who do not engaged in sports. *Journal of Gaziantep University Faculty of Medicine* 5: 21-28.

Bezci, S., and Kaya, Y. (2010). The analysis of hematological parameters of elite women taekwondoers before and after training. *Pamukkale Journal of Sport Sciences* 1: 1-16.

Borghini A, Giardini G, Tonacci A, Mastorci F, Mercuri A, Sposta SM, Moretti S, Andreassi MG, Pratali L (2015) Chronic and acute effects of endurance training on telomere length., *Mutagenesis*, 30 711-716

Brun J.-F., Varlet-Marie E., Connes P. and Aloulou I. (2010). Hemorheological alterations related to training and overtraining. *Biorheology* 47 95–115.

Büttner P., Mosig S., Lechtermann A., Funke H., Mooren F.C. (2007). Exercise affects the gene expression profiles of human white blood cells. *J Appl Physiol* 102: 26–36. First published September 21, 2006; doi:10.1152/jappphysiol.00066.2006.

Cadroy, Y., Pillard, F., Sakariassen, K.S., Thalamas, C., Boneu, B., Riviere, D. (2002). Strenuous but not moderate exercise increases the thrombotic tendency in healthy sedentary male volunteers. *J Appl Physiol*, 93:829–833.

Chicharro, J.L., Sánchez, O., Bandrés, F., Guantes, Y., Yges A., Lucía, A., Legido, J.C. (1994). Platelet aggregability in relation to the anaerobic threshold. *Thromb Res*, 75:251–257.

Chilton WL¹, Marques FZ¹, West J², Kannourakis G², Berzins SP², O'Brien BJ¹, Charchar. Acute exercise leads to regulation of telomere-associated genes and microRNA expression in immune cells. *FJ¹PLoS One*. 2014 Apr 21;9(4):e92088. doi: 10.1371/journal.pone.0092088. eCollection 2014.

Connes P., Frank S., Martin C., Shin S., Aufradet E., Sunoo S., Klara B., Raynaud de Mauverger E., Romana M., Messonnier L., Kang J., Varlet-Marie E., Feasson L., Hardy-Dessources M.-D., Wilhelm B. and Brun J.-F. (2010). New fundamental and applied mechanisms in exercise hemorheology. *Clinical Hemorheology and Microcirculation* 45 131–141.

Connolly H. P., Caiozzo J. V., Zaldivar F., Nemet D., Larson J., Hung S., Heck D. J., Wesley Hatfield G., Cooper M. D. (2004). Effects of exercise on gene expression in human peripheral blood mononuclear cells. *Journal of Applied Physiology* Vol. 97 no. 4, 1461-1469.

Deilami, A., Sangari, M., Shojaeimehr, M.T. (2013). The effect of two intensive aerobic and anaerobic tests on immune system in male athletic students in Iran. *World Applied Sciences Journal Volume 21, Issue 10, Pages 1521-1529*.

Dunford M., Doyle J. (2015). Chapter 9 Minerals p.351-352 [online] in: *Nutrition for Sport and Exercise*. Third edition. Cengage Learning.

Available at:

<https://books.google.gr/books?id=D4PAAgAAQBAJ&pg=PA352&lpg=PA352&dq=complete+blood+count+athletes&source=bl&ots=avtMq6rqAH&sig=VTcRoiJROAFTEWxRxZX59z9s8Zk&hl=el&sa=X&ei=GV11VeaBCcuasgG004HIAw&ved=0CB4Q6AEwADge#v=onepage&q=complete%20blood%20count%20athletes&f=false> [Accessed: 4th June 2015].

Ercan, M., Bayiroglu, F., Kale, R., et al. (1996). Effects of long-term running exercise on some blood parameters. *Turkish Journal of Sports Medicine* 31: 73– 80.

Gabriel, H., Schwarz L., Born P. and Kindermann W (1992). Differential mobilization of leukocyte subpopulations into the circulation during endurance exercise endure, *Eur J Appl Physiol* (1992) 65:529-534

Gun, C. (1991). Comparison of Ergometric Performance Level of 8-10 and 11-13 Years of Age Group Swimmers. *Master Thesis, Unpublished. Institute of Health Sciences. Istanbul: Istanbul University*

Haaland A. D., Sabljic F. T., Baribeau A. D., Mukovozov M. I., and Hart E. L. (2008). Is Regular Exercise a Friend or Foe of the Aging Immune System? A Systematic Review. *Clin J Sport Med* 18(6):539–548.

Hack V., Strobel G., Rau J.-P., and Weicker H. (1992). The effect of maximal exercise on the activity of neutrophil granulocytes in highly trained athletes in a moderate training period. *Eur J Appl Physiology* 65: 520- 524.

Henson, D.A., Nieman, D.C., Kernodle, M.W. (2001). Immune Function in Adolescent Tennis Athletes and Controls. *Sports Medicine, raining and Rehabilitation* 10:235-246.

Herren, T., Bartsch, P., Haeberli, A., Straub, P.W. (1992). Increased thrombin–antithrombin III complexes after 1 h of physical exercise. *J Appl Physiol*, 73:2499–504.

Kandi, Y.M.N.P., Kandi, A.M.N.P., Shahidi, F., Masoudian, B. (2013). The effect of a maximal aerobic exercise session in the morning and afternoon on certain hematological factors in young athletes. *RJMS* 20: 20-29.

Kappel, M., Poulsen, T., Galbo, H., et al. (1998). Effect of elevated noradrenaline concentration on the immune system in humans. *Eur J Appl Physiol* 79: 93-98.

Karvinen H. K., Esposito D., Raedeke D. T., Vick J. and Walker R. P. (2014). Effect of an exercise training intervention with resistance bands on blood cell counts during chemotherapy for lung cancer: a pilot randomized controlled trial. *SpringerPlus* 3:15.

Kim, K., Suzuki, K., Peake, J., Ahn, N., Ogawa, K., Hong, Ch., Kim, S., Lee, I., Park, J.(2014). Physiological and leukocyte subset responses to exercise and cold exposure in cold-acclimatized skaters. *Biol Sport.*,31(1):39-48.

Lippi G., Banfi G., Montagnana M., Salvagno L. G., Schena F., Cesare Guidi G. (2010). Acute variation of leucocytes counts following a half-marathon run. *Int. Jnl. Lab. Hem.* 32, 117–121.

Londeann R (1978) . Low hematocrits during basic training: Athlete's anemia, *N Engl J Med* , 299: 1191-1192

Mairbäurl H. (2013). Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front. Physiol.* 4:332.

Meyer T., Meister S. (2011). Routine Blood Parameters in Elite Soccer Players. *Int J Sports Med* 32: 875–881.

Nakamura S., Kobayashi M., Sugino T., Kajimoto O., Matoba R., Matsubara K. (2010). Effect of exercise on gene expression profile in unfractionated peripheral blood leukocytes. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 391 846–851.

Nielsen, H.B., Secher, N.H., Christensen, N.J., and Pedersen, B.K. (1996). Lymphocytes and NK cell activity during repeated bouts of maximal exercise. *Am J Physiol* 271:R222-227.

Osei-Bimpong A., Mclean R., Bhonda E., Lewis M. S. (2012). The use of the white cell count and haemoglobin in combination as an effective screen to predict the normality of the full blood count. *Int. Jnl. Lab. Hem.* 34, 91–97.

Oshida, Y., Yamanouchi, K., Hayamiza, S., and Sato, Y. (1988). Effect of an acute physical exercise on Lymphocyte subpopulation in trained and untrained subjects. *J Sports Med* 9:137-140

Peake, J.M., Della Gatta, P., Suzuki, K., Nieman, D.C.(2015). Cytokine expression and secretion by skeletal muscle cells: regulatory mechanisms and exercise effects. *Exerc Immunol Rev.* ,21:8-25.

Paulsen, G., Benestad, HB., Strøm-Gundersen, I., Mørkrid, L., Lappegård, K.T., Raastad, T.(2005). Delayed leukocytosis and cytokine response to high-force eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.*,37(11):1877-83

Posthuma, J.J., van der Meijden, P.E., Ten Cate, H., Spronk, H.M. (2015). Short- and Long-term exercise induced alterations in haemostasis: a review of the literature. *Blood Rev*, 29:171-178.

Risøy BA, Raastad T, Hallén J, Lappegård KT, Baeverfjord K, Kravdal A, Siebke EM, Benestad HB.(2003) Delayed leukocytosis after hard strength and endurance exercise: aspects of regulatory mechanisms, *BMC Physiol. Dec 11;3:14*.

Robach, P., Boisson, R.C., Vincent, L., Lundby, C., Moutereau, S., Gergelé, L., Michel, N., Duthil, E., Féasson, L., Millet, G.Y. (2012). Hemolysis induced by an extreme mountain ultra-marathon is not associated with a decrease in total red blood cell volume. *Scand J Med Sci Sports*, 24:18–27.

Sawka M. N., Convertino V. A., Eichner E. R., Schnieder S. M., Young A. J. (2000). Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 332–348 10.1097/00005768-200002000-00012
[PubMed] [Cross Ref]

Unal M, Erdem S, Deniz G. The effects of chronic aerobic and anaerobic exercises n lymphocyte subgroups. *Acta Physiol Hung.* 2005;92(2):163-71.

Varlet-Marie E., Gaudard A., Monnier J.-F., Micallef J.-P., Mercier J., Bressollea F. and Brun J.-F. (2003). Reduction of red blood cell disaggregability during submaximal exercise:

Relationship with fibrinogen levels. *Clinical Hemorheology and Microcirculation* 28 139–149.

Waltz X., Hedreville M., Sinnapah S., Lamarrea Y., Soterc V., Lemonned N., Etienne-Juland M., Beltanb E., Chalabib T., Choute R., Hueb O., Mougengel D., Hardy-Dessources M.-D. and Connes P. (2012). Delayed beneficial effect of acute exercise on red blood cell aggregate strength in patients with sickle cell anemia. *Clinical Hemorheology and Microcirculation* 52 15–26.

Wang, J.S., Jen, C.J., Kung, H.C., Lin, L.J., Hsiue, T.R., Chen, H.I. (1994). Different effects of strenuous exercise and moderate exercise on platelet function in men. *Circulation*, 90:2877–2885.

Wolach, B., Falk B., Kodesh E., Radnay J., Shapiro H., YaromY. and Eliakim, A. (1998). Cellular Immune Response to Anaerobic Exercise Among Gymnasts and Untrained Girls. *Pediatric exercise Science* 25:227-235.

Wong C.W., Thompson, H. L., Thong, Y.H., Thornton, J.R. (1990). Effect of strenuous exercise stress on chemiluminescence response of alveolar immune macrophages. *Equine veterinary Journal* 22: 33-35.

Yamada, M., Suzuki, K., Kudo, S., Totsuka, M., Nakaji, S., and Sugawara, K. (2002). Raised plasma G-CSF and IL-6 after exercise may play a role in neutrophil mobilization into the circulation. *J Appl Physiol* 92:1789-1794.

Zaldivar F., Wang-Rodriguez J., Nemet D., Schwindt C., Galassetti P., Mills J. P., Wilson D. L., and Cooper M. D. (2006). Constitutive pro- and anti-inflammatory cytokine and growth factor response to exercise in leukocytes. *J Appl Physiol* 100: 1124–1133.