



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ «ΕΥΡΩΣΤΙΑ & ΥΓΕΙΑ»



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ L-ΚΙΤΡΟΥΛΙΝΗΣ ΣΤΟΝ ΚΟΡΕΣΜΟ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ

Ιωάννα Κορλιέ

Επιβλέπων καθηγητής : Βασίλειος Πασχάλης

ΙΟΥΝΙΟΣ 2021

© Copyright
Ιωάννα Κορλιέ
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

Αφιερώσεις

Στους γονείς μου Κανέλλα και Γεώργιος

Στα αδέρφια μου Δημήτριος και Μιχαήλ

Στον καθηγητή Βασίλη Πασχάλη

Στην Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού Αθηνών

Ευχαριστίες

Η παρούσα επιστημονική μελέτη ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Ευχαριστώ από καρδιάς τον επιβλέποντα της μελέτης και καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Πασχάλη Βασίλη που, με την επιστημονική του κατάρτιση και την καθοδήγησή του εκπονήθηκε η συγκεκριμένη ερευνητική μελέτη. Επίσης ευχαριστώ πάρα πολύ τους συμμετέχοντες στις δοκιμασίες μετρήσεων χάρη στους οποίους μπόρεσα να ολοκληρώσω το πειραματικό κομμάτι της πτυχιακής μας εργασίας.

THE EFFECT OF L-CITRULLINE ON OXYGEN SATURATION DURING EXERCISE OF RESPIRATORY MUSCLES

Summary

L-citrulline is a non-proteinogenic amino acid which is a precursor of nitric acid (NO). It is synthesized from ornithine and glutamine and is metabolized by the kidneys to arginine. Research has shown that citrulline has the ability to improve athletic performance. The aim of the present study was to expand the measurement of oxygen saturation during exercise to the exhaustion of the respiratory muscles through the acute effect of 6gr L-citrulline. In the present study, 12 free athletes participated (age 24.8 $\pm$ 4.6 years, height 1.78 $\pm$ 0.07 meters and body mass index 23.9 $\pm$ 1.2). Each examinee underwent two identical tests which were performed 5 days apart. The evaluation was performed using the near-infrared spectroscopy (NIRS) instrument. The study evaluated the saturation of (O₂) of the sternocleidomastoid muscle after administration of citrulline or placebo before exercise until exhaustion. The exercise consisted of 30 repetitions at 70%, 80% as well as repetitions until exhaustion at 90% of the maximum inspiratory pressure. The total number of measurements was four at a time. The first before supplementation, the second one hour later, the third during the last stage of an exercise protocol until exhaustion and the fourth 5 minutes after the specific protocol. The administration of L citrulline was doubly blind and at each visit a supplement was randomly selected which contained either placebo (flour and water) or L citrulline one hour before the test. The results of the research show that the inspiratory pressure as well as the measurement of oxygen saturation is not affected by the citrulline supplement in relation to the placebo. In conclusion, this study shows that acute intake of L-citrulline does not tend to increase the efficiency of the respiratory muscles.

Keywords: Citrulline, Respiratory Muscles, Athletic Performance, Oxygen Saturation, Aerobic Capacity, Respiratory Function.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ L-KΙΤΡΟΥΛΙΝΗΣ ΣΤΟΝ ΚΟΡΕΣΜΟ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ

Περίληψη

Η L-κιτροουλίνη είναι ένα μη πρωτεινογενετικό αμινοξύ η οποία είναι πρόδρομος του νιτρικού οξέος (NO). Συντίθεται από ορνιθίνη και γλουταμίνη και μεταβολίζεται από τους νεφρούς σε αργινίνη. Μέσα από έρευνες διαπιστώθηκε ότι η χορήγηση κιτροουλίνης έχει την ικανότητα βελτίωσης της αθλητικής απόδοσης. Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να διευρυνθεί η μέτρηση κορεσμού οξυγόνου κατά την άσκηση μέχρι εξάντλησεως των αναπνευστικών μυών μέσω της οξείας επίδρασης 6gr L-κιτροουλίνης. Στην παρούσα εργασία συμμετείχαν 12 ελεύθεροι αθλούμενοι (ηλικίας $24,8 \pm 4,6$ έτη, ύψος $1,78 \pm 0,07$ μέτρα και δείκτη μάζα σώματος $23,9 \pm 1,2$). Ο κάθε εξεταζόμενος υποβλήθηκε σε δύο ίδιες δοκιμασίες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με διαφορά 5 ημερών. Η αξιολόγηση έγινε μέσω του οργάνου εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (NIRS). Στην έρευνα αξιολογήθηκε ο κορεσμός του (O_2) του στερνοκλειδομαστοειδούς μυός μετά τη χορήγηση κιτροουλίνης ή εικονικού σκευάσματος πριν από την άσκηση μέχρι την εξάντληση. Η άσκηση αποτελούνταν από 30 επαναλήψεις στο 70%, 80% καθώς και επαναλήψεις μέχρι την εξάντληση στο 90% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης. Το σύνολο των μετρήσεων ήταν τέσσερις κάθε φορά. Η πρώτη πριν την πρόσληψη συμπληρώματος, η δεύτερη μια ώρα μετά, η τρίτη κατά το τελευταίο στάδιο ενός πρωτοκόλλου άσκησης μέχρι την εξάντληση και η τέταρτη 5 λεπτά έπειτα από το συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Η χορήγηση της L-κιτροουλίνης ήταν διπλά τυφλή ενώ σε κάθε επίσκεψη γινόταν τυχαία επιλογή συμπληρώματος το οποίο περιείχε είτε εικονικό σκεύασμα (αλεύρι και νερό) είτε L-κιτροουλίνη μία ώρα πριν την δοκιμασία. Τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνεται ότι η εισπνευστική πίεση καθώς και στη μέτρηση κορεσμού οξυγόνου δεν επηρεάζεται από το συμπλήρωμα κιτροουλίνης σε σχέση με το εικονικό σκεύασμα. Συμπερασματικά, από τη συγκεκριμένη έρευνα παρουσιάζεται πως η οξεία λήψη της L-κιτροουλίνης δεν έχει τη τάση για αύξηση της απόδοσης των αναπνευστικών μυών.

Λέξεις κλειδιά: Κιτροουλίνη, Αναπνευστικοί μύες, Αθλητική απόδοση, Κορεσμός

οξυγόνου, Αερόβια ικανότητα, Αναπνευστική λειτουργία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	ii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	vi
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος	3
1.2 Σημασία της έρευνας.....	3
1.3 Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας.....	3
1.4 Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις	4
1.5 Διευκρίνιση όρων.....	4
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	6
2.1 Ανατομία και φυσιολογία αναπνευστικού συστήματος	6
2.1.1 Ανατομία Πνευμόνων.....	8
2.1.2 Φυσιολογία Πνευμόνων.....	9
2.2 Πνευμονική Αναπνοή	10
2.2.1 Φυσιολογία της Αναπνοής	10
2.2.2 Μηχανική της Αναπνοής	11
2.2.3 Εισπνοή – Εισπνευστικοί Μύες	11
2.2.4 Εκπνοή – Εκπνευστικοί Μύες.....	12
2.2.5 Ρύθμιση της αναπνοής κατά την άσκηση	15
2.3 Πνευμονικός Αερισμός	16
2.3.1 Πνευμονικός όγκος.....	16
2.3.2 Πνευμονικός αερισμός κατά την άσκηση	17
2.3.3 Μεταφορά αναπνευστικών αερίων	18
2.3.4 Αερόβια Άσκηση	21
2.3.5 Καρδιοαναπνευστική αντοχή και Καρδιακή Συχνότητα.....	22
2.3.6 Μέτρηση μυϊκής οξυγόνωσης: Μέθοδος εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS)	22
2.3.7 Ο περιοριστικός ρόλος του αναπνευστικού συστήματος κατά την άσκηση	23
2.4 L- Κιτρουλίνη	25

2.4.1	Μηλική Κιτρουλίνη (CM)	27
2.4.2	Νιτρικό οξείδιο ή Μονοξείδιο του Αζώτου (NO)	28
2.4.3	Η Αργινίνη, η σύνδεση της με την Κιτρουλίνη, ο ρόλος της στην υγεία και στην αθλητική απόδοση.....	31
2.4.4	L-Αργινίνη, L- Κιτρουλίνη και ο κύκλος της ουρίας	32
2.4.5	Οφέλη L- Κιτρουλίνης –Παράγοντας Συνολικής υγείας –Παθήσεις	34
2.4.6	Κιτρουλίνη και Αθλητική Απόδοση	36
2.4.7	Ο ρόλος της L-κιτρουλίνης στην αερόβια ικανότητα	38
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ		41
3.1	Επιλογή Δείγματος	41
3.2	Αξιολόγηση δοκιμαζομένων.....	41
3.3	Πειραματικό πρωτόκολλο	42
3.4	Όργανα Μέτρησης.....	43
3.5	Στατιστική Ανάλυση	43
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		44
4.1	Εισπνευστική πίεση με και χωρίς L-κιτρουλίνη	44
4.2	Δείκτης κορεσμού οξυγόνου με και χωρίς L-κιτρουλίνη.....	45
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....		46
VI. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ		48
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		49

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1	Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών της εισπνοής και της εκπνοής.....	Σελ. 14
Σχήμα 2.2	Μεταβολικές αλλαγές των πιέσεων κατά την εισπνοή και την εκπνοή	Σελ. 14
Σχήμα 2.3	Καμπύλη αποδέσμευσης αιμοσφαιρίνης.....	Σελ. 20
Σχήμα 2.4	Απεικόνιση των τριών βασικών ισόμορφων συνθετάσης του νιτρικού οξειδίου.....	Σελ. 28
Σχήμα 2.5	Κύκλος του νιτρικού οξειδίου μέσω των δύο αμινοξέων.....	Σελ. 30
Σχήμα 2.6	Αλληλεπίδραση του κύκλου ουρίας και νιτρικών οξέων.....	Σελ. 33
Σχήμα 4.1	Εισπνευστική πίεση στην ηρεμία, 1 ώρα μετά τη λήψη του συμπληρώματος και μετά το τέλος της άσκησης για τις δύο συνθήκες, εικονικό σκεύασμα και κιτρουλίνη με μπλέ και πορτοκαλί χρώμα αντίστοιχα	Σελ. 43
Σχήμα 4.2	Δείκτης κορεσμού οξυγόνου στον στερνοκλειδομαστοειδή μύ για τις δύο συνθήκες, εικονικό σκεύασμα (μπλε γραμμή) και κιτρουλίνη (πορτοκαλί γραμμή). * στατιστικά σημαντική διαφορά με τις τιμές ηρεμίας ($p<0,05$)	Σελ. 44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1	Χαρακτηριστικά συμμετεχόντων.....	Σελ. 40
--------------------	-----------------------------------	---------

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1	Όργανα αναπνευστικού συστήματος	Σελ. 8
Εικόνα 2.2	Ζώνες αναπνευστικού συστήματος	Σελ. 8
Εικόνα 2.3	Τα στάδια της αναπνοής	Σελ. 10
Εικόνα 2.4	Χημικές ενώσεις L-κιτρουλίνης και Μηλικής κιτρουλίνης	Σελ. 27
Εικόνα 2.5	Απεικόνιση νιτρικών ιόντων	Σελ. 28

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

<i>MIP</i>	Μέγιστη εισπνευστική πίεση
<i>O₂</i>	Οξυγόνο
<i>CO₂</i>	Διοξείδιο του άνθρακα
<i>PO₂</i>	Μερική πίεση οξυγόνου
<i>PCO₂</i>	Μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα
<i>NO</i>	Νιτρικό οξείδιο
<i>BMI</i>	Δείκτης μάζας σώματος
<i>ΔP</i>	Διαφορά πίεσης
<i>R</i>	Αντίσταση
<i>F</i>	Δύναμη σε Newton
<i>PATM</i>	Ατμοσφαιρική πίεση
<i>Ve</i>	Αναπνεόμενος όγκος
<i>VE</i>	Πνευμονικός αερισμός
<i>Hb</i>	Αιμοσφαιρίνη
<i>NIRS</i>	Εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία
<i>Ph</i>	Δείκτης «πεχά» αίματος
<i>Placebo</i>	Εικονικό Φάρμακο - Σκεύασμα
<i>Mm</i>	Χιλιοστά του Μέτρου
<i>H₂O</i>	Νερό

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέσα από έρευνες έχει παρουσιαστεί ότι οι ανάγκες των αθλητών οδηγούνται στην αναζήτηση πληροφοριών, εκτός από τη χρήση πρωτεϊνικών συμπληρωμάτων διατροφής, στη χρήση αμινοξέων καθώς και στη σύνθεση πρωτεϊνών. Οι πρωτεΐνες είναι ένα σύνολο συστατικών κυτταρικών δομών που συμβάλλουν σε βιολογικές διεργασίες του οργανισμού. Οι πρωτεΐνες συντίθενται από τα αμινοξέα τα οποία στο σύνολό τους είναι 20 και ονομάζονται πρωτεϊνικά αμινοξέα. Από τα 20 αμινοξέα τα 8 λαμβάνονται μέσω της τροφής, λόγω αδυναμίας σύνθεσης του οργανισμού και για αυτό το λόγο λέγονται βασικά αμινοξέα, που χρησιμοποιούνται στη σύνθεση πρωτεϊνών (π.χ. αργινίνη, γλουταμίνη, αλανίνη). Τα άλλα 4 χαρακτηρίζονται ημιαπαραταίτητα καθώς δεν μπορούν να συντεθούν από μικρή ηλικία και τα υπόλοιπα 8 συντίθενται μέσω των μεταβολικών μονοπατιών. Τέλος, έχουμε την κατηγορία των αμινοξέων τα οποία δεν συμμετέχουν στο σχηματισμό πρωτεϊνών αλλά παίζουν σημαντικό ρόλο στο μεταβολισμό μερικά από αυτά είναι η κιτρουλίνη, η ορνιθίνη και άλλα. Τα αμινοξέα έχουν εργογόνο δράση, μεσολαβούν σε πολλά στάδια του μεταβολισμού και σε αρκετές βιοχημικές διεργασίες όπως είναι η έκκριση αναβολικών ορμονών ως πηγή ενέργειας κατά την άσκηση, ως αισθητική ανάπτυξη, ως πνευματική λειτουργία και διαύγεια (Mitsuhashi et al, 2014).

Ένα είδος κιτρουλίνης είναι η L-κιτρουλίνη. Η L-κιτρουλίνη θεωρείται ένα ουδέτερο μη απαραίτητο αμινοξύ που είναι σημαντικό συστατικό στον κύκλο ουρίας και στο ήπαρ, όπου εκκρίνεται αμμωνία και μετατρέπεται σε ουρία, βοηθάει στο μεταβολισμό του οργανισμού και στη σύνθεση άλλων αμινοξέων (Curis et al, 2015). Με αυτό τον τρόπο απομακρύνονται μεγάλα ποσοστά αμμωνίας που είναι τοξικά και επιβλαβή για την υγεία του οργανισμού καθώς και για τους σκελετικούς μυς. Η L-κιτρουλίνη μπορεί να ληφθεί μέσω της τροφής, μεγάλα ποσοστά υπάρχουν στο καρπούζι, στην νεροκολοκυθιά και στα αγγούρια ή μέσω συμπληρώματος. Η κιτρουλίνη συντίθεται από ορνιθίνη και γλουταμίνη και μεταβολίζεται από τους νεφρούς σε αργινίνη. Η σύνθεση της αργινίνης εξαρτάται άμεσα από την κιτρουλίνη συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην παραγωγή μονοξειδίου του αζώτου (NO) και στην αύξηση των ποσοστών (NO) για τον οργανισμό. Η κιτρουλίνη χαρακτηρίζεται ως δευτερογενής δότης του μονοξειδίου του αζώτου αφού μετατρέπεται σε αργινίνη καθώς η αργινίνη θεωρείται κύριος πρόδρομος του NO. Μέσα από τη βιβλιογραφία φαίνεται πως η χορήγηση συμπληρώματος κιτρουλίνης οδηγεί σε μεγαλύτερη διαθεσιμότητα από τη

χορήγηση συμπληρώματος της ίδιας αργινίνης. Αυτό συμβαίνει διότι μεγάλο ποσοστό αργινίνης διασπάται από το ένζυμο αργινάση. Μέσω της διαδικασίας αυτής η κιτρουλίνη διαφεύγει της ηπατικής πρόσληψης και μεταφέρεται πολύ πιο αποτελεσματικά σε εντεροκύτταρα (Gonzales et al, 2020).

Το μονοξείδιο του αζώτου ή οξείδιο του αζώτου (NO), με τη σειρά του, είναι ένα ασταθές μόριο που θεωρείται σημαντικός παράγοντας σε διάφορες λειτουργίες του οργανισμού συμβάλλοντας θετικά στην αθλητική απόδοση και επηρεάζοντας τη μυϊκή λειτουργία. Η λειτουργία των σκελετικών μυών ρυθμίζεται μέσω της ικανότητας του μονοξειδίου του αζώτου διαφόρων ρυθμιστών όπως είναι η ροή του αίματος, η συγκέντρωση της γλυκόζης, μιτοχονδριακή λειτουργία, τα επίπεδα συγκέντρωση του ασβεστίου, καθώς και η αγγειοδιαστολή. Έτσι η αύξηση συγκέντρωσης των νιτρικών του πλάσματος επιτυγχάνεται μέσα από τα νιτρικά συμπληρώματα όπως αυτό της L-κιτρουλίνης. Επίσης μέσω της αύξησης νιτρικών του πλάσματος μειώνεται το κόστος οξυγόνου της υπό μέγιστης άσκησης που αυτό σηματοδοτεί μεγαλύτερη ανοχή στην άσκηση και στην απόδοση (Thompson et al, 2019).

Κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε άσκησης ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν και επηρεάζουν την έναρξη και τον τερματισμό της άσκησης είναι το αναπνευστικό σύστημα. Οι αναπνευστικοί μύες χρειάζονται να τροφοδοτούνται συνεχώς με οξυγόνο (O_2) τόσο κατά τη διάρκεια της άσκησης όσο και κατά την αποκατάσταση της. Κατά τη διάρκεια της άσκησης οι αναπνευστικοί μύες από τη μία χρειάζονται περισσότερο οξυγόνο και από την άλλη παράγουν περισσότερο οξυγόνο σε κατάσταση ηρεμίας. Οι πνεύμονες με αυτό τον τρόπο θα πρέπει να προσλαμβάνουν περισσότερο οξυγόνο με την εισπνοή και αυτό στη συνέχεια να μεταφέρεται μέσω της αιμοσφαιρίνης στους ιστούς, συγχρόνως θα διαχέονται μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από το αίμα στις κυψελίδες και αυτό στο τέλος θα αποβάλλεται μέσω της διαδικασίας της εκπνοής. Η συνεχόμενη άσκηση αναπνευστικών μυών, συνεχόμενη εισπνοή-εκπνοή σε συνδυασμό με την πρόσληψη του αμινοξέος κιτρουλίνη μπορεί να αυξήσει την απόδοση της άσκησης είτε βελτιώνοντας την κατανάλωση οξυγόνου από το σκελετικό μυ είτε μειώνοντας την παραγωγή γαλακτικού οξέος. Επίσης μέσω της πρόσληψης κιτρουλίνης το ποσοστό αμμωνίας του οργανισμού απομακρύνεται που είναι τοξικό για τον οργανισμό αναστέλλοντας τη πρόσθετη γλυκόλυση κατά τη

διάρκεια της άσκησης (Botchlett et al, 2019).

1.1 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της οξείας επίδρασης της χορήγησης L-κιτροουλίνης στο κορεσμό οξυγόνου κατά την άσκηση αναπνευστικών μυών σε ελεύθερους αθλούμενους. Η διαδικασία της αναπνοής είναι μια σύνθετη ενέργεια όπου χάρη σε αυτή πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων. Θεωρείται μια από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού όπου μέσα από χημικές και μηχανικές διεργασίες γίνεται πρόσληψη O_2 και αποβολή CO_2 από τα κύτταρα. Η αναπνευστική ικανότητα παίζει σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη και αθλητική απόδοση όπου λόγω της αγγειοδιαστολής αυξάνεται το γαλακτικό οξύ εμφανίζοντας έτσι την κόπωση προκαλώντας τη διακοπή της άσκησης (Cottin et al, 1999). Έτσι εμφανίζεται η ανάγκη για πρόσληψη συμπληρωμάτων όπου ένα από αυτά είναι η L-κιτροουλίνη. Παρουσιάζεται λοιπόν η ανάγκη για αναζήτηση και μέσα από την βιβλιογραφία και μέσα από το συγκεκριμένο πρωτόκολλο έρευνας που θα πραγματοποιηθεί αν η κιτροουλίνη βοηθάει στην βελτίωση της αναπνευστικής ικανότητας κατά την άσκηση καθώς και αν περιορίζεται η μυϊκή κόπωση και επιτυγχάνεται η ανοχή στην άσκηση (Botchlett et al, 2019).

1.2 Σημασία της έρευνας

Η σημαντικότητα της έρευνας παρουσιάζεται μέσα από την ενίσχυση της βιβλιογραφίας, δηλαδή κατά πόσο φαίνεται η σημαντικότητα του αναπνευστικού συστήματος καθώς και των αναπνευστικών μυών στη αθλητική απόδοση. Επίσης η πρόσληψη του συμπληρώματος L-κιτροουλίνης φαίνεται να είναι σημαντική στην αθλητική απόδοση καθώς βελτιώνει τα χαρακτηριστικά της φυσικής κατάστασης του ανθρώπου. Παρατηρείται όμως ότι δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές πηγές που να εστιάζουν στο αν το συγκεκριμένο αμινοξύ επηρεάζει τους αναπνευστικούς δείκτες και αν επιδρά θετικά στη καθυστέρηση εμφάνισης της κόπωσης.

1.3 Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας

Για τις ανάγκες του πειράματος πραγματοποιήσαμε συγκεκριμένα άσκηση αναπνευστικών μυών. Έτσι, η έρευνα περιορίστηκε συγκεκριμένα στη διεργασία

αναπνευστικών μυών και όχι σε μια γενικευμένη μορφή αθλητικής άσκησης. Επίσης άλλος ένας περιορισμός είναι ότι το δείγμα έρευνας αποτελούνταν μόνο από το αντρικό φύλο, γι αυτό το λόγο δεν εμφανίζονται γενικά αποτελέσματα όλου του πληθυσμού εφόσον έλειπε και ο γυναικείος πληθυσμός. Ένας τελευταίος περιορισμός είναι ότι οι εθελοντές της έρευνας είναι ελεύθεροι αθλούμενοι απευθύνονται δηλαδή σε γενικό πληθυσμό και όχι σε αθλητές με εξειδικευμένα φυσιολογικά χαρακτηριστικά.

1.4 Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις

Κατά την άσκηση μέχρι και την εξάντληση ενεργοποιούνται δύο από τα πιο σημαντικά όργανα του σώματος, η καρδιά και οι πνεύμονες. Οι πνεύμονες φέρνουν οξυγόνο στο σώμα, για να του δώσουν ενέργεια και απομακρύνουν το διοξείδιο του άνθρακα, το απόβλητο που προκύπτει κατά την παραγωγή ενέργειας. Η καρδιά διοχετεύει το οξυγόνο στους μύες που κάνουν την άσκηση. Κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης οι αναπνευστικοί μύες λειτουργούν πιο έντονα άρα χρησιμοποιείται περισσότερο οξυγόνο και παράγει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα. Όταν η λειτουργία των πνευμόνων είναι μειωμένη μπορεί να χρησιμοποιείται μεγάλο μέρος του αναπνευστικού αποθέματος με αποτέλεσμα να υπάρχει κορεσμός οξυγόνου και να επέρχεται η κόπωση (Bassuk, Church & Manson, 2013).

Ως πρώτο ερευνητικό ερώτημα προκύπτει: Σε ποιο βαθμό βελτιώνεται η μυϊκή ανοχή και η διατήρηση του οξυγόνου στη προπόνηση αναπνευστικών μυών συγκεκριμένα στον στέρνοκλειδομαστοειδή μυ, σε ελεύθερους αθλούμενους, σε 30 επαναλήψεις εισπνευστικής πίεσης με αυξανόμενη ένταση έως την εξάντληση .

Ερευνητική υπόθεση: Η μυϊκή ανοχή και η επαρκής παρουσία οξυγόνου στη συνεχή αναπνευστική λειτουργία με αυξανόμενη ένταση εισπνευστικής πίεσης θα βελτιωθεί μέσω της οξείας επίδρασης του συμπληρώματος L-κιτρουλίνης σε ελεύθερους αθλούμενους;

1.5 Διευκρίνιση όρων

Κορεσμός οξυγόνου: Ο όρος κορεσμός αναφέρεται στη σύνδεση του οξυγόνου με την αιμοσφαιρίνη. Το συνολικό ποσό οξυγόνου που μεταφέρεται από την αιμοσφαιρίνη στους ιστούς εξαρτάται από το ποσό της αιμοσφαιρίνης στο αίμα αλλά

και από τη μερική πίεση του οξυγόνου στο αίμα. (Γελαδάς, Τσακόπουλος, 2011), (Κλεισούρας, 2011)

Ποσοστό κορεσμού της αιμοσφαιρίνης: *Ο λόγος μεταξύ του οξυγόνου (O_2) συνδεδεμένο με την αιμοσφαιρίνη (Hb), με την μέγιστη ικανότητα της αιμοσφαιρίνης για δέσμευση οξυγόνου* (Γελαδάς, Τσακόπουλος, 2011).

Εισπνευστική πίεση: Στη πραγματοποίηση της αναπνευστικής λειτουργίας της εισπνοής ο αέρας που βρίσκεται ήδη στο εσωτερικό των πνευμόνων διατείνεται καθώς και η πίεση του η οποία ονομάζεται ενδοπνευμονική ή εισπνευστική πίεση, ελαττώνεται και γίνεται μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η είσοδος του αέρα να γίνεται αναγκαστικά μέσω της ρινικής και στοματικής κοιλότητας, ο οποίος αναγκάζει τους πνεύμονες να διαταθούν. Ο βαθμός διάτασης εξαρτάται από το μέγεθος των εισπνευστικών κινήσεων. Επίσης τη χρονική στιγμή που διευρύνεται η θωρακική κοιλότητα μειώνεται η ενδοπλεύρια πίεση δηλαδή η πίεση στη κοιλότητα του υπεζωκότα που περιβάλλει τους πνεύμονες και είναι γεμάτη με υγρό. Μέσω της μείωσης της ενδοπλεύριας πίεσης αυξάνεται η διαπνευμονική πίεση που είναι η διαφορά μεταξύ της κυψελδικής και της ενδοπλεύριας πίεσης. Η εισπνοή ολοκληρώνεται, όταν η διάταση της θωρακικής κοιλότητας ολοκληρώνεται και η ενδοπνευμονική πίεση εξισώνεται με την ατμοσφαιρική πίεση (Suzuki et al 1991, Fuller et al 1996).

Μέτρηση είναι «η διαδικασία συλλογής δεδομένων των εκάστοτε δοκιμασιών» (Σακκάς και συνεργάτες, 2015; σελ 11)

Δοκιμασία είναι «το όργανο ή εργαλείο που χρησιμοποιείται για να πραγματοποιηθεί μία μέτρηση» (Σακκάς και συνεργάτες, 2015; σελ 11)

II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Ανατομία και φυσιολογία αναπνευστικού συστήματος

Το αναπνευστικό σύστημα είναι το σύστημα εκείνων των οργάνων που χρησιμεύουν στην πρόσληψη του ατμοσφαιρικού αέρα από το περιβάλλον, την εισαγωγή του στους πνεύμονες, την παραλαβή του οξυγόνου (O_2) από αυτόν και την απόδοση σε αυτόν του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Όλη αυτή η διαδικασία που τροφοδοτεί τον οργανισμό με το απαραίτητο στη ζωή οξυγόνο είναι η αναπνοή. Με τα όργανα λοιπόν, του αναπνευστικού συστήματος εξυπηρετείται η ανταλλαγή αερίων μεταξύ ατμόσφαιρας και σώματος, δηλαδή τη παραλαβή του (O_2) από την ατμόσφαιρα και την αποβολή σ' αυτήν του (CO_2) (Ionescu et al, 2013).

Το αναπνευστικό σύστημα περιλαμβάνει: τους πνεύμονες, το σύνολο των αεραγωγών που οδηγούν στους πνεύμονες και τις δομές του θώρακα που απαιτούνται για τη μετακίνηση του αέρα μέσα και έξω από τους πνεύμονες κατά τη διάρκεια της αναπνοής. Η διακίνηση του αέρα γίνεται μέσω της αναπνευστικής οδού. Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από τη άνω αεροφόρο οδό, την κάτω αεροφόρο οδό και τους πνεύμονες. Η άνω αεροφόρος οδός περιλαμβάνει την έξω και έσω μύτη και τη ρινική και στοματική μοίρα του φάρυγγα μέχρι το φαρυγγικό στόμιο του λάρυγγα. Η κάτω αεροφόρος οδός που αποτελεί ουσιαστικά το αναπνευστικό σύστημα περιλαμβάνει τον λάρυγγα, την τραχεία, τους δύο βρόγχους και τους δύο πνεύμονες (Jaejer et al, 2019).

Τα αναπνευστικά όργανα δηλαδή η μύτη, ο φάρυγγας, ο λάρυγγας, η τραχεία και οι βρόγχοι είναι σωλήνες αεραγωγοί. Οι αεραγωγοί είναι σωλήνες μέσα από τους οποίους ο αέρας διακινείται μεταξύ του περιβάλλοντος και των κυψελίδων. Κατά την λειτουργία της αναπνοής ο αέρας εισέρχεται. Ο αέρας εισέρχεται στη ρινική κοιλότητα η οποία καλύπτεται από βλεννογόνο, η επιγλωττίδα κατεβαίνει και εμποδίζει την είσοδο της τροφής στο λάρυγγα, ο αέρας από το φάρυγγα περνά στο λάρυγγα, από το λάρυγγα ο αέρας περνά στη τραχεία και μέσα στους βρόγχους που οδηγούν στους πνεύμονες. Στο εσωτερικό των πνευμόνων κάθε βρόγχος διακλαδίζεται σε μικρότερους αγωγούς σχηματίζοντας το βρογχικό δέντρο. Στα άκρα του σχηματίζονται μικροί αεροφόροι σάκοι, οι κυψελίδες του πνεύμονα και από 'κει

μέσω του καρδιαγγειακού συστήματος το οξυγόνο μεταφέρεται σε όλους τους ιστούς του οργανισμού.. Έτσι το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από: την ζώνη αγωγής των αεραγωγών που αποτελείται από την τραχεία τους βρόγχους και τα τελικά βρογχιόλια και την αναπνευστική ζώνη αεραγωγών που αποτελείται από τις κυψελίδες που είναι οι θέσεις ανταλλαγής αερίων και από τους αεραγωγούς που συνδέονται οι κυψελίδες (Naifeh et al, 1994).

Το αναπνευστικό σύστημα επομένως παίρνει το ρόλο του αγγελιοφόρου που είναι υπεύθυνος για :

1. την μεταφορά του Οξυγόνου (O_2) από τον ατμοσφαιρικό αέρα στις κυψελίδες και
2. την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).
3. την Παραγωγή φωνής-Δημιουργία ήχων ομιλίας
4. την ρύθμιση συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου στο αίμα (pH)
5. την άμυνα ενάντιων των μικροβίων, χημικών παραγόντων, ξένων ουσιών (κροσσοί, βλέννα, φαγοκύτταρα/μακροφάγα)

Σκοπός της αναπνευστικής λειτουργίας είναι η εξασφάλιση οξυγόνου για τις κυτταρικές οξειδώσεις και η απομάκρυνση του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα (Naifeh et al, 1994). Έτσι, όλο σύστημα μετρά συνεχώς την πυκνότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα και, όποτε χρειάζεται, αυξομειώνει τον αριθμό των αναπνευστικών κινήσεων, ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού. Ο συνήθης αριθμός αναπνευστικών κινήσεων σε κατάσταση ηρεμίας είναι περίπου 24 κινήσεις ανά λεπτό. Ο αριθμός αυτός, όμως δεν είναι σταθερός, γιατί πρώτον, η αναπνοή δεν είναι απόλυτα αυτόματη λειτουργία, δεύτερον η όποια προσπάθεια αυξάνει τις ανάγκες σε οξυγόνο και έτσι αυξάνονται και οι αναπνευστικές κινήσεις και τρίτον ορισμένες λειτουργίες του σώματος, οι ποικίλες δραστηριότητες αλλά και ορισμένες ψυχικές καταστάσεις (π.χ. η πέψη, η μυϊκή άσκηση, η αγωνία κ.ά.) αυξάνουν τον αναπνευστικό ρυθμό (Webb et al, 2007).

σε επαφή με τη καρδιά. Στην έσω επιφάνεια υπάρχουν οι πύλες του πνεύμονα από τις οποίες περνούν: Ο αντίστοιχος βρόγχος, ο κλάδος της πνευμονικής αρτηρίας και οι πνευμονικές φλέβες, οι βρογχικές αρτηρίες και φλέβες και τα λεμφαγγεία και νεύρα. Κάθε επιφάνεια είναι λεία και κυρτή (Huang et al, 2019).

Ο κάθε πνεύμονας διαιρείται με βαθιές σχισμές σε ανεξάρτητα τμήματα που ονομάζονται λοβοί του πνεύμονα. Ο δεξιός πνεύμονας έχει τρεις λοβούς άνω, μέσο και κάτω. Ο αριστερός πνεύμονας έχει δύο λοβούς άνω και κάτω. Οι πνεύμονες έρχονται σε επαφή με τα υπόλοιπα στοιχεία του θώρακα μέσω της ρίζας. Η ρίζα έχει σφηνοειδές σχήμα και συνδέει τους πνεύμονες με τους βρόγχους, τις βρογχικές αρτηρίες, τις φλέβες, τα λεμφαγγεία και τα νεύρα. Η ρίζα περιβάλλεται από τον υπεζοκότα. Στην περιοχή κάτω από την ρίζα που αναφέρθηκε στα παραπάνω βρίσκεται ο πνευμονικός σύνδεσμος που σκοπός του είναι να διατηρεί σταθερό τον πνεύμονα κατά τις κινήσεις των εισπνευστικών και εκπνευστικών μυών που θα αναφερθούν παρακάτω (Effros, 2006).

2.1.2 Φυσιολογία Πνευμόνων

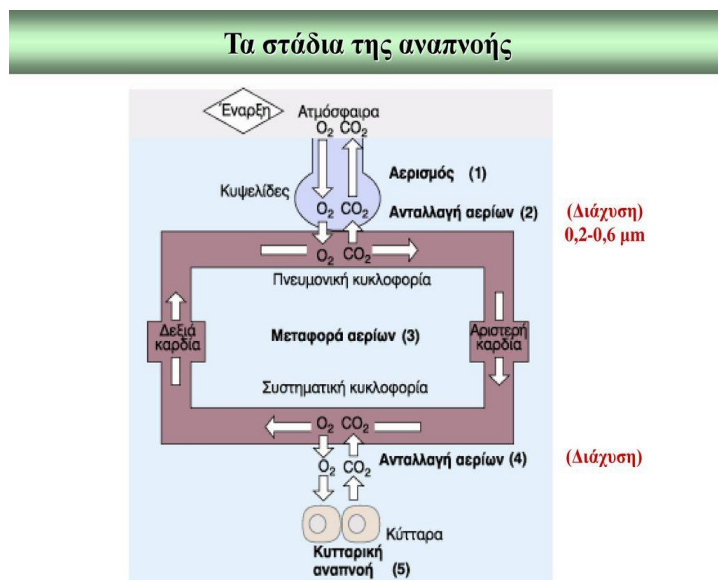
Ο πνεύμονας είναι το όργανο του αναπνευστικού συστήματος στο οποίο ανταλλάσσεται το διοξείδιο του άνθρακα του αίματος με το οξυγόνο του εισπνεόμενου αέρα. Ύστερα το αίμα κυκλοφορεί μέσω του κυκλοφορικού συστήματος σε όλο το σώμα οξυγονώνοντας όλους τους ιστούς. Ο όγκος τους εξαρτάται από τη διαφορά πιέσεων μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού των πνευμόνων δηλαδή τη διαπνευμονική πίεση. Όλη αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται χάρη σε δύο συστήματα όπου συγκεκριμένα το ένα μετακινεί το αέριο και το άλλο το υγρό. Εσωτερικά στην επιφάνεια βρίσκονται περίπου 300 εκατομμύρια κυψελίδες. Έτσι το αίμα που περιέχει μικρή ποσότητα σε οξυγόνο αλλά υψηλή σε διοξείδιο του άνθρακα έρχεται σε επαφή με τον αέρα που έχει υψηλό περιεχόμενο σε οξυγόνο και χαμηλό σε διοξείδιο του άνθρακα σε χρόνο λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο. Οι διακλαδώσεις των βρόγχων που έχουν σχηματιστεί φτάνουν στους πνεύμονες και καταλήγουν σε τελευταίο στάδιο σε μικρές κυψελίδες (Huang et al, 2019)

2.2 Πνευμονική Αναπνοή

Η διαδικασία της αναπνοής είναι μια σύνθετη ενέργεια όπου χάρη σε αυτή πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων. Θεωρείται μια από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού όπου μέσα από χημικές και μηχανικές διεργασίες γίνεται πρόσληψη O_2 και αποβολή CO_2 από τα κύτταρα. Το σύνολο αυτών των διεργασιών το ρυθμίζει και το ελέγχει το νευρικό σύστημα.

Σύμφωνα με τον Vander και τους συνεργάτες του (σελ 798, 2001) η αναπνευστική δραστηριότητα διακρίνεται σε πέντε ξεχωριστές διαδικασίες

- 1) Στον πνευμονικό αερισμό, δηλαδή την είσοδο και έξοδο αέρα στις πνευμονικές κυψελίδες.
- 2) Στην ανταλλαγή των αερίων δηλαδή στην διάχυση οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ κυψελίδων και αίματος.
- 3) Στην μεταφορά οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα μέσω του αίματος προς τα κύτταρα.
- 4) Στην ρύθμιση του αερισμού και της αναπνοής.
- 5) Στον αναπνευστικό περιορισμό της απόδοσης



Εικόνα 2.3 Τα στάδια της Αναπνοής (Γελαδάς, Τσακόπουλος, 2011)

2.2.1 Φυσιολογία της Αναπνοής

Η λειτουργία της αναπνοής διασφαλίζει την παροχή επαρκούς ποσότητας οξυγόνου στους ιστούς και την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα. Οι προϋποθέσεις που

πρέπει να τηρούνται για την επίτευξη μιας σωστής αναπνευστικής λειτουργίας είναι οι εξής :

Επαρκής και ομοιόμορφος αερισμός των κυψελίδων

Καλή αιμάτωση των πνευμόνων.

Καλή σχέση αερισμού – αιμάτωσης.

Φυσιολογική διάχυση και αερίων (Levitzky, 2018).

2.2.2 Μηχανική της Αναπνοής

Η Αναπνοή αποτελείται από δύο διεργασίες την Εισπνοή και την Εκπνοή. Μια εισπνοή και μια εκπνοή αποτελούν ένα αναπνευστικό κύκλο. Κατά την ηρεμία η διάρκεια της εισπνοής είναι 2 δευτερόλεπτα και της εκπνοής 3. Έτσι η συνολική διάρκεια ενός αναπνευστικού κύκλου είναι 5 δευτερόλεπτά με φυσιολογική αναπνευστική συχνότητα 12 (60 sec/5) αναπνοές το λεπτό. Κατά την άσκηση αρχικά πρέπει να αερίζονται συνεχώς οι πνεύμονες με σκοπό να παρέχεται το απαραίτητο οξυγόνο στους ενεργούς μυς και να απομακρύνεται το διοξείδιο του άνθρακα από το κυψελιδικό αέρα. Για να είναι μεγαλύτερη η αναπνευστική συχνότητα κάθε αναπνευστικός κύκλος πρέπει να είναι μικρότερης διάρκειας. Κατά τη διάρκεια άσκησης μέγιστης έντασης λιγοστεύει αρκετά που μπορεί να φτάσει 1 δευτερόλεπτο ανά αναπνοή (Levitzky, 2018)

2.2.3 Εισπνοή – Εισπνευστικοί Μύες

Η εισπνοή, πραγματοποιείται ενεργητικά και συγχρόνως αυξάνεται ο όγκος της θωρακικής κοιλότητας λόγω του διαφράγματος και μετατοπίσεων των πλευρών προς τα έξω και επάνω. Οι κινήσεις αυτές γίνονται εξαιτίας της συστολής των εισπνευστικών μυών, οι οποίοι ενεργοποιούνται με νευρικές ώσεις από τα αναπνευστικά κέντρα που βρίσκονται στο εγκεφαλικό στέλεχος, που αυξάνουν τον όγκο του θωρακικού κλωβού. Οι εισπνευστικοί μύες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες κύριους και επικουρικούς. Οι κύριοι εισπνευστικοί μύες είναι το διάφραγμα. Το διάφραγμα είναι ο κυριότερος μυς της αναπνοής έχει σχήμα θόλου και διαχωρίζει τη θωρακική κοιλότητα από την κοιλιακή χώρα. Κατά τη διάρκεια της εισπνοής, το διάφραγμα συστέλλεται και επιπεδώνεται με αποτέλεσμα να κατέλθει, σε μια ήρεμη

εισπνοή κατά 1,25cm και σε μια βαθιά εισπνοή μέχρι και 10cm προς την κοιλιακή χώρα. Η μορφολογία του και τα χαρακτηριστικά του τον βοηθούν να λειτουργεί ακατάπαυστα και ακούραστα. Αποτελείται από μυϊκές ίνες βραδείας συστολής με μεγάλη ποσότητα μιτοχονδρίων, τριχοειδών αγγείων και μυοσφαιρίνης (Aliverti, 2016).

Οι επικουρικοί εισπνευστικοί μύες ενεργοποιούνται κατά την έντονη εισπνοή και αποτελούνται από τους έξω μεσοπλεύριους μύες όπου οφείλονται στην ανύψωση της υπεζ. κοιλότητας. Από τους στερνοκλειδομαστοειδείς, η ικανότητα τους είναι η ανύψωση του στέρνου. Από τους πρόσθιους οδοντωτούς όπου ανυψώνουν τις πλευρές και τους σκαληνούς μύες όπου ανυψώνουν τις δύο πρώτες πλευρές (Aliverti, 2016).

Οι Μεταβολές πίεσης που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια της εισπνοής είναι οι εξής. Μέσω της εισπνοής το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται είναι να διαταθεί και να επιμηκυνθεί η θωρακική κοιλότητα. Δηλαδή ο αέρας που βρίσκεται ήδη στο εσωτερικό των πνευμόνων διατείνεται καθώς και η πίεση του η οποία ονομάζεται ενδοπνευμονική πίεση, ελαττώνεται και γίνεται μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η είσοδος του αέρα να γίνεται αναγκαστικά μέσω της ρινικής και στοματικής κοιλότητας, ο οποίος αναγκάζει τους πνεύμονες να διαταθούν. Ο βαθμός διάτασης εξαρτάται από το μέγεθος των εισπνευστικών κινήσεων. Επίσης τη χρονική στιγμή που διευρύνεται η θωρακική κοιλότητα μειώνεται η ενδοπλεύρια πίεση δηλαδή η πίεση στη κοιλότητα του υπεζοκότα που περιβάλλει τους πνεύμονες και είναι γεμάτη με υγρό. Μέσω της μείωσης της ενδοπλεύριας πίεσης αυξάνεται η διαπνευμονική πίεση που είναι η διαφορά μεταξύ της κυψελιδικής και της ενδοπλεύριας πίεσης. Η εισπνοή ολοκληρώνεται, όταν η διάταση της θωρακικής κοιλότητας ολοκληρώνεται και η ενδοπνευμονική πίεση εξισώνεται με την ατμοσφαιρική πίεση (Suzuki et al 1991, Fuller et al 1996).

2.2.4 Εκπνοή – Εκπνευστικοί Μύες

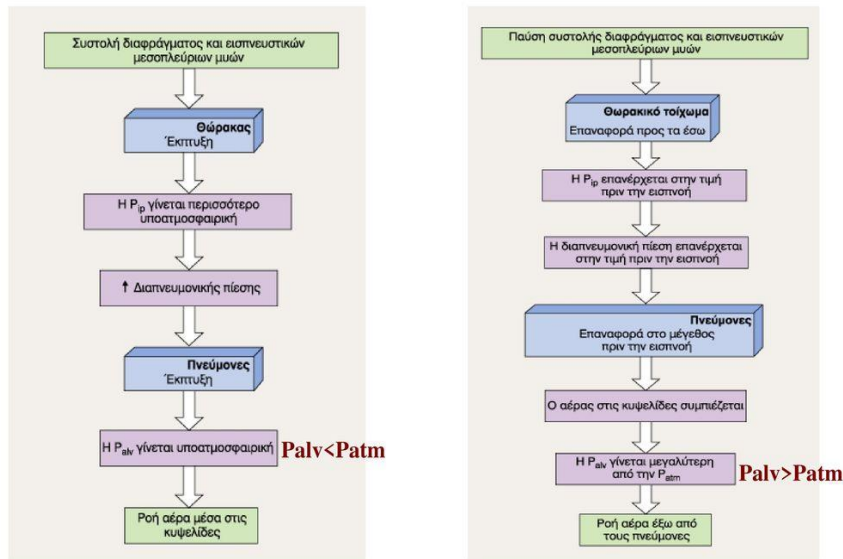
Κατά την εκπνοή, πραγματοποιείται ελάττωση του όγκου της θωρακικής κοιλότητας και σύμπτυξη των πνευμόνων, με αποτέλεσμα την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα στις κυψελίδες. Αυτό συμβαίνει λόγω των κινήσεων του διαφράγματος και των πλευρών

σε αντίθετη κατεύθυνση προς τις προηγούμενες, όπου οι εισπνευστικοί μύες σταματούν να συστέλλονται δίνοντας τη δυνατότητα στις ελαστικές δυνάμεις επαναφοράς των πνευμόνων και του θωρακικού τοιχώματος να τους επαναφέρουν στο αρχικό τους μέγεθος μεταξύ των αναπνοών. Στη πραγματοποίηση των βίαιων εκπνοών η συστολή των εκπνευστικών μεσοπλεύριων μυών και κοιλιακών μυών μειώνει ενεργητικά τις διαστάσεις του θώρακα. Η εκπνοή είναι μια παθητική διεργασία, ενεργητική εκπνοή έχουμε για παράδειγμα κατά την άσκηση, στο φτέρνισμα, στην ομιλία και στον βήχα. Οι εκπνευστικοί μύες είναι όλοι οι επικουρικοί όπου στους εξής:

- 1) οι έσω μεσοπλεύριοι μύες, έλκουν την άνω πλευρά προς τα κάτω και έσω οδηγώντας σε μείωση της κάθετης διαμέτρου του θώρακα και διατηρούν τη σταθερότητα του μεσοπλεύριου διαστήματος.
- 2) Οι τρίγωνοι του στέρνου, οι μικροί οπίσθιοι και κάτω οδοντωτοί μύες κατεβάζουν τις πλευρές και στενεύουν τα μεσοπλεύρια διαστήματα.
- 3) Οι κοιλιακοί μύες, περιλαμβάνουν τον έξω και έσω λοξό κοιλιακό, τον ορθό κοιλιακό και τον εγκάρσιο κοιλιακό μυ. Οι μύες αυτοί κατεβάζουν τις κατώτερες πλευρές, κάμπτουν τον κορμό και κυρίως με την σύσπασή τους αυξάνουν την ενδοκοιλιακή πίεση. Έτσι τα κοιλιακά σπλάγχνα ωθούνται προς τα επάνω, ενάντια στο διάφραγμα, όπου ωθείται και αυτό προς τα επάνω, με αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου της θωρακικής κοιλότητας.
- 6) Οι οσφυϊκοί μύες εμποδίζουν τη μετακίνηση των σπλάχνων της κοιλίας προς τα εμπρός και κάτω (Aliverti, 2016).

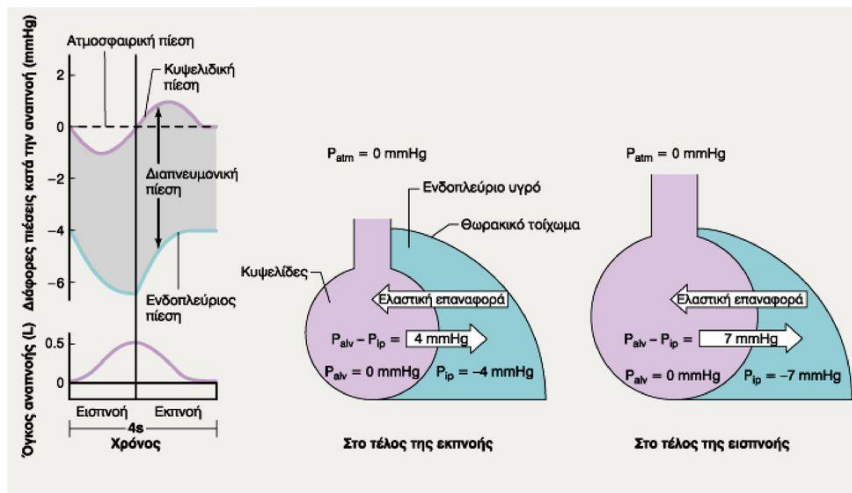
Οι Μεταβολές των πιέσεων κατά την εκπνοή που εμφανίζονται λειτουργούν ως εξής. Μέσω της διεργασίας της εκπνοής εμφανίζεται αύξηση της ενδοπλεύριας πίεσης και συγχρόνως μείωση της διαπνευμονικής πίεσης που δημιουργεί την ελαστική επαναφορά των διατεταμένων πνευμόνων στις αρχικές τους διαστάσεις. Λόγω όμως της σμίκρυνσης των πνευμόνων ο αέρας στις κυψελίδες συμπιέζεται με βάση το νόμο του Boyle και η κυψελιδική πίεση γίνεται μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση προκαλώντας ροή αέρα από τις κυψελίδες προς την ατμόσφαιρα (Suzuki et al 1991, Fuller et al 1996).

Εισπνοή - Εκπνοή



Σχήμα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών της Εισπνοής και της Εκπνοής (Γελαδάς, Τσακόπουλος, 2011)

Μεταβολές των πιέσεων κατά την εισπνοή και εκπνοή



Σχήμα 2.2 Μεταβολικές αλλαγές των πιέσεων κατά την εισπνοή και εκπνοή (Κλεισούρας, 2011)

2.2.5 Ρύθμιση της αναπνοής κατά την άσκηση

Κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης διεγείρονται τόσο οι επικουρικοί εισπνευστικοί μύες (σκαληνοί και στερνοκλειδομαστοειδείς) διευρύνοντας το άνοιγμα του θώρακα όσο και οι εκπνευστικοί μύες (έσω μεσοπλεύριοι και κοιλιακοί μύες) διευκολύνοντας τη πραγματοποίηση της εκπνοής. Ο μηχανισμός ο οποίος διεγείρει τους αναπνευστικούς μύες που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του αερισμού κατά την άσκηση και προκαλείται η ανταλλαγή μεταξύ της εισπνοής και εκπνοής δεν έχει κατανοηθεί πλήρως. Η άποψη που επικρατεί είναι ότι οι παρακάτω τρεις συνιστώσες αποτελούν το σύστημα ελέγχου της αναπνοής.

Αρχικά είναι ο Κεντρικός Ρυθμιστής όπου βρίσκεται στο προμήκη μυελό και αποτελείται από ένα δίκτυο νευρώνων όπου λειτουργεί αυτόματα αλλά μπορεί και να ελέγχεται από τη βούληση. Την αρχική κίνηση για τη εισπνοή και εκπνοή προέρχεται από αυτόν όπου η εκφόρτιση κάποιων αναπνευστικών νευρώνων προκαλούν την εισπνοή και κάποιων άλλων νευρώνων όπου προκαλούν την εκπνοή. Έτσι η πραγματοποίηση της αναπνοής προέρχεται από την αμοιβαία αναστολή των αναπνευστικών νευρώνων που η λειτουργία και η δραστηριότητά τους παράγουν και παρουσιάζεται ρυθμικά ένας αναπνευστικός κύκλος (Duffin et al, 1995).

Έπειτα είναι οι αισθητήρες ρύθμισης της αναπνοής όπου είναι χημειοαισθητήρες και είναι υπεύθυνοι για την ανίχνευση των μερικών πιέσεων του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου καθώς και τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου στο αρτηριακό αίμα και στο εγκεφαλικό μεσοκυττάριο υγρό. Επίσης υπάρχουν και άλλη κατηγορία χημειοαισθητήρων που είναι υπεύθυνοι για τη κίνηση του θωρακικού τοιχώματος και τις μεταβολές του πνευμονικού όγκου. Τέλος, ενημερώνουν τον κεντρικό ρυθμιστή για τα αποτελέσματα απόκρισης αερισμού (Duffin et al, 1995).

Τέλος, είναι οι εκτελεστές ρύθμισης της αναπνοής οι οποίοι αποτελούν το σύνολο των αναπνευστικών μυών του θωρακικού τοιχώματος και την έντονη παρουσία του διαφράγματος. Η λειτουργία τους διασφαλίζει τον αερισμό που είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συντελούν στην αύξηση του μεταβολισμού και τη διατήρηση της οξεοβασικής ισορροπίας κατά τη διάρκεια της άσκησης (Suzuki et al, 2016). Κατά τη διάρκεια της άσκησης, ήπιας και μέτριας έντασης ενεργοποιούνται στη φάση εισπνοής οι κύριοι εισπνευστικοί μύες που είναι το διάφραγμα και οι έξω μεσοπλεύριοι μύες. Κατά την έντονη όμως άσκηση κάνουν έντονη τη παρουσία τους

και οι επικουρικοί εισπνευστικοί μύες δηλαδή οι σκαληνοί και οι στερνοκλειδομαστοειδείς. Ύστερα έχουμε τη φάση της εκπνοής όπου κατά τη διάρκεια της άσκησης συμμετέχουν και ενεργοποιούνται οι εκπνευστικοί μύες οι έσω μεσοπλεύριοι και οι κοιλιακοί μύες όπου κατά την αναπνοή ηρεμίας παραμένουν ανενεργοί και αυτό συμβαίνει διότι η εκπνοή στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι παθητική (Suzuki et al 1991, Fuller et al, 1996).

2.3 Πνευμονικός Αερισμός

Κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός ονομάζεται ο όγκος αέρα που εισπνέεται/εκπνέεται σε 1 λεπτό και υπολογίζεται ως εξής:

Κατά λεπτό Αερισμός (ml/min) = Αναπνεόμενος όγκος (ml/αναπνοή) $\times$ αναπνευστική συχνότητα (αναπνοές / min).

Αναπνευστική Συχνότητα ηρεμίας = 12 αναπνοές το λεπτό

Αναπνεόμενος όγκος = 0,5L

Κατά λεπτό αερισμός στη φάση ηρεμίας = 6L (12 $\times$ 0,5)

$$VE = 12 \cdot \text{min}^{-1} \times 0,5 \text{ L} = 6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

Κατά την διάρκεια έντονης άσκησης η αναπνευστική συχνότητα συνήθως αυξάνεται σε 35-40 αναπνοές /min σε νέους υγιείς ενήλικες ενώ σε αθλητές υψηλού επιπέδου 60-70 /min. Κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης ο αναπνεόμενος όγκος φτάνει τα 2L. Έτσι έχουμε ο κατά λεπτό αερισμός κατά **την** άσκηση είναι, $VE = 60 \cdot \text{min}^{-1} \times 2 \text{ L} = 120 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (Κλεισούρας, Γελαδάς και Κοσκολού, 2015).

2.3.1 Πνευμονικός όγκος

Πνευμονικός Όγκος είναι ο όγκος αέρα που περιέχεται σε κάποιο διακριτό διαμέρισμα ή χώρο των πνευμόνων. Ο αέρας εσωτερικά των πνευμόνων βρίσκεται στη θερμοκρασία του σώματος, είναι πλήρως κορεσμένος με υδρατμούς και υπόκειται στην

πίεση του περιβάλλοντος (BTPS). Η ροή όγκου αέρα μεταξύ της ατμόσφαιρας και των κυψελίδων είναι ανάλογη προς τη διαφορά μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης και της κυψελιδικής πίεσης και αντιστρόφως ανάλογη προς την αντίσταση των αεραγωγών. Μέτρηση Πνευμονικού Αερισμού: Ο όγκος του πνευμονικού αερισμού μετριέται με διάφορες ογκομετρικές συσκευές και όργανα. Τα πιο διαδεδομένα είναι: σπιρόμετρο, αερόμετρο, πνευμοταχογράφος, ανεμόμετρο.

$$F = (P_{atm} - P_{avl}) / R$$

P_{atm} : Ατμοσφαιρική Πίεση

P_{avl} : Κυψελιδική Πίεση

R : Αντίσταση Αεραγωγών (Κλεισούρας και συνεργάτες, 2015).

2.3.2 Πνευμονικός αερισμός κατά την άσκηση

Η σωματική άσκηση επηρεάζει έντονα τα συγκεκριμένα αέρια που ασχολούμαστε στη συγκεκριμένη εργασία δηλαδή τη πρόσληψη οξυγόνου και τη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με άλλη μορφή φυσιολογικής φόρτισης. Κατά τη διάρκεια φυσικής δραστηριότητας μεγάλες ποσότητες O_2 διαχέονται από τις κυψελίδες στο φλεβικό αίμα. Σημαντικές ποσότητες CO_2 μετακινούνται από το αίμα στις κυψελίδες και έτσι αυξάνεται ο πνευμονικός αερισμός.

Το Αναπνευστικό Ισοδύναμο είναι ο λόγος μεταξύ του εκπνεόμενου όγκου προς τη ποσότητα κατανάλωσης οξυγόνου (O_2) : VE / VO_2 και ο λόγος του εκπνεόμενου όγκου προς την ποσότητα παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) : VE / VCO_2 . Για παράδειγμα: Αναπνευστικό Ισοδύναμο 26/1 σημαίνει ότι, για 1 λίτρο O_2 που καταναλώνεται εισπνέονται 26 λίτρα αέρα.

Πιο συγκεκριμένα, με την έναρξη της άσκησης υπάρχει αύξηση του πνευμονικού αερισμού μέχρι να εμφανιστεί η στιγμή της σταθεροποίησης με βάση την ένταση της άσκησης. Μετά το τέλος της άσκησης ο πνευμονικός αερισμός μειώνεται σταδιακά και επανέρχεται στα φυσιολογικά του επίπεδα δηλαδή στη κατάσταση ηρεμίας (Grueza et al, 1990).

Ο πνευμονικός αερισμός αλληλεξαρτάται με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κάθε οργανισμού κατά την άσκηση και με αυτό το τρόπο μπορούμε να χαρακτηρίσουμε και

να χωρίσουμε σε τρεις συγκεκριμένες φάσεις τη εξέλιξη του αερισμού κατά την άσκηση. Τη μεταβολική φάση, τη φάση σταθεροποίησης και τη φάση αποκατάστασης. Δηλαδή ο πνευμονικός αερισμός αυξάνεται ομοιόμορφα ανάλογα με την αυξανόμενη ένταση της άσκησης (Hardarson et al, 1998).

Συμπερασματικά στον πνευμονικό αερισμό κατά την άσκηση παρατηρούνται τα εξής. Αυξάνεται ο αερισμός ανάλογα με τις μεταβολικές ανάγκες των μυών. Σε μικρή ένταση αυξάνεται μόνο αναπνευστικός όγκος ενώ σε μεγάλη ένταση αυξάνεται ο ρυθμός της αναπνοής δηλαδή η αναπνευστική συχνότητα. Υπάρχει καθυστερημένη επαναφορά στην ηρεμία του αερισμού μετά την άσκηση όπου η αποκατάσταση διαρκεί μερικά λεπτά και ελέγχεται από το pH του αίματος, τη πίεση του διοξειδίου του άνθρακα (PCO_2) και τη θερμοκρασία του αίματος (Hardarson et al, 1998).

2.3.3 Μεταφορά αναπνευστικών αερίων

Η έρευνα επικεντρώνεται στη μεταφορά αναπνευστικών αερίων. Τα αναπνευστικά αέρια, το Οξυγόνο και το Διοξείδιο του άνθρακα, μεταφέρονται από τους πνεύμονες στους ιστούς με το αίμα. Αυτή η διεργασία πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

1. Σε φυσική διάλυση → Διαλυμένο στο αίμα του οργανισμού
2. Σε συνδυασμό με την αιμοσφαιρίνη → Συνδεδεμένο με τα μόρια της σιδηρο-πρωτεϊνικής αιμοσφαιρίνης στα ερυθρά αιμοσφαίρια.

Η μεταφορά διαλυμένης ποσότητας οξυγόνου είναι πολύ μικρή 1:65 περίπου του αναγκαίου. Ο κύριος τρόπος μεταφοράς του οξυγόνου είναι μέσω της αιμοσφαιρίνης αντίθετα συμβαίνει με το διοξείδιο του άνθρακα όπου το συγκεκριμένο αέριο διαλύεται 20 φορές περισσότερο σε σχέση με το οξυγόνο. Το 10% του διοξειδίου του άνθρακα διαλύεται στο πλάσμα του οργανισμού, το 33% βρίσκεται στις καρβονικές ενώσεις (πρωτεΐνες) και το 57% στα διττανθρακικά ($-HCO_3$). Το οξυγόνο θεωρείται το σημαντικότερο στοιχείο για την διατήρηση της ζωής. Η πρόσληψη του από την ατμόσφαιρα και η μεταφορά του στους ιστούς θεωρείται κύριος σκοπός λειτουργίας των τριών συστημάτων του οργανισμού, κυκλοφορικού, αναπνευστικού και αίματος.. Στα κύτταρα των ιστών το οξυγόνο χρησιμοποιείται μέσω των μιτοχονδρίων που κύριος στόχος τους είναι η παραγωγή ενέργειας και η κάλυψη μεταβολικών αναγκών του οργανισμού. Η διαδικασία μεταφοράς του οξυγόνου χαρακτηρίζεται πολύπλοκη

και επηρεάζεται από ποικιλία διαφόρων παραγόντων. Το οξυγόνο που μεταφέρεται σε ένα συγκεκριμένο ιστό εξαρτάται: Αρχικά από την ποσότητα του οξυγόνου που εισέρχεται στους πνεύμονες. Έπειτα από την επάρκεια του μηχανισμού της ανταλλαγής αερίων στον πνεύμονα, την αιματική ροή στον ιστό και την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει το οξυγόνο. Τέλος, αιματική ροή εξαρτάται από το βαθμό της αγγειοσυστολή του δικτύου του ιστού και την καρδιακή παροχή (Rosen, Yamamoto & Wiebe, 1989).

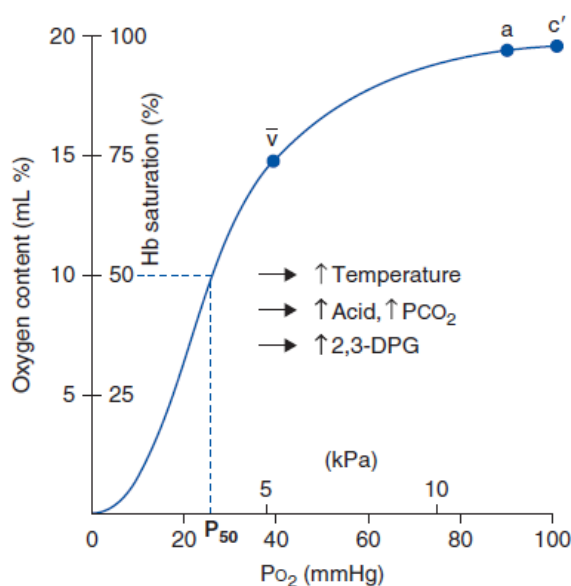
Το ποσό του οξυγόνου στο αίμα καθορίζεται από τη ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου, την ποσότητα της αιμοσφαιρίνης στο αίμα και τη συγγένεια της αιμοσφαιρίνης με το οξυγόνο. Η αιμοσφαιρίνη (Hb) είναι μια πρωτεΐνη αποτελούμενη από τέσσερις υπομονάδες. Στους φυσιολογικούς ενήλικες τα περισσότερα μόρια της αιμοσφαιρίνης περιέχουν δύο α και δύο β αλυσίδες. Σε κάθε υπομονάδα συνδέεται ένα εμπλουτισμένο σε σίδηρο μόριο, η αίμη. Κάθε ένα από τα τέσσερα άτομα σιδήρου της Hb μπορεί να συνδεθεί αντιστρεπτά με ένα μόριο O₂ (O₂+Hb ↔ HbO₂) (Wang et al, 2011) (Κλεισούρας, 2011)

«Ως κορεσμός της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο ορίζεται ο λόγος του ποσού της οξυαιμοσφαιρίνης προς το πόσο αιμοσφαιρίνης» (Wang et al, 2011). Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό η καμπύλη της αποδέσμευσης αιμοσφαιρίνης, όπου φαίνεται παρακάτω, θα έπρεπε να είναι υπερβολή. Με βάση την ανασκόπηση βιβλιογραφίας διάφορες φωτομετρικές μέθοδοι έχουν αποδείξει ότι η καμπύλη αυτή χαρακτηρίζεται ως σιγμοειδής. Το ανώτερο σχεδόν οριζόντιο τμήμα της σημαίνει, ότι περνώντας από τους πνεύμονες όπου η πίεση του οξυγόνου είναι μεγάλη 100mm Hg η αιμοσφαιρίνη δεσμεύεται σχεδόν πλήρως (98% περίπου). Το σχεδόν κατακόρυφο τμήμα της καμπύλης σημαίνει ότι στους ιστούς, όπου η πίεση του οξυγόνου είναι χαμηλά, ευνοείται η αποδέσμευση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη. Διάφοροι παράγοντες επιδρούν και επηρεάζουν την εξέλιξη της καμπύλης αυτής. Οι συγκεκριμένοι και πιο σημαντικοί παράγοντες είναι το pH, η θερμοκρασία, Η συγκέντρωση του 2,3-διφωσφογλυκερινικού οξέως (DPG·2,3-DPG), η ηλικία καθώς και η ποιότητα της αιμοσφαιρίνης (Wang et al, 2011) (Κλεισούρας, 2011).

Η αύξηση της θερμοκρασίας, ή μείωση του pH και η αύξηση του 2, 3- DPG έχουν ως αποτέλεσμα να μετατοπίζουν την καμπύλη προς τα δεξιά, οπότε απαιτείται υψηλότερη PO₂ για να δεσμεύσει η αιμοσφαιρίνη ένα δεδομένο ποσό O₂ (μικρότερη

συγγένεια της αιμοσφαιρίνης με το O_2 , μεγαλύτερη απελευθέρωση οξυγόνου από Hb). Αντίστροφα, η πτώση της θερμοκρασίας, η αύξηση του pH μετατοπίζει την καμπύλη προς τα αριστερά και απαιτείται χαμηλότερη PO_2 , για να δεσμεύσει το δεδομένο ποσό O_2 (μεγαλύτερη συγγένεια της αιμοσφαιρίνης με το O_2 , λιγότερη απελευθέρωση οξυγόνου από Hb) (Wang et al, 2011).

Η μέτρηση του κορεσμού της αιμοσφαιρίνης μπορεί να γίνει είτε με μέτρηση αερίων (αρτηριακή παρακέντηση) είτε με το οξύμετρο. Το οξύμετρο, χάρις την τεχνολογία, έχει μπει στην καθημερινή ιατρική πρακτική και είναι και το πιο διαδεδομένο σήμερα. Στα ζωτικά των ασθενών πλέον εκτός της πίεσης, της θερμοκρασίας και της μέτρησης του σφυγμού εμφανίστηκε και η οξυμετρία. Το οξύμετρο είναι συνδεδεμένο από τη μία με καταγραφική οθόνη ή με δική του οθόνη, μετράει τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο με φασμαφωτομετρική μέθοδο. Η φυσιολογική τιμή, εφόσον δεν εισέρχονται άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την καμπύλη, είναι 95-98%, κάτω του 95% στον οργανισμό υπάρχει υποξαιμία και κάτω του 90% χαρακτηρίζεται ως αναπνευστική ανεπάρκεια. Με βάση τα παραπάνω η PO_2 στο αρτηριακό αίμα είναι 100 mmHg κατά την ηρεμία και παραμένει αμετάβλητη. Κατά την άσκηση η PO_2 στο φλεβικό αίμα είναι 47 mmHg κατά την ηρεμία, ελαττώνεται προοδευτικά κατά την αυξανόμενη ένταση της άσκησης, για να φτάσει κατά την μέγιστη προσπάθεια σε μέση τιμή 20 mmHg (Rosen, Yamamoto & Wiebe, 1989).



2.3.4 Αερόβια Άσκηση

Ένας από του πιο γνωστούς τύπους ασκήσεων είναι η γνωστή αερόβια άσκηση όπου είναι η σωματική άσκηση χαμηλής έως υψηλής έντασης που εξαρτάται κυρίως από τη διαδικασία παραγωγής αερόβιας ενέργειας. Η λέξη αερόβιο σημαίνει κυριολεκτικά ότι "σχετίζεται με, εμπλέκει ή απαιτεί ελεύθερο οξυγόνο" και αναφέρεται στη χρήση οξυγόνου για την επαρκή ικανοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων κατά τη διάρκεια της άσκησης μέσω του αερόβιου μεταβολισμού. Γενικά, οι δραστηριότητες ελαφριάς έως μέτριας έντασης που υποστηρίζονται επαρκώς από τον αερόβιο μεταβολισμό μπορούν να εκτελεστούν για παρατεταμένες χρονικές περιόδους (Harber et al, 2009).

Ως αερόβια άσκηση ορίζεται το είδος αυτό της κίνησης κατά την εκτέλεση της οποίας, μεγάλες μυϊκές ομάδες του σώματος κινούνται ρυθμικά και επαναλαμβανόμενα προκαλώντας ταυτόχρονα την αύξηση της πρόσληψης του οξυγόνου και κατά συνέπεια των καρδιακών χτύπων, με αποτέλεσμα την ταχύτερη καύση θερμίδων. Με την έναρξη της άσκησης η πρόσληψη οξυγόνου αυξάνεται με γρήγορο ρυθμό, έως όπου σταθεροποιηθεί σε ένα επίπεδο, ανάλογα με την ένταση της άσκησης (Achten J, Jeukendrup AE et al, 2004).

Οι αερόβιες δραστηριότητες εφαρμόζονται κατεξοχήν από τους αθλητές του στίβου κατά τη διάρκεια των προπονήσεων τους και η εφαρμογή αντίστοιχων μεθόδων άσκησης σε μικρότερους χώρους αποτελεί προσομοίωσή τους. Οι πιο βασικές από αυτές τις μεθόδους είναι η μέθοδος της συνέχειας (ισόρρυθμοι και εναλλασσόμενοι έργοι), η διαλειμματική μέθοδος προπόνησης (απλή ή παρατεταμένη, έντονη ή μέσης έντασης), η μέθοδος του επαναλαμβανόμενου τέμπο και διάφορες 10 τροποποιήσεις της μεθόδου Fartlek (παιχνίδι με την ταχύτητα).

Ένας όρος που σχετίζεται με την ένταση της αερόβιας άσκησης είναι η αερόβια αντοχή. Αερόβια αντοχή σύμφωνα με τον Κλεισούρα είναι *«η ανώτατη ένταση που μπορεί να διατηρηθεί για μια ορισμένη διάρκεια ή απόσταση»* *«Η αερόβια αντοχή είναι συνώνυμη με την καρδιοαναπνευστική αντοχή και αντιδιαστέλλεται από την μυϊκή αντοχή. Επίσης, η αερόβια αντοχή σχετίζεται με την VO_{2max} »* (Κλεισούρας, 2011 ; σελ 222). Τέλος, Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου (VO_{2max}) είναι *«ο ανώτατος*

όγκοοξυγόνου, που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά τη μέγιστη προσπάθεια στη μονάδα του χρόνου» (Κλεισούρας, 2011; σελ 222).

2.3.5 Καρδιοαναπνευστική αντοχή και Καρδιακή Συχνότητα

Καρδιοαναπνευστική αντοχή, όπως αναφέρεται από την συγγραφέα (Θεοδωράκου, 2010; σελ. 288) είναι *«η ικανότητα του ατόμου να εκτελεί επαναλαμβανόμενες κινήσεις που απαιτούν την αποτελεσματική λειτουργία του καρδιαγγειακού και του αναπνευστικού συστήματος. Η καρδιοαναπνευστική αντοχή είναι η βασικότερη φυσική ικανότητα και σχετίζεται άμεσα με την υγεία»*. Επίσης η καρδιοαναπνευστική αντοχή σχετίζεται και αλληλοεξαρτάται από την μυϊκή αντοχή όπου είναι *«η ικανότητα διατήρησης ενός ποσοστού της μέγιστης βουλητικής συστολής μιας μυϊκής ομάδας για παρατεταμένη χρονική περίοδο»* (Κλεισούρας, 2011; σελ 222).

Η καρδιακή συχνότητα αποτελεί κεντρική θέση στο σύστημα μεταφοράς οξυγόνου. Χρησιμοποιείται συχνά ως αντικειμενικός δείκτης της επιβάρυνσης, καθώς και της λειτουργικής προσαρμοστικότητας του συστήματος μεταφοράς οξυγόνου. Έτσι με βάση το παραπάνω, η μέτρηση της καρδιακής συχνότητας θεωρείται η πιο σημαντική και χρήσιμη βιολογική μέτρηση για τον αθλητικό επιστήμονα. Οι μέθοδοι μέτρησής της καρδιακής συχνότητας είναι το ηλεκτροκαρδιογράφημα, την καρδιοταχυμετρία, την παλμομετρία και την τηλεμετρία με μικροϋπολογισμό. Οι παράγοντες που επηρεάζουν και επιδρούν στα επίπεδα της καρδιακής συχνότητας είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η αφυδάτωση, η πέψη τροφών, η προηγθείσα μυϊκή προσπάθεια, η άσκηση, η ακινητοποίηση - υποκινητικότητα, το υψόμετρο, η σωματική θέση, η μυϊκή θέση, η ηλικία, το φύλο, τα φάρμακα, η αϋπνία, το κάπνισμα, ο βιορυθμός και τα συγκινησιακά ερεθίσματα (Sandercock et al, 2006).

2.3.6 Μέτρηση μυϊκής οξυγόνωσης: Μέθοδος εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS)

Πολλές μελέτες έχουν ασχοληθεί στην διερεύνηση της τοπικής ιστικής μεταφοράς οξυγόνου καθώς και της ιστικής κατανάλωσης οξυγόνου ή αλλιώς της μυϊκής οξυγόνωσης. Διάφοροι μέθοδοι που ασχολούνται με τη μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης είναι η μαγνητική τομογραφία (MRI), η τομογραφία εκπομπής

ποζιτρονίων (PET) και η εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (NIRS). Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο στην αθλητική πρακτική και είναι πιο διαδεδομένη είναι η εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (NIRS). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται τόσο στην ηρεμία όσο και κατά τη διάρκεια υπομέγιστης και μέγιστης έντασης άσκησης. (Barstow et al, 2019).

Η μέθοδος της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) χρησιμοποιείται ευρέως για τη μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης, του όγκου αίματος αλλά και της αιμοδυναμικής απόκρισης. Οι παραπάνω μετρήσεις οφείλονται στις μεταβολές της οξυγονωμένης ($\Delta[\text{O}_2\text{HB}]\text{m}$), απόξυγονωμένης ($\Delta[\text{HHB}]\text{m}$) και ολικής ($\Delta[\text{THB}]\text{m}$) αιμοσφαιρίνης αλλά και από τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο σε μυϊκό επίπεδο (StO_2). Οι παραπάνω αναπνευστικοί δείκτες παρέχουν αρκετές πληροφορίες για τη μυϊκή παροχή σε οξυγόνο την απόσπαση ή τη χρησιμοποίησή του από το μυϊκό ιστό και τον τοπικό όγκο αίματος καθώς το σήμα αντανακλά την ισορροπία μεταξύ παροχής και κατανάλωσης οξυγόνου από τον σκελετικό ιστό. Η κυρία τεχνική του (NIRS) στηρίζεται στις διαφορετικές ιδιότητες απορρόφησης του εγγύς υπέρυθρου φως από την οξυγονωμένη και απόξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη καθώς και από το προφίλ απορρόφησης τους μπορούν να εκτιμηθούν οι αλλαγές στην αιματική ροή και οξυγόνωση. Η μέτρηση των μεταβολών της μυϊκής οξυγόνωσης μέσω της μεθόδου του (NIRS) πραγματοποιείται σε μικρά αρτηρίδια, σε τριχοειδή αγγεία και φλεβίδια με διάμετρο μικρότερη από 200 μm (Ferrari et al, 2004) (Χερουβείμ, 2018).

2.3.7 Ο περιοριστικός ρόλος του αναπνευστικού συστήματος κατά την άσκηση

Κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε άσκησης, ένας από τις σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν και επηρεάζουν την έναρξη και το τερματισμό της είναι το αναπνευστικό σύστημα. Οι εργατικοί μύες χρειάζονται να τροφοδοτούνται συνεχώς με O_2 τόσο κατά τη διάρκεια της άσκησης όσο και κατά την αποκατάσταση. Το αναπνευστικό σύστημα εκτός από το σημαντικό ρόλο που παίζει για την ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων, σύμφωνα με τα παραπάνω συμμετέχει και σε άλλες σημαντικές διεργασίες του οργανισμού. Λειτουργεί ως σημαντικό όργανο για τη παραγωγή της φωνής και ελέγχει συμβάλλοντας στην άμυνα του οργανισμού την είσοδο έναντι παθογόνων

μικροοργανισμών (ξένων σωματιδίων). Επίσης λειτουργεί ως ρυθμιστής της οξεοβασικής ισορροπίας που κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης διαταράσσεται αυτή η ισορροπία, εκκρίνει ορμόνες, χαρακτηρίζεται ως στόχος δράσης ορμονών ή άλλων ουσιών και τέλος συμμετέχει στη διαδικασία ελέγχου του μεταβολισμού των λιπιδίων, των υδατανθράκων και των πρωτεϊνών (Cahalin, Arena, 2015).

Κατά την πραγματοποίηση άσκησης και ειδικά όταν χαρακτηρίζεται αερόβιου τύπου, οι αναπνευστικοί μύες που έχουν, αναφερθεί παραπάνω, από την μία χρειάζονται περισσότερο O_2 και από την άλλη παράγουν περισσότερο O_2 σε σχέση καταστάσεων ηρεμίας. Από το παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι οι πνεύμονες θα πρέπει να προσλαμβάνουν περισσότερο O_2 με την εισπνοή και αυτό στη συνέχεια να μεταφέρεται μέσω της αιμοσφαιρίνης στους ιστούς και συγχρόνως θα πρέπει να διαχέονται μεγαλύτερες ποσότητες CO_2 από το αίμα στις κυψελίδες και στο τέλος να αποβάλλεται μέσω της διαδικασίας της εκπνοής. Σύμφωνα με τους Cahalin και Arena σε έρευνα τους το 2015 υποστήριξαν ότι οι μηχανισμοί που χρειάζονται να ενεργοποιηθούν κατά τη διάρκεια της άσκησης έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι μεταβολικές ανάγκες των ιστών από τον πνευμονικό αερισμό σε συνδυασμό με τα παραπάνω είναι οι εξής :

Αρχικά η πνευμονική αιμάτωση θα πρέπει να είναι αυξημένη. Κατά τη διάρκεια της άσκησης η ποσότητα αίματος που ρέει στα αγγεία της μικρής κυκλοφορίας (κυκλοφορία του αίματος από την καρδιά στους πνεύμονες και από τους πνεύμονες στην καρδιά) είναι μεγαλύτερη, σχεδόν διπλάσια, από την αντίστοιχη ποσότητα σε περιόδους ηρεμίας. Όταν όμως αυξάνεται ο όγκος αίματος που κυκλοφορεί στους πνεύμονες κατά την άσκηση περιορίζει τον όγκο του αέρα που βρίσκεται στις κυψελίδες.

Έπειτα η ικανότητα διάχυσης των αερίων θα πρέπει να διευκολυνθεί. Μέσα από έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης η διαχυτική ικανότητα για το O_2 μπορεί και να αυξηθεί μέχρι και 300 % της τιμής ηρεμίας ενώ μπορεί και να υπάρξει και κατά 20 % ταχύτερη διάχυση του CO_2 . Κατά την εκτέλεση ίδιου μηχανικού έργου στα προπονημένα άτομα η διαχυτική τους ικανότητα είναι πολύ καλύτερη από τα απροπόνητα άτομα. Στους αθλητές αντοχής όπως είναι οι μαραθωνοδρόμοι παρουσιάζουν περίπου διπλάσια διαχυτική ικανότητα των πνευμόνων κατά την ηρεμία σε σχέση με μη αθλητές. Το παραπάνω, δηλαδή η αύξηση της διαχυτικής ικανότητας των πνευμόνων οφείλεται στη αύξηση της επιφάνειας της διάχυσης. Η αύξηση της συγκεκριμένης μεμβράνης τη λεγόμενης τριχοειδο-κυψελιδικής μεμβράνης όπου

μέσω αυτής πραγματοποιείται η ανταλλαγή αερίων υπάρχει λόγω του αυξημένου αριθμού των πνευμονικών τριχοειδών αγγείων που προμηθεύονται και γεμίζουν με αίμα κατά τη διάρκεια της άσκησης και που παρέμειναν κλειστά κατά την ηρεμία.

Τέλος, ο πνευμονικός αερισμός θα πρέπει να αυξηθεί. Η αύξηση πνευμονικού αερισμού θεωρείται ο πιο σημαντικός παράγοντας για την κάλυψη των μεταβολικών αναγκών των μυών κατά τη διάρκεια της άσκησης. Χωρίς αυτόν αύξηση της αιμάτωσης των πνευμόνων και της διαχυτικής ικανότητας. Ο αερισμός των πνευμόνων κατά την διάρκεια αερόβιας άσκησης σε σχέση με τις τιμές της ηρεμίας αυξάνεται κατά 10-20 φορές περισσότερο. Γενικά η αύξηση του πνευμονικού αερισμού είναι ανάλογη με τη κατανάλωση του O_2 από τους ιστούς. Κατά τη διάρκεια της άσκησης ένα μέρος της παραγωγής ενέργειας καλύπτεται με αναερόβιο μηχανισμό αυτό έχει ως αποτέλεσμα η σχέση πνευμονικού αερισμού και κατανάλωση του O_2 από τους αναπνευστικούς μύες δεν να μην είναι γραμμική σε όλη τη διάρκεια της άσκησης. Έτσι, μέσω του παραπάνω μηχανισμού χρειάζεται να αυξηθεί η παραγωγή του CO_2 που θεωρείται το ισχυρό ερέθισμα για το αναπνευστικό κέντρο. Μέσω της αύξησης του CO_2 στο αρτηριακό αίμα προκαλείται αύξηση της διέγερσης του αναπνευστικού κέντρου και οδηγεί σε μεγαλύτερα ποσοστά αερισμού των πνευμόνων.

Όταν υπάρχει αύξηση του εύρους και της συχνότητας των αναπνοών, αυτό συμβάλλει και στην αύξηση του πνευμονικού αερισμού. Όταν όμως υπάρχει ταχύτερη και σημαντική αύξηση στο ρυθμό και το βάθος των αναπνευστικών κινήσεων αυτό οδηγεί στην ελάττωση του επιπέδου του CO_2 στο αρτηριακό αίμα αλλά τα επίπεδα του O_2 παραμένουν σταθερά. Οι παραπάνω συγκεκριμένες μεταβολές είναι γνωστές ως “υπέρνοια” όπου επηρεάζουν αρνητικά τον ασκούμενο προκαλώντας του κλινικά ζάλη και αδιαθεσία και δημιουργούν διαταραχές στην οξεοβασική ισορροπία. (Manley et al, 1996).

2.4 L- Κιτρουλίνη

Η ονομασία της κιτρουλίνης (citrulline) προέρχεται από τον λατινικό όρο που χρησιμοποιείται για την λέξη καρπούζι που είναι “citrullus”. Η κιτρουλίνη είναι εύστοχα έτσι ονομασμένη, αφού το καρπούζι θεωρείται μία από τις καλύτερες

φυσικές πηγές. Βέβαια υπάρχει και σε μικρότερες ποσότητες σε άλλα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένου του πικρού πεπονιού, της νεροκολοκυθιάς και των αγγουριών. Η L-κιτρουλίνη εντάσσεται στην ομάδα των αμινοξέων, θεωρείται ένα ουδέτερο μη απαραίτητο άλφα-αμινοξύ που είναι ένα σημαντικό συστατικό στο κύκλο ουρίας και στο ήπαρ, βοηθάει στο μεταβολισμό του οργανισμού και στη σύνθεση άλλων αμινοξέων (Curis et al, 2005). Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι κιτρουλίνης που χρησιμοποιούνται στον αθλητισμό ως συμπληρώματα: μηλική κιτρουλίνη (CM) και L-κιτρουλίνη. Η L-κιτρουλίνη (L- Citrulline), όπου με το συγκεκριμένο είδος θα ασχοληθούμε, είναι η φυσική μορφή της κιτρουλίνης. Φυσικές πηγές είναι τα φρούτα όπως είπαμε παραπάνω το καρπούζι. Η κιτρουλίνη είναι στενά συνδεδεμένη με την παραγωγή νιτρικού οξειδίου (μονοξειδίου του αζώτου– nitric oxide– NO) (McKinley-Barnard et al, 2015).

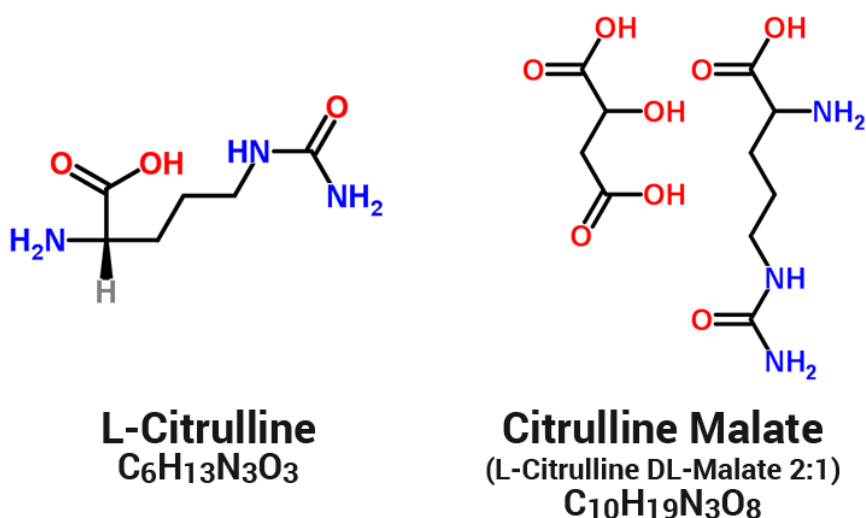
Η L-κιτρουλίνη είναι σπάνια και βρίσκεται όπως είπαμε στα τρόφιμα αλλά μεγάλο ποσοστό της βρίσκεται στο καρπούζι. Το καρπούζι που καλλιεργείται στις Ηνωμένες Πολιτείες μπορεί να κυμαίνεται από 1,6 έως 3,5 g/kg φρέσκου καρπουζιού. Η κατανάλωση περίπου είναι 1,5kg/ημέρα (2,2 -3,3 lbs/ημέρα) φρέσκου καρπουζιού και απαιτείται για την επίτευξη της ελάχιστης αποτελεσματικής δόσης L-κιτρουλίνης (3g / ημέρα) και 3,3–5,0 kg / ημέρα, (7,3–16,5 lbs/ημέρα) φρέσκου καρπουζιού θα χρειαζόταν για να επιτευχθεί η μέγιστη αποτελεσματική δόση της L-κιτρουλίνης (10g /ημέρα) (Davis et al, 2005). Οι ερευνητές έχουν αρχίσει να δείχνουν μεγάλο ενδιαφέρον και διερευνούν τα οφέλη της L-κιτρουλίνης. Η συμπλήρωση της L-κιτρουλίνης πραγματοποιείται μέσω φαρμακευτικής ή διατροφικής κατηγορίας ή ως L-κιτρουλίνη συζευγμένη με μηλικό (αναλογία 1:1) ή ως εκχύλισμα καρπουζιού. Η L-κιτρουλίνη όπως και άλλα συμπληρώματα ενίσχυσης του μονοξειδίου του αζώτου (NO) βοηθούν σε καρδιαγγειακά και υπερτασικά προβλήματα όπως θα αποδειχτεί παρακάτω (Bahri et al, 2013).

Πιο συγκεκριμένα στο σώμα, η κιτρουλίνη είναι ένα αμινοξύ όπου συντίθεται από γλουταμίνη, γλουταμινικό νάτριο και προλίνη στα εντεροκύτταρα και μεταβολίζεται από τους νεφρούς σε αργινίνη. Η κιτρουλίνη ενεργεί ως δευτερογενής δότης του (NO), αφού η αργινίνη με τη σειρά της θεωρείται κύριος πρόδρομος του (NO), και μετατρέπεται από αυτήν. Έτσι η κιτρουλίνη, η οποία μπορεί να ληφθεί μέσω της τροφής ή μέσω συμπληρώματος, αποτελεί βασικό συστατικό στη σύνθεση της

αργινίνης και συγχρόνως βοηθάει στη παραγωγή μονοξειδίου του αζώτου (nitric oxide-NO). Η κιτροουλίνη θεωρείται σημαντικός παράγοντας συντελώντας στη διεργασία του κύκλου ουρίας, όπου εκκρίνεται αμμωνία και μετατρέπεται σε ουρία (Botchlett et al, 2019).

2.4.1 Μηλική Κιτροουλίνη (CM)

Εκτός από την L-citrulline, που ασχολούμαστε στη συγκεκριμένη εργασία έχουμε και άλλο ένα είδος κιτροουλίνης, γνωστή ως “μηλική κιτροουλίνη”. Η ευνοϊκή μορφή της μηλικής κιτροουλίνης (CM) βρίσκεται σε αναλογία 2:1, που αυτό σημαίνει, δύο μόρια κιτροουλίνης σε ένα μόριο μηλικού οξέος. Εκεί, εμφανίζεται η διαφορά της malate citrulline (CM) με την L-κιτροουλίνη όπου είναι η προσθήκη μηλικού οξέος. (Perez-Guisado et al, 2010). Το μηλικό οξύ θεωρείται σημαντική συνιστώσα του κύκλου τρικαρβοξυλικού (TCA), όπου βοηθά το σώμα να παράγει ενέργεια. Η αύξηση των επιπέδων μηλικού οξέος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής ενέργειας. Η μηλική κιτροουλίνη παρέχει επιπλέον ροή αίματος και αυτό οδηγεί στην αύξηση του ποσοστού οξυγόνου, στη αύξηση θρεπτικών συστατικών που βοηθούν στην άσκηση των μυών, καθώς και στην παροχή αυξημένης ενέργειας για την ενίσχυση της απόδοσης (Wax et al, 2015).



Εικόνα 2.4 Χημικές ενώσεις της L-κιτροουλίνης και της Μηλικής κιτροουλίνης (Wax et al, 2015).

2.4.2 Νιτρικό οξείδιο ή Μονοξείδιο του Αζώτου (NO)

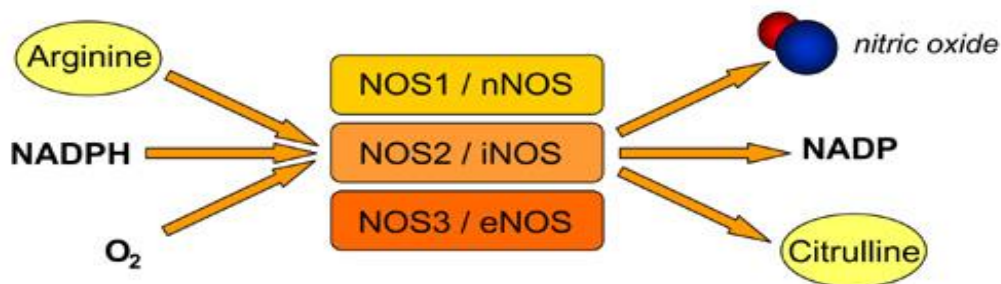
Ένα σημαντικό μόριο με το οποίο έχουν ασχοληθεί οι ερευνητές τα τελευταία χρόνια που εμπλέκεται στη ρύθμιση διαφόρων φυσιολογικών διαδικασιών του οργανισμού και επιδρά κατά τη διάρκεια της άσκησης, είναι το νιτρικό οξύ ή αλλιώς μονοξείδιο του αζώτου, όπου συμβολίζεται ως (NO) (Bredt et al, 1999)



Εικόνα 2.5 Απεικόνιση Νιτρικών ιόντων (Bredt et al, 1999)

Η σύνθεση του NO στα ενδοθηλιακά κύτταρα αποτελείται από το αμινοξύ “αργινίνη” όπου καταλύεται από τρεις διαφορετικές ισομορφές του ενζύμου “συνθάση του NO” (NOS) οι οποίες είναι:

- NOS-I: Η συγκεκριμένη καλείται και νευρωνική NOS (nNOS) λόγω του ότι εντοπίστηκε στα νευρικά κύτταρα του εγκεφάλου
- NOS-II: Αρχικά εντοπίστηκε στα μακροφάγα και γνωστή ως επαγωγίμη NOS (iNOS) αφού μέσω της δράσης της επάγεται σε αρκετούς παράγοντες όπως είναι το σύμπλοκο Ca²⁺/καλμοδουλίνη αλλά και διάφορες φλεγμονώδεις κυτοκίνες.
- NOS-III: Εντοπίζεται στα κύτταρα του ενδοθυλίου και γι αυτό καλείται ενδοθυλιακή NOS (eNOS).



Σχήμα 2.4 Απεικόνιση των τριών βασικών ισομορφών της συνθετάσης του οξειδίου του αζώτου (Timothy D et al, 2018)

Το NO, παρόλο που είναι ελεύθερη ρίζα, δεν χαρακτηρίζεται ως δραστικό μόριο. Αυτό το χαρακτηριστικό, σε συνδυασμό με το ότι είναι μη πολικό και μη φορτισμένο, του επιτρέπει να διαχέεται μεταξύ διαφορετικών κυττάρων και να αντιδρά επιλεκτικά με συγκεκριμένα μόρια-στόχους (Bredt et al, 1999). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το NO παίζει σημαντικό παράγοντα σε πολλές φυσιολογικές διαδικασίες του οργανισμού που ρυθμίζουν τη πίεση και ροή του αίματος, την θρόμβωση, την αγγειοδιαστολή, την μιτοχονδρική αναπνοή, την μετάδοση νευρικών σημάτων και τη λειτουργία των αιμοπεταλίων (Thomas et al, 2008). Η μειωμένη βιοδιαθεσιμότητα του (NO) επηρεάζει αρνητικά την εξέλιξη συνολικής υγείας του άτομου και ιδιαίτερα στους ηλικιωμένους εμφανίζοντας και εντείνοντας διάφορες ασθένειες, που σχετίζονται με το τρόπο ζωής, όπως υπέρταση, αθηροσκλήρωση, αντίσταση στην ινσουλίνη, διαβήτη τύπου 2 (T2D) και διάφορες καρδιαγγειακές παθήσεις (Timothy D et al, 2018).

Η ποσότητα του μονοξειδίου του αζώτου (NO) αυξάνεται με την αναγωγή των νιτρωδών που υπάρχουν μέσα στις φυσικές τροφές. Η διαδικασία αναγωγής των νιτρικών σε νιτρώδη πραγματοποιείται στη στοματική κοιλότητα μέσω της νιτρικής ρεβουκατάσης, το οποίο είναι βακτηριακό ένζυμο. Μέσω της μέτρησης της σιελού πραγματοποιείται ο έλεγχος βιομετατροπής νιτρικών σε NO (Thomas et al, 2008).

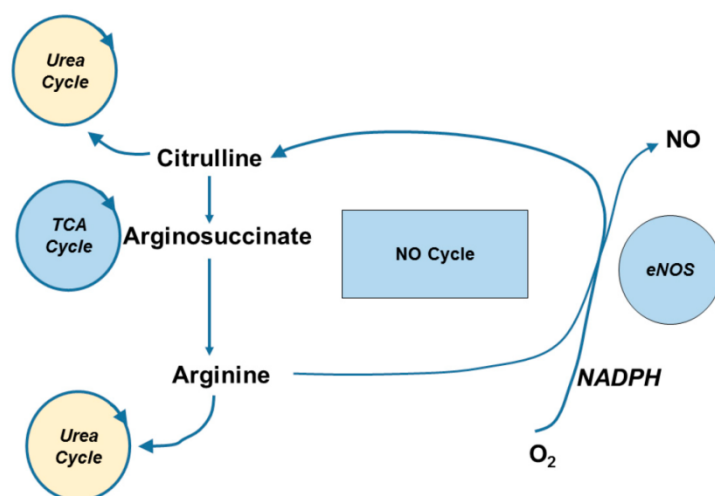
Για την παραγωγή του νιτρικού οξειδίου, στον ανθρώπινο οργανισμό συμβάλλουν δύο σημαντικοί παράγοντες. Αρχικά, τα νιτρικά άλατα θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες βιοδιαθεσιμότητας NO καθώς και μέσω του αμινοξέως L-αργινίνη που είναι όμως απαραίτητη και η βιοδιαθεσιμότητα της L – Citrulline. Μέσω λοιπόν των πρωτεϊνών και των ενζύμων που μέσα σε αυτά είναι η Cit και η Arg μπορούν να καταλύ-

σουν την αναγωγή των νιτρωδών σε NO στο αίμα και σε άλλους ιστούς. Οι συνθήκες που βοηθούν να παράγεται μεγάλο ποσοστό NO εκεί που είναι περισσότερο απαραίτητο είναι όταν υπάρχει χαμηλή ποσότητα οξυγόνου (ισχαιμία και υποξία) και χαμηλό pH, που αυτές οι συνθήκες είναι προσιτές στους σκελετικούς μύες κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης (Jones et al, 2016)

Η διαδικασία νιτρικά-νιτρώδη-NO συμβάλλει στην ενίσχυση της παραγωγής του NO και αυτό, αυτομάτως συμβάλλει θετικά στην αθλητική απόδοση και επηρεάζει και την μυϊκή λειτουργία. Η λειτουργία των σκελετικών μυών ρυθμίζεται μέσω της ικανότητας του NO διαφόρων ρυθμιστών όπως είναι

- Η ροή του αίματος
- Η αγγειοδιαστολή
- Η συγκέντρωση της γλυκόζης
- Η μιτοχονδριακή λειτουργία
- Τα επίπεδα συγκέντρωσης του ασβεστίου

Συμπερασματικά μέσα από τα παραπάνω καταλήγουμε στο ότι μέσα από την αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρωδών του πλάσματος που αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τα νιτρικά συμπληρώματα, όπως είναι αυτό της L- Citrulline , μπορούμε να αυξήσουμε σε μεγάλο ποσοστό την αθλητική απόδοση και αντοχή (Thompson et al, 2019).



Σχήμα 2.5 Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου NO μέσω των δύο αμινοξέων (Thompson et al, 2019)

2.4.3 Η Αργινίνη, η σύνδεση της με την Κιτρουλίνη, ο ρόλος της στην υγεία και στην αθλητική απόδοση.

Η L-Αργινίνη είναι ένα αμινοξύ που χαρακτηρίζεται ως ημιαπαραίτητο και αυτό συμβαίνει διότι η πρόσληψη της μπορεί να γίνει είτε μέσω τροφής είτε μέσω της δημιουργίας της από τον ίδιο τον οργανισμό (He et al, 2019). Ο ρόλος της είναι αισθητός στον κύκλο της ουρίας που θα αναλυθεί παρακάτω καθώς συνδέεται με τα αμινοξέα της L- ορνιθίνης και L-κιτρουλίνης. Η L-αργινίνη καταβολίζεται στο ήπαρ και βοηθά στην τόνωση του οξειδίου του αζώτου (NO), το οποίο δρα ως αγγειοδιασταλτικό ανοίγοντας τα αιμοφόρα αγγεία, αυξάνοντας έτσι τη ροή του αίματος προς τους μύς, προάγοντας έτσι την υγεία του καρδιακού συστήματος. Ο ρόλος της λοιπόν είναι ιδιαίτερα σημαντικός διότι συμβάλλει στην απομάκρυνση και μείωση έκκρισης της αμμωνίας στον οργανισμό, παράγοντας μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του αζώτου και συνθέτοντας κάποιες συγκεκριμένες πρωτεΐνες.

Τα χαμηλά επίπεδα βιοδιαθεσιμότητας μονοξειδίου του αζώτου, λόγω ανεπαρκούς αργινίνης που υπάρχει στον οργανισμό, προκαλούν διαταραχές στη καρδιαγγειακή λειτουργία. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το NO λειτουργεί ως αγγειοδιασταλτικό διαμορφώνοντας τη ροή του αίματος και τα επίπεδα οξυγόνου. Ο ρόλος του είναι σημαντικός κατά την ηρεμία καθώς και κατά τη διάρκεια της άσκησης, περισσότερο στα επίπεδα της αερόβιας ικανότητας να υπάρχει ισορροπία μεταξύ αγγειοσυστολής και αγγειοδιαστολής. Έτσι μέσω της πρόσληψης της αργινίνης σταθεροποιούμε σε φυσιολογικά επίπεδα του μονοξειδίου του αζώτου για τη προστασία της αγγειακής νόσου (Rajapakse et al, 2019). Επίσης η αργινίνη ενεργεί θετικά στη καρδιαγγειακή λειτουργία καθώς μέσα από αυτή εκκρίνονται ενδοθηλιακά προγονικά κύτταρα όπου διεγείρουν την αγγειογένεση, ενισχύοντας τα τοιχώματα των αιμοφόρων αγγείων ύστερα από αγγειακή βλάβη.

Η L-Arginine έχει αναδειχθεί ένα σημαντικό συμπλήρωμα για αθλητές καθώς και για μη αθλητές, προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση κατά τη διάρκεια της άσκησης. Η L-αργινίνη είναι ένα μη απαραίτητο αμινοξύ που είναι πρόδρομος για τη σύνθεση του Νιτρικού Οξειδίου. Επίσης είναι υπεύθυνη για τη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης και για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ανοχής στην άσκηση αλλά και για

τη βελτίωση της αγγειοδιαστολής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βελτιστοποιηθεί η ροή του αίματος. Στην συνέχεια υπάρχει αύξηση της ροής του αίματος σε ενεργούς μύες αυξάνοντας τη χρήση υποστρώματος για τη βελτίωση της αποκατάστασης των μυών και της πρωτεϊνικής σύνθεσης κατά τη διάρκεια της άσκησης αλλά και μετά από αυτήν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να επιτρέπει μεγαλύτερη απομάκρυνση των γαλακτικών μεταβολιτών καθώς και της αμμωνίας που επηρεάζουν και εμφανίζουν την μυϊκή κόπωση αναστέλλοντας έτσι την άσκηση (Wong al, 2018).

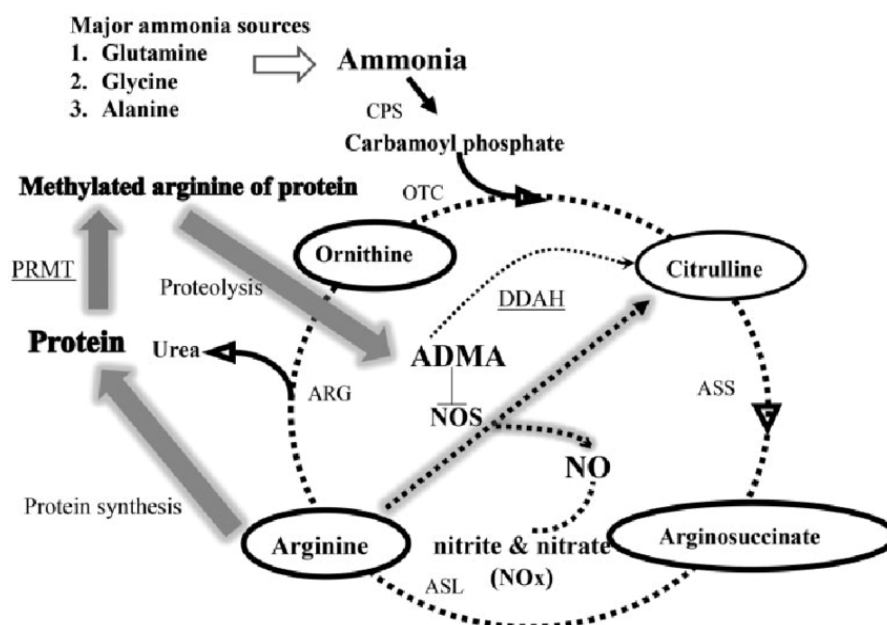
Ωστόσο, πρέπει να γίνει περισσότερη έρευνα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει σημαντική αλλαγή κατά τη λήψη του συμπληρώματος L-αργινίνη καθώς και ο συνδυασμός της λήψης του συμπληρώματος του συγκεκριμένου αμινοξέως με την L-citrulline (Wong al, 2018).

2.4.4 L-Αργινίνη, L- Κιτρουλίνη και ο κύκλος της ουρίας

Η απελευθέρωση της κιτρουλίνης στη κυκλοφορία πραγματοποιείται από το λεπτό έντερο, εξάγεται από το νεφρό και σε αυτό το σημείο αυξάνονται τα επίπεδα του πλάσματος της αργινίνης καθώς και η ποσότητα παραγωγής νιτρικού οξειδίου. Μέσα από την αλληλεπίδραση του κύκλου κιτρουλίνης-νιτρικού οξέως η L-κιτρουλίνη ανακυκλώνεται συνέχεια σε αργινίνη με αποτέλεσμα να υπάρχει συνεχή παραγωγή νιτρικού οξειδίου. Το νιτρικό οξύ προκαλεί αγγειοδιαστολή και συνεπώς καλύτερη αιμάτωση του μυϊκού ιστού. Έτσι με αυτό το τρόπο όσο αίμα τροφοδοτείται στο σκελετικό μύ και στο καρδιακό μύ τόσο περισσότερη ενέργεια τροφοδοτείται στον οργανισμό. Η παραγωγή της ουρίας δρα σημαντικά στο μεταβολικό δρόμο των πρωτεϊνών διότι συμβάλλει στην απομάκρυνση και στην απαλλαγή της τοξικής αμμωνίας όπου είναι χημική ένωση του αζώτου από το κυτταρικό περιβάλλον.

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, στον οργανισμό πρέπει να βρίσκεται συνεχώς μεγάλη ποσότητα νιτρικού οξειδίου με αποτέλεσμα τη πρόληψη συνολικής υγείας του οργανισμού. Η δημιουργία της αργινίνης μέσω της συμβολής της κιτρουλίνης μέσα στα ενδοθηλιακά καθώς και σε άλλα κύτταρα δημιουργείται μια μεταβολική οδός όπου μέσω αυτής γίνεται η μετατροπή της κιτρουλίνης σε μονοξείδιο του αζώτου (νιτρικό οξύ- NO). Ο συγκεκριμένος λοιπόν κύκλος που συνδέεται στον κύκλο

της ουρίας έχει τη δυνατότητα να απομακρύνει αμμωνία από το σώμα καθώς και να μειώνει την έκκρισή της η οποία είναι επιβλαβή για τον οργανισμό. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω η διαδικασία αυτή συμβάλλει στη συνολική υγεία και συγχρόνως στη καλύτερη λειτουργία του μυϊκού συστήματος (Gonzalez et al, 2020).



Σχήμα 2.6 Αλληλεπίδραση του κύκλου ουρίας και νιτρικών οξέων (Gonzalez et al, 2020)

Στη παρούσα έρευνα θα ασχοληθούμε με το συγκεκριμένο αμινοξύ τη (L- Citrulline), όμως είναι σημαντικό να αναφερθεί γιατί να μη λάβουμε υπόψιν μας μόνο την αργινίνη. Μέσα από έρευνες υπάρχουν πληροφορίες ότι η χορήγηση συμπληρώματος κιτρουλίνης έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα αργινίνης σε σχέση με το συμπλήρωμα της ίδιας της αργινίνης. Αυτό συμβαίνει διότι μεγάλο ποσοστό της αργινίνης διασπάται από το ένζυμο αργινάση και υπόκειται σε μια πιο αυστηρή πορεία μέσω της πέψης, διέρχεται στο λεπτό έντερο και το ήπαρ πριν απελευθερωθεί στην γενική κυκλοφορία. Η κιτρουλίνη, από την άλλη πλευρά, μπορεί να τα παρακάμψει όλα τα προηγούμενα και να πάει κατευθείαν στην κυκλοφορία του αίματος, όπου μπορεί να ενισχύσει την παραγωγή νιτρικού οξειδίου, και μεταφέρεται πιο αποτελεσματικά στα εντεροκύτταρα. Έτσι, η κιτρουλίνη καταλήγει να είναι καλύτερος ενισχυτής των επιπέδων αργινίνης στο αίμα από ότι η ίδια η αργινίνη-και χωρίς τις παρενέργειες αυτής, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν κάποια πεπτικά προβλήματα σε ορισμένους ανθρώπους (Schaefer et al, 2002).

Μέσα από το άρθρο του Takashi Suzuki το 2017, 55 υγιείς Ιάπωνες άνδρες, ηλικίας 20-49 και δείκτη μάζας σώματος $<30 \text{ kg / m}^2$, συμπεριλήφθηκαν σε αυτήν τη διπλή τυφλή, τυχαιοποιημένη, ελεγχόμενη με εικονικό φάρμακο, δοκιμή. Διερευνήθηκαν τα αποτελέσματα συνδυασμού 1 g L-κιτροουλίνης και 1 g L-αργινίνης ως στοματικό συμπλήρωμα στα επίπεδα L-αργινίνης στο πλάσμα σε υγιείς άνδρες. Το συμπλήρωμα L-κιτροουλίνης από το στόμα συν L-αργινίνη αύξησε τα επίπεδα L-αργινίνης στο πλάσμα από 2 g L-κιτροουλίνης ή L-αργινίνης, γεγονός που υποδηλώνει ότι η στοματική L-κιτροουλίνη και η L-αργινίνη αυξάνουν τα επίπεδα της L-αργινίνης στο πλάσμα πιο αποτελεσματικά στους ανθρώπους όταν υπάρχει αυτός ο συνδυασμός (Suzuki et al, 2017).

2.4.5 Οφέλη L- Κιτροουλίνης –Παράγοντας Συνολικής υγείας – Παθήσεις

Όπως έχουμε παρατηρήσει η μειωμένη βιοδιαθεσιμότητα του οξειδίου του αζώτου (NO), το αέριο το οποίο εμπλέκεται στη ρύθμιση πολλών ζωτικών βιολογικών λειτουργιών, μπορεί να προκαλέσει πολλαπλές ασθένειες που σχετίζονται με την ηλικία και το τρόπο ζωής. Έχει αναφερθεί παραπάνω ότι η L- αργινίνη, παρόλο που είναι πρόδρομος για τη σύνθεση του NO με συνθετάση ενδοθηλιακού-νιτρικού οξειδίου (eNOS), ως συμπλήρωμα είναι αναποτελεσματικό στην αύξηση των επιπέδων βιοδιαθεσιμότητας του NO λόγω γαστρεντερικής και ηπατικής εκχύλισης της L-αργινίνης (Schwedhelm et al, 2008). Από την άλλη μεριά έχουμε την L- κιτροουλίνη η οποία, λόγω του ότι δεν εξάγεται ποσοτικά από το γαστρεντερικό σωλήνα (δηλαδή τα εντεροκύτταρα) ή το ήπαρ, το συμπλήρωμά της είναι πιο αποτελεσματικό στην αύξηση των επιπέδων της L-αργινίνης και της σύνθεσης NO. Γενικά η L-κιτροουλίνη μέσα από έρευνες έχει δείξει ότι είναι ένας παράγοντας που προσφέρει πολλά οφέλη που θα δούμε παρακάτω, στη συνολική υγεία και πιο συγκεκριμένα με αυτό που θα ασχοληθούμε στη παρούσα έρευνα, την αθλητική απόδοση (Allerton et al, 2018).

Το ενδοθήλιο χαρακτηρίζεται ως ένα δυναμικό σύστημα όπου ο ρόλος του είναι κυρίαρχος στη διατήρηση της ομοιόστασης του καρδιαγγειακού συστήματος μέσω της ρύθμισης της ροής του αίματος και των μηχανισμών φλεγμονής και πήξης. Το ενδοθήλιο συμμετέχει σε πολύπλοκες δράσεις του οργανισμού αλλά και μέσω της βοήθει-

ας της σύνθεσης και απελευθέρωσης του μονοξειδίου του αζώτου (NO). Η εμφάνιση της ενδοθηλιακής δυσλειτουργίας γίνεται έντονη όταν οι φυσιολογικές λειτουργίες του ενδοθηλίου διαταράσσονται υπό την επίδραση του των παραγόντων του καρδιαγγειακού κινδύνου. Σε παρακάτω μελέτες θα παρατηρήσουμε ότι η ανίχνευση της ενδοθηλιακής δυσλειτουργίας και η παρέμβαση της στο πρώιμο στάδιο μέσω της βοήθειας της πρόσληψης του συμπληρώματος της L-κιτρουλίνη μπορεί να είναι αποτελεσματική στην αντιμετώπιση καρδιαγγειακών νοσημάτων (Verma et al, 2002).

Η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία, που σχετίζεται με την αντίσταση στην ινσουλίνη που προκαλείται από την παχυσαρκία, θεωρείται σημαντικός παράγοντας στην εμφάνιση και στην ανάπτυξη καρδιαγγειακών παθήσεων. Η διατροφή χοληστερόλης καθώς και οι παράγοντες που προέρχονται από λιποκύτταρα καθώς και η γήρανση έχουν επίσης επιπτώσεις στην δημιουργία και προώθηση της φλεγμονής χαμηλού βαθμού και επιδεινώνει περαιτέρω την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη καρδιαγγειακών παθήσεων (El-Kirsh et al, 2011).

Διάφορες μελέτες σε αρουραίους χρησιμοποιήθηκε, δίαιτα υψηλών λιπαρών και υψηλής χοληστερόλης. Μέσα από την έρευνα παρατηρήθηκε αύξηση των ηπατικών ενζύμων, γνωστά ως ασπαρτική αμινοτρανσφεράση (AST) και αλανίνη αμινοτρανσφεράση (ALT), ενδεικτική ηπατικής πίεσης και βλάβης. Ύστερα από θεραπεία πρόσληψης του στόματος L-κιτρουλίνη αυξήθηκαν τα επίπεδα λιποπρωτεΐνης υψηλής πυκνότητας (HDL), μείωσε τον ορό AST/ALT και επιβεβαιώθηκαν κάποιες μέτριες αλλά ευνοϊκές, δομικές αλλαγές στην ενδοθηλιακή δομή της θωρακικής αορτής. Τα παραπάνω δεδομένα υποστηρίζουν την ιδέα ότι η L-κιτρουλίνη μπορεί να βοηθήσει και να προστατεύσει τον οργανισμό από ηπατική βλάβη και ενδοθηλιακή δυσλειτουργία που προκαλείται από χρόνια έκθεση σε δίαιτα με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά ή υψηλή χοληστερόλη (El-Kirsh et al, 2011).

Τα εσωτερικά τοιχώματα των αιμοφόρων αγγείων του καρδιαγγειακού συστήματος φθείρονται με το πέρασμα των χρόνων τα τοιχώματα γίνονται σκληρότερα και έτσι το ενδοθήλιο χάνει την ελαστικότητά του. Έτσι δημιουργείται αθηροσκλήρωση εξαιτίας της συσσώρευσης λιπιδίων η πλάκας όπου εμφανίζεται πρόβλημα στένωσης των αρτηριών με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος καρδιαγγειακών παθήσεων και επεισόδια εμφράγματος. Εδώ, έρχεται το μονοξείδιο του αζώτου που έχει την

ικανότητα αγγειοδιασταλτικότητας και ευκαμψίας των αγγείων. Μέσω της πρόσληψης L- κιτροουλίνης αυξάνονται τα επίπεδα μονοξειδίου του αζώτου μειώνοντας με βάση τα παραπάνω η πιθανότητα εμφάνισης αθηροσκλήρωσης. (Hayashi et al, 2005).

Οι Barkhidarian, Khorshidi, Shab-Bidar, και ο Hashemi, πραγματοποίησαν μια έρευνα το 2019, που στόχος τους ήταν να εξεταστεί η επίδραση της L-κιτροουλίνης στην αρτηριακή πίεση (BP). Στην συγκεκριμένη έρευνα συμπεριλάμβαναν όλες τις βάσεις δεδομένων από την αρχή μέχρι τις 16 Νοεμβρίου του 2017 καθώς και 811 έγγραφα εκ των οποίων οκτώ δοκιμές με 10 σύνολα δεδομένων πληρούσαν τα κριτήρια συμπερίληψης. Το μέγεθος του δείγματος των περιλαμβανόμενων μελετών κυμαινόταν μεταξύ 12 και 34 ατόμων σε ισομετρική δοκιμασία κατά την οποία εξεταζόταν η δύναμη λαβής του χεριού σε θέση “crossover” ή σε παράλληλη θέση. Η μέση ηλικία των συμμετεχόντων σε αυτές τις δοκιμές κυμάνθηκε μεταξύ 22 και 71 ετών. Η δόση του συμπληρώματος L-κιτροουλίνης κυμαινόταν από 3 έως 9 g / ημέρα. Η διάρκεια της παρέμβασης ήταν 1 -17 εβδομάδες. Η ανάλυση της υποομάδας έδειξε σημαντική μείωση της διαστολικής (BP) σε μελέτες που χρησιμοποίησαν δόσεις ≥ 6 g / ημέρα ($p = 0,04$). Τα αποτελέσματά της έρευνας υποδηλώνουν ότι η συμπλήρωση L-κιτροουλίνης μπορεί να μειώσει τη συστολική BP. Σημαντική μείωση της διαστολικής BP παρατηρήθηκε μόνο στις μελέτες που χρησιμοποίησαν δόσεις ≥ 6 g/ημέρα (Barkhidarian et al, 2019).

2.4.6 Κιτροουλίνη και Αθλητική Απόδοση

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω οι συγκεντρώσεις κιτροουλίνης συμβάλλουν στην αύξηση των επιπέδων της αργινίνης που αυτό οδηγεί στη συνεχή παραγωγή νιτρικού οξειδίου. Τα μεγάλα ποσοστά αργινίνης και NO συναποτελούν σημαντικοί παράγοντες για την γενική υγεία του οργανισμού ειδικά στην καρδιαγγειακή και καρδιοαναπνευστική υγεία καθώς και στο μυϊκό σύστημα (Figueroa et al, 2017).

Η χορήγηση της κιτροουλίνης όταν γίνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα 6g τουλάχιστον για 7 ημέρες έχει δείξει ότι η συγκεκριμένη δοσολογία αποτελεί θετικό παράγοντα στη διαδικασία οξυγόνωσης των σκελετικών μυών κατά την άσκηση. Αυτό συμβαίνει, λόγω του ρόλου της κιτροουλίνης στην αύξηση της παραγωγής

μονοξειδίου του αζώτου αλλά και της περιφερικής αγγειοδιαστολής (Cutrufello et al, 2015).

Η κιτροουλίνη είναι ένα αμινοξύ που διώχνει μεγάλη ποσότητα αμμωνίας από τον οργανισμό μέσω της διαδικασίας του κύκλου της ουρίας. Η αμμωνία θεωρείται τοξική για τον οργανισμό και συνδέεται με τη δημιουργία μυϊκής κόπωσης όπου ευθύνεται για την παραγωγή γαλακτικού οξέος και για την αναερόβια γλυκόλυση. Έτσι μέσω της λήψης της L-κιτροουλίνης βελτιώνεται η πρόσληψη και κατανάλωση οξυγόνου ιδιαίτερα στους σκελετικούς μυς, καθώς μειώνεται και η παραγωγή γαλακτικού οξέος σηματοδοτώντας έτσι την αύξηση αθλητικής απόδοσης (Figuerola et al, 2017).

Αρχικά πρέπει να σημειωθεί η σημαντικότητα που έχει η χορήγηση και η δοσολογία του συμπληρώματος. Σε διάφορες μελέτες αποδεικνύεται η βελτίωση της κατανάλωσης οξυγόνου της ισχύος καθώς και της απόδοσης της άσκησης μέσω της πρόσληψης L-κιτροουλίνης με συγκεκριμένη δοσολογία 2,4 γραμμάρια ανά ημέρα για μία περίοδο οκτώ ημερών (Suzuki et al, 2016). Σε διάφορες έρευνες έχει σημειωθεί ότι η οξεία χορήγηση της L-κιτροουλίνης 6g, 1-3 ώρες πριν την άσκηση αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα και αναποτελεσματικό στο να αυξήσει την παραγωγή γαλακτικού ή να αυξήσει το αναερόβιο κατώφλι, αυξάνοντας έτσι τη ροή του αίματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην βελτιώνεται η διαδικασία της αγγειοδιαστολής μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την αθλητική απόδοση (Cutrufello et al, 2015). Συμπερασματικά σύμφωνα με τα παραπάνω είναι σημαντική η διάκριση οξείας και χρόνιας συμπλήρωσης L-κιτροουλίνης για να έχουμε θετικά αποτελέσματα στη γενική υγεία και αθλητική απόδοση του οργανισμού.

Σύμφωνα με έρευνες λόγω της αύξησης των επιπέδων του νιτρικού οξειδίου μέσω της συμβολής της L-κιτροουλίνης υπάρχει αύξηση του παράγοντα PGC-1α (Peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1α) στους σκελετικούς μυς που σηματοδοτεί αύξηση μυϊκής μάζας. Ο παράγοντας αυτός χαρακτηρίζεται για τη ρυθμιστική του ικανότητα στην αγγειογένεση, στην παραγωγή μιτοχονδρίου, στην ανάπτυξη των μυών, στον οξειδωτικό μεταβολισμό καθώς βοηθάει σημαντικά στην αναπροσαρμογή των μυών κατά την άσκηση. Αυτό σημαίνει βελτίωση αθλητικής ικανότητας καθώς και μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου επομένως έχουμε αύξηση της αθλητικής απόδοσης. Επίσης μέσω της αγγειογένεσης, που αναφέρθηκε παραπάνω,

υπάρχει διαρκή οξυγόνωση των μυών δηλαδή συνεχόμενη μεταφορά οξυγόνου και θρεπτικών ουσιών στους μυς όπου με αυτόν τον τρόπο γίνεται καλύτερη λειτουργία της ροής του αίματος στον οργανισμό (Villareal et al, 2018).

Υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι η οξεία κατάποση L-κιτροουλίνη αυξάνει το πλάσμα L-αργινίνη, το υπόστρωμα για την ενδοθηλιακή σύνθεση μονοξειδίου του αζώτου. Ωστόσο, η επακόλουθη οξεία βελτίωση στην παραγωγή μονοξειδίου του αζώτου και τη μεσολάβηση αγγειοδιαστολή είναι ασυνεπής, γεγονός που πιθανώς εξηγεί την αδυναμία της οξείας L-κιτροουλίνη ή καρπούζι για τη βελτίωση της ανοχής στην άσκηση. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η χρόνια συμπλήρωση της L-κιτροουλίνης αυξάνει τη σύνθεση μονοξειδίου του αζώτου, μειώνει την αρτηριακή πίεση, και μπορεί να αυξήσει τη ροή του περιφερικού αίματος. Αυτές οι αλλαγές παραλληλίζονται από βελτιώσεις στην οξυγόνωση των σκελετικών μυών και την απόδοση κατά τη διάρκεια της αντοχής της άσκησης. Η αντιυπερτασική δράση της L-κιτροουλίνης η χυμού καρπούζιού είναι εμφανής σε ενήλικες με προυπέρταση ή υπέρταση. Ωστόσο, το συμπλήρωμα L-κιτροουλίνη μπορεί να μετριάσει την ανταπόκριση της αρτηριακής πίεσης στην άσκηση (Figuerola et al, 2017).

2.4.7 Ο ρόλος της L-κιτροουλίνης στην αερόβια ικανότητα

Η επίδραση της L-κιτροουλίνης έχει μελετηθεί σε διάφορες αερόβιες καθώς και σε αναερόβιες δοκιμασίες. Στην παρούσα εργασία εμείς θα εστιάσουμε την επίδραση της L-κιτροουλίνης στην αερόβια άσκηση.

Έχει αναφερθεί παραπάνω όπως και στη συγκεκριμένη έρευνα ότι NO βελτιώνει την αθλητική απόδοση. Αυτό συμβαίνει διότι το NO είναι ρυθμιστής ροής του αίματος του μεταβολισμού της ενέργειας των μυών και της μιτοχονδριακής αναπνοής κατά τη διάρκεια της άσκησης. Η L-κιτροουλίνη είναι όπως έχει αναφερθεί παραπάνω ένας ισχυρός ενδογενής πρόδρομος της αργινίνης η οποία είναι υπόστρωμα για σύνθεση NO. Στη συγκεκριμένη μελέτη διερευνήθηκε από του στόματος L-κιτροουλίνης σε μια δοκιμασία ποδηλασίας σε ανθρώπους. Ως μέθοδος χρησιμοποιήθηκε μία διπλή τυφλή τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή με εικονικό φάρμακο. Το δείγμα έρευνας ήταν 22 εκπαιδευόμενοι άντρες με συγκεκριμένη δοσολογία L-κιτροουλίνης όπου ήταν 2,4 g/ημέρα ή εικονικό φάρμακο από το στόμα για 7 ημέρες. Την όγδοη ημέρα πήραν

2,4g κιτροουλίνης η εικονικό φάρμακο πριν από μία δοκιμαστική περίοδο 4 km ποδηλασίας. Μέσα από την έρευνα αξιολογήθηκε ο χρόνος που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση του κύκλου 4km μαζί με την αναλογία ισχύος/ μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (PO/VO_2), τα επίπεδα νιτρικού οξέος στο πλάσμα και αμινοξέων και τέλος οι βαθμολογίες οπτικής αναλογικής κλίμακας (VAS). Το αποτέλεσμα της έρευνας ήταν ότι μέσω της πρόσληψης L-κιτροουλίνης αυξήθηκαν τα επίπεδα L-αργινίνης στο πλάσμα και μειώθηκε ο χρόνος ολοκλήρωσης της δοκιμασίας κατά 1,5% ($p < 0,5$) σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο. Επίσης μειώθηκε η αίσθηση και εμφάνιση μυϊκής κόπωσης αμέσως μετά την άσκηση βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο τη μυϊκή αντοχή. Έτσι μέσω της L-κιτροουλίνης μειώθηκε ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας άσκησης εργονομικής δοκιμασίας ελέγχου (Suzuki et al, 2016).

Σε μια έρευνα του Hickner μελετήθηκε πόσο θα αυξηθούν τα ποσοστά της ινσουλίνης και γλυκόζης στο πλάσμα μέσω της συμπλήρωσης L- κιτροουλίνης. Η δοκιμασία περιλάμβανε συνεχόμενη εκτέλεση διαδρόμου μέχρι την εξάντληση όπου συμμετείχαν 17 νέοι (ηλικίας 18-34), υγιείς, άντρες και γυναίκες. Υπήρχαν δύο δοκιμές, η μία ήταν με εικονικό φάρμακο και η δεύτερη ήταν με συμπλήρωση L-κιτροουλίνης όπου ήταν 3g εντός 3 ωρών πριν από τη άσκηση καθώς ή 9g εντός 24 ωρών πριν από τη άσκηση. Παρατηρήθηκε ότι μειώθηκε ο χρόνος μέχρι εξαντλήσεως μέσω της L-κιτροουλίνης σε σχέση με το εικονικό φάρμακο κατά τη διάρκεια 24 ωρών πριν από την άσκηση. Επίσης παρατηρήθηκε ότι μετά από άσκηση υψηλής έντασης μέσω της L-κιτροουλίνης μειώθηκε η έκκριση ινσουλίνης με μεσολάβηση του νιτρικού οξειδίου (Hickner et al, 2006).

Σε μια άλλη έρευνα των Martinez και Sanchez το 2017 διερευνήθηκαν τα θετικά αποτελέσματα που μπορεί να επιφέρει ο χυμός καρπουζιού εμπλουτισμένο με L-κιτροουλίνη σε ημιμαραθώνιο αγώνα. Την πρώτη φορά που εκτέλεσαν τον ημιμαραθώνιο η ποσότητα του χυμού καρπουζιού που κατανάλωσαν οι δοκιμαζόμενοι, όπου ήταν και αθλητές, αποτελούνταν από 500ml με 3,45g L-κιτροουλίνης 2 ώρες πριν από τον ημιμαραθώνιο. Την δεύτερη φορά εκτέλεσαν τη δοκιμασία χωρίς δόση L- κιτροουλίνης μέσα στο χυμό. Η κατανάλωση του χυμού με την κιτροουλίνη έδειξε ότι μειώθηκε η συσσώρευση γαλακτικού οξέως στο αίμα με αποτέλεσμα να μειωθεί το αίσθημα της μυϊκής κόπωσης από 24 έως 72 ώρες.

Διάφορες ερευνητικές μελέτες εξετάζουν την απόδοση των αναπνευστικών μυών, όπως και έρευνες που αναλύουν τις θετικές επιδράσεις της κιτρουλίνης στην αθλητική απόδοση. Παρατηρείται όμως, ένα βιβλιογραφικό κενό αναφορικά με την χρήση του συγκεκριμένου συμπληρώματος στην απόδοση των αναπνευστικών μυών.

Συγκεκριμένα, η παρούσα μελέτη εκτελέστηκε με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της κιτρουλίνης στους αναπνευστικούς δείκτες εισπνευστική πίεση και κορεσμός οξυγόνου μετά από άσκηση των αναπνευστικών μυών μέχρι την εξάντληση σε αυξανόμενη ένταση.

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Επιλογή Δείγματος

Στο πείραμα συμμετείχαν 12 δοκιμαζόμενοι (N=12) σε έναν διπλά τυφλό, τυχαία διασταυρούμενο σχεδιασμό. Η επιλογή τους έγινε με κριτήριο α) να είναι 18-25 ετών και β) να είναι άνδρες. Οι δοκιμαζόμενοι ήταν ελεύθεροι αθλούμενοι, η συμμετοχή τους ήταν εθελοντική καθώς τους δόθηκε και συγκατάθεση αφού πρώτα ενημερώθηκαν για τις δοκιμασίες που θα ακολουθήσουν.

3.2 Αξιολόγηση δοκιμαζομένων

Στην πρώτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκαν ανθρωπομετρικές μετρήσεις. Οι δοκιμαζόμενοι αρχικά ζυγίστηκαν με ζυγαριά ακριβείας 100 γραμμαρίων καθώς μετρήθηκε και το ύψος τους σε αναστημόμετρο με ακρίβεια εκατοστού. Στην πρώτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης με σταδιακά αυξανόμενη πίεση μέχρι το σημείο όπου ο δοκιμαζόμενος δεν μπορούσε να υπερνικήσει την αντίσταση του μηχανήματος (K5 Powerbreath). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο εργοφυσιολογίας και σε χώρο εσωτερικό όπου η θερμοκρασία ήταν $23,2 \pm 3,6^{\circ}\text{C}$.

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά συμμετεχόντων

Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά	Mean	SD
Χρονολογική Ηλικία	24,8	4,6
Σωματικό Βάρος (kg)	75,7	6,7
Ύψος(cm)	1,78	0,07
Δείκτης Μάζας Σώματος	23,9	1,2

3.3 Πειραματικό πρωτόκολλο

Για την διερεύνηση του ερευνητικού ερωτήματος και την διεξαγωγή της μελέτης οι 12 δοκιμαζόμενοι μετρήθηκαν δύο φορές όπου μεσολαβούσαν πέντε μέρες ενδιάμεσα, ακολουθώντας κάθε φορά την ίδια διαδικασία. Αρχικά στους δοκιμαζόμενους εκτελούνταν ανθρωπομετρικές μετρήσεις, σωματικό βάρος και ύψος. Ύστερα η δοκιμασία συνεχίστηκε με τη μέτρηση του υγρού που δίνονταν στο δοκιμαζόμενο. Στην μία συνεδρία το υγρό περιείχε 6 gr L-κιτροουλίνης, 3 σταγόνες λεμόνι και 150ml νερό. Στην άλλη συνεδρία η πρόσληψη του υγρού ήταν ένα εικονικό σκεύασμα που αποτελούνταν από αλεύρι αντί για το συμπλήρωμα L-κιτροουλίνη. Στην πρώτη και στην δεύτερη συνάντηση η σειρά πρόσληψης της κιτροουλίνης σε σχέση με το εικονικό σκεύασμα επιλέγονταν τυχαία από τον ερευνητή, άρα η μελέτη χαρακτηρίζεται ως διπλά τυφλή από ερευνητή και εξεταζόμενο. Για να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη ποσότητα της L-κιτροουλίνης χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά ακριβείας γνωστή ως (Kern AES/AEJ). Έπειτα από τη τυχαία επιλογή της πρόσληψης του υγρού ακολουθούσε αναμονή μίας ώρας για να υπάρξει αύξηση της κιτροουλίνης και των νιτρικών οξειδίων στο αίμα. Ύστερα από μία ώρα παύσης πραγματοποιούνταν ξανά οι μετρήσεις. Στην συνέχεια ακολούθησε ένα πειραματικό πρωτόκολλο όπου έφτανε μέχρι την εξάντληση του δοκιμαζόμενου. Σε αυτό μετρούνταν οι αναπνοές μέχρι την εξάντληση. Η αντίσταση κατά το πρωτόκολλο αυτό εφαρμόζοταν μόνο κατά την φάση της εισπνοής ενώ η φάση της εκπνοής εκτελούνταν ανεμπόδιστα μέσα από το K5 Powerbreath. Στο πρωτόκολλο αυτό συμπεριλαμβάνονταν 3 στάδια εκ των οποίων το πρώτο είχε 30 κύκλους αναπνοής με αντίσταση ίση με το 70% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, το δεύτερο 30 κύκλους αναπνοής στο 80% της μέγιστης ενώ το τελευταίο στάδιο εκτελούνταν στο 90% της μέγιστης με αναπνοές μέχρι την εξάντληση. Η εξάντληση προσδιορίστηκε ως το σημείο στο οποίο ο δοκιμαζόμενος αδυνατούσε να υπερνικήσει την εξωτερική αντίσταση. Ακόμα άλλος ένας αναπνευστικός δείκτης που, μετρήθηκε μέσα από το μηχάνημα εγγύ υπέρυθρη φασματοσκοπία (NIRS), είναι ο δείκτης κορεσμού οξυγόνου με αυξανόμενη ένταση εισπνευστικής πίεσης. Με βάση τα παραπάνω και σε συνδυασμό με τις δύο επισκέψεις των εθελοντών οι διαφορετικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν 8 για τις βασικές παραμέτρους που εξετάστηκαν. Η μια ήταν κατά την άφιξη, η δεύτερη 1 ώρα μετά την πρόσληψη του υγρού, η τρίτη κατά την άσκηση μέχρι την εξάντληση και η τέταρτη και τελευταία μετά την εξάντληση

των εισπνευστικών μυών για κάθε μία από τις δύο συναντήσεις με τους ασκούμενους.

3.4 Όργανα Μέτρησης

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις γενικές μετρήσεις των ελεύθερων αθλουμένων ήταν τα εξής. Για το ύψος και το σωματικό τους βάρος χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονική ζυγαριά. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή του προπονητικού κύκλου αναπνευστικής λειτουργίας μιας εβδομάδας ήταν: Για τη μέτρηση του αναπνευστικού δείκτη της εισπνευστικής πίεσης μέχρι την εξάντληση χρησιμοποιήθηκε φορητό εργοσπειρόμετρο (K5, Powerbreath). Τέλος, για τη μέτρηση του δείκτη του O_2 από κατάσταση ηρεμίας σε αυξανόμενη ένταση 70%, 80%, 90% μέχρι την εξάντληση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος μέτρησης μυϊκής οξυγόνωσης, εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (Artinis, PortaLite, The Netherlands).

3.5 Στατιστική Ανάλυση

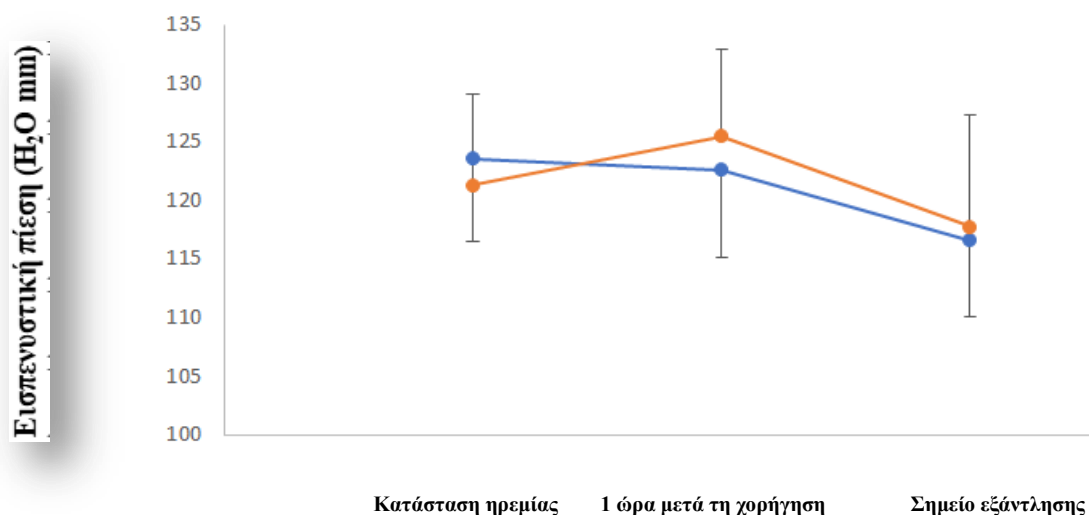
Για τη μέτρηση της στατιστικής ανάλυσης της εισπνευστικής πίεσης και του δείκτη κορεσμού οξυγόνου θα πραγματοποιείται με ανάλυση διακύμανσης (2-way ANOVA) με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον χρόνο [ομάδα (συμπλήρωμα και εικονικό σκεύασμα) x χρόνο (3 χρονικές στιγμές για εισπνευστική πίεση και 7 χρονικές στιγμές για δείκτη κορεσμού οξυγόνου)]. Τα δεδομένα θα παρουσιαστούν ως μέσος όρος $\pm$ τυπική απόκλιση (SD) και το επίπεδο σημαντικότητας θα οριστεί στο $\alpha=0,05$. Όλες οι στατιστικές αναλύσεις θα πραγματοποιηθούν με το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics 22.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αναπνευστικοί δείκτες (εισπνευστική πίεση και κορεσμός οξυγόνου) που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της οξείας επίδρασης L-κιτροουλίνης στην αναπνευστική απόδοση.

4.1 Εισπνευστική πίεση με και χωρίς L-κιτροουλίνη

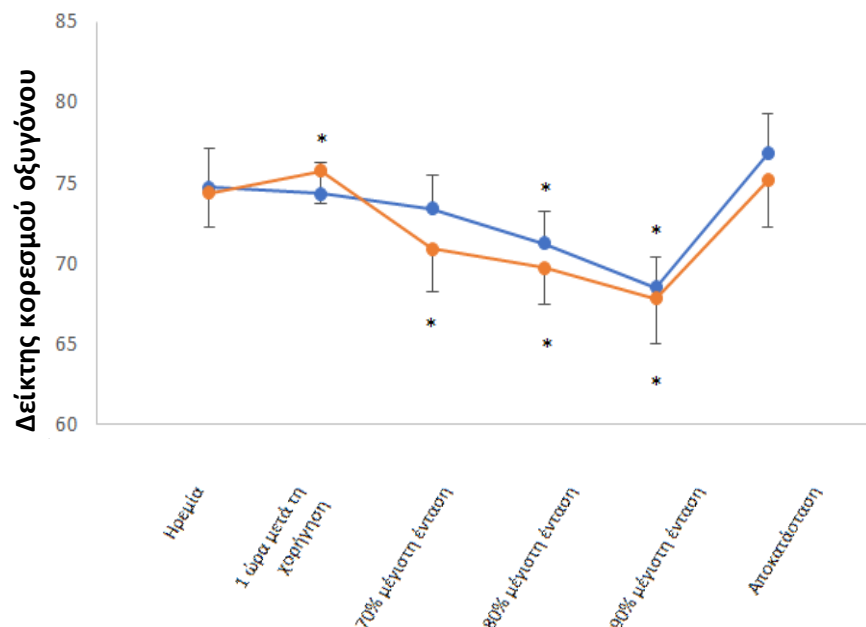
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η μέτρηση εισπνευστικής πίεσης σε χιλιοστά της στήλης H_2O mm μέσω του φορητού εργοσπειρόμετρου (K5, Powerbreath). Η δοκιμασία ξεκινάει από την κατάσταση ηρεμίας, μία ώρα μετά τη χορήγηση του συμπληρώματος L-κιτροουλίνης και στο τέλος έχουμε το σημείο εξάντλησης του δοκιμαζόμενου. Από το σχήμα (4.1) φαίνεται ότι δεν υπάρχει επίδραση του συμπληρώματος, παρόλαυτά υπάρχει μια μικρή αύξηση που όμως δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p>0,05$). Το σημείο που φαίνεται πιο έντονα η αύξηση εισπνευστικής πίεσης είναι μια ώρα μετά το συμπλήρωμα αλλά μέχρι και το σημείο εξάντλησης δεν υπάρχουν διαφορές στις μετρήσεις ανάμεσα στο εικονικό σκεύασμα και στο συμπλήρωμα.



Σχήμα 4.1 Εισπνευστική πίεση στην ηρεμία, 1 ώρα μετά τη λήψη του συμπληρώματος και μετά το τέλος της άσκησης για τις δύο συνθήκες, εικονικό σκεύασμα και L-κιτροουλίνη με μπλε και πορτοκαλί χρώμα αντίστοιχα σε άνδρες, N=12)

4.2 Δείκτης κορεσμού οξυγόνου με και χωρίς L-κιτροουλίνη

Στο σχήμα 4.2 έχουμε τη μέτρηση δείκτη κορεσμού οξυγόνου με αυξανόμενη ένταση μέχρι την αποκατάσταση. Μέσω της μεθόδου εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) γίνεται η δοκιμασία μέτρησης, στον στερνοκλειδομαστοειδή μύ, μυϊκής οξυγόνωσης. Μία ώρα μετά το συμπλήρωμα αρχίζει σταδιακή αύξηση του οξυγόνου με το συμπλήρωμα σε σχέση με το εικονικό σκεύασμα όπου πιο έντονη παρουσία οξυγόνου έχουμε στη ένταση 70%. Στη συνέχεια μετά το 80% και 90% της έντασης μέχρι την αποκατάσταση ο δείκτης κορεσμού οξυγόνου φαίνεται να είναι ίδιος και με το συμπλήρωμα και με το εικονικό σκεύασμα.



Σχήμα 4.1 Δείκτης κορεσμού οξυγόνου στον στερνοκλειδομαστοειδή μύ για τις δύο συνθήκες, εικονικό σκεύασμα (μπλε γραμμή) και κιτροουλίνη (πορτοκαλί γραμμή). * στατιστικά σημαντική διαφορά με τις τιμές ηρεμίας ($p < 0,05$)

V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε η οξεία επίδραση της L-κιτροουλίνης στο κορεσμό οξυγόνου κατά την άσκηση αναπνευστικών μυών. Έγινε αναφορά για πιθανή βελτίωση αναπνευστικών δεικτών χωρίς να υπάρχει όμως σε σχέση με το εικονικό σκεύασμα. Οι κύριοι αναπνευστικοί δείκτες που εξετάστηκαν στη συγκεκριμένη δοκιμασία ήταν ο δείκτης εισπνευστικής πίεσης από κατάσταση ηρεμίας μέχρι την εξάντληση και ο δείκτης κορεσμού οξυγόνου με αυξανόμενη ένταση μέχρι την εξάντληση. Οι παραπάνω μετρήσεις αναφορικά με την αναπνευστική λειτουργία δεν διαφοροποιήθηκαν στατιστικώς σημαντικά με την χρήση κιτροουλίνης σε σχέση με το εικονικό σκεύασμα κατά την ηρεμία και μια ώρα μετά την χορήγηση κιτροουλίνης επιβεβαιώνοντας με αυτό το τρόπο την ερευνητική μας υπόθεση. Στο σχήμα 4.1 στην αρχή παρατηρείται σταδιακή αύξηση του δείκτη εισπνευστικής πίεσης από τη κατάσταση ηρεμίας με τη χορήγηση του συμπληρώματος σε σχέση με το εικονικό σκεύασμα. Πιο έντονη αύξηση έχουμε μία ώρα μετά τη χορήγηση του συμπληρώματος χωρίς όμως η διαφορά να είναι μεγάλη και στατιστικά σημαντική έναντι του εικονικού σκευάσματος. Τέλος στο σημείο εξάντλησης παρατηρείται σταδιακή μείωση της εισπνευστικής πίεσης και με το συμπλήρωμα καθώς και με το εικονικό σκεύασμα χωρίς να υπάρχει μεταξύ τους διαφορά. Στο σχήμα 4.2 έχουμε τη μέτρηση δείκτη κορεσμού οξυγόνου με αυξανόμενη ένταση μέχρι την αποκατάσταση μέσω της μεθόδου (NIRS). Στην αρχή, στη κατάσταση ηρεμίας παρατηρείται μεγαλύτερο έλλειμμα οξυγόνου με το συμπλήρωμα της κιτροουλίνης. Μία ώρα μετά το συμπλήρωμα αρχίζει σταδιακή αύξηση του οξυγόνου με το συμπλήρωμα σε σχέση με το εικονικό σκεύασμα όπου πιο έντονη παρουσία οξυγόνου έχουμε στη ένταση 70%. Στη συνέχεια μετά το 80% και 90% της έντασης μέχρι την αποκατάσταση ο δείκτης κορεσμού οξυγόνου φαίνεται να είναι ίδιος και με το συμπλήρωμα και με το εικονικό σκεύασμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι, ήταν πρακτικά αδύνατο να σημειωθούν στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα στις συγκεκριμένες παραμέτρους λόγω του μικρού αριθμού δείγματος ($n=12$) και του περιορισμένου συνολικού χρόνου της έρευνας αφού με βάση την στατιστική ανάλυση υπήρχε ελάχιστη διαφορά στην απόδοση αναπνευστικής λειτουργίας.

Από τη μία έχουμε ότι η χορήγηση L-κιτροουλίνης, μέσα από τη σύνοψη της παραπάνω βιβλιογραφίας, βοηθάει στην αθλητική απόδοση και στην αερόβια ικανότητα. Σε

έρευνα του Suzuki και των συνεργατών του το 2016 σε προπόνηση αντοχής ποδηλασίας 4km με αυξανόμενη ένταση μέχρι την εξάντληση βελτίωσε τη μυϊκή αντοχή. Σε μια άλλη έρευνα των Martinez και Sanchez το 2017, δόθηκε χορήγηση του συμπληρώματος μία ώρα πριν τον ημιμαραθώνιο όπου παρουσιάστηκε μείωση της συσσώρευσης του γαλακτικού οξέως, άρα καθυστέρηση μυϊκής κόπωσης. Τέλος, σε μια έρευνα του Hickner το 2006, με προπόνηση δαπεδοεργόμετρου, μέχρι εξαντλήσεως με αυξανόμενη ένταση, εμφάνισε καθυστέρηση μυϊκής κόπωσης και μειώθηκε η έκκριση ινσουλίνης με μεσολάβηση του NO. Από την άλλη έχουμε ένα βιβλιογραφικό κενό αναφορικά με την χρήση του συγκεκριμένου συμπληρώματος στην απόδοση των αναπνευστικών μυών. Και στη συγκεκριμένη έρευνα που πραγματοποιήθηκε με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της κιτρουλίνης στους αναπνευστικούς δείκτες εισπνευστική πίεση και κορεσμός οξυγόνου μετά από άσκηση των αναπνευστικών μυών μέχρι την εξάντληση σε αυξανόμενη ένταση που ήταν άσκηση αναπνευστικών μυών μέσω εργογόνων μηχανημάτων δηλαδή, εκτελείται με αντίσταση μέσω κάποιας συσκευής στο στόμα του ασκούμενου δεν υπηρξάν σημαντικά στατιστικά αποτελέσματα βελτίωσης ($p < 0,05$).

VI. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο συγκεκριμένο πειραματικό πρωτόκολλο, η κιτροουλίνη δεν φάνηκε να προσφέρει κάποια στατιστικά σημαντική αύξηση του αριθμού των αναπνοών μέχρι την εξάντληση σε σχέση με την χρήση εικονικού σκευάσματος. Τα αποτελέσματα αυτά ενδεχομένως να οφείλονται εν μέρη στον μικρό αριθμού δείγματος ($n=12$). Το πρωτόκολλο άσκησης που χρησιμοποιήθηκε δεν προκάλεσε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα εισπνευστικής πίεσης και κορεσμού οξυγόνου ($p<0,05$). Το συμπέρασμα που διαπιστώθηκε από τη συγκεκριμένη έρευνα είναι ότι η L-κιτροουλίνη δε μπορεί να διατηρήσει το ποσοστό οξυγόνου και να καθυστερήσει τη παρουσία της κόπωσης από άσκηση αναπνευστικών μυών μέχρι την εξάντληση. Ένα διαφορετικό ερευνητικό πρωτόκολλο με μεγαλύτερο δείγμα θα έδειχνε με μεγαλύτερη σαφήνεια την επιρροή της κιτροουλίνης σε επαναλαμβανόμενες συστολές των αναπνευστικών μυών κατά την άσκηση μέχρι την εξάντληση. Τέλος, ένα πρωτόκολλο άσκησης των αναπνευστικών μυών με μεγαλύτερη διάρκεια έρευνας σε συνδυασμό με χρόνια λήψη συμπληρώματος κιτροουλίνης, παραπάνω από μία εβδομάδα που ήταν η συγκεκριμένη έρευνα, μπορεί να παρουσίαζε μεγαλύτερη θετική επιρροή στους αναπνευστικούς δείκτες και στη παρουσία μεγαλύτερου ποσοστού οξυγόνου άρα καλύτερη αναπνευστική λειτουργία κατά την άσκηση μέχρι την εξάντληση.

VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alfawaz, H.A., Khan, N., AlOteabi, N., Hussain, S.D., and Al-Daghri, N.M. (2017). Awareness and Attitude Toward Use of Dietary Supplements and the Perceived Outcomes Among Saudi Adult Male Members of Fitness Centers in Saudi Arabia. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2018 May 3:1-6.

Aliverti, A. (2016). *The respiratory muscles during exercise Breathe*, 12(2), 165-168.

Allerton, T. D., Proctor, D. N., Stephens, J. M., Dugas, T. R., Spielmann, G., & Irving, B. A. (2018). *L-Citrulline supplementation: impact on cardiometabolic health. Nutrients*, 10(7), 921

American College of Sports Medicine: *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Wolters Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins, 9th Edition, 2013.

American College of Sports Medicine: *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Wolters Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins, 7th Edition, 2013.

American Thoracic Society. 1991. *Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies*. ATS Statement. Am. Rev. Respir. Dis. 144:1202–1218.

Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB. *Textbook of Work Physiology. Physiological basis of Exercise*. Champagne, IL: Human Kinetics, 2003; pp.127-176.

Bahri, S., Zerrouk, N., Aussel, C., Moinard, C., Crenn, P., Curis, E., .. & Sfar, S. (2013). *Citrulline: from metabolism to therapeutic use*. Nutrition, 29(3), 479-484.

Bailey, S. J., Blackwell, J. R., Lord, T., Vanhatalo, A., Winyard, P. G., & Jones, A. M. (2015). *L-citrulline supplementation improves O2 uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans*. Journal of Applied Physiology, 119(4), 385-395.

Bains, K. N. S., Kashyap, S., & Lappin, S. L. (2020). *Anatomy, Thorax, Diaphragm*. StatPearls [Internet].

- Barkhidarian, B., Khorshidi, M., Shab-Bidar, S., & Hashemi, B. (2019). *Effects of L-citrulline supplementation on blood pressure: A systematic review and meta-analysis*. *Avicenna journal of phytomedicine*, 9(1), 10.
- Bassuk, S. S., Church, T. S., & Manson, J. E. (2013). *Why exercise works magic*. *Scientific American*, 309(2), 74-79.
- Barstow, T. J. (2019). *Understanding near infrared spectroscopy and its application to skeletal muscle research*. *Journal of Applied Physiology*, 126(5), 1360-1376.
- Belafsky, P. C., & Lintzenich, C. R. (2013). *Development, anatomy, and physiology of the pharynx*. In *Principles of Deglutition* (pp. 165-173). Springer, New York, NY.
- Bickley LS, Szilagyi PG. *Bates' Guide to Physical Examination and History Taking*, 11th ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins: 2013.
- Botchlett, R., Lawler, J. M., & Wu, G. (2019). *L-Arginine and l-citrulline in sports nutrition and health*. In *Nutrition and enhanced sports performance* (pp. 645-652). Academic Press.
- Bredt, D. S. (1999). *Endogenous nitric oxide synthesis: biological functions and pathophysiology*. *Free radical research*, 31(6), 577-596.
- Cahalin, L. P., & Arena, R. A. (2015). *Breathing exercises and inspiratory muscle training in heart failure*. *Heart failure clinics*, 11(1), 149-172.
- Clark, T. C., Tinsley, J., Sigholt, T., Macqueen, D. J., & Martin, S. A. M. (2020). *Arginine, ornithine and citrulline supplementation in rainbow trout: Free amino acid dynamics and gene expression responses to bacterial infection*. *Fish & Shellfish Immunology*, 98, 374-390.
- Corbin Charles B., Lindsey Ruth & Welk Greg (2001). *Άσκηση – Ευρωστία και Υγεία* (10^η έκδοση). (Β. Κλεισούρας, επιμέλεια έκδοσης). Αθήνα: Εκδόσεις Πασχαλίδη (έτος πρωτότυπης έκδοσης 2000).

Cottin, F., Papelier, Y., & Escourrou, P. (1999). *Effects of exercise load and breathing frequency on heart rate and blood pressure variability during dynamic exercise. International journal of sports medicine*, 20(04), 232-238

Coviello JS, Auscultation Skills: *Breath & Heart Sounds*. 5th Ed. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins: 2013

Curis, E., Nicolis, I., Moinard, C., Osowska, S., Zerrouk, N., Bénazeth, S., & Cynober, L. (2005). *Almost all about citrulline in mammals*. *Amino acids*, 29(3), 177.

Cutrufello, P. T., Gadowski, S. J., & Zavorsky, G. S. (2015). *The effect of l-citrulline and watermelon juice supplementation on anaerobic and aerobic exercise performance*. *Journal of sports sciences*, 33(14), 1459-1466.

Davis, A. R., Webber, C. L., Fish, W. W., Wehner, T. C., King, S., & Perkins-Veazie, P. (2011). L-citrulline levels in watermelon cultivars tested in two environments. *HortScience*, 46(12), 1572-1575.

Effros, R. M. (2006). *Anatomy, development, and physiology of the lungs GI Motility online*.

El-Kirsh, A. A. A., Abd El-Wahab, H. M. F., & Abd-Allah Sayed, H. F. (2011). *The effect of L-arginine or L-citrulline supplementation on biochemical parameters and the vascular aortic wall in high-fat and high-cholesterol-fed rats*. *Cell biochemistry and function*, 29(5), 414-428.

Fentem, P. H. (1994) ABC of sports medicine. *Benefits of exercise in health and disease*. *BMJ*, 308(6939):1291-5

Ferrari, M., Mottola, L., & Quaresima, V. (2004). *Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy*. *Canadian journal of applied physiology*, 29(4), 463-487.

Figuroa, A., Wong, A., Jaime, S. J., & Gonzales, J. U. (2017). *Influence of L-citrulline and watermelon supplementation on vascular function and exercise performance*. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 20(1), 92-98.

Fox, S. (2015). *Human physiology*. McGraw-Hill Education.

Gonzalez, A. M., & Trexler, E. T. (2020). *Effects of Citrulline Supplementation on Exercise Performance in Humans: A Review of the Current Literature*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 34(5), 1480-1495.

Hayashi, T., Juliet, P. A., Matsui-Hirai, H., Miyazaki, A., Fukatsu, A., Funami, J., .. & Ignarro, L. J. (2005). *l-Citrulline and l-arginine supplementation retards the progression of high-cholesterol-diet-induced atherosclerosis in rabbits*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(38), 13681-13686.

He, H. Y., Henderson, A. C., Du, Y. L., & Ryan, K. S. (2019). *Two-Enzyme Pathway Links l-Arginine to Nitric Oxide in N-Nitroso Biosynthesis*. Journal of the American Chemical Society, 141(9), 4026-4033.

Hickner, R. C., Tanner, C. J., Evans, C. A., Clark, P. D., Haddock, A., Fortune, C. H. R. I. S., .. & McCammon, M. I. C. H. A. E. L. (2006). *L-citrulline reduces time to exhaustion and insulin response to a graded exercise test*. Medicine and science in sports and exercise, 38(4), 660-666.

Huang, M., Wang, T., Wang, X., & Zhao, X. (2019). *An anatomical study of the right bronchial tree using multi-detector computed tomography*. Surgical and Radiologic Anatomy, 41(3), 335-338.

Ionescu, C. M. (2013). *The human respiratory system: an analysis of the interplay between anatomy, structure, breathing and fractal dynamics*. Springer Science & Business Media.

Jaeger, J. M., Titus, B. J., & Blank, R. S. (2019). *Essential anatomy and physiology of the respiratory system and the pulmonary circulation*. In Principles and practice of anesthesia for thoracic surgery (pp. 65-92). Springer, Cham.

Jawadi, A.H., Addar, A.M., Alazzam, A.S., Alrabieah, F.O., Alsheikh, A.S.A., Amer, R.R., Aldrees, A.A.S., Turki, M.A.A., Osman, A.K., Badri, M. (2017). *Prevalence of Dietary Supplements Use among Gymnasium Users*. Journal of Nutrition and Metabolism, 2017:9219361.

Jones, A. M. (2016). *Dietary nitric oxide precursors and exercise performance*. Sports Sci. Exchange, 28(156), 1-6.

Κλεισούρας Β., Γελαδάς Ν., Κοσκολού Μ. *Εργομετρία*, Broken Hill Publishers, Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδη, Αθήνα, 2015.

Κλεισούρας Β. (2011). *Εργοφυσιολογία* (11^η έκδοση). Αθήνα: Εκδόσεις Πασχαλίδη

Lekeux, P., & Art, T. (1994). *The respiratory system: anatomy, physiology, and adaptations to exercise and training*. In *The Athletic Horse: principles and practice of equine sports medicine* (pp. 79-127). WB Saunders, Philadelphia.

Levitzky, M. G. (2018). *Pulmonary physiology* (No. 1, pp. 1-viii). : McGraw-Hill Education.

Manley, A. F. (1996). *Physical activity and health: a report of the surgeon general*. Diane Publishing.

Martínez-Sánchez, A., Ramos-Campo, D. J., Fernández-Lobato, B., Rubio-Arias, J. A., Alacid, F., & Aguayo, E. (2017). *Biochemical, physiological, and performance response of a functional watermelon juice enriched in L-citrulline during a half-marathon race*. Food & Nutrition Research, 61(1), 1330098.

McArdle, Katch I., Katch L. (επιμέλεια Κλεισούρας) «*Φυσιολογία της Άσκησης*», τόμοι I και II, Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα, 2001.

McGeown, J.G. (2009). *Συνοπτική φυσιολογία του ανθρώπου*. Εκδόσεις ΠΧ Πασχαλίδης, Αθήνα.

McKinley-Barnard, S., Andre, T., Morita, M., & Willoughby, D. S. (2015). *Combined L-citrulline and glutathione supplementation increases the concentration of markers indicative of nitric oxide synthesis*. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 12(1), 1-8.

Minnich, D. J., & Mathisen, D. J. (2007). *Anatomy of the trachea, carina, and bronchi*. Thoracic surgery clinics, 17(4), 571-58

Mitchell, W. K., Phillips, B. E., Wilkinson, D. J., Williams, J. P., Rankin, D., Lund, J. N., .. & Atherton, P. J. (2017). *Supplementing essential amino acids with the nitric oxide precursor, l-arginine, enhances skeletal muscle perfusion without impacting anabolism in older men*. *Clinical Nutrition*, 36(6), 1573-1579.

Mitsuhashi, S. (2014). *Current topics in the biotechnological production of essential amino acids, functional amino acids, and dipeptides*. *Current opinion in biotechnology*, 26,

Mygind, N., & Dahl, R. (1998). *Anatomy, physiology and function of the nasal cavities in health and disease*. *Advanced drug delivery reviews*, 29(1-2), 3-12.

Naifeh, K. H. (1994). *Basic anatomy and physiology of the respiratory system and the autonomic nervous system*. In *Behavioral and psychological approaches to breathing disorders* (pp. 17-45). Springer, Boston, MA.

Netter Frank H.: *Atlas of Human Anatomy*. 5thEd. Saunders, 2011

Patwa, A., & Shah, A. (2015). *Anatomy and physiology of respiratory system relevant to anaesthesia*. *Indian journal of anaesthesia*, 59(9), 533.

Pérez-Guisado, J., & Jakeman, P. M. (2010). *Citrulline malate enhances athletic anaerobic performance and relieves muscle soreness*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1215-1222.

Proctor, D. F., & Chang, J. C. (2017). *Comparative anatomy and physiology of the nasal cavity*. In *Nasal Tumors in Animals and Man Vol. I* (pp. 1-34). CRC Press.

Rahimlou, M., Ramezani, A., Mahdipour, M., Palimi, E., & Moradipoodeh, B. (2020). *Reduction of Muscle Injuries and Improved Post-exercise Recovery by Branched-Chain Amino Acid Supplementation: A Systematic Review and Meta-Analysis*. *Journal of Nutrition, Fasting and Health*, 8(1), 1-16.

Rajapakse, N. W., Giam, B., Kuruppu, S., Head, G. A., & Kaye, D. M. (2019). *Impaired l-arginine-nitric oxide pathway contributes to the pathogenesis of resistant hypertension*. *Clinical Science*, 133(20), 2061-2067.

Rosen, L. M., Yamamoto, L. G., & Wiebe, R. A. (1989). Pulse oximetry to identify a high-risk group of children with wheezing. *The American journal of emergency medicine*, 7(6), 567-570.

Salgueiro, R. B., Gerlinger-Romero, F., Guimarães-Ferreira, L., de Castro Barbosa, T., & Nunes, M. T. (2017). *Exercise training reverses the negative effects of chronic L-arginine supplementation on insulin sensitivity*. *Life sciences*, 191, 17-23.

Schaefer, A., Piquard, F., Geny, B., Doutreleau, S., Lampert, E., Mettauer, B., & Lonsdorfer, J. (2002). *L-arginine reduces exercise-induced increase in plasma lactate and ammonia*. *International journal of sports medicine*, 23(06), 403-407.

Schneider, K. L., & Yahia, N. (2019). *Effectiveness of Arginine Supplementation on Wound Healing in Older Adults in Acute and Chronic Settings: A Systematic Review*. *Advances in skin & wound care*, 32(10), 457-462.

Schwedhelm, E., Maas, R., Freese, R., Jung, D., Lukacs, Z., Jambrecina, A., .. & Böger, R. H. (2008). *Pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of oral L-citrulline and L-arginine: impact on nitric oxide metabolism*. *British journal of clinical pharmacology*, 65(1), 51-59.

Sinha AK, Singh SK. Overview on Anatomy of Human Respiratory System. In: Singh SK, editor. *Human Respiratory Viral Infections*. CRC Press: Taylor & Francis Group, LLC; 2014. p. 3-16.

Suzuki, T., Morita, M., Hayashi, T., & Kamimura, A. (2017). *The effects on plasma L-arginine levels of combined oral L-citrulline and L-arginine supplementation in healthy males*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 81(2), 372-375.

Suzuki, T., Morita, M., Kobayashi, Y., & Kamimura, A. (2016). *Oral L-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: Double-blind randomized placebo-controlled 2-way crossover study*. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1),

Θεοδωράκου Κ. (2010). *Γυμναστική: Μία πολύπλευρη προσέγγιση*. Αθήνα: Εκδόσεις Τελέθριον.

Thomas, D. D., Ridnour, L. A., Isenberg, J. S., Flores-Santana, W., Switzer, C. H., Donzelli, S., .. & Colton, C. A. (2008). *The chemical biology of nitric oxide: implications in cellular signaling*. Free Radical Biology and Medicine, 45(1), 18-31.

Thompson, C., Jones, A. M., & Bailey, S. J. (2019). *Nitric oxide precursors*. Dietary Supplementation in Sport and Exercise: Evidence, Safety and Ergogenic Benefits, 99.

Vander, A., Sherman, J., Luciano, D., & Τσακόπουλος, Μ. (2001). Φυσιολογία του ανθρώπου. *Αθήνα, Ιατρικές Εκδόσεις ΠΧ Πασχαλίδης*.

Verma, S., & Anderson, T. J. (2002). *Fundamentals of endothelial function for the clinical cardiologist*. Circulation, 105(5), 546-549.

Villareal, M. O., Matsukawa, T., & Isoda, H. (2018). *l-Citrulline Supplementation-Increased Skeletal Muscle PGC-1α Expression Is Associated with Exercise Performance and Increased Skeletal Muscle Weight*. Molecular nutrition & food research, 62(14), 1701043.

Wang, Y., Hu, S., Maslov, K., Zhang, Y., Xia, Y., & Wang, L. V. (2011). *In vivo integrated photoacoustic and confocal microscopy of hemoglobin oxygen saturation and oxygen partial pressure*. Optics letters, 36(7), 1029-1031.

Wax, B., Kavazis, A. N., Weldon, K., & Sperlak, J. (2015). *Effects of supplemental citrulline malate ingestion during repeated bouts of lower-body exercise in advanced weightlifters*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 29(3), 786-792.

Webb, G.P. (2007). *Nutritional supplements and conventional medicine: What should the physician know?* The Proceedings of the Nutrition Society, 66(4), 471-478.

Williams, M. H. (1993). *Nutritional supplements for strength trained athletes*. Sports Science. Exchange 6: 1-7. (42)

Williams, M. H. (1994). *The use of nutritional ergogenic aids in sports: is it an ethical issue? International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 4: 120-131. (44)

Wong, E., & Carter, V. (2018). *The Short Term Effects of L-Arginine on Blood Lactate Levels and Performance During Submaximal Exercise*.

Χερουβείμ, Ε. (2018). *Ο ρόλος της μυϊκής οξυγόνωσης στον καθορισμό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου* (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού. Τομέας Αθλητιατρικής και Βιολογίας της Άσκησης)

Xuan, C., Lun, L. M., Zhao, J. X., Wang, H. W., Wang, J., Ning, C. P., .. & He, G. W. (2015). *L-citrulline for protection of endothelial function from ADMA-induced injury in porcine coronary artery*. Scientific Reports, 5, 10987.