



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ & ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ”**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διερεύνηση της διακύμανσης της μυϊκής οξυγόνωσης του
τετρακεφάλου κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη φάση
καθίσματος με μπάρα**

Κωνσταντίνος Μαυρίδης [Α.Ε.Μ. 13057]

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία-υποβλήθηκε στο Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος στη «Φυσιολογία της Άσκησης & Προπονητική» στην Ειδίκευση “Φυσιολογία της Άσκησης”

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλης Μούγιος, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Θεσσαλονίκης Α.Π.Θ.

2ο Μέλος: Αθανάσιος Χατζηνικολάου, Αναπληρωτής Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Α.Π.Θ.

3ο Μέλος: Ανατολή Πετρίδου, Μέλος Ε.Δι.Π. Τ.Ε.Φ.Α.Α. Θεσσαλονίκης Α.Π.Θ.

Κομοτηνή, 2023



DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

SCHOOL OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE

DEPARTMENT OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE

POSTGRADUATE PROGRAM

"EXERCISE PHYSIOLOGY & SPORTS TRAINING SCIENCE"

MASTER DISSERTATION

Investigation of the variation of quadriceps muscle oxygenation during the eccentric and concentric phases of high-bar back squat

Konstantinos Mavridis [R.N. 13057]

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Master's Degree in "Exercise Physiology and Sports Training Science" of the Department of Physical Education and Sport Science, Democritus University of Thrace, specialized in Exercise Physiology

COMMITTEE OF EXAMINERS

Supervisor: Vassilis Mougios, Professor D.P.E.S.S. – AUTH Thessaloniki

Member 2: Athanasios Chatzinikolaou, Associate Professor D.P.E.S.S. - DUTH

Member 3: Anatoli Petridou, Laboratory Teaching Staff D.P.E.S.S. - AUTH Thessaloniki

Komotini, 2023

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

“I wish it need not have happened in my time,” said Frodo.

“So do I”, said Gandalf, *“and so do all who live to see such times. But that is not for them to decide. All we have to decide is what to do with the time that is given to us.”*

J. R. R. Tolkien, *Lord of the Rings*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Προς τον κύριο Βασίλη Μούγιο:

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κύριο Βασίλη Μούγιο για την πολύτιμη επίβλεψη και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Η ευφυΐα και η έξυπνη προσέγγισή του στον τομέα της βιοχημείας της άσκησης με ενέπνευσαν και με καθοδήγησαν σε κάθε βήμα της έρευνάς μου. Η προθυμία του να με βοηθήσει πάντα με τον δικό του μοναδικό τρόπο έκανε την εμπειρία μου αξέχαστη. Είναι πρότυπο για εμένα και αναγνωρίζω την τεράστια συνεισφορά του στην επιτυχία της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Προς την κυρία Ανατολή Πετρίδου:

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Ανατολή Πετρίδου για την ανεκτίμητη συνδρομή της και τον σημαντικό ρόλο που διαδραμάτισε στην μεταπτυχιακή μου εργασία. Η ευγένεια και η διάθεσή της να με βοηθήσει τόσο στο θεωρητικό όσο και στο πρακτικό κομμάτι με συγκίνησαν. Οι παρατηρήσεις και οι διορθώσεις της ήταν πάντα εύστοχες και αποτελούσαν για εμένα έναν ενδιαφέροντα τρόπο να με βελτιώσει. Η συνεχής της υποστήριξη και η επιμονή της να με καθοδηγεί είχαν μεγάλο αντίκτυπο στην πρόοδο της εργασίας μου.

Προς τον κύριο Αθανάσιο Χατζηνικολάου:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Αθανάσιο Χατζηνικολάου για την υποστήριξη που μου παρείχε και για την επιστημονική του καθοδήγηση στο θεωρητικό μέρος της εργασίας μου. Η ευγενική και επαγγελματική του προσέγγιση, μαζί με το ενδιαφέρον για τη συνεργασία μας, προσέδωσαν εξαιρετική ποιότητα στη συνεργασία μας. Οι γνώσεις του στην προπονητική αποτέλεσαν πολύτιμη προσθήκη στην έρευνά μου και η προσωπική του πρότυπη στάση ως μέλους της εξεταστικής επιτροπής με επηρέασε θετικά.

Προς την οικογένειά μου:

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω την αγαπημένη μου οικογένεια για την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τον πατέρα μου, που πάντα ήταν δίπλα μου όταν χρειαζόμουν υποστήριξη για οποιοδήποτε σχέδιό μου. Τη μητέρα μου, που πάντα με υποστήριζε και ενθάρρυνε να ακολουθήσω τις σπουδές που με ενδιέφεραν. Και τον αδερφό μου, ο οποίος πάντα με ενίσχυε προσφέροντάς μου τα δικά του όταν μου ήταν αναγκαία. Η αγάπη και η υποστήριξή σας ήταν πολύτιμες για να φθάσω ως εδώ.

Προς τους εθελοντές:

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τους εθελοντές που αφιλοκερδώς συνεισέφεραν στην έρευνά μου. Η αφοσίωσή τους και η πλήρης συνεργασία τους συνέβαλαν στο να μην υπάρχει κανένα πρόβλημα κατά την πειραματική διαδικασία. Η παρουσία τους ήταν πολύτιμη και συνέβαλε στην επιτυχή ολοκλήρωση του πειράματος.

Προς τους διδάσκοντες στο ΤΕΦΑΑ:

Θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες προς τους διδάσκοντες στο ΤΕΦΑΑ Θεσσαλονίκης οι οποίοι επέτρεψαν τη συμμετοχή ατόμων από τα μαθήματά τους ως εθελοντών στο πείραμά μου. Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Κωνσταντίνο Καζακλή, διδάσκοντα της ειδικότητας άρσης βαρών, για την εξαιρετική του συνεργασία και τον ενθουσιασμό του στην υποστήριξη των εθελοντών. Η παροτρυντική του προσέγγιση και η ανοιχτή του στάση έπαιξαν σημαντικό ρόλο στο να επιτραπεί η συμμετοχή τους. Η χαρά του να βοηθήσει ήταν πραγματικά απίστευτη.

Επαναλαμβάνοντας τις ευχαριστίες μου, εκφράζω σε όλους τους παραπάνω την ευγνωμοσύνη μου για την πολύτιμη υποστήριξη και συμβολή τους, που έκαναν την μεταπτυχιακή μου εργασία πραγματικά αξέχαστη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μαυρίδης Κωνσταντίνος: Διερεύνηση της διακύμανσης της μυϊκής οξυγόνωσης του τετρακεφάλου κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη φάση καθίσματος με μπάρα

(Με την επίβλεψη του Καθηγητή Βασίλη Μούγιου)

Η τεχνολογία της φασματοσκοπίας εγγύς υπερύθρου (NIRS) χρησιμοποιείται πολύ στη μελέτη της οξυγόνωσης του μυϊκού ιστού πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άσκηση, με χρήση τα τελευταία χρόνια και στην άσκηση με αντιστάσεις. Σκοπός της έρευνας ήταν να εξετάσει την οξυγόνωση τριών μυών του τετρακεφάλου (έξω πλατύ, έσω πλατύ και ορθού μηριαίου) κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη φάση στο κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα. 18 νέοι υγιείς άνδρες εκτέλεσαν 5 σετ (2 σετ προθέρμανσης και 3 κύρια σετ στο βάρος που αντιστοιχεί σε 15 μέγιστες επαναλήψεις), με 15 επαναλήψεις σε κάθε σετ και 2 min παθητικής αποκατάστασης μεταξύ των σετ. Τρεις συσκευές NIRS τοποθετήθηκαν στον ορθό μηριαίο, στον έσω πλατύ και στον έξω πλατύ η καθεμία. Κατά τη διάρκεια του πρωτοκόλλου παρακολουθούνταν συνεχώς ο μυϊκός κορεσμός οξυγόνου (SmO_2), η ολική αιμοσφαιρίνη (tHb) κι η καρδιακή συχνότητα (ΚΣ). Μετά από κάθε σετ πλην του 1ου μετριόταν το γαλακτικό του αίματος και η αρτηριακή πίεση. Για την ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε ANOVA με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $\alpha = 0,05$. Η κινητική του SmO_2 έδειξε σταδιακή πτώση κατά τη διάρκεια κάθε σετ, με σχετική σταθεροποίηση στο μέσο περίπου του σετ, και σταδιακή επάνοδο σε υψηλή τιμή κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης. Ο έξω πλατύς είχε μικρότερες τιμές από τον έσω πλατύ και τον ορθό μηριαίο σε ό,τι αφορά την αρχική τιμή, την τελική τιμή και την πτώση του SmO_2 μέσα σε κάθε σετ. Από σετ σε σετ, η αρχική τιμή και η πτώση αυξάνονταν, ενώ η τελική τιμή μειώνονταν. Επίσης, υπήρξε αλληλεπίδραση μύος και σετ στην αρχική και τελική τιμή ($p < 0,001$), αλλά όχι στην πτώση του SmO_2 ($p = 0,072$). Στον χρόνο ημιζωής του SmO_2 (δηλαδή τον χρόνο αποκατάστασης που χρειαζόταν για να φτάσει ο SmO_2 τον μέσο όρο της τιμής του τέλους ενός σετ και της τιμής της αρχής του επόμενου σετ) βρήκαμε κύρια επίδραση μόνο του σετ ($p = 0,017$), με τον χρόνο ημιζωής να αυξάνεται από σετ σε σετ. Βρήκαμε κυματισμό του SmO_2 μέσα σε κάθε επανάληψη και στους τρεις εξετασθέντες μύς του τετρακεφάλου, δηλαδή αύξηση κατά την έκκεντρη (καθοδική) φάση και μείωση κατά τη σύγκεντρη (ανοδική) φάση. Η κινητική

της tHb έδειξε μικρή πτώση στα πρώτα δευτερόλεπτα κάθε σετ, αύξηση στον έξω πλατύ, σχετική σταθεροποίηση στον έσω πλατύ και πτώση στον ορθό μηριαίο στη συνέχεια του σετ (με κυματισμό), και μικρή πτώση στον έξω πλατύ ή αύξηση στον έσω πλατύ κι ορθό μηριαίο κατά την αποκατάσταση. Ο ορθός μηριαίος είχε μικρότερες τιμές tHb από τον έξω πλατύ και τον έσω πλατύ σε ό,τι αφορά την αρχική και τελική τιμή. Από σετ σε σετ, η αρχική τιμή αυξανόταν, ενώ η τελική τιμή δεν μεταβάλλονταν. Επιπλέον, υπήρξε αλληλεπίδραση μύος και σετ στην τελική τιμή ($p = 0,027$). Η tHb είχε αντίθετες μεταβολές από τον SmO_2 μέσα σε κάθε επανάληψη, δηλαδή μείωση στην καθοδική κι αύξηση στην ανοδική φάση. Η αρχική, τελική και μέση ΚΣ, καθώς και η μεταβολή της ΚΣ μέσα σε κάθε σετ είχαν αυξητική τάση στα σετ προθέρμανσης, ενώ στα κύρια σετ παρέμεναν σχετικά σταθερές. Η συστολική πίεση μειώνονταν σταδιακά μετά από κάθε σετ, ενώ η διαστολική παρέμενε σταθερή. Τέλος, το γαλακτικό του αίματος έδειξε αύξηση από σετ σε σετ ($p < 0,001$), καταλήγοντας στα $9,9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Κατά την εκτέλεση σετ καθίσματος με μπάρα, το οξυγόνο των μυών του τετρακεφάλου εξαντλούνταν σε μεγάλο βαθμό και αναπληρωνόταν γρήγορα μεταξύ των σετ. Αυτό, σε συνδυασμό με τη μικρή αύξηση του γαλακτικού του αίματος από σετ σε σετ, υποδεικνύει μεγάλη συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού. Για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία, αναφέρουμε κυματισμό της μυϊκής οξυγόνωσης μέσα σε κάθε επανάληψη με τρόπο που ανταποκρίνεται στο μέγεθος της στιγμιαίας ενεργειακής απαίτησης, δηλαδή αύξηση κατά την καθοδική φάση και μείωση κατά την ανοδική, ενώ η μυϊκή αιμάτωση είχε αντίθετο κυματισμό.

Λέξεις κλειδιά: Άσκηση με αντιστάσεις, έκκεντρη φάση, κάθισμα με μπάρα, κυματισμός μυϊκού κορεσμού οξυγόνου, μυϊκός κορεσμός οξυγόνου, ολική αιμοσφαιρίνη, σύγκεντρη φάση, φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου

ABSTRACT

Mavridis Konstantinos: Investigation of the variation of quadriceps muscle oxygenation during the eccentric and concentric phases of high-bar back squat

(Under the supervision of Professor Vassilis Mougios)

Near-infrared spectroscopy (NIRS) technology is widely used in the study of muscle tissue oxygenation before, during and after exercise, with use also in resistance exercise in recent years. The aim of this study was to investigate the oxygenation of three quadriceps muscles (vastus lateralis, vastus medialis, and rectus femoris) during the eccentric and concentric phases of high-bar back squat. 18 young healthy men performed 5 sets (2 warm-up sets and 3 main sets at the weight corresponding to 15 maximal repetitions), with 15 repetitions in each set and 2 min of passive recovery between sets. Three NIRS devices were each placed on rectus femoris, vastus medialis, and vastus lateralis. Muscle oxygen saturation (SmO_2), total hemoglobin (tHb), and heart rate (HR) were continuously monitored during the protocol. After each set except the 1st one, blood lactate and arterial blood pressure were measured. Repeated measures ANOVA was performed for data analysis. The significance level was set at $\alpha = 0.05$. SmO_2 kinetics showed a progressive decrease during each set, with relative stabilization about half way through the set, and a progressive return to a high value during recovery. Vastus lateralis had lower values than vastus medialis and rectus femoris in terms of starting value, final value, and SmO_2 drop within each set. From set to set, the starting value and the drop increased, while the final value decreased. There was also an interaction of muscle and set in the starting and final values ($p < 0.001$), but not in the SmO_2 drop ($p = 0.072$). Regarding SmO_2 half-life (i.e., the recovery time needed for SmO_2 to reach the average of the final value of one set and the starting value of the next set), we found a main effect of set only ($p = 0.017$), with half-life increasing from set to set. We found SmO_2 undulation within each repetition in all three examined quadriceps muscles, that is, an increase during the eccentric (descending) phase and a decrease during the concentric (ascending) phase. tHb kinetics showed a slight decrease during the first seconds of each set, an increase in VL, relative stabilization in VM and decrease in RF during the rest of the set (with undulation), and a slight decrease in VL or increase in VM and RF during recovery. Rectus femoris had lower tHb values than vastus

lateralis and vastus medialis in terms of starting and final values. From set to set, the starting value increased, while the final value did not change. In addition, there was an interaction of muscle and set in the final value ($p = 0.027$). tHb had reverse changes from SmO₂ within each repetition, i.e., a decrease during the descending phase and an increase during the ascending phase. Starting, final, and mean HR values, as well as the change in HR within each set had an increasing trend in the warm-up sets, while remaining relatively stable in the main sets. Systolic pressure gradually decreased after each set, while diastolic pressure remained constant. Finally, blood lactate exhibited a gradual increase from set to set ($p < 0.001$), ending in $9.9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. During barbell squatting sets, oxygen of the quadriceps muscles was largely depleted and rapidly replenished between sets. This, combined with the small increase in blood lactate from one set to another, suggests a large contribution of aerobic metabolism. For the first time in the literature, we report an undulation of muscle oxygenation within each repetition in a manner corresponding to the magnitude of the instantaneous energy demand, i.e., an increase during the descending phase and a decrease during the ascending phase, whereas muscle perfusion had an opposite undulation.

Key words: Barbell squat, concentric phase, eccentric phase, NIRS, resistance exercise, SmO₂, tHb, undulation of SmO₂

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΦΙΕΡΩΣΗ	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	8
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	13
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	15
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
1.1. Τι είναι η NIRS	19
1.2. Τι είναι η συσκευή Moxy	20
1.3. Έρευνες με χρήση Moxy στην άσκηση με αντιστάσεις	21
1.4. Έρευνες με χρήση NIRS στην άσκηση με αντιστάσεις.....	21
1.5. Γαλακτικό αίματος	28
1.6. Σκοπός της έρευνας	28
1.7. Ερευνητικές υποθέσεις.....	29
1.8. Οριοθετήσεις και περιορισμοί.....	29
1.9. Ορισμοί και συντομογραφίες	29
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	30
2.1. Συμμετέχοντες.....	30
2.2. Ηθική και δεοντολογία.....	30
2.3. Πιλοτικές μετρήσεις	30
2.4. Υλικά.....	33
2.5. Μετρήσεις	33
2.6. Επεξεργασία δεδομένων.....	37
2.7. Στατιστική ανάλυση	39
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	40
3.1. Αρχικά χαρακτηριστικά εθελοντών	40
3.2. Χαρακτηριστικά εξωτερικής επιβάρυνσης	43
3.3. SmO ₂	44
3.3.1. Έξω πλατύς	44
3.3.2. Έσω πλατύς	54
3.3.3. Ορθός μηριαίος.....	61
3.3.4. Σύγκριση μεταβολών SmO ₂ μεταξύ μυών και σετ.....	67
3.3.5. Σύγκριση χρόνων επανοξυγόνωσης και ημιζωής SmO ₂ μεταξύ μυών και σετ	69

3.4. tHb	71
3.4.1. Έξω πλατύς	71
3.4.2. Έσω πλατύς	80
3.4.3. Ορθός μηριαίος.....	86
3.4.4. Σύγκριση μεταβολών tHb μεταξύ μυών και σετ.....	92
3.5. Κυματισμός μυϊκής οξυγόνωσης και αιμάτωσης	93
3.5.1. Έξω πλατύς	93
3.5.2. Έσω πλατύς	97
3.5.3. Ορθός μηριαίος.....	101
3.6. Καρδιακή συχνότητα.....	105
3.7. Αρτηριακή πίεση	107
3.8. Γαλακτικό αίματος	110
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	112
4.1. SmO ₂	112
4.2. tHb	114
4.3. Κυματισμός μυϊκής οξυγόνωσης και αιμάτωσης	115
4.4. Καρδιακή συχνότητα.....	116
4.5. Αρτηριακή πίεση	116
4.6. Γαλακτικό αίματος	116
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	117
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	120

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Αρχική (αριστερά) και τελική θέση της καθοδικής κίνησης του εθελοντή 35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Πρωτόκολλο δοκιμασίας.....	36
Πίνακας 2. Χρόνοι μέτρησης γαλακτικού στο αίμα.....	37
Πίνακας 3. Σύγκριση ποσοστών απόκλισης μεθόδων.....	38
Πίνακας 4. Δημογραφικά και σωματομετρικά χαρακτηριστικά των εθελοντών.....	40
Πίνακας 5. Πόδι εφαρμογής του Moxy και δερματοπτυχές του.....	41
Πίνακας 6. Καρδιακά δεδομένα ηρεμίας.....	42
Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά εξωτερικής επιβάρυνσης.....	43
Πίνακας 8. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών SmO ₂ για τον έξω πλατύ.....	44
Πίνακας 9. Αρχικός SmO ₂ , τελικός SmO ₂ και πτώση του SmO ₂ του έξω πλατύ στα 5 σετ.....	46
Πίνακας 10. Πρότυπα εθελοντών SmO ₂ για τον έξω πλατύ.....	50
Πίνακας 11. Χρόνος επανοξυγόνωσης και ημιζωής μετά από κάθε σετ στον έξω πλατύ.....	53
Πίνακας 12. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών SmO ₂ για τον έσω πλατύ.....	54
Πίνακας 13. Αρχικός SmO ₂ , τελικός SmO ₂ και πτώση του SmO ₂ του έσω πλατύ στα 5 σετ.....	56
Πίνακας 14. Πρότυπα εθελοντών SmO ₂ για τον έσω πλατύ.....	57
Πίνακας 15. Χρόνος επανοξυγόνωσης και ημιζωής μετά από κάθε σετ στον έσω πλατύ.....	60
Πίνακας 16. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών SmO ₂ για τον ορθό μηριαίο.	61
Πίνακας 17. Αρχικός SmO ₂ , τελικός SmO ₂ και πτώση του SmO ₂ του ορθού μηριαίου στα 5 σετ.....	63
Πίνακας 18. Πρότυπα εθελοντών SmO ₂ για τον ορθό μηριαίο.....	64
Πίνακας 19. Χρόνος επανοξυγόνωσης και ημιζωής μετά από κάθε σετ στον ορθό μηριαίο.....	67
Πίνακας 20. Σημαντικές διαφορές της αρχικής τιμής του SmO ₂ μεταξύ των τριών μυών και των πέντε σετ.....	68
Πίνακας 21. Σημαντικές διαφορές της τελικής τιμής του SmO ₂ μεταξύ των τριών μυών και των πέντε σετ.....	69
Πίνακας 22. Χρόνος επανοξυγόνωσης των τριών μυών.....	70
Πίνακας 23. Χρόνος ημιζωής των τριών μυών.....	70

Πίνακας 24. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών tHb για τον έξω πλατύ.....	71
Πίνακας 25. Αρχική tHb, τελική tHb και μεταβολή της tHb του έξω πλατύ στα 5 σετ	73
Πίνακας 26. Πρότυπα εθελοντών tHb για τον έξω πλατύ.....	77
Πίνακας 27. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών tHb για τον έσω πλατύ.....	80
Πίνακας 28. Αρχική tHb, τελική tHb και μεταβολή της tHb του έσω πλατύ στα 5 σετ.....	82
Πίνακας 29. Πρότυπα εθελοντών tHb για τον έσω πλατύ.....	83
Πίνακας 30. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών tHb για τον ορθό μηριαίο.....	86
Πίνακας 31. Αρχική tHb, τελική tHb και μεταβολή της tHb του ορθού μηριαίου.....	88
Πίνακας 32. Πρότυπα εθελοντών tHb για τον ορθό μηριαίο.....	89
Πίνακας 33. Σημαντικές διαφορές της τελική τιμής της tHb μεταξύ των τριών μυών.....	93
Πίνακας 34. Αρχική, τελική, μέση καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) και μεταβολή της.....	107
Πίνακας 35. Χρόνος μέτρησης και αρτηριακή πίεση μετά από κάθε σετ.....	108
Πίνακας 36. Γαλακτικό αίματος μετά από κάθε σετ.....	110

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Κινητική του SmO ₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.	45
Σχήμα 2. Πρότυπο Α της κινητικής του SmO ₂ μέσα σε ένα σετ.....	46
Σχήμα 3. Πρότυπο Β της κινητικής του SmO ₂ μέσα σε ένα σετ.....	47
Σχήμα 4. Πρότυπο Γ της κινητικής του SmO ₂ μέσα σε ένα σετ.....	47
Σχήμα 5. Πρότυπο Δ της κινητικής του SmO ₂ μέσα σε ένα σετ.....	48
Σχήμα 6. Πρότυπο Ε της κινητικής του SmO ₂ μέσα σε ένα σετ.....	48
Σχήμα 7. Πρότυπο ΣΤ της κινητικής του SmO ₂ μέσα σε ένα σετ.....	49
Σχήμα 8. Κινητική του SmO ₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	51
Σχήμα 9. Κινητική του SmO ₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	51
Σχήμα 10. Κινητική του SmO ₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ.	52
Σχήμα 11. Κινητική του SmO ₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ.	52
Σχήμα 12. Κινητική του SmO ₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3 ^{ου} κύριου σετ.	53
Σχήμα 13. Κινητική του SmO ₂ του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.	55
Σχήμα 14. Πρότυπο Ζ της κινητικής του SmO ₂ μέσα σε ένα σετ.....	56
Σχήμα 15. Κινητική του SmO ₂ του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	58
Σχήμα 16. Κινητική του SmO ₂ του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	58
Σχήμα 17. Κινητική του SmO ₂ του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ	59
Σχήμα 18. Κινητική του SmO ₂ του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ	59
Σχήμα 19. Κινητική του SmO ₂ του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3 ^{ου} κύριου σετ	59
Σχήμα 20. Κινητική του SmO ₂ του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.	62
Σχήμα 21. Πρότυπο Η της κινητικής του SmO ₂ μέσα σε ένα σετ.....	63
Σχήμα 22. Κινητική του SmO ₂ του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	65
Σχήμα 23. Κινητική του SmO ₂ του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	65
Σχήμα 24. Κινητική του SmO ₂ του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ.	66

Σχήμα 25. Κινητική του SmO ₂ του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ.	66
Σχήμα 26. Κινητική του SmO ₂ του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 3ου κύριου σετ.	67
Σχήμα 27. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.	72
Σχήμα 28. Πρότυπο Α της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ.....	73
Σχήμα 29. Πρότυπο Β της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ.....	74
Σχήμα 30. Πρότυπο Δ της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ.....	74
Σχήμα 31. Πρότυπο Ε της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ.....	75
Σχήμα 32. Πρότυπο Ζ της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ.....	75
Σχήμα 33. Πρότυπο Η της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ.....	76
Σχήμα 34. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	78
Σχήμα 35. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.....	78
Σχήμα 36. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ... ..	79
Σχήμα 37. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ... ..	79
Σχήμα 38. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3 ^{ου} κύριου σετ... ..	80
Σχήμα 39. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.	81
Σχήμα 40. Πρότυπο Γ της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ.....	82
Σχήμα 41. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	84
Σχήμα 42. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	84
Σχήμα 43. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ... ..	85
Σχήμα 44. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ... ..	85
Σχήμα 45. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3 ^{ου} κύριου σετ... ..	86
Σχήμα 46. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.	87
Σχήμα 47. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	90
Σχήμα 48. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	90
Σχήμα 49. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ.	91

Σχήμα 50. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ.	91
Σχήμα 51. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 3 ^{ου} κύριου σετ.	92
Σχήμα 52. Κινητική SmO ₂ και tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.	94
Σχήμα 53. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	95
Σχήμα 54. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.	95
Σχήμα 55. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ.	96
Σχήμα 56. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ.	96
Σχήμα 57. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3 ^{ου} κύριου σετ.	97
Σχήμα 58. Κινητική SmO ₂ και tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.	98
Σχήμα 59. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.....	99
Σχήμα 60. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.....	99
Σχήμα 61. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ.	100
Σχήμα 62. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ.....	100
Σχήμα 63. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3 ^{ου} κύριου σετ.....	101
Σχήμα 64. Κινητική SmO ₂ και tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.....	102
Σχήμα 65. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} σετ προθέρμανσης.....	103
Σχήμα 66. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} σετ προθέρμανσης.....	103
Σχήμα 67. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1 ^{ου} κύριου σετ.....	104
Σχήμα 68. Κινητική του SmO ₂ και της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} κύριου σετ.....	104

Σχήμα 69. Κινητική του SmO_2 και της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 3 ^{ου} κύριου σετ.....	105
Σχήμα 70. Κινητική καρδιακής συχνότητας κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης.....	106
Σχήμα 71. Γαλακτικό αίματος μετά από κάθε σετ.....	111

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 η φασματοσκοπία εγγύς υπερώθρου (near-infrared spectroscopy, NIRS) έχει χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη του μυϊκού οξειδωτικού μεταβολισμού κατά την άσκηση σε διάφορες συνθήκες. Ένα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί, πέρα από την ισομετρική, και κατά τη δυναμική άσκηση. Ακόμα, έχουν δημοσιευτεί ανασκοπήσεις πάνω στη μεθοδολογία, στις ιατρικές και πρακτικές εφαρμογές της NIRS (Hamaoka & McCully, 2019; Miranda-Fuentes et al., 2021; Perrey & Ferrari, 2018). Από την κυκλοφορία στην αγορά, το 2006, φορητών, ασύρματων και με χαμηλό κόστος συσκευών, η τεχνολογία NIRS έχει λάβει μεγάλη δημοτικότητα στη μελέτη της οξυγόνωσης του μυϊκού ιστού πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άσκηση σε εργαστηριακές συνθήκες και σε συνθήκες πεδίου, με χρήση τα τελευταία χρόνια και στην άσκηση με αντιστάσεις (Miranda-Fuentes et al., 2021; Perrey & Ferrari, 2018).

1.1. Τι είναι η NIRS

Η NIRS είναι μια μη επεμβατική τεχνική η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει τη συγκέντρωση μορίων που έχουν την ικανότητα να απορροφούν υπέρυθρο φως (ενώσεις με χρωμοφόρες ομάδες) και βρίσκονται σε βιολογικούς ιστούς. Στις ενώσεις αυτές συγκαταλέγεται η αίμη στην οξυγονωμένη κι αποξυγονωμένη μορφή της. Με αυτόν τον τρόπο, η NIRS μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τον οξειδωτικό μεταβολισμό και για την ισορροπία μεταξύ παροχής και κατανάλωσης οξυγόνου (Barstow, 2019; Hamaoka & McCully, 2019; Jones et al., 2016). Το φως στην περιοχή της εγγύς υπερώθρου ($\approx 700-900$ nm) μπορεί να διαπεράσει αρκετά χιλιοστά μυϊκού ιστού, όπου τα κύρια χρωμοφόρα που το απορροφούν είναι η αιμοσφαιρίνη (hemoglobin, Hb), η μυοσφαιρίνη (myoglobin, Mb) και η οξειδάση του κυτοχρώματος c (cytochrome c oxidase, Cox), οι οποίες περιέχουν αίμη ως προσθετική ομάδα. Επειδή η συγκέντρωση της Cox στον μυϊκό ιστό των θηλαστικών είναι $\approx 5\%$ ή λιγότερο σε σύγκριση με την Hb και τη Mb, οι κύριες πηγές απορρόφησης είναι η αίμη των δυο πρώτων (Barstow, 2019). Όμως, επειδή η Hb και η Mb έχουν παρόμοιο φάσμα απορρόφησης, η NIRS δεν μπορεί να κάνει διάκριση μεταξύ αυτών, με την παρούσα βιβλιογραφία να δείχνει μια μεγαλύτερη συμμετοχή της συγκέντρωσης της Mb έναντι της Hb στον μυϊκό ιστό (Hamaoka & McCully, 2019).

Στους βιολογικούς ιστούς υπάρχει διασπορά του φωτός, όταν τα φωτόνια συναντάνε κύτταρα και ενδοκυτταρικά οργανίδια, η οποία αυξάνει το μήκος διαδρομής του καθιστώντας πιθανή την εμφάνιση ψευδώς μεγαλύτερης απορρόφησης ή απώλεια ακτινών ορισμένων συχνοτήτων. Έτσι ο νόμος των Beer-Lambert (που δίνει πληροφορίες για την εξασθένηση του φωτός σε ένα μέσο όπου δεν υπάρχει διασπορά) τροποποιήθηκε για να ληφθούν υπόψη αυτές οι επιπτώσεις στην εξασθένηση του φωτός (Barstow, 2019). Η σχετική ισχύς σήματος της αίμης επιτρέπει τον προσδιορισμό τεσσάρων βασικών μεταβλητών της: οξυγονωμένη, αποξυγονωμένη, ολική (η οποία ορίζεται ως το άθροισμα των δυο προηγούμενων) και κορεσμός οξυγόνου (ο οποίος ορίζεται ως οξυγονωμένη/ολική x 100).

1.2. Τι είναι η συσκευή Moxy

Η συσκευή Moxy είναι μια φορητή συσκευή της εταιρείας Idiaag (Fehraltorf, Switzerland), που χρησιμοποιεί την τεχνολογία NIRS, και πιο συγκεκριμένα την τεχνολογία συνεχούς κύματος, και παρέχει πληροφορίες για την οξυγόνωση του μυός. Ακτινοβολία από την περιοχή του εγγύς υπερύθρου (680-800 nm) στέλνεται από τον πομπό εντός του βιολογικού ιστού, ταξιδεύοντας μέσω επιδερμίδας, δέρματος, υποδόριου λίπους και φτάνοντας στον μυϊκό ιστό. Λόγω σκέδασης, μια ημικυκλική πορεία του φωτός καταλήγει μέσω υποδόριου λίπους, δέρματος κι επιδερμίδας στον δέκτη της συσκευής. Εκεί, η συσκευή ανιχνεύει τι μέρος της ακτινοβολίας έχει απορροφηθεί και, επειδή η οξυγονωμένη κι η αποξυγονωμένη αίμη έχουν διαφορετικά φάσματα απορρόφησης, υπολογίζει τις τέσσερις προαναφερθείσες μεταβλητές (Fiortiori Design LLC, 2018).

Το γεγονός ότι η συσκευή Moxy είναι μικρή, φορητή και ασύρματη, καθιστά τη χρησιμότητά της μεγάλη. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε συνθήκες εργαστηρίου όσο και σε συνθήκες πεδίου. Επίσης, είναι μη επεμβατική, καθιστώντας τις μετρήσεις ακόμα πιο εύκολες. Η συσκευή Moxy παρέχει δυο μετρήσεις. Η πρώτη είναι ο μυϊκός κορεσμός οξυγόνου (SmO_2), ο οποίος ορίζεται ως το ποσοστό των συνολικών θέσεων πρόσδεσης οξυγόνου στα μόρια ενός μεταφορέα οξυγόνου τα οποία καταλαμβάνονται από οξυγόνο (Mougiou, 2020), και παρέχει πληροφορίες αναφορικά με την ισορροπία μεταξύ παροχής και κατανάλωσης οξυγόνου στον μυ, σε πραγματικό χρόνο. Η δεύτερη είναι η «ολική αιμοσφαιρίνη» (tHb), η οποία είναι μια μέτρηση σε αυθαίρετες μονάδες που αντιστοιχεί στη συνολική συγκέντρωση αίμης (οξυγονωμένης κι αποξυγονωμένης)

στον ιστό. Επειδή όμως η συνολική ποσότητα αίμης μέσα στις μυϊκές ίνες δεν μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης, μεταβολές στη συνολική συγκέντρωση αίμης αντανακλούν μεταβολές στην ποσότητα της αιμοσφαιρίνης μέσα στα αιμοφόρα αγγεία, εξ ου κι ο όρος tHb. Έτσι, η tHb μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση αύξησης ή μείωσης της αιμάτωσης του μυϊκού ιστού, δηλαδή αλλαγών στον όγκο αίματος.

1.3. Έρευνες με χρήση Moxy στην άσκηση με αντιστάσεις

Η συσκευή Moxy έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορα πρωτόκολλα άσκησης με αντιστάσεις και έχει δώσει σημαντικές πληροφορίες για τον μυϊκό μεταβολισμό. Έχουν γίνει μετρήσεις σε πρωτόκολλα από 60 ως 85% της μιας μέγιστης επανάληψης (1ME), 4-16 επαναλήψεις, σε παραδοσιακά ή cluster σετ (σετ με ενδιάμεσα διαλείμματα), σε μία ή πολλές ασκήσεις, περισσότερο στα κάτω άκρα και λιγότερα στα άνω άκρα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αφορούν τον SmO₂, την ταχύτητα αποξυγόνωσης και επανοξυγόνωσης του εξεταζόμενου μυός, την προσφορά και ζήτηση οξυγόνου, αλλαγές στην tHb και την αιμοδυναμική κατάσταση (Davis et al., 2020; Gómez-Carmona et al., 2020; Guardado et al., 2021; Timon et al., 2018). Κατανοώντας τις αλλαγές στον μεταβολισμό του ασκούμενου μυός, μπορεί να γίνει πιο στοχευμένη προπόνηση, οδηγώντας σε μεγαλύτερη απόδοση του ασκούμενου. Έτσι, η συσκευή Moxy μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί ο ιδανικός αριθμός επαναλήψεων και το διάλειμμα ανάμεσα στα σετ βάσει του SmO₂ ηρεμίας, της κατώτερης τιμής του SmO₂ κατά την άσκηση και της διακύμανσης της tHb κατά την άσκηση (Fiortiori Design LLC, 2018).

1.4. Έρευνες με χρήση NIRS στην άσκηση με αντιστάσεις

Παρακάτω γίνεται ανασκόπηση ερευνών με χρήση της NIRS στην άσκηση με αντιστάσεις. Αρχικά, αναφέρονται ασκήσεις για το άνω μέρος του σώματος (πιέσεις στήθους σε οριζόντιο πάγκο με μπάρα, κωπηλατικό μηχάνημα με υποστήριξη στον θώρακα, πιέσεις στήθους σε επικλινή πάγκο με μπάρα, έλξεις τροχαλίας, κωπηλατική με μπάρα και κλειστή λαβή) και, στη συνέχεια, ασκήσεις για το κάτω μέρος του σώματος (καθίσματα, εκτάσεις γόνατος σε μηχάνημα και εκτάσεις γόνατος σε ισοκινητικό δυναμόμετρο).

Το 2021 ο Guardado και οι συνεργάτες του (2021) πραγματοποίησαν έρευνα σε 12 προπονημένους ασκούμενους με σκοπό να μελετήσουν τις διαφορές της μυϊκής

οξυγόνωσης μεταξύ παραδοσιακών και cluster σετ (όπως περιγράφονται παρακάτω) στους μυς του θώρακα. Οι ασκούμενοι εκτέλεσαν πιέσεις στήθους σε οριζόντιο πάγκο με μπάρα, σε κωπηλατικό μηχάνημα με υποστήριξη στον θώρακα, πιέσεις στήθους σε επικλινή πάγκο με μπάρα, έλξεις τροχαλίας, κωπηλατική με μπάρα και κλειστή λαβή, σε τρεις διαφορετικές συνθήκες. Το παραδοσιακό πρωτόκολλο αποτελούνταν από 4 σετ των 6 επαναλήψεων στο 85% της 1ΜΕ με 120 δευτερόλεπτα διάλειμμα μεταξύ των σετ. Το ένα πρωτόκολλο με cluster set αποτελούνταν από 3 μπλοκ των 2 επαναλήψεων με διάλειμμα 15 δευτερόλεπτα μεταξύ των μπλοκ και 80 δευτερόλεπτα μεταξύ των σετ ενώ το άλλο πρωτόκολλο με cluster set αποτελούνταν από 1 σετ των 24 επαναλήψεων με 15 δευτερόλεπτα διάλειμμα μεταξύ των επαναλήψεων. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στο τέταρτο μεσοπλεύριο διάστημα και αξιολογήθηκε ο SmO₂ (μέση και κατώτερη τιμή) κατά τη διάρκεια της άσκησης. Και στις τρεις συνθήκες, ο SmO₂ δεν διαφοροποιήθηκε (ούτε για τη μέση, ούτε για την κατώτερη τιμή), με τις τιμές να ξεκινάνε από 50,8%, 52,1%, 45,2% (πρώτο σετ, μέση τιμή SmO₂) και να καταλήγουν στο 50,1%, 53,0%, 46,6% (τέταρτο σετ, μέση τιμή SmO₂). Αυτό μπορεί να συνέβη διότι οι ασκούμενοι διέθεταν ένα υψηλό προπονητικό επίπεδο και ήταν συνηθισμένοι στην προπόνηση μέχρι την εξάντληση, με αποτέλεσμα να έχουν αναπτύξει έναν ισχυρό αναερόβιο μεταβολισμό.

Όσον αφορά τα καθίσματα, σε μια μελέτη (Davis et al., 2020) οι ερευνητές θέλησαν να εξετάσουν τις διαφορές στη μυϊκή οξυγόνωση μεταξύ του καθίσματος με τη μπάρα πίσω από τον αυχένα και του καθίσματος με τη μπάρα μπροστά από τον τράχηλο. Έντεκα ασκούμενοι με εμπειρία στην άσκηση με αντιστάσεις εκτέλεσαν 3 σετ των 15 επαναλήψεων στο 70% της 1ΜΕ στις δύο παραπάνω συνθήκες. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν διαφορές για τον SmO₂ μεταξύ των δύο παραλλαγών του καθίσματος. Ωστόσο, το πρώτο σετ και στις δύο παραλλαγές είχε μικρότερο SmO₂ σε σύγκριση με τα άλλα δύο σετ. Οι συγγραφείς ανέφεραν ότι δεν υπήρξαν διαφορές στον SmO₂ διότι και οι δύο ασκήσεις είχαν την ίδια ένταση, άρα θα είχαν τις ίδιες ενεργειακές απαιτήσεις από το σύστημα ATP-PCr, ενώ η αύξηση του SmO₂ στο δεύτερο και τρίτο σετ πιθανά οφείλεται σε υπεραϊμία. Ο χρόνος ανάληψης του 75% του SmO₂ ήταν μικρότερος για τα καθίσματα με τη μπάρα μπροστά από τον τράχηλο, πιθανά επειδή το βάρος που σήκωσαν οι ασκούμενοι στο κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα ήταν μεγαλύτερο από το βάρος που σήκωσαν στο κάθισμα με μπάρα μπροστά από τον τράχηλο. Δεν υπήρξε διαφορά στην ελάχιστη τιμή του SmO₂

(22,4%, 24,7%, 22,2% για το κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα και 23,2%, 24,7%, 22,2% για το κάθισμα με μπάρα μπροστά από τον τράχηλο) μεταξύ των σετ κάθε παραλλαγής ή μεταξύ των δύο παραλλαγών. Ωστόσο, υπήρξαν διαφορές μεταξύ των σετ στη μέγιστη τιμή του SmO₂ (68,6%, 77,9%, 76,3% για το κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα και 67,9%, 82,3%, 83,1% για το κάθισμα με μπάρα μπροστά από τον τράχηλο), με τα πρώτα σετ και των δύο παραλλαγών να έχουν χαμηλότερες τιμές κορεσμού από τα υπόλοιπα δύο.

Σε άλλη έρευνα, οι Hoffman και συνεργάτες (2003) εφάρμοσαν δύο πρωτόκολλα άσκησης διαφορετικής έντασης στο κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα σε 11 αθλητές με εμπειρία στην άσκηση με αντιστάσεις. Το πρωτόκολλο χαμηλής έντασης αποτελούνταν από 4 σετ των 15 επαναλήψεων στο 60% της 1ME, ενώ το υψηλής έντασης αποτελούνταν από 4 σετ των 4 επαναλήψεων στο 90% της 1ME. Μετά την άσκηση τοποθετήθηκε μια ταινία περίσφιγξης στο μηρό του κάθε ασκούμενου ώστε να πραγματοποιηθεί ισχαιμία. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ. Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στην αποξυγόνωση του μυός (SmO₂ 72,7% για το πρωτόκολλο χαμηλής έντασης και 79,9% για το πρωτόκολλο υψηλής έντασης) μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων. Ωστόσο, ο χρόνος επανοξυγόνωσης του μυός ήταν μεγαλύτερος με το πρωτόκολλο χαμηλής έντασης. Η καθυστέρηση αυτή πιθανώς οφείλεται σε μεγαλύτερη συσσώρευση οξύτητας στον μυ (όπως συνάγεται από την υψηλότερη συγκέντρωση γαλακτικού στον ορό) με το πρωτόκολλο χαμηλής έντασης, γεγονός που αυξάνει την αποδέσμευση O₂ από την αιμοσφαιρίνη (φαινόμενο Bohr). Επίσης, η μεγαλύτερη μεταβολική οξέωση στο πρωτόκολλο χαμηλής έντασης μπορεί να προκάλεσε συστολή των αγγείων από τη δράση των α₂-αδρενεργικών υποδοχέων, οι οποίοι έχει αναφερθεί ότι είναι ευαίσθητοι στην οξέωση.

Σε μια μεταγενέστερη έρευνα (Gómez-Carmona et al., 2020), 12 προπονημένοι άνδρες εκτέλεσαν 6 πρωτόκολλα στην άσκηση κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα. Τα πρωτόκολλα αποτελούνταν από 4 σετ των 4-16 επαναλήψεων στο 60-75% 1ME και σε επίπεδο προσπάθειας (δείκτης του όγκου προπόνησης και της ταχύτητας εκτέλεσης) 40-80%. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ. Ο SmO₂ ηρεμίας ήταν 77,3-76,9%, ενώ στο τέλος της άσκησης 7,3-9,5%. Το επίπεδο προσπάθειας σχετίστηκε θετικά με τον χρόνο επανοξυγόνωσης (r= 0,864), το ποσοστό απώλειας του SmO₂ (r= 0,873) και το ποσοστό απώλειας προωθητικής ταχύτητας (r= 0,883), ενώ σχετίστηκε αρνητικά με τον

SmO₂ στο τέλος της άσκησης ($r = -0,871$). Στο ίδιο επίπεδο προσπάθειας φάνηκε ότι το πρωτόκολλο με τον μεγαλύτερο όγκο προπόνησης είχε μικρότερο χρόνο επαναοξυγόνωσης, ποσοστό απώλειας του SmO₂ και ποσοστό απώλειας προωθητικής ταχύτητας, ενώ είχε υψηλότερο SmO₂ στο τέλος της άσκησης. Αυτό αποδόθηκε στον μικρότερο αριθμό επαναλήψεων που χρειάζεται για να επιτευχθεί το ίδιο επίπεδο προσπάθειας. Επίσης, ο SmO₂ στα πρωτόκολλα πάνω από 60% του επιπέδου προσπάθειας φάνηκε να φτάνει σε μηδενικές τιμές.

Οι Timon και συνεργάτες (2018) θέλησαν να συγκρίνουν τις διαφορές στη μυϊκή οξυγόνωση μεταξύ του καθίσματος με μπάρα πίσω από τον αυχένα και του καθίσματος flywheel. Δώδεκα άνδρες με εξοικείωση στην άσκηση με αντιστάσεις εκτέλεσαν 3 σετ των 8 επαναλήψεων στο 75-80% 1ME στο κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα ή 3 σετ των 8 επαναλήψεων στο κάθισμα flywheel. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ. Και οι δυο ασκήσεις προκάλεσαν σημαντική μείωση του SmO₂ και της tHb στα σετ. Το κάθισμα flywheel προκάλεσε μεγαλύτερη μείωση του SmO₂ από ό,τι το κάθισμα με μπάρα (1ο σετ 67,5% vs 53,7%, 2ο σετ 67,2% vs 53,6%, 3ο σετ 68,1% vs 55,0%). Αυτό πιθανώς συνέβη διότι το πρωτόκολλο με το κάθισμα flywheel προκάλεσε μεγαλύτερη ενδομυϊκή πίεση λόγω της μεγαλύτερης έκκεντρης δραστηριότητας, με αποτέλεσμα να οδηγήσει σε έναν μεγαλύτερο περιορισμό της αιματικής ροής σε σύγκριση με τα καθίσματα με μπάρα. Επίσης το κάθισμα flywheel είχε μεγαλύτερο χρόνο επαναοξυγόνωσης σε σύγκριση με την άσκηση κάθισμα (61,7 vs 55,7 s).

Ένα χρόνο αργότερα, οι Ansdell και συνεργάτες (2019) θέλησαν να συγκρίνουν τη μυϊκή οξυγόνωση ανάμεσα σε άνδρες και γυναίκες. Το πρωτόκολλο αποτελούταν από 1 σετ μέχρι την εξάντληση στο 90% και 110% της κρίσιμης έντασης σε εκτάσεις γόνατος σε μηχανήμα. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ. Τα αποτελέσματα για το πρωτόκολλο στο 110% της κρίσιμης έντασης έδειξαν σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (O₂Hb) στις γυναίκες, ενώ για την αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HHb) το αντίθετο. Για τον SmO₂ οι γυναίκες έδειξαν μικρότερη μείωση σε σύγκριση με τους άνδρες. Στο πρωτόκολλο στο 90% της κρίσιμης έντασης δεν υπήρξαν διαφορές ανάμεσα σε άνδρες και γυναίκες για την HHb και τον SmO₂. Ωστόσο η O₂Hb φάνηκε να διαφέρει στο 75% και 100% της διάρκειας του πρωτοκόλλου, με τις γυναίκες να έχουν υψηλότερες τιμές. Οι διαφορές αυτές αποδόθηκαν στο γεγονός ότι οι γυναίκες έχουν μεγαλύτερο ποσοστό ινών τύπου I στον έξω πλατύ, μεγαλύτερη πυκνότητα

τριχοειδών αγγείων και μεγαλύτερη ικανότητα αγγειοδιαστολής στη μηριαία αρτηρία σε σύγκριση με τους άνδρες.

Σε άλλη έρευνα (Formenti et al., 2018), 8 απροπόνητες γυναίκες εκτέλεσαν εκτάσεις γόνατος σε τρία σετ, με 1 s τη σύγκεντρη και 1 s την έκκεντρη φάση στο ένα, 3 και 3 s στο άλλο και 5 και 5 s στο τρίτο. Συσκευές NIRS τοποθετήθηκαν στον έξω πλατύ και στον προμετωπιαίο φλοιό (αντίπλευρος και ομόπλευρος σε σχέση με το πόδι που ασκούσαν). Τα αποτελέσματα, όσον αφορά τον μυϊκό ιστό, έδειξαν ότι η άσκηση με χαμηλή ταχύτητα εκτέλεσης (3 και 5 s) προκάλεσε μεγαλύτερη αποξυγόνωση από ό,τι η άσκηση με κανονική ταχύτητα εκτέλεσης (1 s) και αυτό αποδόθηκε στη μεγαλύτερη κατανάλωση οξυγόνου. Όσον αφορά τον εγκέφαλο, η άσκηση με χαμηλή ταχύτητα εκτέλεσης προκάλεσε μεγαλύτερη οξυγόνωση σε σύγκριση με την άσκηση με κανονική ταχύτητα εκτέλεσης. Επίσης, βρέθηκε ότι οξυγόνωση στον ομόπλευρο λοβό ήταν χαμηλότερη από ό,τι στον αντίπλευρο λοβό και στα τρία σετ.

Οι Miyamoto και συνεργάτες (2013) μελέτησαν τις διαφορές της μυϊκής οξυγόνωσης σε δύο περιοχές του έξω πλατύ (έξω και μέση). Ζήτησαν από 12 απροπόνητους άνδρες να εκτελέσουν εκτάσεις γόνατος, 4 σετ, 8 επαναλήψεις στο 80% 1ME. Τόσο στη σύγκεντρη, όσο και στην έκκεντρη φάση, ο SmO₂ είχε μεγαλύτερες τιμές για τη μέση περιοχή του έξω πλατύ σε σύγκριση με την έξω, κατά την 3η ή 4η με 8η επανάληψη. Οι συγγραφείς υπέθεσαν ότι αυτό συνέβη λόγω της ανομοιογένειας της ενδομυϊκής πίεσης στις δύο περιοχές του έξω πλατύ. Ο SmO₂ ήταν παραπλήσιος στις δυο φάσεις.

Σε άλλη έρευνα (Angleri et al., 2020), 12 άνδρες εκτέλεσαν εκτάσεις γόνατος σε τρεις διαφορετικές συνθήκες: παραδοσιακό πρωτόκολλο, πρωτόκολλο drop σετ και πρωτόκολλο της πυραμίδας. Το παραδοσιακό πρωτόκολλο αποτελούνταν από 3 σετ των 10 επαναλήψεων στο 75% 1ME. Το πρωτόκολλο των drop σετ αποτελούνταν από 3 σετ στο 75% 1ME. Στο κάθε σετ εκτελούνταν επαναλήψεις μέχρι την εξάντληση στην έκκεντρη φάση. Ακολουθούσε διάλειμμα 15 s, μείωση του βάρους κατά ~20% και πάλι επαναλήψεις μέχρι την εξάντληση. Τέλος, ακολουθούσαν άλλα 15 s διάλειμμα, μείωση του βάρους κατά ~20% και πάλι επαναλήψεις μέχρι την εξάντληση. Το πρωτόκολλο της πυραμίδας αποτελούνταν από ένα σετ 10 επαναλήψεων στο 75% 1ME, ένα σετ 6 επαναλήψεων στο 80% 1ME και ένα σετ των 6 επαναλήψεων στο 85% 1ME. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ. Δεν υπήρξαν διαφορές ανάμεσα στα πρωτόκολλα στην tHb και τον SmO₂.

Οι συγγραφείς υποθέτουν ότι αυτό πιθανώς οφείλεται στην παρόμοια προσπάθεια που κατέβαλαν οι ασκούμενοι. Ωστόσο, το πρωτόκολλο των drop σετ είχε μικρότερες τιμές στην O₂Hb και στην αποξυγόνωση της αιμοσφαιρίνης σε σύγκριση με τα άλλα δύο. Επίσης, το πρωτόκολλο των drop σετ είχε υψηλότερες τιμές HHb σε σύγκριση με το παραδοσιακό. Αυτές οι διαφορές στη μυϊκή οξυγόνωση πιθανώς συνέβησαν λόγω του μεγαλύτερου όγκου που είχε το πρωτόκολλο των drop set σε σύγκριση με τα άλλα δύο.

Οι Azuma και συνεργάτες (2000) ζήτησαν από 8 γυναίκες να εκτελέσουν εκτάσεις γόνατος σε ισοκινητικό δυναμόμετρο, 1 σετ, 60 εκτάσεις το λεπτό στο 20%, 30% και 40% της μέγιστης εκούσιας συστολής (MVC). Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ και στον ορθό μηριαίο. Ο SmO₂ μειώθηκε ραγδαία και στις δύο μυϊκές ομάδες, με τον έξω πλατύ να φτάνει χαμηλότερες τιμές κορεσμού, χωρίς να υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ 20% και 40% της MVC. Όμως υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μυών στο 30% της MVC, με τον έξω πλατύ να έχει μικρότερη τιμή. Η μεταβολή της O₂Hb και η μεταβολή της HHb στον έξω πλατύ στις εντάσεις 30% και 40% της MVC διέφεραν σημαντικά σε σύγκριση με το 20% της MVC. Οι συγγραφείς ανέφεραν ότι πιθανώς να οφείλεται στη διαφορετική σύσταση τύπου μυϊκών ινών, με τον έξω πλατύ να έχει μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου I.

Σε άλλη έρευνα (Alvares et al., 2020), 12 ασκούμενοι εκτέλεσαν εκτάσεις γόνατος σε ισοκινητικό δυναμόμετρο με γρήγορο ή αργό τρόπο. Τα πρωτόκολλα αποτελούνταν από 1 σετ των 6ME, με το αργό να πραγματοποιείται σε ταχύτητα $30^\circ \cdot s^{-1}$, ενώ το γρήγορο στις $180^\circ \cdot s^{-1}$. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ. Ο SmO₂ πριν την άσκηση κυμαινόταν μεταξύ 66,8 και 68,1%, ενώ μετά την άσκηση ήταν 45,5-46,1% για το αργό πρωτόκολλο και 55,0-53,5% για το γρήγορο πρωτόκολλο. Το αργό πρωτόκολλο είχε υψηλότερες τιμές κορυφαίας αιματικής ροής, ρυθμού επαναϊμάτωσης ([tHb]slope), εύρους μυϊκού αποκορεσμού (Δ SmO₂desat) και ρυθμού επανόδου του μυϊκού οξυγόνου (SmO₂slope) από το γρήγορο πρωτόκολλο. Και στα δυο πρωτόκολλα, υπήρξε συσχέτιση του [tHb]slope με την κορυφαία αιματική ροή και του Δ SmO₂desat με το συνολικό έργο που παρήχθη. Η πρώτη συσχέτιση πιθανώς οφείλεται σε αύξηση ιόντων και μεταβολιτών λόγω της μυϊκής δραστηριότητας, καθώς και λόγω μειωμένης συμπαθητικής δραστηριότητας. Επίσης, μπορεί να συμβάλλουν σηματοδοτικά μονοπάτια από τα τριχοειδή αγγεία, τα οποία προκαλούν αγγειοδιαστολή και μειώνουν τις περιφερειακές αντιστάσεις, οδηγώντας σε υπεραϊμία. Ένας ακόμη πιθανός παράγοντας είναι οι ελαστικές

ιδιότητες των αγγείων και η αυξημένη καρδιακή παροχή. Όσον αφορά τη δεύτερη συσχέτιση, πιθανώς οφείλεται στις διαφορές που είχαν τα δύο πρωτόκολλα ως προς τον χρόνο άσκησης, με το αργό πρωτόκολλο να έχει σχεδόν τριπλάσια διάρκεια (17,6 vs 6,8 s). Μεγαλύτερος χρόνος άσκησης συνεπάγεται μεγαλύτερη ενεργοποίηση των μυϊκών ινών τύπου I, άρα μεγαλύτερη μυϊκή αποξυγόνωση.

Ένα χρόνο αργότερα, οι Cherouneim και συνεργάτες (2021) θέλησαν να διερευνήσουν τις διαφορές οξυγόνωσης μεταξύ της σύγκεντρης και έκκεντρης άσκησης στον μυϊκό ιστό και στον εγκέφαλο. Δέκα άνδρες εκτέλεσαν εκτάσεις γόνατος σε ισοκινητικό δυναμόμετρο είτε σύγκεντρα είτε έκκεντρα στο 60% της MVC. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ και στον προμετωπιαίο φλοιό. Δεν βρέθηκαν διαφορές στην O_2Hb , στην HHb και στην tHb μεταξύ σύγκεντρης και έκκεντρης άσκησης. Οι συγγραφείς υπέθεσαν ότι αυτό συνέβη είτε λόγω της χρήσης υπομέγιστης έντασης άσκησης (αντί για μέγιστη), είτε λόγω της αξιολόγησης μιας και μόνο περιοχής του εγκεφάλου.

Σε μια άλλη έρευνα (Tufano et al., 2020), 16 άνδρες με εμπειρία στην άσκηση με αντιστάσεις πραγματοποίησαν τέσσερα πρωτόκολλα εκτάσεων γόνατος σε ισοκινητικό δυναμόμετρο, δύο με ταχύτητα $60^\circ \cdot s^{-1}$ και δύο με $360^\circ \cdot s^{-1}$. Σε κάθε ταχύτητα οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν 40 επαναλήψεις είτε με την παραδοσιακή μέθοδο (4 σετ των 10 επαναλήψεων με 95 s διάλειμμα μεταξύ των σετ) είτε με τη μέθοδο των cluster σετ (20 σετ των 2 επαναλήψεων με 15 s διάλειμμα μεταξύ των σετ). Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ και δεν κατέγραφε συνεχόμενα τη μυϊκή οξυγόνωση, αλλά μόλις κάθε ασκούμενος τελείωνε τη δέκατη επανάληψή του. Το πρωτόκολλο με τα cluster σετ είχε υψηλότερες τιμές tHb και SmO_2 και στις δύο ταχύτητες κατά τη διάρκεια της άσκησης. Αυτό μάλλον συνέβη διότι ο χρόνος για να επιτευχθούν οι 10 επαναλήψεις με τα cluster σετ ήταν μεγαλύτερος από εκείνον με την παραδοσιακή μέθοδο. Μετά την άσκηση δεν υπήρξαν διαφορές στην οξυγόνωση μεταξύ των πρωτοκόλλων.

Το 2011 οι Denis και συνεργάτες (2011) θέλησαν να μελετήσουν τις διαφορές μεταξύ έκκεντρης και σύγκεντρης σύσπασης στη μυϊκή οξυγόνωση. Δέκα ασκούμενοι με εμπειρία στην άσκηση με αντιστάσεις εκτέλεσαν έκταση του γόνατος, είτε σύγκεντρα είτε έκκεντρα, μέχρι την εξάντληση στις $60^\circ \cdot s^{-1}$. Η συσκευή NIRS τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ. Ο SmO_2 μειώθηκε απότομα και στα δύο πρωτόκολλα μέχρι το 20% του συνολικού χρόνου και μετά αυξήθηκε στο σύγκεντρο, ενώ μειώθηκε κι άλλο στο έκκεντρο

πρωτόκολλο. Ο SmO_2 ήταν χαμηλότερος στο σύγκεντρο πρωτόκολλο στο 20% του χρόνου (46,8% vs 54,6%). Ωστόσο, στο 80% και 100%, ο SmO_2 ήταν χαμηλότερος στο έκκεντρο πρωτόκολλο. Αυτό μάλλον συνέβη επειδή μεγαλύτερη ροπή παρήχθη από το έκκεντρο πρωτόκολλο, η οποία έχει συνδεθεί με μεγαλύτερη ενδομυϊκή πίεση, και προκάλεσε αγγειοσυστολή, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη μυϊκή αποξυγόνωση. Η tHb αυξήθηκε και στα δύο πρωτόκολλα, αλλά δεν υπήρξαν διαφορές μεταξύ τους.

Συμπερασματικά, η μυϊκή οξυγόνωση κατά την άσκηση με αντιστάσεις φαίνεται να επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ένταση, ο όγκος, το διάλειμμα μεταξύ των σετ, ο χρόνος εκτέλεσης κάθε επανάληψης, ο τύπος μυϊκής δραστηριότητας και ο μυς που αξιολογείται. Ωστόσο, δεν υπάρχουν μελέτες που να έχουν εξετάσει τη μυϊκή οξυγόνωση σε παραπάνω από έναν μυ του τετρακεφάλου, κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη φάση στο κάθισμα με μπάρα.

1.5. Γαλακτικό αίματος

Το γαλακτικό είναι το τελικό προϊόν της αναερόβιας διάσπασης των υδατανθράκων. Κατά την άσκηση αυξάνεται η παραγωγή του στον μυ και διαχέεται στο αίμα. Η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα κυμαίνεται από $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ στην ηρεμία μέχρι πάνω από $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ κατά τη μέγιστη άσκηση. Έτσι, καθίσταται ο μεταβολίτης με τις πιο θεαματικές μεταβολές κατά την άσκηση, στον μυ και στο αίμα. Εκτός από μέτρηση σε φασματοφωτόμετρα, μπορεί να μετρηθεί και με φορητές μικρές συσκευές εντός λίγων δευτερολέπτων σε τριχοειδικό αίμα είτε από ρώγα δαχτύλου είτε από λοβό αυτιού. Οι μετρήσεις του γαλακτικού προσφέρουν πληθώρα πληροφοριών αναφορικά με τον ασκησιακό μεταβολισμό και τον προσδιορισμό της έντασης κατά την άσκηση. Εκτός από την ένταση, τη διάρκεια και τον τύπο άσκησης, η συγκέντρωση του γαλακτικού εξαρτάται από παράγοντες όπως το φύλο, η ηλικία, η διατροφική κατάσταση, το προπονητικό επίπεδο και το γονιδίωμα (Mougiou, 2020).

1.6. Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της έρευνας ήταν να εξετάσει την οξυγόνωση τριών μυών του τετρακεφάλου (έξω πλατύ, έσω πλατύ και ορθού μηριαίου) κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη φάση στο κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα (high-bar back squat).

1.7. Ερευνητικές υποθέσεις

Θα υπάρχει διαφορά στα επίπεδα SmO₂ και tHb στην έκκεντρη και σύγκεντρη φάση. Επίσης, θα διαφέρουν τα επίπεδα SmO₂ και tHb από μυ σε μυ, από επανάληψη σε επανάληψη και από σετ σε σετ.

1.8. Οριοθετήσεις και περιορισμοί

Στη μελέτη συμμετείχαν υγιείς άνδρες οι οποίοι είχαν εμπειρία στην άσκηση με αντιστάσεις και δεν έπρεπε να εκτελέσουν οποιαδήποτε μορφή άσκησης ενδυνάμωσης 48 ώρες ούτε να ασκηθούν καθόλου τις τελευταίες 24 ώρες πριν την κάθε συνεδρία άσκησης. Επίσης, οι εθελοντές έπρεπε να είναι ξεκούραστοι, δηλαδή να έχουν κοιμηθεί επαρκώς και να έχουν καταναλώσει ένα ελαφρύ γεύμα 2-3 ώρες πριν την κάθε συνεδρία. Οι ερευνητές έπρεπε να στηριχθούν στην ειλικρίνεια των εθελοντών ως προς τα παραπάνω.

1.9. Ορισμοί και συντομογραφίες

1ME: Μία μέγιστη επανάληψη

ΚΣ: Καρδιακή συχνότητα

Cox: Cytochrome c oxidase, οξιδάση του κυτοχρώματος c

Hb: Hemoglobin, αιμοσφαιρίνη

HHb: Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη

Mb: Myoglobin, μυοσφαιρίνη

O₂Hb: Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη

NIRS: Near-infrared spectroscopy, φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου

SmO₂: Muscle oxygen saturation, μυϊκός κορεσμός οξυγόνου

tHb: Total hemoglobin, ολική αιμοσφαιρίνη

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Συμμετέχοντες

Στη μελέτη έλαβαν μέρος 18 νέοι, υγιείς άνδρες, φοιτητές του ΤΕΦΑΑ Θεσσαλονίκης, οι οποίοι δέχτηκαν να συμμετάσχουν εθελοντικά μετά από πρόσκληση στη διάρκεια μαθημάτων που περιλαμβάνουν άσκηση με αντιστάσεις (ειδικότητα άρσης βαρών και ειδικότητα αθλητικών δραστηριοτήτων κλειστού χώρου). Το μέγεθος του δείγματος καθορίστηκε από μια προκαταβολική ανάλυση ισχύος με τη χρήση του λογισμικού G*Power (έκδοση 3.1.9.2, Πανεπιστήμιο Κιέλου, Κίελο, Γερμανία), η οποία έδειξε ότι τουλάχιστον 17 άτομα χρειάζονται για να ανιχνεύσουν ως σημαντικό ένα μεσαίο μέγεθος επίδρασης (η^2 0,1 στην παραγοντική ανάλυση διακύμανσης, ANOVA) με ισχύ 0,8, α 0,05 και συντελεστή συσχέτισης 0,5 μεταξύ επανειλημμένων μετρήσεων. Κριτήρια εισδοχής ήταν οι εθελοντές να έχουν εμπειρία στην άσκηση με αντιστάσεις και πιο συγκεκριμένα στην άσκηση κάθισμα σε μηχανήμα Smith, το πάχος του υποδόριου λίπους στα σημεία εφαρμογής των συσκευών Moxy να μην ξεπερνά τα 12 mm και να μην έχουν οποιονδήποτε μυοσκελετικό τραυματισμό στα κάτω άκρα.

2.2. Ηθική και δεοντολογία

Πριν την πραγματοποίηση των μετρήσεων μοιράστηκε στους εθελοντές έντυπο συγκατάθεσης για τη συμμετοχή τους στην έρευνα, στο οποίο αναγράφονταν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τη διαδικασία των μετρήσεων και τη σημασία των υπό μελέτη βιολογικών δεικτών (Παράρτημα Α). Ζητήθηκε από τους εθελοντές να διαβάσουν προσεκτικά το έντυπο και να το υπογράψουν. Η διεξαγωγή της έρευνας εγκρίθηκε από την Επιτροπή Ηθικής και Δεοντολογίας της Έρευνας του ΤΕΦΑΑ Θεσσαλονίκης με αριθμό έγκρισης 112/2022.

2.3. Πιλοτικές μετρήσεις

Για τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας πραγματοποιήθηκαν επτά πιλοτικές μετρήσεις διάρκειας ενός μήνα με σκοπό τη βελτιστοποίηση του πειραματικού πρωτοκόλλου. Σε όλες τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε πρωτόκολλο άσκησης με κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα (high-bar back squat) σε μηχανήμα Smith (Smith BodyCraft F410, Smith Machine, Manchester, UK).

Στην πρώτη πιλοτική μέτρηση εκτελέστηκαν 5 σετ καθισμάτων στο 40% της 1ΜΕ, με τη συσκευή Moxy να έχει τοποθετηθεί στον έξω πλατύ μιας νέας γυναίκας και να λαμβάνει δεδομένα με συχνότητα 2 Hz (ανά 0,5 s). Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σταδιακή κυματιστή πτώση της οξυγόνωσης και αντιστοιχία της κίνησης με την περιοδικότητα της οξυγόνωσης, με την τελευταία να μειώνεται στο κατέβασμα (έκκεντρη φάση) και να αυξάνεται στο ανέβασμα (σύγκεντρη φάση) της κίνησης. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν άλλα δυο σετ με 6 και 2 επαναλήψεις στο 80 και 90% της 1ΜΕ αντίστοιχα. Και στα δυο σετ φάνηκε μια πτώση της οξυγόνωσης, χωρίς κυματισμό στο δεύτερο σετ. Στο πρώτο σετ παρατηρήθηκαν περιοδικές αυξομειώσεις της tHb, ενώ στο δεύτερο σετ όχι. Κατά συνέπεια, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε πρωτόκολλο με χαμηλότερη ένταση (πολλές επαναλήψεις), διότι ήταν πιο ξεκάθαρη η αντιστοιχία της κίνησης με την περιοδικότητα της οξυγόνωσης.

Στη δεύτερη πιλοτική μέτρηση εκτελέστηκαν 4 σετ με 15 επαναλήψεις. Οι συσκευές Moxy τοποθετήθηκαν στον ορθό μηριαίο, έσω πλατύ και έξω πλατύ της ίδιας νέας γυναίκας. Παρατηρήθηκαν ανωμαλίες (απώλεια δεδομένων), πιθανώς λόγω αυξημένου υποδόριου λίπους. Έγινε αντιμετάθεση των τριών συσκευών για να διερευνηθεί αν η αιτία των ανωμαλιών ήταν το είδος της συσκευής και εκτελέστηκε ένα ακόμα σετ 15 επαναλήψεων. Πάλι για τις δυο συσκευές Moxy, στον έσω πλατύ και έξω πλατύ, υπήρχαν ανωμαλίες. Για τον ορθό μηριαίο υπήρξε αντιστοιχία της κίνησης με την περιοδικότητα της οξυγόνωσης και της tHb, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Στην τρίτη πιλοτική μέτρηση εκτελέστηκαν 3 σετ: το πρώτο αποτελούνταν από 30 επαναλήψεις και τα άλλα δύο από 25. Οι συσκευές Moxy τοποθετήθηκαν στον έσω πλατύ και έξω πλατύ της ίδιας νέας γυναίκας. Δεν επεξεργαστήκαμε τα δεδομένα του έσω πλατύ, επειδή οι διακυμάνσεις της οξυγόνωσης ήταν μικρές και υποψιαστήκαμε ότι αυτό οφείλεται σε μη αξιόπιστες μετρήσεις, λόγω του αυξημένου πάχους του υποδόριου λίπους (οι συσκευές Moxy μετρούν σε βάθος ιστού έως 12 mm, οπότε το πάχος της δερματοπτυχής στο σημείο εφαρμογής δεν πρέπει να ξεπερνά τα 24 mm). Για τον έξω πλατύ φάνηκε αντιστοιχία της κίνησης με την περιοδικότητα της οξυγόνωσης, όπως αναφέρθηκε πριν, ενώ η tHb παρουσίασε διακύμανση στη διάρκεια του σετ, αλλά αντίστροφη από εκείνη του SmO₂. Επειδή όλες οι παραπάνω πιλοτικές μετρήσεις εκτελέστηκαν σε γυναίκα με αυξημένο πάχος δερματοπτυχών στα σημεία τοποθέτησης των συσκευών Moxy, αποφασίσαμε οι επόμενες πιλοτικές και κύριες μετρήσεις να

πραγματοποιηθούν σε άνδρες, που είναι ευκολότερο να έχουν μικρό πάχος των δερματοπτυχών στα σημεία τοποθέτησης των συσκευών Moxyc.

Στην τέταρτη πιλοτική μέτρηση εκτελέστηκαν 4 σετ των 10-15 επαναλήψεων. Στα δυο πρώτα σετ η κάθε επανάληψη είχε διάρκεια 2 s για την κάθε φάση της (έκκεντρη και σύγκεντρη) και στα άλλα δυο σετ η κάθε επανάληψη είχε διάρκεια 3 s για την κάθε φάση. Οι συσκευές Moxyc τοποθετήθηκαν στον έσω πλατύ και έξω πλατύ ενός νέου άνδρα και ρυθμίστηκαν να καταγράφουν με συχνότητα 0,5 Hz (η συσκευή να συλλέγει δεδομένα κάθε 2 s), σε αντίθεση με όλες τις προηγούμενες, αλλά και τις επόμενες, μετρήσεις, όπου χρησιμοποιήθηκε η συχνότητα 2 Hz (η συσκευή να συλλέγει δεδομένα κάθε 0,5 s). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συχνότητα 0,5 Hz δίνει ελλιπή δεδομένα σε έναν κύκλο διάτασης-βράχυνσης και έτσι εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις της οξυγόνωσης, οπότε αποκλείσαμε τη χρήση της για τις κύριες μετρήσεις της έρευνας.

Στην πέμπτη πιλοτική μέτρηση εκτελέστηκαν 2 σετ προθέρμανσης και 3 κύρια σετ των 15 επαναλήψεων, πρωτόκολλο που προσομοιάζει τον τρόπο με τον οποίο δομείται ένα πρόγραμμα με αντιστάσεις, με 3 min παθητικής αποκατάστασης μεταξύ των σετ. Οι συσκευές Moxyc τοποθετήθηκαν στον ορθό μηριαίο, έσω πλατύ και έξω πλατύ ενός νέου άνδρα. Προκειμένου να συγχρονίσουμε την κάθε φάση της επανάληψης με τη συλλογή των δεδομένων από τις συσκευές Moxyc, θέσαμε σε λειτουργία έναν ηλεκτρονικό μετρονόμο στους 40 χτύπους ανά λεπτό, έτσι ώστε να χτυπά κάθε 1,5 s. Κάθε φάση (έκκεντρη και σύγκεντρη) κάθε επανάληψης διαρκούσε 1,5 s, με αποτέλεσμα να παίρνουμε τρεις μετρήσεις για κάθε φάση της επανάληψης από τις συσκευές Moxyc. Ακόμη, ο χρόνος εκτέλεσης 1,5 s κάθε φάσης (έκκεντρη και σύγκεντρη) προσομοιάζει τον χρόνο εκτέλεσης που χρησιμοποιούν οι ασκούμενοι οι οποίοι ασχολούνται με την άσκηση με αντιστάσεις. Επειδή ο ασκούμενος συνάντησε δυσκολία στον συγχρονισμό της κίνησης με τον μετρονόμο, αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε βιντεοσκοπημένα πρότυπα σετ του ρυθμού της κίνησης, έτσι ώστε να τα βλέπει και να τα ακολουθεί. Ακόμη, για την εξασφάλιση της ακρίβειας του συγχρονισμού της έναρξης του σετ με την έναρξη συλλογής των δεδομένων από τις συσκευές Moxyc, αποφασίσαμε να βιντεοσκοπούμε με βιντεοκάμερα υψηλής ανάλυσης την εκτέλεση της κίνησης και την οθόνη του υπολογιστή με την εφαρμογή των μετρήσεων του Moxyc.

Στην έκτη πιλοτική μέτρηση εφαρμόσαμε τις παραπάνω ιδέες και πράγματι το πρότυπο βίντεο λειτούργησε αποτελεσματικά στον συγχρονισμό του ασκούμενου, οπότε

αποφασίσαμε να χρησιμοποιηθεί στις κύριες μετρήσεις της έρευνας. Επίσης, η βιντεοσκόπηση ήταν βοηθητική στον χρονικό εντοπισμό του συγχρονισμού έναρξης της κίνησης με τις μετρήσεις από τις συσκευές Moxy. Ο ασκούμενος εκτέλεσε 5 σετ (2 σετ προθέρμανσης και 3 κύρια σετ) των 15 επαναλήψεων με 2 min αντί για 3 min παθητικής αποκατάστασης μεταξύ των σετ (έτσι ώστε να έχουμε αποτελεσματικότερη εξάντληση) και οι συσκευές Moxy τοποθετήθηκαν στον ορθό μηριαίο, έσω πλατύ και έξω πλατύ του ίδιου νέου άνδρα όπως στην πέμπτη πιλοτική μέτρηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο SmO₂ στις περισσότερες περιπτώσεις είχε αύξηση στην καθοδική φάση (έκκεντρη) και μείωση στην ανοδική φάση (σύγκεντρη).

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια έβδομη πιλοτική μέτρηση με τον ίδιο τρόπο όπως η προηγούμενη και με όλες τις μετρήσεις (καρδιακής συχνότητας, αρτηριακής πίεσης και γαλακτικού) για να εξακριβωθεί αν μπορεί να εκτελεστεί το πρωτόκολλο από τον ασκούμενο και για να καθοριστεί η συνολική διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Όλα λειτούργησαν χωρίς κανένα πρόβλημα, οπότε οριστικοποιήσαμε την πειραματική διαδικασία για τις κύριες μετρήσεις, όπως θα περιγραφεί παρακάτω.

2.4. Υλικά

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρονικός ζυγός με ενσωματωμένο αναστημόμετρο (Seca, Hamburg, Γερμανία), δερματοπυχόμετρο (British Indicators, West Sussex, Ηνωμένο Βασίλειο), πιεσόμετρο (Microlife BP A1 Basic, Widnau, Switzerland), μηχανικό κυκλοεργόμετρο (Monark, Vansbro, Sweden), μηχανήμα Smith (Smith BodyCraft F410, Smith Machine, Manchester, UK), δίσκοι βαρών, μεζούρα, ελαστικός ιμάντας, παλμογράφος-καρδιοσυχνόμετρο (Polar, Kempele, Finland), τρεις φορητές συσκευές μέτρησης μυϊκής οξυγόνωσης (Moxy 1408 Fortiori Design LLC, Minnesota, USA, Moxy 2136 και 2137 Idiag AG, Fehrltorf, Switzerland), δυο φορητοί Η/Υ, βιντεοκάμερα υψηλής ανάλυσης, φορητή συσκευή και ταινίες μέτρησης γαλακτικού (Lactate Scout 4, EKF Diagnostics), γάζες και αυτοκόλλητα περίδεσης, βαμβάκι, ιατρικά γάντια, σκαριφιστήρες, οινόπνευμα, μετρονόμος κι έντυπα καταγραφής.

2.5. Μετρήσεις

Οι εθελοντές επισκέφθηκαν το Εργαστήριο Αξιολόγησης της Βιολογικής Απόδοσης του Ανθρώπου στο ΤΕΦΑΑ Θεσσαλονίκης του ΑΠΘ δυο φορές μεταξύ 9:00 και 12:00, ώστε

να πραγματοποιηθούν οι προγραμματισμένες μετρήσεις. Μία ημέρα πριν την κάθε επίσκεψη υπενθυμίζαμε στους εθελοντές να προσέλθουν ξεκούραστοι, έχοντας γευματίσει ελαφρά μέχρι δύο ώρες πριν και φορώντας αθλητικό κοντό παντελόνι.

Στην πρώτη επίσκεψη κάθε εθελοντή, συμπληρώναμε τα ατομικά στοιχεία του στο έντυπο καταγραφής προσωπικών δεδομένων (Παράρτημα Β) και ξεκινούσαν οι παρακάτω μετρήσεις:

- 1. Δερματοπτυχομετρήσεις:** Πραγματοποιήθηκε δερματοπτυχομέτρηση στα σημεία τοποθέτησης των συσκευών Moxy στον ορθό, στον έσω πλατύ και στον έξω πλατύ μηριαίο με μεταλλικό δερματοπτυχόμετρο τύπου Harpenden, σύμφωνα με τη διαδικασία EABAA-20, έκδοση 1^η, του Εργαστηρίου, η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα Γ. Αν πληρούνταν το κριτήριο να μην υπερβαίνει καμία δερματοπτυχή τα 24 mm, προχωρούσαμε στις παρακάτω μετρήσεις.
- 2. Σωματομετρήσεις:** Πραγματοποιήθηκε μέτρηση του βάρους και του αναστήματος με ηλεκτρονικό ζυγό και ενσωματωμένο αναστημόμετρο, σύμφωνα με τη διαδικασία EABAA-3, έκδοση 1^η, του Εργαστηρίου, η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα Δ.
- 3. Μέτρηση αρτηριακής πίεσης και καρδιακής συχνότητας ηρεμίας:** Πραγματοποιήθηκε μέτρηση συστολικής και διαστολικής πίεσης, καθώς και καρδιακής συχνότητας (ΚΣ), στο δεξί χέρι με ηλεκτρονικό πιεσόμετρο.
- 4. Μέτρηση μετατόπισης μπάρας του μηχανήματος Smith και οριοθέτηση της τελικής θέσης του καθίσματος:** Ο εθελοντής λάμβανε όρθια θέση στο μηχάνημα Smith με τη μπάρα χωρίς βάρος πίσω από τον αυχένα. Με μαρκαδόρο σημειώναμε, στον αριστερό άξονα του μηχανήματος, την αρχική θέση της μπάρας και ζητούσαμε από τον εθελοντή να εκτελέσει κάθισμα μέχρι μηρός και κνήμη να σχηματίσουν γωνία 110°. Σημειώναμε την τελική θέση της μπάρας και στη θέση αυτή τοποθετούσαμε έναν ελαστικό ιμάντα οριζόντια, στερεωμένο στους δύο άξονες του μηχανήματος, έτσι ώστε να οριοθετήσουμε την τελική θέση του καθίσματος (Εικόνα 1). Στη συνέχεια, μετρούσαμε με μεζούρα την απόσταση μεταξύ της αρχικής και τελικής θέσης της μπάρας (δηλαδή τη μετατόπισή της) και την απόσταση της τελικής θέσης από τη βάση του άξονα του μηχανήματος, ώστε να τοποθετήσουμε τον ιμάντα στην ίδια θέση κατά τη δεύτερη επίσκεψη.



Εικόνα 1. Αρχική (αριστερά) και τελική θέση της καθοδικής κίνησης του εθελοντή

5. Προσδιορισμός του βάρους που αντιστοιχεί σε 15 μέγιστες επαναλήψεις (15ΜΕ):

Ο εθελοντής πραγματοποιούσε γενική προθέρμανση (5 min ποδηλάτησης στο 50% της προβλεπόμενης μέγιστης ΚΣ, δηλαδή 220 – ηλικία) και ειδική προθέρμανση (4 δυναμικές διατάσεις με 8 επαναλήψεις στο κάθε κάτω άκρο) κι ακολουθούσε το πρωτόκολλο προσδιορισμού των 15ΜΕ. Ο εθελοντής εκτελούσε ένα σετ των 15 επαναλήψεων χωρίς βάρος στη μπάρα, μετά από 2 min διάλειμμα εκτελούσε το δεύτερο σετ με 15-30 kg στην μπάρα (ανάλογα με την προσωπική του εκτίμηση) και μετά από 3 min διάλειμμα και εκτίμηση του βάρους με το οποίο μπορούσε να εκτελέσει 15ΜΕ, ακολουθούσε το τρίτο σετ με τις 15 επαναλήψεις. Εάν ο εθελοντής δήλωνε ότι δεν μπορούσε να εκτελέσει πρόσθετες επαναλήψεις έληγε η δοκιμασία. Εάν ο εθελοντής δήλωνε ότι μπορούσε να σηκώσει πρόσθετο βάρος τότε εκτελούσε ξανά ένα σετ με ένα πρόσθετο βάρος 2,5-10 kg. Εάν ο εθελοντής δεν μπορούσε να ολοκληρώσει τις 15 επαναλήψεις με το πρόσθετο βάρος τότε ίσχυε το προηγούμενο φορτίο. Σε όλη την διάρκεια του πρωτοκόλλου ο εθελοντής παρακολουθούσε ένα βίντεο, στο οποίο φαίνεται ένας ασκούμενος να κάνει καθίσματα με τον ρυθμό ενός μετρονόμου, και προσπαθούσε να συγχρονιστεί με σκοπό η διάρκεια της έκκεντρης και σύγκεντρης φάσης να είναι 1,5 s η καθεμία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω λεπτομερώς στις πιλοτικές μετρήσεις.

Στη δεύτερη επίσκεψη, με την άφιξη του κάθε εθελοντή στο Εργαστήριο, και αφού προηγούνταν η γενική και ειδική προθέρμανση (όπως αναφέρεται παραπάνω), εκτελούνταν το πρωτόκολλο στο οποίο καταλήξαμε από τις πιλοτικές μετρήσεις (πίνακας 1).

Πίνακας 1. Πρωτόκολλο δοκιμασίας.

Σετ	Επαναλήψεις	Επιβάρυνση (%15ΜΕ)	Διάρκεια (min)
1 ^ο σετ προθέρμανσης	15	Μόνο μπάρα	2
2 ^ο σετ προθέρμανσης	15	50	2
1 ^ο κύριο σετ	15	100	2
2 ^ο κύριο σετ	15	100	2
3 ^ο κύριο σετ	15	100	2

Καθ' όλη τη διάρκεια του πρωτοκόλλου πραγματοποιούνταν οι παρακάτω μετρήσεις:

- 1. Μέτρηση μυϊκής οξυγόνωσης:** Σε όλη τη διάρκεια της δεύτερης επίσκεψης πραγματοποιήθηκε μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης του ορθού μηριαίου, έσω πλατύ και έξω πλατύ μηριαίου μυός του κυριάρχου κάτω άκρου του κάθε εθελοντή με τρεις ασύρματες συσκευές Moxy, σύμφωνα με τη διαδικασία ΕΑΒΑΑ-4, έκδοση 2^η, του Εργαστηρίου, η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα Ε. Η συσκευή Moxy 1408 τοποθετούνταν στον ορθό μηριαίο, η συσκευή Moxy 2136 τοποθετούνταν στον έσω πλατύ και η συσκευή Moxy 2137 στον έξω πλατύ. Και οι τρεις συσκευές τοποθετούνταν στο εμφανέστερο σημείο του μυός λόγω της ανατομικής διαφοράς των σκελών μεταξύ των εθελοντών. Για την αποφυγή αποκόλλησης των συσκευών από το σημείο τοποθέτησης, αυτές σταθεροποιούνταν τόσο με αυτοκόλλητο, όσο και με ελαστικό επίδεσμο.
- 2. Μέτρηση ΚΣ:** Σε όλη την διάρκεια της δεύτερης επίσκεψης πραγματοποιήθηκε μέτρηση της ΚΣ του κάθε εθελοντή με ένα ασύρματο καρδιοσυχνόμετρο Polar, το οποίο τοποθετούνταν με μια ζώνη στο στήθος του κάθε ασκούμενου.
- 3. Μέτρηση αρτηριακής πίεσης:** Η αρτηριακή πίεση μετριόταν μετά τη λήξη του κάθε σετ, όπως περιγράφεται παραπάνω. Επίσης, γινόταν καταγραφή του χρόνου από την στιγμή ενεργοποίησης του ηλεκτρονικού πιεσόμετρου μέχρι να φτάσει σε κορυφαία τιμή πίεσης.
- 4. Βιοχημικές μετρήσεις:** Κατά τη δεύτερη επίσκεψη πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις γαλακτικού σε τριχοειδικό αίμα από ρώγα δαχτύλου. Η μέτρηση του γαλακτικού πραγματοποιήθηκε με αυτόματο φορητό μετρητή, σύμφωνα με τη διαδικασία

ΕΑΒΑΑ-18, έκδοση 2η, του Εργαστηρίου, η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα Ζ.
Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι χρόνοι μέτρησης του γαλακτικού.

Πίνακας 2. Χρόνοι μέτρησης γαλακτικού στο αίμα.

Σετ	Χρόνος μέτρησης μετά τη λήξη του σετ
1 ^ο σετ προθέρμανσης	-
2 ^ο σετ προθέρμανσης	1 min
1 ^ο κύριο σετ	1 min
2 ^ο κύριο σετ	1 min
3 ^ο κύριο σετ	Κάθε 1 min (μέχρι να βρεθεί τιμή χαμηλότερη από την προηγούμενη)

2.6. Επεξεργασία δεδομένων

Οι συσκευές Moxy ρυθμίστηκαν να καταγράφουν με συχνότητα 2 Hz (2 εγγραφές/s) και έτσι κατά την αναπαραγωγή της βιντεοσκόπησης του κάθε εθελοντή σε αργή κίνηση γινόταν επιλογή της μιας από τις δυο εγγραφές κάθε s, για τον καθορισμό της έναρξης του κάθε σετ. Κατά τη λήψη δεδομένων προέκυπταν σειρές με 90 εγγραφές για το κάθε σετ (15 επαναλήψεις × 2 φάσεις κάθε επανάληψης × 3 μετρήσεις σε κάθε φάση). Όμως, σε μερικά σετ παρατηρήθηκε έλλειψη τιμών SmO₂ και tHb, κάτι που δημιουργεί πρόβλημα στην ανάλυση των δεδομένων. Κατά συνέπεια, έγινε επεξεργασία των δεδομένων για την αναπλήρωση των ελλειπουσών τιμών. Παρακάτω αναφέρεται η διαδικασία συμπλήρωσης ελλειπουσών τιμών.

1. Αν έλειπε μια μη ακραία τιμή (δηλαδή όχι μέγιστη ή ελάχιστη) ενώ υπήρχε (προ)προηγούμενη και (μεθ)επόμενη, καταχωρίζονταν η μέση τιμή τους, εφόσον ακολουθούσε το μοτίβο της προηγούμενης και επόμενης καμπύλης.
2. Αν έλειπε μια τιμή από τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο της καμπύλης ενώ υπήρχε προηγούμενη και επόμενη, τότε καταχωρίζονταν η μέση τιμή του επόμενου και προηγούμενου τοπικού μέγιστου ή ελάχιστου.
3. Αν έλειπε η πρώτη τιμή σε μια σειρά, τότε καταχωρίζονταν η επόμενη. Αν απουσίαζε η τελευταία τιμή σε μια σειρά, τότε καταχωρίζονταν η αντίστοιχη τιμή από την προηγούμενη καμπύλη, εφόσον είχαν παρόμοιο μοτίβο.

4. Αν έλειπαν περισσότερες τιμές στη σειρά, αναπληρωνόταν κάποια από αυτές με βάση προηγούμενα και επόμενα μέγιστα ή ελάχιστα και στη συνέχεια αναπληρώνονταν και οι ενδιάμεσες.

5. Αν αυτό δεν ήταν εφικτό, οι τιμές παρέμεναν κενές.

Ακόμα, έγινε σύγκριση της παραπάνω μεθόδου με μια μαθηματική μέθοδο παρεμβολής (shape-preserving interpolant) που χρησιμοποιεί το υπολογιστικό πρόγραμμα Matlab (MATLAB 2021a, MathWorks, Natick, MA). Επιλέχθηκαν τυχαία τρεις ασκούμενοι και για κάθε ασκούμενο εξετάστηκε ένας διαφορετικός μυσ. Σε κάθε σετ επιλέχθηκαν τυχαία τέσσερις γνωστές τιμές SmO_2 (ένα τοπικό μέγιστο, ένα τοπικό ελάχιστο, και δύο μη ακραίες τιμές, μια σε ένα τμήμα όπου η καμπύλη είναι αύξουσα και μια σε ένα τμήμα όπου η καμπύλη είναι φθίνουσα). Ύστερα γινόταν αναπλήρωση αυτής της τιμής είτε με την παραπάνω μέθοδο είτε με τη μέθοδο που χρησιμοποιεί το Matlab και μετριόταν η απόκλιση τους από την πραγματική τιμή. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δυο μεθόδων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Σύγκριση ποσοστών απόκλισης μεθόδων.

Σετ	Ποσοστό απόκλισης από την πραγματική τιμή					
	Matlab			Δική μας μέθοδος		
	Έξω πλατύς	Έσω πλατύς	Ορθός μηριαίος	Έξω πλατύς	Έσω πλατύς	Ορθός μηριαίος
1 ^ο προθέρμανσης	8,0	24,0	4,8	3,7	9,1	2,6
2 ^ο προθέρμανσης	15,7	6,6	18,3	5,5	5,4	13,3
1 ^ο κύριο	26,8	46,3	76,7	16,5	19,2	26,0
2 ^ο κύριο	19,0	26,0	67,2	12,9	11,5	6,2
3 ^ο κύριο	53,2	2,5	29,5	29,0	3,2	12,3
Σύνολο	24,6	21,1	39,3	13,5	9,7	12,1

Από τον πίνακα 3 φαίνεται η υπεροχή της δική μας μεθόδου έναντι της Matlab. Γι' αυτό όλες οι αναπληρώσεις ελλειπουσών τιμών έγιναν με βάση τη δική μας μέθοδο.

2.7. Στατιστική ανάλυση

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση (MT \pm TA). Για την ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε ANOVA με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $\alpha = 0,05$. Για όλες τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS έκδοση 25.0 (SPSS, Chicago, ΗΠΑ).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Αρχικά χαρακτηριστικά εθελοντών

Οι πίνακες 4-6 παρουσιάζουν τα δημογραφικά και σωματομετρικά χαρακτηριστικά, το πόδι εφαρμογής του Μοxy και τις δερματοπτυχές του, καθώς και τα καρδιακά δεδομένα ηρεμίας των εθελοντών.

Πίνακας 4. Δημογραφικά και σωματομετρικά χαρακτηριστικά των εθελοντών.

Εθελοντής	Ηλικία	Βάρος (kg)	Ύψος (m)	Δείκτης μάζας σώματος (kg/m ²)	Έτη προπόνησης
1	23,6	70,1	1,84	20,7	4
2	22,7	76,4	1,76	24,7	5
3	21,4	69,8	1,75	22,8	7
4	21,5	80,4	1,74	26,6	7
5	21,9	79,4	1,72	26,8	5
6	30,7	77,2	1,68	27,4	15
7	19,4	83,9	1,86	24,3	8
8	19,8	78,0	1,72	26,4	4
9	19,8	74,3	1,78	23,5	5
10	22,7	75,1	1,78	23,7	9
11	21,6	66,7	1,78	21,1	1
12	21,4	75,8	1,76	24,5	4
13	21,3	76,9	1,70	26,6	4
14	22,1	77,4	1,71	26,5	6
15	22,4	71,1	1,73	23,8	10
16	22,9	68,0	1,76	22,0	0,5
17	22,1	76,0	1,79	23,7	2
18	22,7	77,5	1,77	24,7	4
ΜΤ ± ΤΑ	22,2 ± 2,4	75,2 ± 4,5	1,76 ± 0,05	24,4 ± 2	5,4 ± 3,6

Πίνακας 5. Πόδι εφαρμογής του Moxy και δερματοπτυχές του.

Εθελοντής	Πόδι εφαρμογής συσκευής Moxy	Δερματοπτυχή έξω πλατύ (mm)	Δερματοπτυχή έσω πλατύ (mm)	Δερματοπτυχή ορθού μηριαίου (mm)
1	Δεξί	6,0	5,0	15,0
2	Δεξί	11,0	13,0	17,0
3	Δεξί	10,0	9,0	11,0
4	Δεξί	13,0	8,0	14,0
5	Δεξί	12,5	13,0	20,0
6	Δεξί	14,0	14,0	17,0
7	Δεξί	12,0	10,0	14,5
8	Δεξί	12,5	14,0	13,0
9	Δεξί	15,0	16,0	18,0
10	Δεξί	7,5	7,0	13,0
11	Δεξί	7,0	8,0	19,0
12	Αριστερό	13,0	12,0	8,0
13	Δεξί	18,0	16,0	19,5
14	Δεξί	9,5	16,0	16,0
15	Αριστερό	5,6	4,5	6,4
16	Δεξί	11,0	8,5	12,0
17	Δεξί	11,0	12,0	18,0
18	Αριστερό	12,0	14,0	25,0
MT ± TA	Δεξί: 15 Αριστερό: 3	11,1 ± 3,2	11,1 ± 3,7	15,4 ± 4,5

Πίνακας 6. Καρδιακά δεδομένα ηρεμίας.

Εθελοντής	Συστολική πίεση ηρεμίας (mmHg)	Διαστολική πίεση ηρεμίας (mmHg)	Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας (bpm)
1	112	77	78
2	129	65	70
3	116	66	87
4	124	68	63
5	137	78	57
6	133	54	85
7	140	73	68
8	135	92	93
9	122	63	69
10	120	76	78
11	100	63	73
12	110	71	82
13	123	71	86
14	132	64	109
15	136	79	79
16	10	69	81
17	122	82	85
18	118	64	73
MT ± TA	123 ± 12	73 ± 8	79 ± 12

3.2. Χαρακτηριστικά εξωτερικής επιβάρυνσης

Ο πίνακας 7 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της εξωτερικής επιβάρυνσης των εθελοντών.

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά εξωτερικής επιβάρυνσης.

Εθελοντής	Μετατόπιση βάρους (cm)	15ΜΕ (kg)	Ποσοστό επιβάρυνσης 15ΜΕ για 1 ^ο σετ προθέρμανσης	Ποσοστό επιβάρυνσης 15ΜΕ για 2 ^ο σετ προθέρμανσης
1	40,0	67,2	17,4	50,9
2	39,0	76,7	15,3	44,6
3	33,5	116,7	10,0	48,6
4	27,5	111,7	10,5	50,8
5	34,5	96,7	12,1	43,1
6	31,5	113,7	10,0	44,3
7	32,5	101,7	11,5	45,9
8	30,0	96,7	12,1	43,1
9	34,0	91,7	12,8	45,5
10	30,0	86,7	13,5	42,3
11	40,0	51,7	22,6	42,0
12	35,0	56,7	20,6	38,3
13	34,5	56,7	20,6	38,3
14	39,5	86,7	13,5	42,3
15	30,5	131,7	8,9	46,8
16	35,0	96,7	12,1	43,1
17	43,5	71,7	16,3	51,2
18	35,0	66,7	17,5	47,5
ΜΤ ± ΤΑ	34,8 ± 4,2	87,8 ± 23,1	14,3 ± 4,1	44,9 ± 3,9

3.3. SmO₂

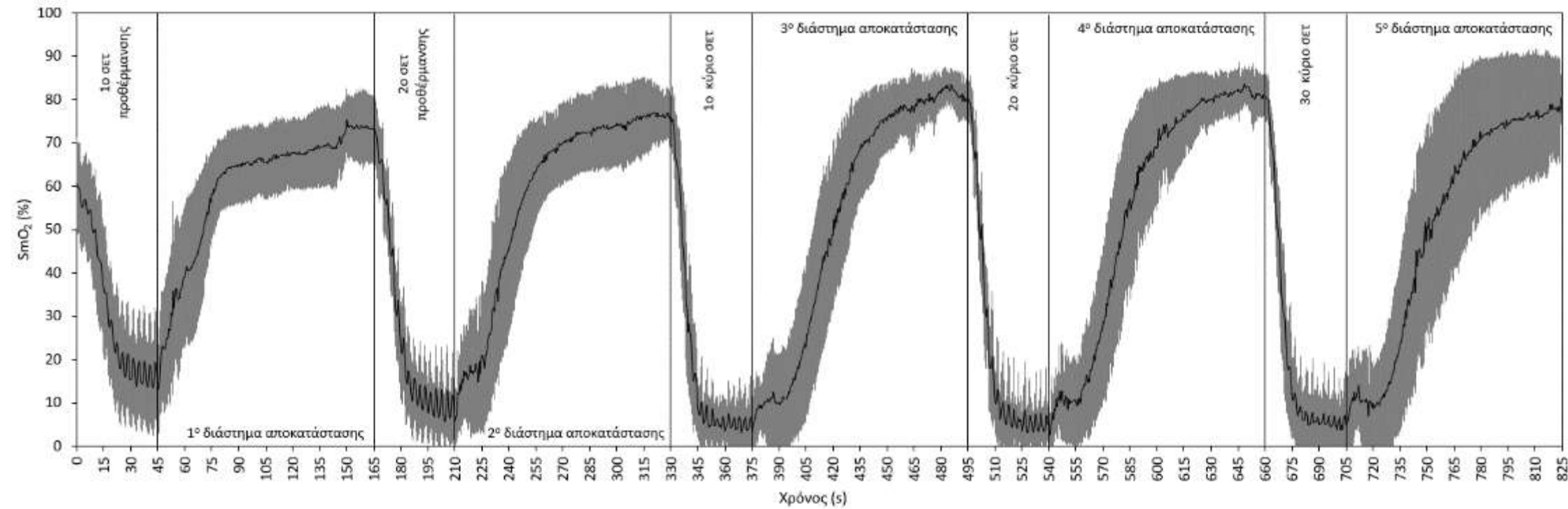
3.3.1. Έξω πλατύς

Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα ποσοστά των αρχικά ελλειπουσών τιμών του SmO₂, των τιμών που συμπληρώθηκαν με τη μέθοδο που περιγράφεται στην ενότητα 2.6 και των τιμών που δεν κατέστη δυνατό να συμπληρωθούν.

Πίνακας 8. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών SmO₂ για τον έξω πλατύ.

Σετ	Ποσοστό αρχικά ελλειπουσών τιμών	Ποσοστό συμπληρωμένων τιμών	Ποσοστό μη συμπληρωμένων τιμών
1	4,7	3,6	1,0
2	7,0	5,9	1,1
3	10,7	7,3	3,4
4	9,0	6,4	2,5
5	8,4	7,2	1,2
Σύνολο	8,0	6,1	1,9

Η κινητική του SmO₂ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 1, το οποίο δείχνει σταδιακή πτώση του SmO₂ κατά τη διάρκεια κάθε σετ, με σχετική σταθεροποίηση στο μέσο περίπου του σετ, και σταδιακή επάνοδο σε υψηλή τιμή κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης. Ο αρχικός SmO₂ είχε γενικά μια αυξητική τάση από σετ σε σετ ενώ ο τελικός SmO₂ είχε γενικά μια πτωτική τάση. Η πτώση του SmO₂ είχε αυξητική τάση. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα 9.



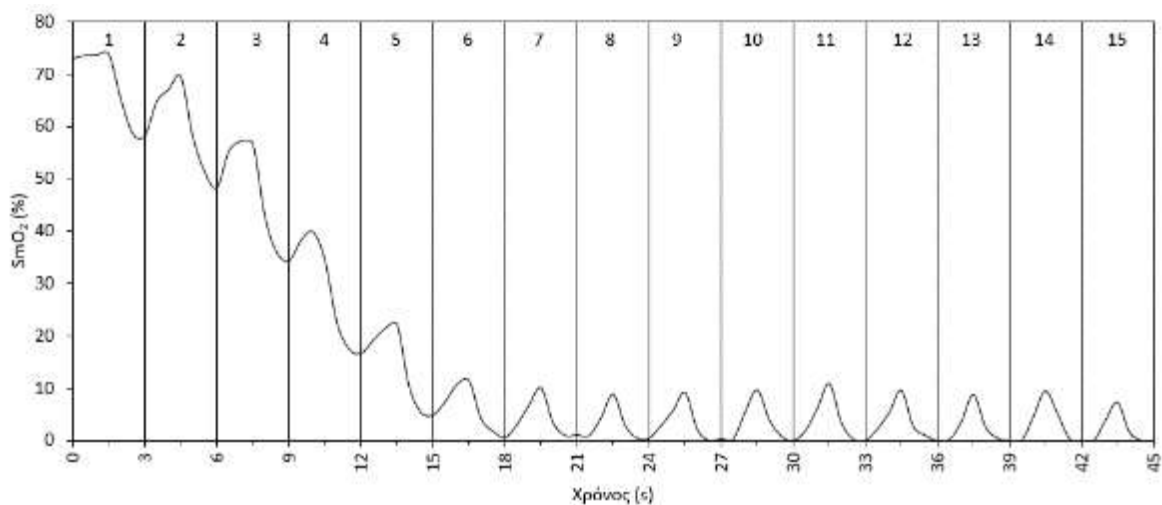
Σχήμα 1. Κινητική του SmO₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

Πίνακας 9. Αρχικός SmO₂, τελικός SmO₂ και πτώση του SmO₂ του έξω πλατύ στα 5 σετ.

Σετ	Αρχικός SmO ₂	Τελικός SmO ₂	Πτώση SmO ₂
1	60,6 ± 10,6	16,1 ± 11,9	44,6 ± 13,3
2	73,1 ± 7,8	8,6 ± 7,3	64,5 ± 9,5
3	75,8 ± 6,9	6,5 ± 9,8	69,4 ± 9,2
4	80,2 ± 5,1	4,8 ± 4,3	75,4 ± 5,5
5	80,7 ± 4,9	6,9 ± 10,2	73,7 ± 9,4

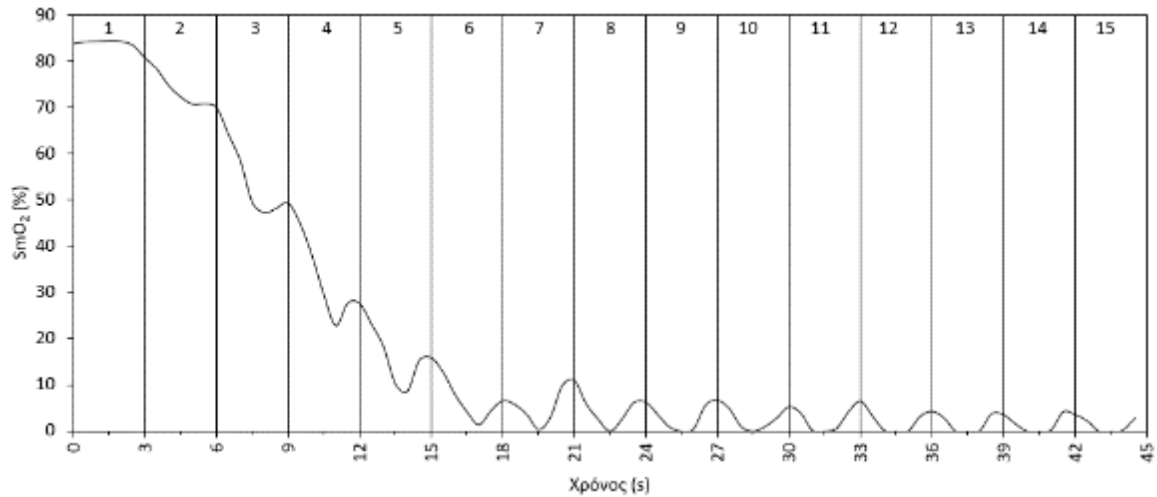
Το σχήμα 1 δείχνει επιπρόσθετα κυματισμό του SmO₂ μέσα σε κάθε επανάληψη. Η εξέταση της κινητικής του SmO₂ σε κάθε εθελοντή έδειξε ότι ο κυματισμός αυτός δεν είχε ενιαίο πρότυπο. Αναδείχτηκαν τα παρακάτω 6 πρότυπα:

- A. Κυματισμός μέσα σε κάθε επανάληψη, με ελάχιστο στα 0–0,5 s (δηλ. στην αρχή ή λίγο μετά την αρχή της καθοδικής φάσης) και μέγιστο στα 1–2 s (δηλ. στο τέλος, λίγο πριν ή λίγο μετά το τέλος της καθοδικής φάσης), με την πτώση του SmO₂ να διαρκεί περίπου όσο κι η αύξησή του (1,5 s). Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 2.



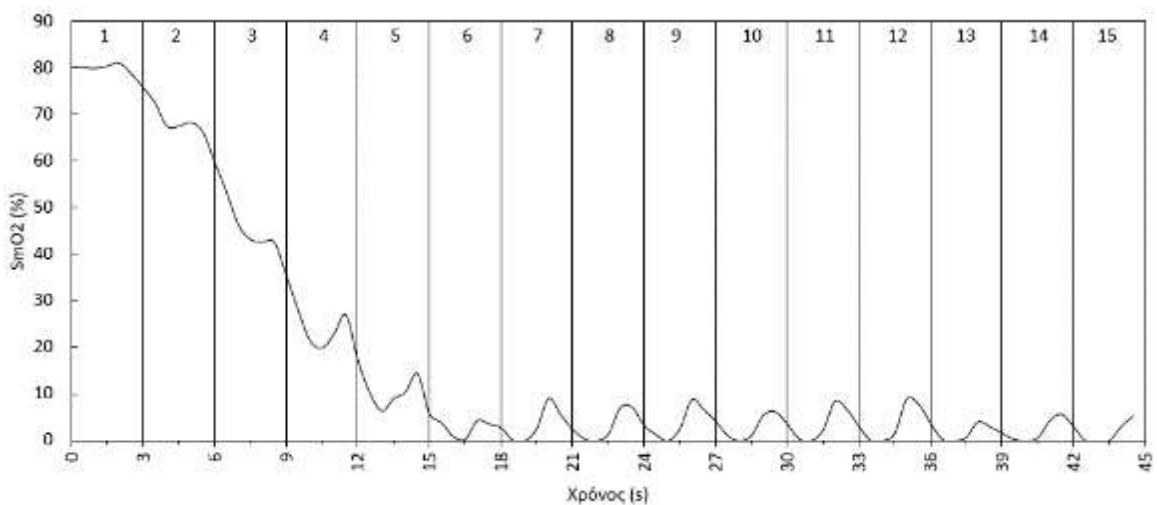
Σχήμα 2. Πρότυπο A της κινητικής του SmO₂ μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

- B. Κυματισμός μέσα σε κάθε επανάληψη, με ελάχιστο στα 1–2 s (δηλ. λίγο πριν το τέλος, στο τέλος, ή λίγο μετά το τέλος της καθοδικής φάσης) και μέγιστο στο 2,5 ή 0 s (δηλ. λίγο πριν το τέλος ή στο τέλος της ανοδικής φάσης) με την πτώση του SmO₂ να διαρκεί περίπου όσο κι η αύξησή του (1,5 s). Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 3.



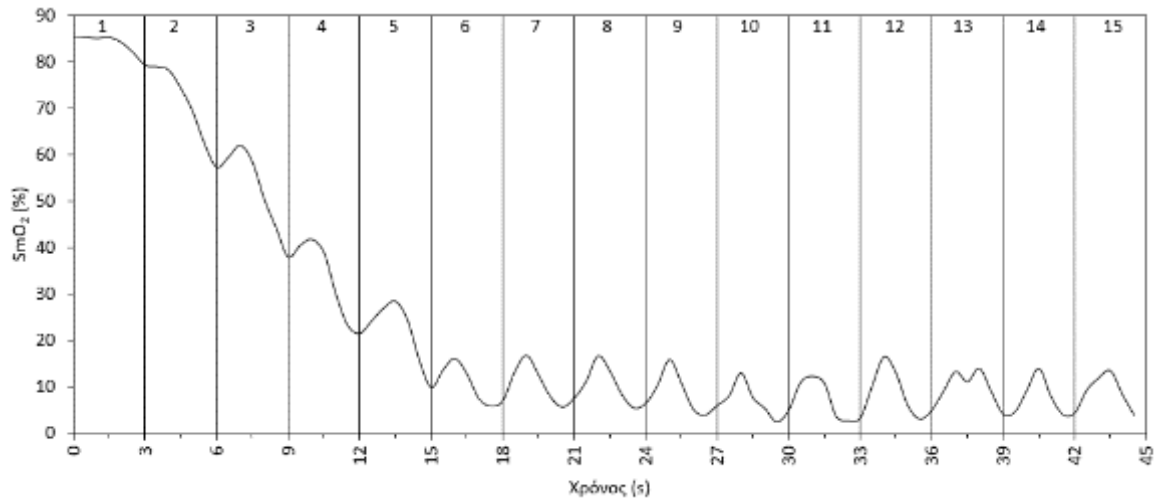
Σχήμα 3. Πρότυπο Β της κινητικής του SmO_2 μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Γ. Κυματισμός μέσα σε κάθε επανάληψη, με ελάχιστο στα 1–1,5 s (δηλ. λίγο πριν ή στο τέλος της καθοδικής φάσης) και μέγιστο στο 2 s (δηλ. στο μέσο περίπου της ανοδικής φάσης) με την πτώση του SmO_2 να διαρκεί περίπου όσο κι η αύξησή του (1,5 s). Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 4.



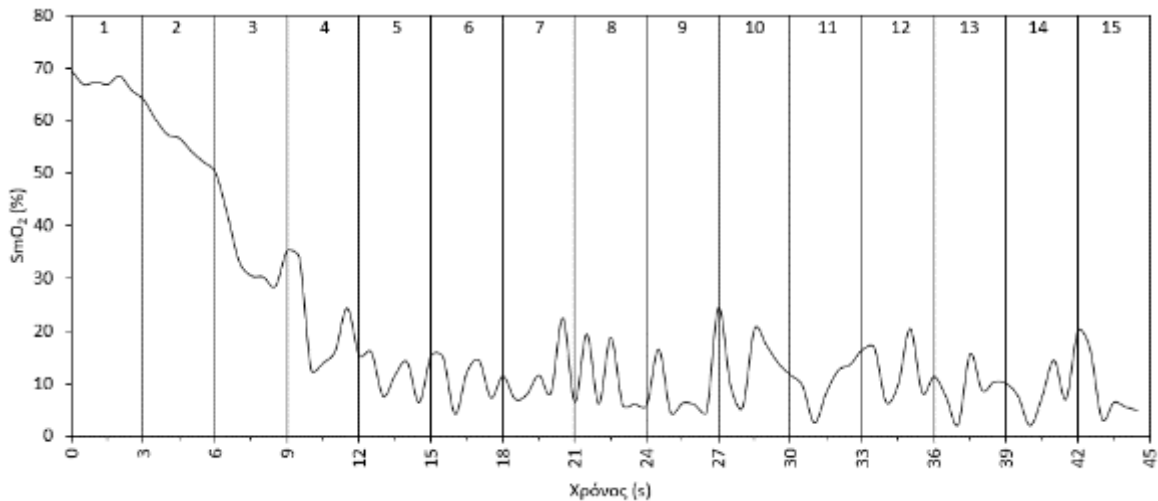
Σχήμα 4. Πρότυπο Γ της κινητικής του SmO_2 μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Δ. Κυματισμός μέσα σε κάθε επανάληψη, με ελάχιστο στα 1,5–2,5 s (δηλ. στο τέλος ή μετά το τέλος της ανοδικής φάσης) και μέγιστο στο 0,5–1 s (δηλ. στο μέσο περίπου της καθοδικής φάσης) με την πτώση του SmO_2 να διαρκεί περίπου όσο κι η αύξησή του (1,5 s). Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 5.



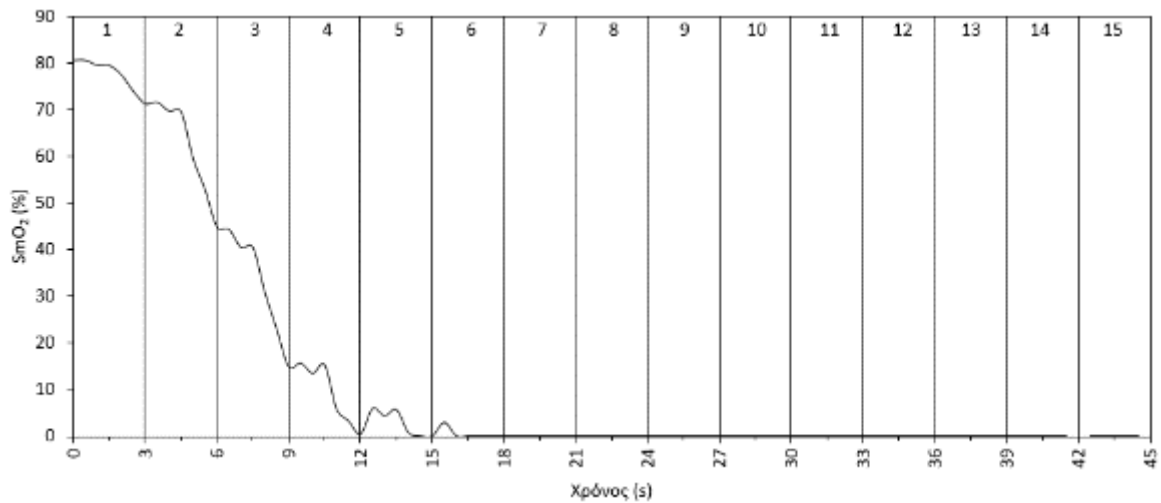
Σχήμα 5. Πρότυπο Δ της κινητικής του SmO_2 μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Ε. Κυματισμός μέσα σε κάθε επανάληψη, με μη περιοδικό τρόπο. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6. Πρότυπο Ε της κινητικής του SmO_2 μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

ΣΤ. Μηδενισμός του SmO_2 μετά την 3η-7η επανάληψη. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 7.

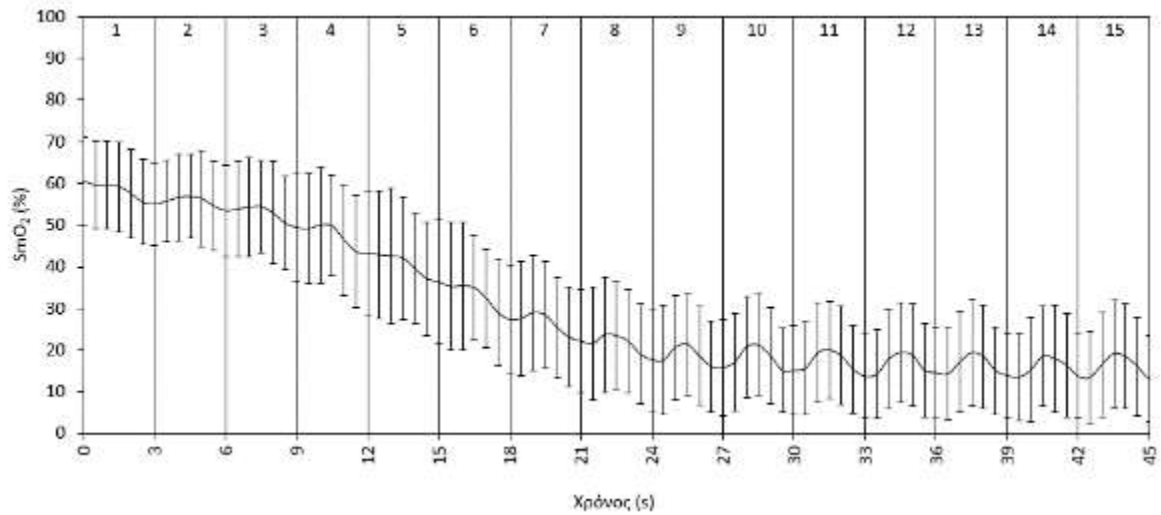


Σχήμα 7. Πρότυπο ΣΤ της κινητικής του SmO₂ μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

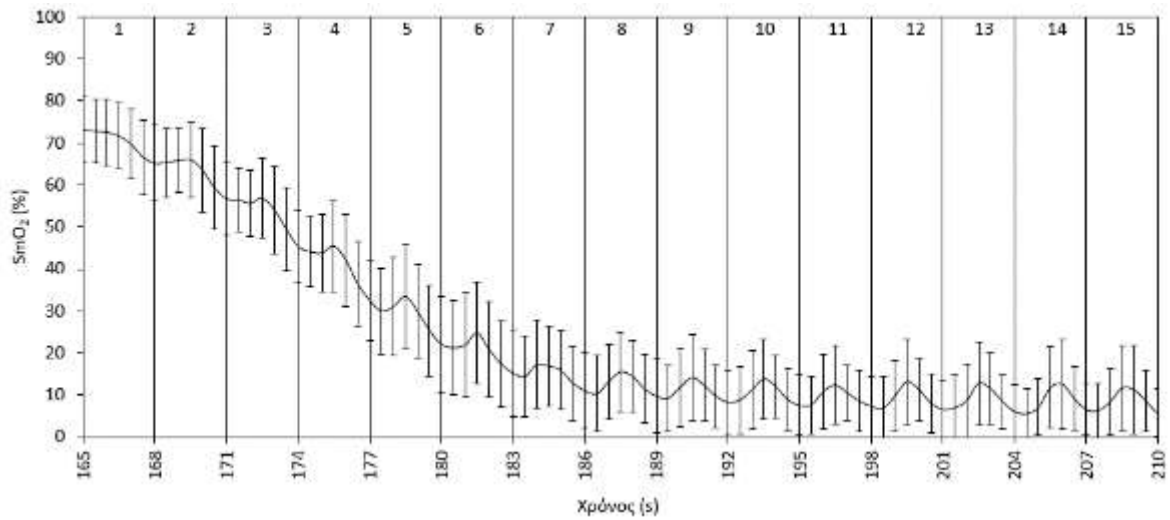
Ο πίνακας 10 παρουσιάζει τα πρότυπα που επέδειξαν οι εθελοντές. Από αυτόν προκύπτει ότι το κυρίαρχο πρότυπο ήταν το Α (στο 51% των σετ), ακολουθούμενο από το Β (12%), το Δ (11%), το Γ (9%), το Ε (9%) και το ΣΤ (8%). Για τον λόγο αυτό, η συνολική εικόνα των εθελοντών, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, μοιάζει με το πρότυπο Α. Για να γίνει αυτό εμφανέστερο, τα σχήματα 8-12 παρουσιάζουν λεπτομερέστερα την κινητική του SmO₂ σε κάθε σετ ξεχωριστά.

Πίνακας 10. Πρότυπα SmO₂ εθελοντών για τον έξω πλατύ. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι εθελοντές (σύνολο 5) που διατηρούν το ίδιο πρότυπο (Α, Δ ή Ε) σε όλα τα σετ.

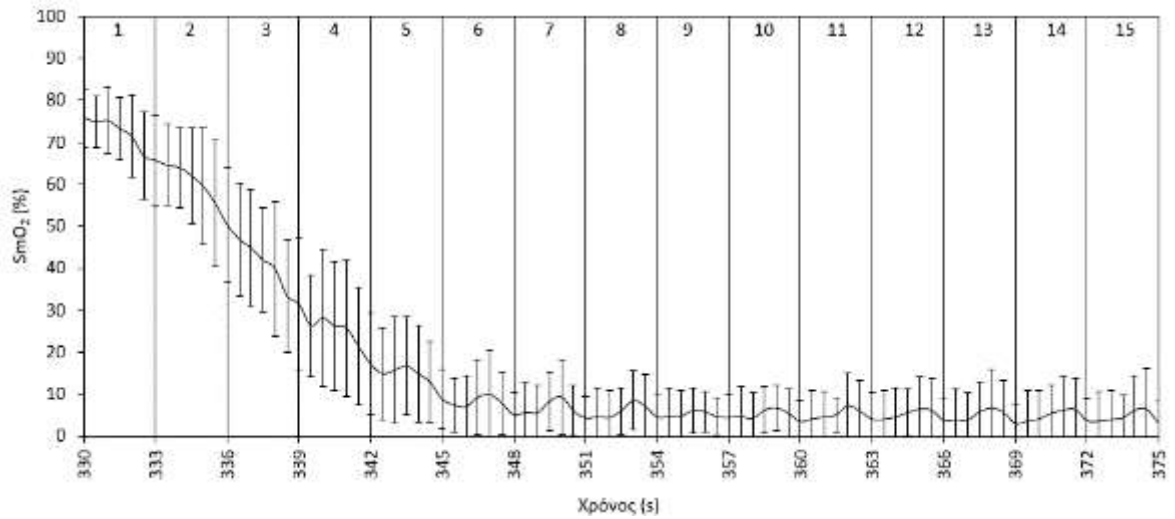
Εθελοντής	1 ^ο σετ προθέρμανσης	2 ^ο σετ προθέρμανσης	1 ^ο κύριο σετ	2 ^ο κύριο σετ	3 ^ο κύριο σετ
1	A	A	A	A	A
2	A	B	B	Γ	B
3	A	A	A	A	A
4	E	ΣΤ	ΣΤ	ΣΤ	ΣΤ
5	B	Γ	Γ	B	B
6	A	A	A	A	A
7	Δ	A	A	A	A
8	Δ	A	A	A	A
9	ΣΤ	ΣΤ	ΣΤ	A	A
10	E	A	A	A	B
11	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
12	A	Γ	A	A	A
13	A	A	Γ	A	B
14	A	A	Γ	A	A
15	A	E	B	B	B
16	E	E	E	E	E
17	Δ	Δ	A	A	Δ
18	A	A	Γ	Γ	A
Σύνολο Α	9	9	8	11	9
Σύνολο Β	1	1	2	2	5
Σύνολο Γ	0	2	4	2	0
Σύνολο Δ	4	2	1	1	2
Σύνολο Ε	3	2	1	1	1
Σύνολο ΣΤ	1	2	2	1	1



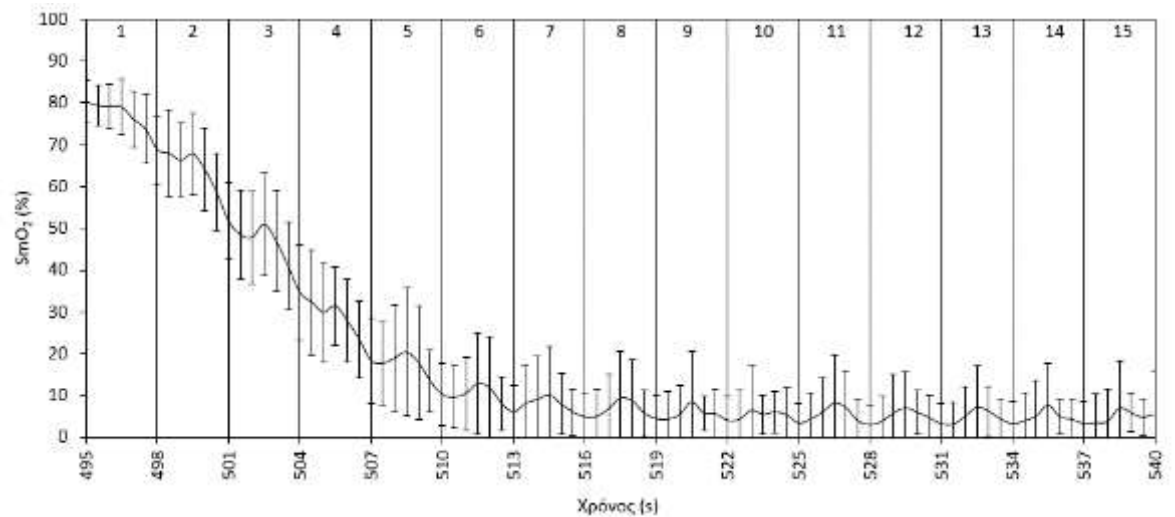
Σχήμα 8. Κινητική του SmO₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



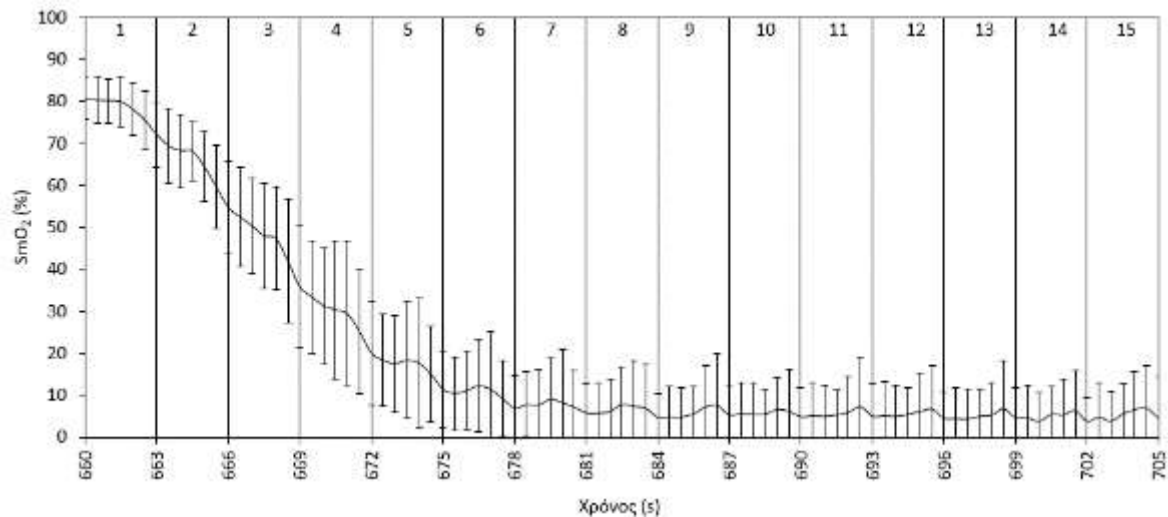
Σχήμα 9. Κινητική του SmO₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 10. Κινητική του SmO_2 του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 11. Κινητική του SmO_2 του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 12. Κινητική του SmO₂ του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Από τα παραπάνω σχήματα φάνηκε ότι το πλάτος του κυματισμού του SmO₂ ήταν 7% στο 1^ο σετ προθέρμανσης, 6% στο 2^ο σετ προθέρμανσης, 3% στο 1^ο κύριο σετ, 4% στο 2^ο κύριο σετ και 2% στο 3^ο κύριο σετ, με μέση τιμή το 4,4%.

Κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης ο SmO₂ αυξανόταν με αρκετά γρήγορο ρυθμό στην αρχή και με αργότερο ρυθμό στη συνέχεια, χωρίς να φτάνει πλατό, αλλά ξεπερνώντας την αρχική τιμή του προηγούμενου σετ, στις περισσότερες περιπτώσεις. Ο πίνακας 11 δείχνει (α) τον χρόνο αποκατάστασης που χρειαζόταν για να φτάσει ο SmO₂ την αρχική τιμή του προηγούμενου σετ (οριζόμενο ως χρόνο επανοξυγόνωσης) και (β) τον χρόνο αποκατάστασης που χρειαζόταν για να φτάσει ο SmO₂ τον μέσο όρο της τιμής του τέλους ενός σετ και της τιμής της αρχής του επόμενου σετ (οριζόμενο ως χρόνο ημιζωής).

Πίνακας 11. Χρόνος επανοξυγόνωσης και ημιζωής μετά από κάθε σετ στον έξω πλατύ.

Σετ	Χρόνος επανοξυγόνωσης (s)	Χρόνος ημιζωής (s)
1	41,1 ± 25,7	20,2 ± 8,0
2	79,3 ± 21,8	28,3 ± 9,2
3	72,0 ± 22,0	41,2 ± 9,2
4	79,4 ± 16,4	40,1 ± 10,5
5	84,9 ± 24,3	

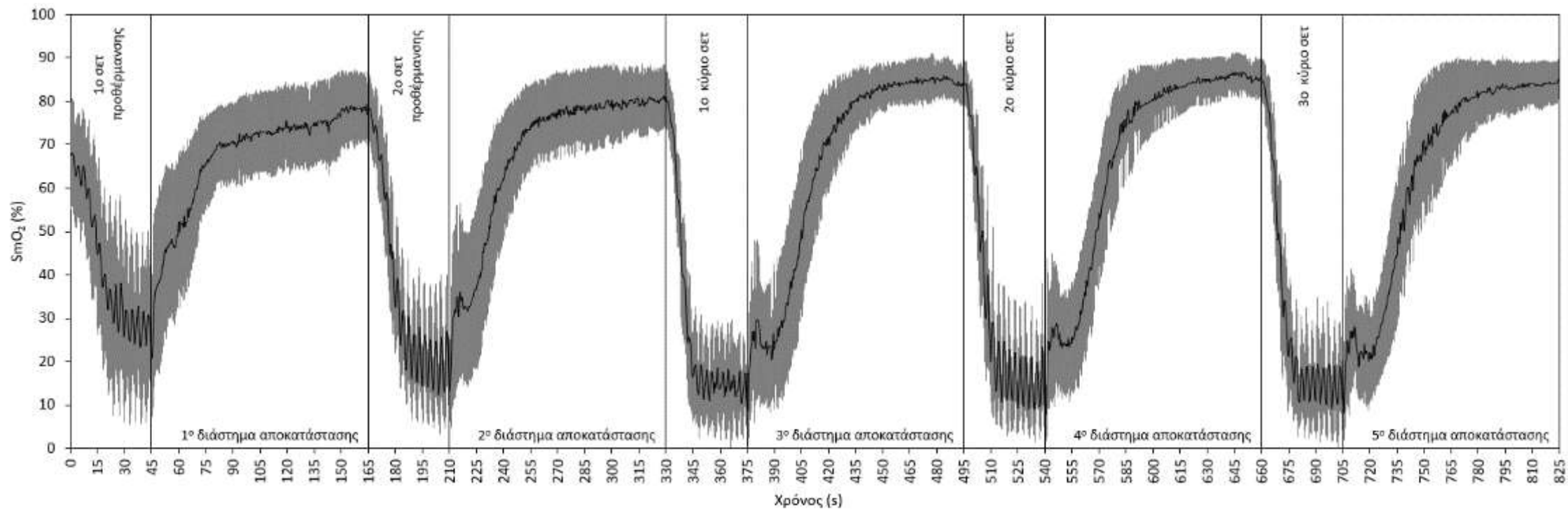
3.3.2. Έσω πλατύς

Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται τα ποσοστά των αρχικά ελλειπουσών τιμών του SmO₂, των τιμών που συμπληρώθηκαν με τη μέθοδο που περιγράφεται στην ενότητα 2.6 και των τιμών που δεν κατέστη δυνατό να συμπληρωθούν.

Πίνακας 12. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών SmO₂ για τον έσω πλατύ.

Σετ	Ποσοστό αρχικά ελλειπουσών τιμών	Ποσοστό συμπληρωμένων τιμών	Ποσοστό μη συμπληρωμένων τιμών
1	7,7	4,5	2,5
2	7,1	5,3	0,9
3	10,6	4,1	4,3
4	8,9	6,1	2,8
5	8,8	5,6	1,9
Σύνολο	8,6	5,1	2,5

Η κινητική του SmO₂ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 13, το οποίο δείχνει σταδιακή πτώση του SmO₂ κατά τη διάρκεια κάθε σετ, με σχετική σταθεροποίηση στο μέσο περίπου του σετ, και σταδιακή επάνοδο σε υψηλή τιμή κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης. Ο αρχικός SmO₂ είχε γενικά μια αυξητική τάση από σετ σε σετ ενώ ο τελικός SmO₂ είχε γενικά μια πτωτική τάση. Η πτώση του SmO₂ είχε αυξητική τάση. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα 13.



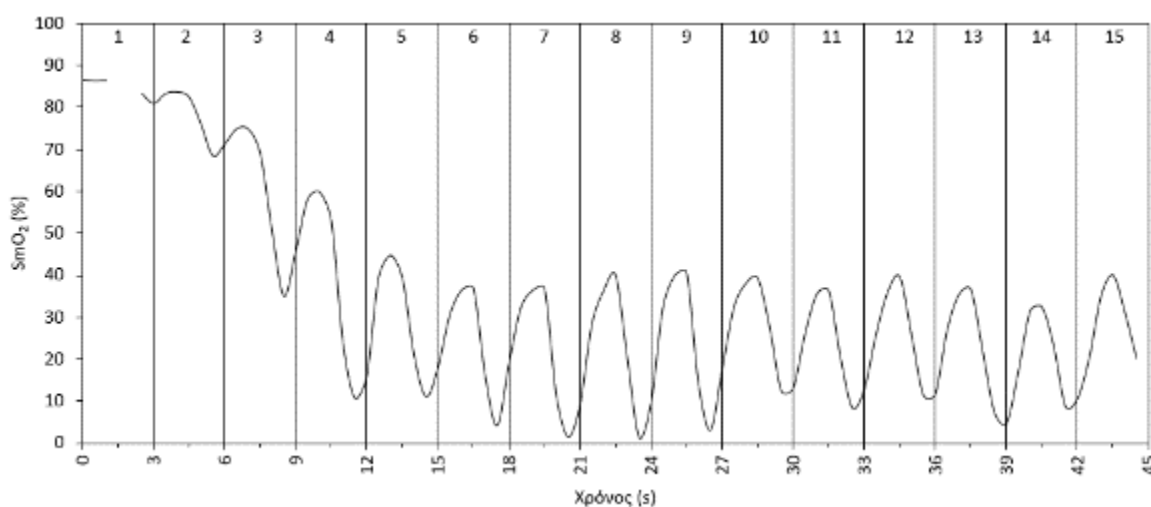
Σχήμα 13. Κινητική του SmO₂ του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

Πίνακας 13. Αρχικός SmO₂, τελικός SmO₂ και πτώση του SmO₂ του έσω πλατύ στα 5 σετ.

Σετ	Αρχικός SmO ₂	Τελικός SmO ₂	Πτώση SmO ₂
1	67,6 ± 12,4	24,7 ± 12,7	42,9 ± 14,0
2	78,6 ± 7,5	17,8 ± 8,0	60,8 ± 10,2
3	81,0 ± 7,0	12,2 ± 7,1	68,8 ± 7,6
4	84,3 ± 5,2	13,7 ± 8,7	70,6 ± 8,9
5	85,0 ± 4,7	12,2 ± 8,0	72,7 ± 9,7

Το σχήμα 13 δείχνει επιπρόσθετα κυματισμό του SmO₂ μέσα σε κάθε επανάληψη. Από την εξέταση των γραφημάτων των 18 εθελοντών προέκυψαν διαφορετικές αποκρίσεις από επανάληψη σε επανάληψη. Αναδείχτηκαν τα πρότυπα Α, Β, Γ, Δ, Ε που περιγράφηκαν παραπάνω για τον έξω πλατύ και επιπλέον το παρακάτω πρότυπο:

Ζ. Κυματισμός μέσα σε κάθε επανάληψη, με ελάχιστο στα 2,5 s (δηλ. λίγο πριν το τέλος ή στο τέλος της ανοδικής φάσης) και μέγιστο στο 1,5 s (δηλ. στο τέλος της καθοδικής ή στην αρχή της ανοδικής φάσης) με την πτώση του SmO₂ να διαρκεί περίπου όσο κι η αύξησή του (1,5 s). Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 14.

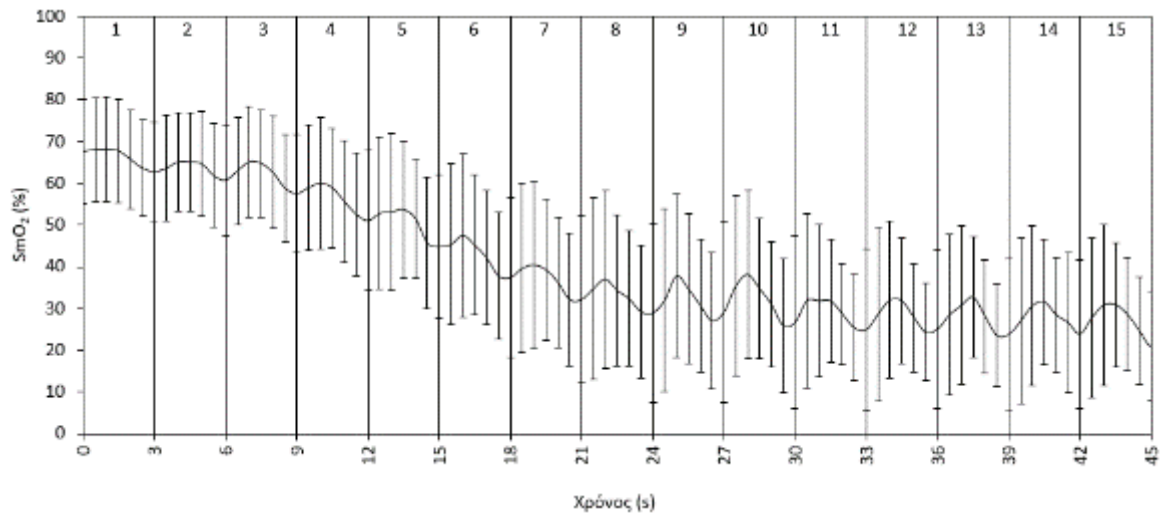


Σχήμα 14. Πρότυπο Ζ της κινητικής του SmO₂ μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

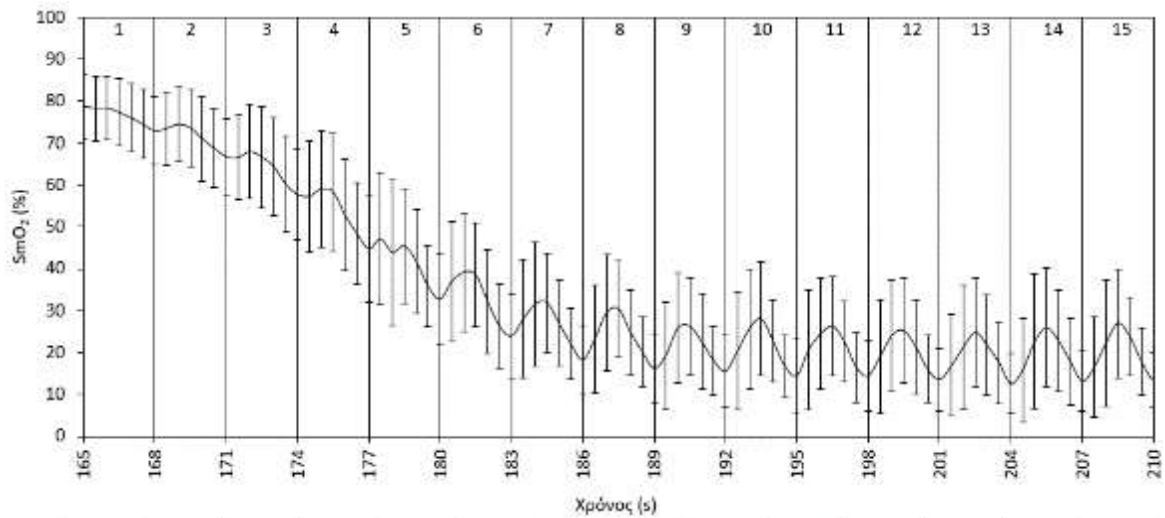
Ο πίνακας 14 παρουσιάζει τα πρότυπα που επέδειξαν οι εθελοντές. Από αυτόν προκύπτει ότι το κυρίαρχο πρότυπο ήταν το Α (στο 52% των σετ), ακολουθούμενο από το Δ (18%), το Ε (13%), το Ζ (8%), το Β (4%) και το Γ (4%). Για τον λόγο αυτό η συνολική εικόνα των εθελοντών, όπως φαίνεται στο σχήμα 13, μοιάζει με το πρότυπο Α. Για να γίνει αυτό εμφανέστερο τα σχήματα 15-19 παρουσιάζουν λεπτομερέστερα την κινητική του SmO₂ σε κάθε σετ ξεχωριστά.

Πίνακας 14. Πρότυπα SmO₂ εθελοντών για τον έσω πλατύ. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι εθελοντές (σύνολο 6) που διατηρούν το ίδιο πρότυπο (Α, Δ και Ε) σε όλα τα σετ.

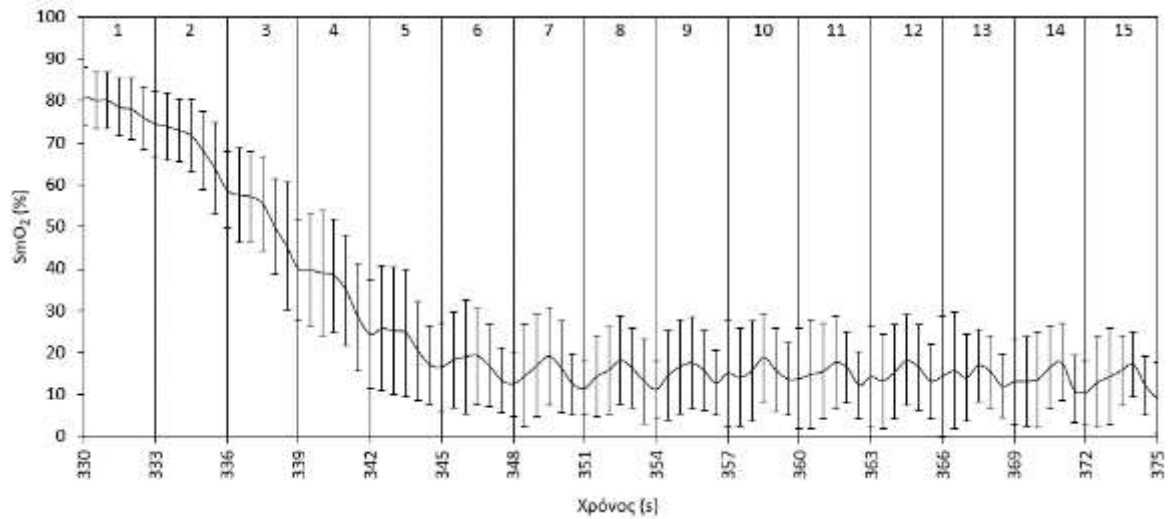
Εθελοντής	1 ^ο σετ προθέρμανσης	2 ^ο σετ προθέρμανσης	1 ^ο κύριο σετ	2 ^ο κύριο σετ	3 ^ο κύριο σετ
1	A	A	Z	A	Z
2	A	Γ	Γ	A	A
3	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
4	Δ	Ε	Β	A	A
5	A	A	A	Β	A
6	A	A	A	A	A
7	Z	A	A	A	A
8	Δ	Z	A	A	Z
9	Δ	A	Δ	A	Δ
10	Ε	Ε	Ε	Ε	Ε
11	A	Δ	Δ	A	Δ
12	A	A	A	A	A
13	A	A	Ε	A	Β
14	A	A	Β	A	Γ
15	Ε	Ε	Ε	Ε	Ε
16	Z	A	Z	Γ	A
17	Δ	Δ	A	Δ	A
18	A	A	A	A	A
Σύνολο Α	9	10	7	12	9
Σύνολο Β	0	0	2	1	1
Σύνολο Γ	0	1	1	1	1
Σύνολο Δ	5	3	3	2	3
Σύνολο Ε	2	3	3	2	2
Σύνολο Ζ	2	1	2	0	2



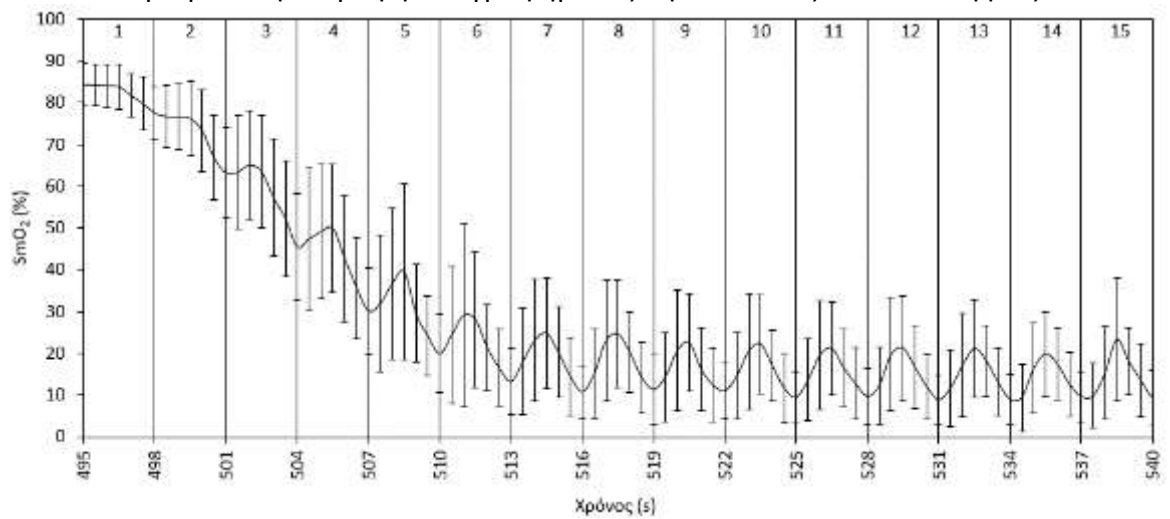
Σχήμα 15. Κινητική του SmO_2 του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



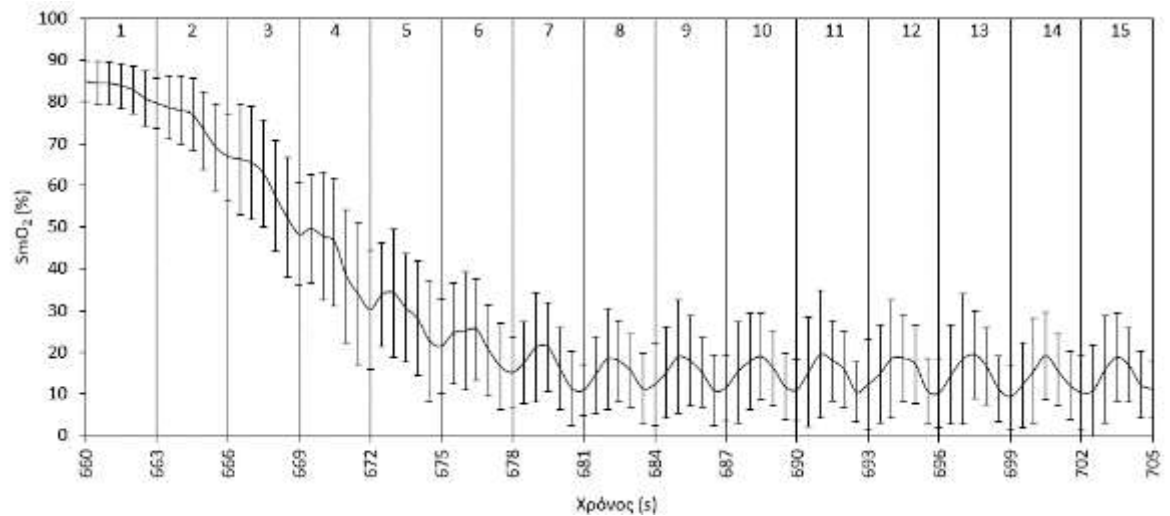
Σχήμα 16. Κινητική του SmO_2 του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 17. Κινητική του SmO_2 του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 18. Κινητική του SmO_2 του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 19. Κινητική του SmO_2 του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Από τα παραπάνω σχήματα φάνηκε ότι το πλάτος του κυματισμού του SmO_2 ήταν 9% στο 1^ο σετ προθέρμανσης, 12% στο 2^ο σετ προθέρμανσης, 6% στο 1^ο κύριο σετ, 12% στο 2^ο κύριο σετ, 9% στο 3^ο κύριο σετ, με μέσο πλάτος το 9,6%.

Κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης ο SmO_2 κυμαίνονταν με παρόμοιο τρόπο όπως στον έξω πλατύ. Ο πίνακας 15 δείχνει τον χρόνο επανοξυγόνωσης και τον χρόνο ημιζωής μετά από κάθε σετ.

Πίνακας 15. Χρόνος επανοξυγόνωσης και ημιζωής μετά από κάθε σετ στον έσω πλατύ.

Σετ	Χρόνος επανοξυγόνωσης (s)	Χρόνος ημιζωής (s)
1	47,9 ± 28,2	16,8 ± 8,9
2	71,9 ± 31,9	20,6 ± 11,1
3	61,7 ± 16,1	30,0 ± 9,7
4	77,0 ± 18,2	29,0 ± 9,1
5	80,5 ± 15,5	

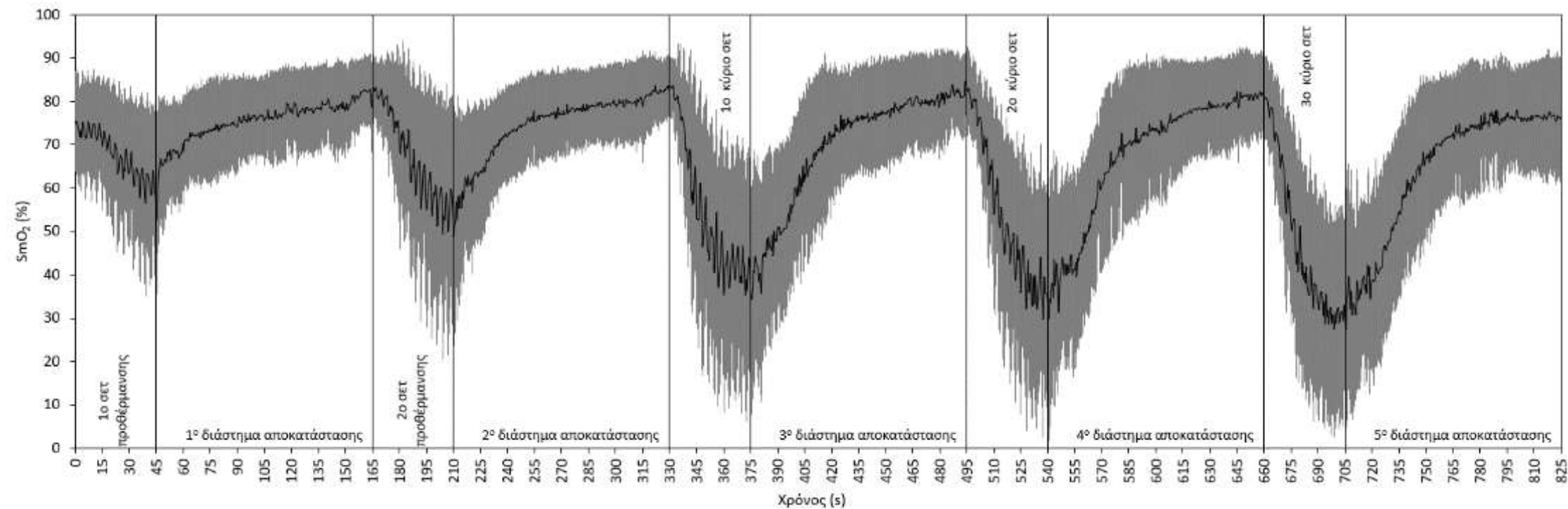
3.3.3. Ορθός μηριαίος

Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται τα ποσοστά των αρχικά ελλειπουσών τιμών του SmO_2 , των τιμών που συμπληρώθηκαν με τη μέθοδο που περιγράφεται στην ενότητα 2.6 και των τιμών που δεν κατέστη δυνατό να συμπληρωθούν.

Πίνακας 16. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών SmO_2 για τον ορθό μηριαίο

Σετ	Ποσοστό αρχικά ελλειπουσών τιμών	Ποσοστό συμπληρωμένων τιμών	Ποσοστό μη συμπληρωμένων τιμών
1	9,9	4,7	5,2
2	8,1	4,2	3,9
3	12,1	5,0	7,0
4	8,5	3,2	5,3
5	9,4	4,1	5,3
Σύνολο	9,6	4,2	5,4

Η κινητική του SmO_2 κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 20, το οποίο δείχνει σταδιακή πτώση του SmO_2 κατά τη διάρκεια κάθε σετ, με σχετική σταθεροποίηση στο μέσο περίπου του σετ, και σταδιακή επάνοδο σε υψηλή τιμή κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης. Ο αρχικός SmO_2 είχε γενικά μια αυξητική τάση από σετ σε σετ ενώ ο τελικός SmO_2 είχε γενικά μια πτωτική τάση. Η πτώση του SmO_2 είχε αυξητική τάση. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα 17.



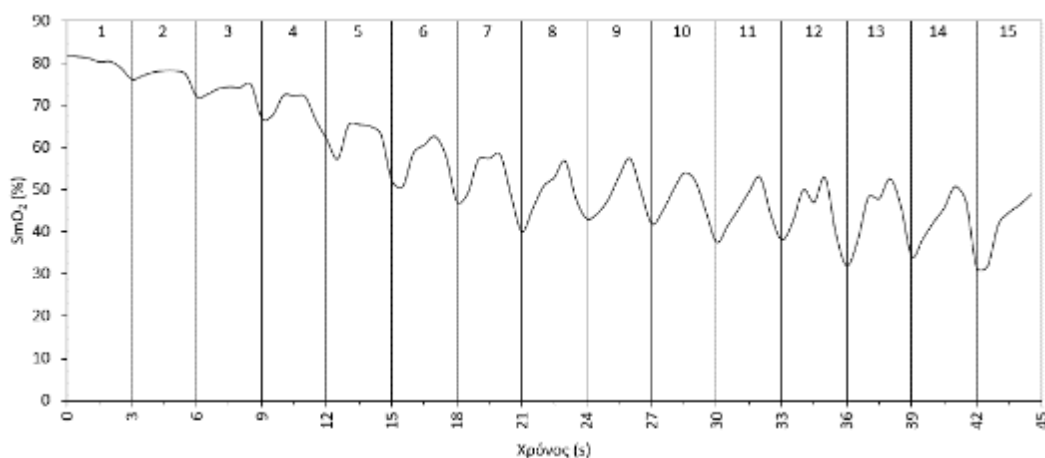
Σχήμα 20. Κινητική του SmO₂ του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

Πίνακας 17. Αρχικός SmO₂, τελικός SmO₂ και πτώση του SmO₂ του ορθού μηριαίου στα 5 σετ.

Σετ	Αρχικός SmO ₂	Τελικός SmO ₂	Πτώση SmO ₂
1	75,5 ± 11,7	58,4 ± 21,1	17,1 ± 23,4
2	82,1 ± 8,0	54,9 ± 26,5	27,2 ± 24,9
3	83,5 ± 7,3	42,3 ± 24,8	41,2 ± 23,2
4	82,9 ± 9,1	35,3 ± 25,7	47,7 ± 26,2
5	81,2 ± 9,2	33,1 ± 19,9	48,1 ± 19,5

Το σχήμα 20 δείχνει επιπρόσθετα κυματισμό του SmO₂ μέσα σε κάθε επανάληψη. Από την εξέταση των γραφημάτων των 18 εθελοντών προέκυψαν διαφορετικές αποκρίσεις από επανάληψη σε επανάληψη. Αναδείχτηκαν τα πρότυπα Α, Β, Δ, Ε που περιγράφηκαν παραπάνω για τον έξω πλατύ και επιπλέον το παρακάτω πρότυπο:

Η. Κυματισμός μέσα σε κάθε επανάληψη, με ελάχιστο στα 0,5 s (δηλ. λίγο μετά την αρχή της καθοδικής φάσης) και μέγιστο στο 2,5 s (δηλ. λίγο πριν το τέλος της ανοδικής φάσης) με την πτώση του SmO₂ να διαρκεί περίπου όσο κι η αύξησή του (1,5 s). Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 21.

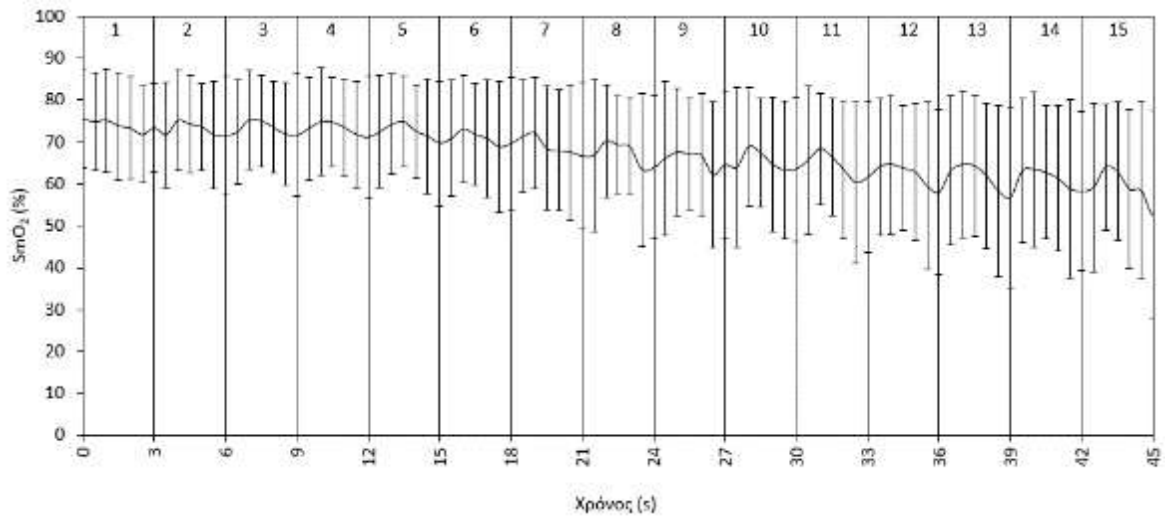


Σχήμα 21. Πρότυπο Η της κινητικής του SmO₂ μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

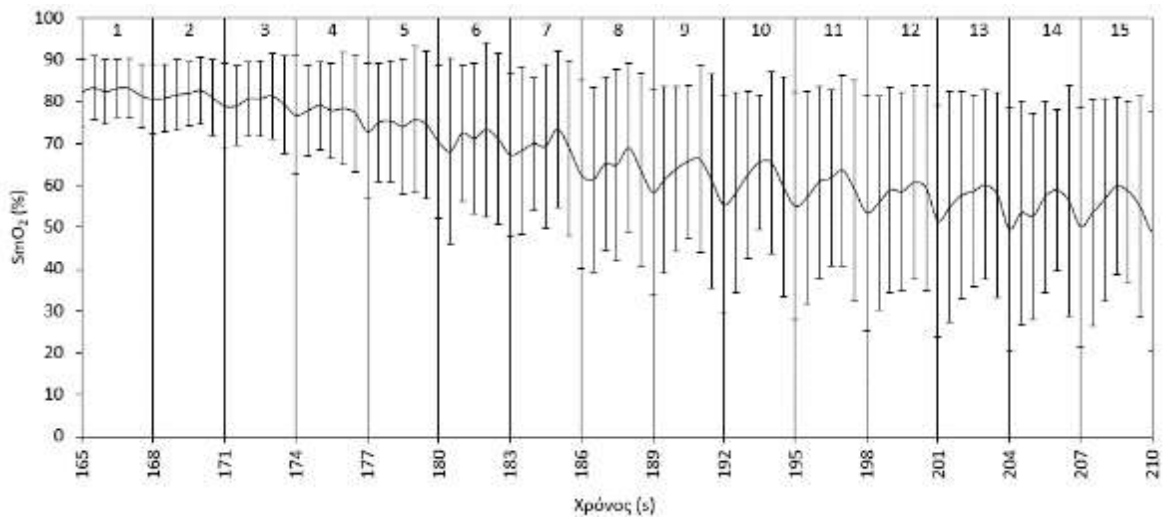
Ο πίνακας 18 παρουσιάζει τα πρότυπα που επέδειξαν οι εθελοντές. Από αυτόν προκύπτει ότι το κυρίαρχο πρότυπο ήταν το Ε (στο 40% των σετ), ακολουθούμενο από το Α (29%), το Δ (19%), το Η (8%) και το Β (4%). Παρότι το κυρίαρχο πρότυπο (Ε) δεν έχει περιοδικότητα, η συνολική εικόνα των εθελοντών, όπως φαίνεται στο σχήμα 20, μοιάζει με το δεύτερο επικρατέστερο πρότυπο (Α) στα 3 πρώτα από τα 5 σετ, ενώ στα άλλα 2 κυριαρχεί η έλλειψη περιοδικότητας. Για να γίνει αυτό εμφανέστερο τα σχήματα 22-26 παρουσιάζουν λεπτομερέστερα την κινητική του SmO₂ σε κάθε σετ ξεχωριστά.

Πίνακας 18. Πρότυπα SmO₂ εθελοντών για τον ορθό μηριαίο. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι εθελοντές (σύνολο 4) που διατηρούν το ίδιο πρότυπο (Α, Δ, Ε και Η) σε όλα τα σετ.

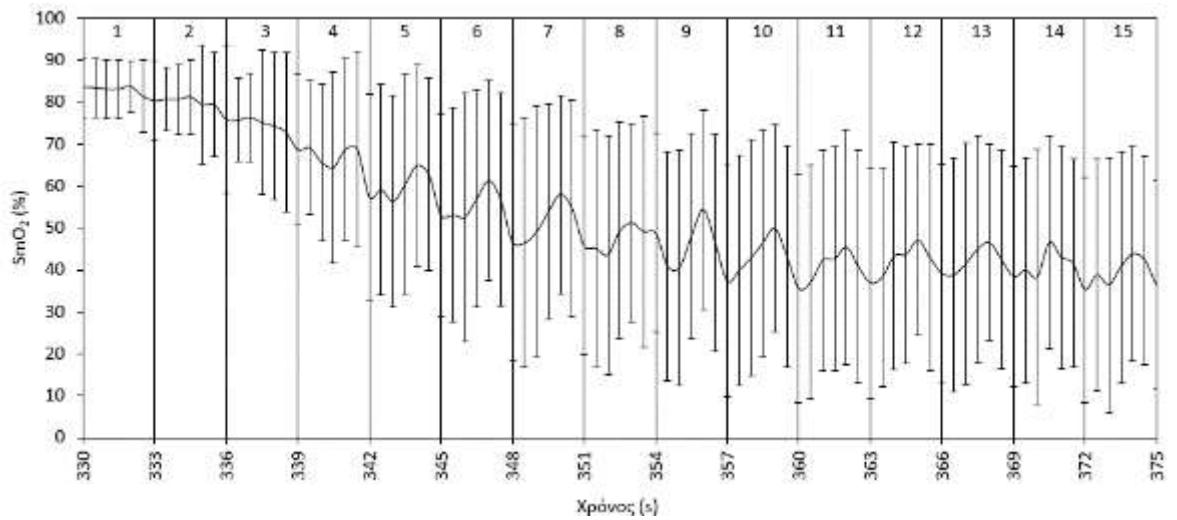
Εθελοντής	1 ^ο σετ προθέρμανσης	2 ^ο σετ προθέρμανσης	1 ^ο κύριο σετ	2 ^ο κύριο σετ	3 ^ο κύριο σετ
1	Η	Η	Η	Η	Η
2	Δ	Α	Α	Α	Α
3	Ε	Ε	Α	Ε	Α
4	Β	Ε	Ε	Ε	Ε
5	Ε	Β	Β	Δ	Ε
6	Ε	Ε	Η	Α	Η
7	Δ	Ε	Δ	Ε	Β
8	Ε	Ε	Ε	Ε	Ε
9	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
10	Ε	Ε	Α	Ε	Ε
11	Α	Δ	Δ	Δ	Δ
12	Ε	Ε	Δ	Δ	Δ
13	Α	Δ	Ε	Α	Ε
14	Α	Α	Α	Ε	Α
15	Α	Ε	Ε	Ε	Ε
16	Ε	Ε	Ε	Α	Ε
17	Ε	Α	Α	Α	Α
18	Α	Α	Α	Α	Α
Σύνολο Α	5	4	6	6	5
Σύνολο Β	1	1	1	0	1
Σύνολο Δ	3	3	4	4	3
Σύνολο Ε	8	9	5	7	7
Σύνολο Η	1	1	2	1	2



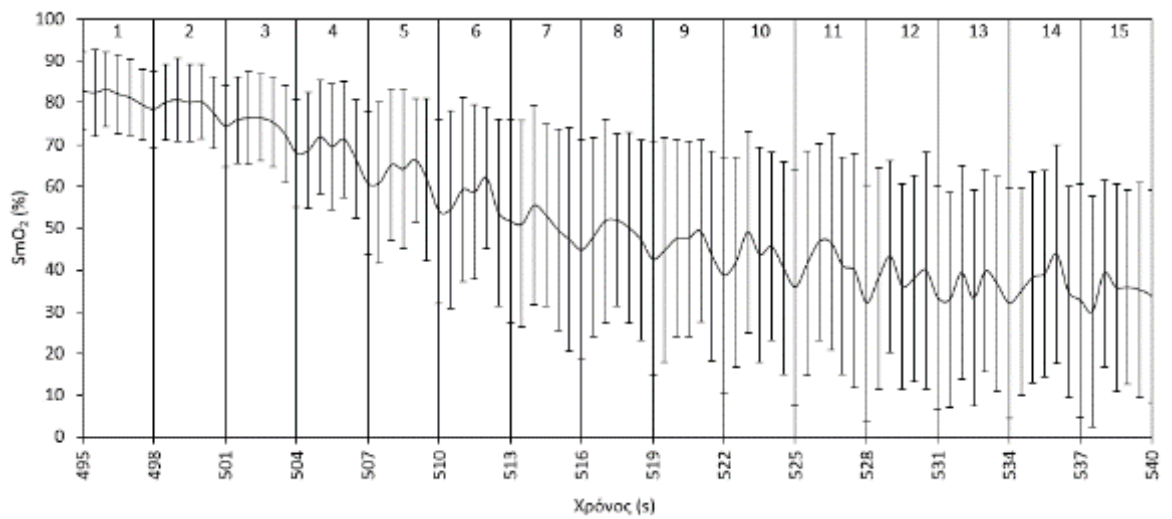
Σχήμα 22. Κινητική του SmO_2 του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



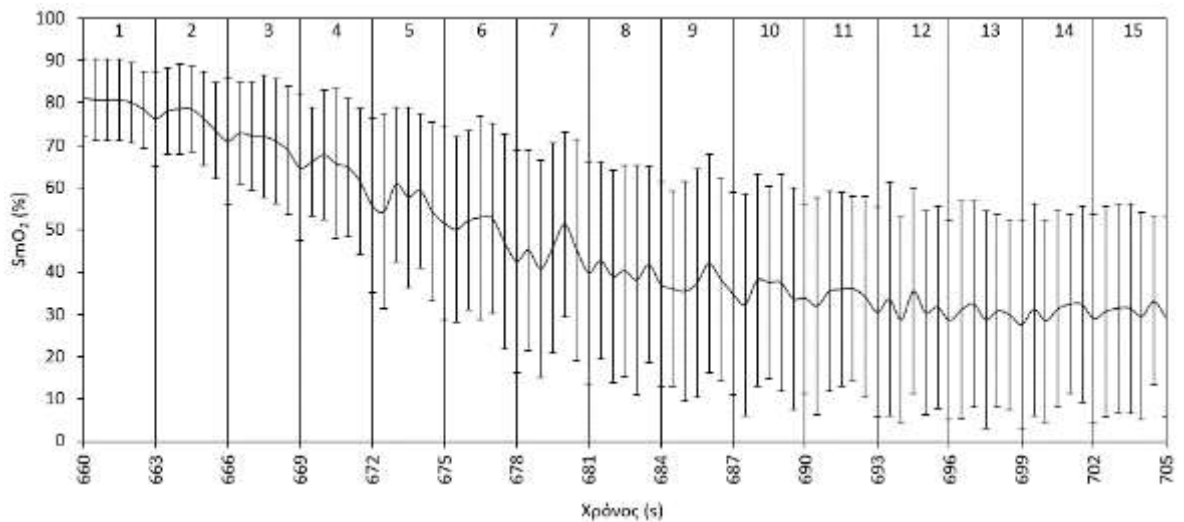
Σχήμα 23. Κινητική του SmO_2 του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 24. Κινητική του SmO_2 του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 25. Κινητική του SmO_2 του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 26. Κινητική του SmO₂ του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Από τα παραπάνω σχήματα φάνηκε ότι το πλάτος του κυματισμού του SmO₂ ήταν 6% στο 1^ο σετ προθέρμανσης, 9% στο 2^ο σετ προθέρμανσης, 8% στο 1^ο κύριο σετ, 11% στο 2^ο κύριο σετ και 5% στο 3^ο κύριο σετ, με μέσο πλάτος το 7,8%.

Κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης, ο SmO₂ κυμαίνονταν με παρόμοιο τρόπο όπως στον έξω πλατύ. Ο πίνακας 19 δείχνει τον χρόνο επανοξυγόνωσης και τον χρόνο ημιζωής μετά από κάθε σετ.

Πίνακας 19. Χρόνος επανοξυγόνωσης και ημιζωής μετά από κάθε σετ στον ορθό μηριαίο

Σετ	Χρόνος επανοξυγόνωσης (s)	Χρόνος ημιζωής (s)
1	38,3 ± 37,8	34,5 ± 40,1
2	74,1 ± 40,6	32,5 ± 39,3
3	82,6 ± 26,1	30,7 ± 23,6
4	93,7 ± 14,0	29,5 ± 23,6
5	84,8 ± 16,9	

3.3.4. Σύγκριση μεταβολών SmO₂ μεταξύ μυών και σετ

Πραγματοποιώντας παραγοντική ANOVA βρήκαμε σημαντικές κύριες επιδράσεις τόσο του μυός όσο και του σετ στην αρχική τιμή, στην τελική τιμή και στην πτώση του SmO₂ ($p \leq 0,001$). Επίσης, υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μυός και σετ στην αρχική και τελική τιμή ($p < 0,001$), αλλά όχι στην πτώση του SmO₂ ($p = 0,072$).

Η ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων που ακολούθησε για να ερμηνεύσει τις παραπάνω κύριες επιδράσεις και αλληλεπιδράσεις έδειξε τα παρακάτω:

α) Σε ό,τι αφορά την αρχική τιμή του SmO₂, υπήρξε σημαντική διαφορά του έξω πλατύ με τον έσω πλατύ και τον ορθό μηριαίο ($p < 0,05$ και για τα δύο), με τιμές, $74,0 \pm 6,0$, $79,3 \pm 6,7$, $81,1 \pm 8,5\%$ αντίστοιχα και σημαντική διαφορά του 1^{ου} σετ με όλα τα υπόλοιπα, του 2^{ου} με όλα εκτός από το 3^ο και του 3^{ου} με το 4^ο ($p < 0,05$ για όλα), με τιμές κατά σειρά $67,9 \pm 9,4$, $77,9 \pm 6,4$, $80,1 \pm 5,5$, $82,5 \pm 4,7$ και $82,3 \pm 5,0$. Επιπλέον, η ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων στην αλληλεπίδραση έδειξε τις σημαντικές διαφορές που παραθέτονται στον πίνακα 20.

Πίνακας 20. Σημαντικές διαφορές της αρχικής τιμής του SmO₂ μεταξύ των τριών μυών και των πέντε σετ ($p < 0,05$).

	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	RF1	RF2	RF3	RF4	RF5
VL1		*	*	*	*	*					*				
VL2				*	*		*					*			
VL3					*			*					*		
VL4															
VL5										*					
VM1							*	*	*	*	*				
VM2									*	*					
VM3									*	*					
VM4															
VM5															
RF1												*	*	*	
RF2															
RF3															
RF4															
RF5															

VL, έξω πλατύς· VM, έσω πλατύς· RF, ορθός μηριαίος· 1-5, τα 5 σετ της δοκιμασίας

β) Σε ό,τι αφορά την τελική τιμή του SmO₂, υπήρξαν σημαντικές διαφορές και στους τρεις μύες μεταξύ τους ($p \leq 0,01$ και για τους τρεις), με τιμές $8,6 \pm 6,7$, $16,1 \pm 6,8$ και $44,8 \pm 21,5$ για τον έξω πλατύ, έσω πλατύ και ορθό μηριαίο αντίστοιχα. Ακόμα, υπήρξε σημαντική διαφορά του 1^{ου} σετ με όλα τα υπόλοιπα και του 2^{ου} με όλα εκτός από το 3^ο ($p < 0,05$ για όλα), με τιμές κατά σειρά $33,0 \pm 12,3$, $27,1 \pm 10,8$, $20,3 \pm 10,2$, $17,9 \pm 9,1$ και $17,4 \pm 7,5$ αντίστοιχα. Επιπλέον, η ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων στην αλληλεπίδραση έδειξε τις σημαντικές διαφορές που παραθέτονται στον πίνακα 21.

Πίνακας 21. Σημαντικές διαφορές της τελικής τιμής του SmO₂ μεταξύ των τριών μυών και των πέντε σετ ($p < 0,05$).

	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	RF1	RF2	RF3	RF4	RF5
VL1		*		*		*					*				
VL2				*			*					*			
VL3								*					*		
VL4									*					*	
VL5															*
VM1								*	*	*	*				
VM2												*			
VM3													*		
VM4														*	
VM5															*
RF1													*	*	*
RF2														*	*
RF3															*
RF4															
RF5															

VL, έξω πλατύς· VM, έσω πλατύς· RF, ορθός μηριαίος· 1-5, τα 5 σετ της δοκιμασίας

- γ) Σε ό,τι αφορά την πτώση του SmO₂, υπήρξε σημαντική διαφορά του ορθού μηριαίου με τον έξω πλατύ και έσω πλατύ ($p < 0,001$ και για τα δύο), με τιμές $36,2 \pm 21,2$, $65,5 \pm 7,0$ και $63,2 \pm 8,0$ % αντίστοιχα, και σημαντική διαφορά του 1^{ου} σετ με όλα τα υπόλοιπα, του 2^{ου} με όλα εκτός από το 3^ο και του 3^{ου} με το 5^ο ($p < 0,01$ για όλα), με τιμές κατά σειρά $34,8 \pm 13,8$, $53,5 \pm 10,1$, $59,8 \pm 8,6$, $64,6 \pm 9,0$ και $64,8 \pm 8,0$ % αντίστοιχα.

3.3.5. Σύγκριση χρόνων επανοξυγόνωσης και ημιζωής SmO₂ μεταξύ μυών και σετ

Για τη διευκόλυνση του αναγνώστη, ο πίνακας 22 συνοψίζει τα δεδομένα των πινάκων 11, 15 και 19 σε ό,τι αφορά τον χρόνο επανοξυγόνωσης.

Πίνακας 22. Χρόνος επανοξυγόνωσης των τριών μυών.

Σετ	VL	VM	RF
1	41,1 ± 25,7	47,9 ± 28,2	38,3 ± 37,8
2	79,3 ± 21,8	71,9 ± 31,9	74,1 ± 40,6
3	72,0 ± 22,0	61,7 ± 16,1	82,6 ± 26,1
4	79,4 ± 16,4	77,0 ± 18,2	93,7 ± 14,0
5	84,9 ± 24,3	80,5 ± 15,5	84,8 ± 16,9

Επειδή τα 2 min του διαλείμματος μεταξύ των σετ αποδείχθηκαν ανεπαρκής χρόνος για την επανοξυγόνωση των μυών σε αρκετούς εθελοντές, ήταν αδύνατο να υπάρχουν τιμές χρόνου επανοξυγόνωσης στις συγκεκριμένες περιπτώσεις. Γι' αυτό δεν μπορεί να γίνει επαγωγική στατιστική στον χρόνο επανοξυγόνωσης. Ωστόσο, από τις μέσες τιμές του πίνακα 22 φαίνεται γενικά μια αύξηση του χρόνου επανοξυγόνωσης από σετ σε σετ, αλλά όχι διαφορές μεταξύ των μυών.

Ο πίνακας 23 συνοψίζει τα δεδομένα των πινάκων 11, 15 και 19 σε ό,τι αφορά τον χρόνο ημιζωής.

Πίνακας 23. Χρόνος ημιζωής των τριών μυών.

Σετ	VL	VM	RF
1	20,2 ± 8,0	16,8 ± 8,9	34,5 ± 40,1
2	28,3 ± 9,2	20,6 ± 11,1	32,5 ± 39,3
3	41,2 ± 9,2	30,0 ± 9,7	30,7 ± 23,6
4	40,1 ± 10,5	29,0 ± 9,1	29,5 ± 23,6

Πραγματοποιώντας παραγοντική ANOVA βρήκαμε σημαντική κύρια επίδραση μόνο για το σετ στον χρόνο ημιζωής ($p = 0,017$). Δεν υπήρξε αλληλεπίδραση του σετ με τον μυ ($p = 0,071$). Σε ό,τι αφορά το σετ, υπήρξε διαφορά του 1^{ου} με το 3^ο ($p = 0,044$), με τιμές κατά σειρά $23,8 \pm 25,0$, $27,1 \pm 24,3$, $34,0 \pm 16,2$ και $32,9 \pm 16,4$.

3.4. tHb

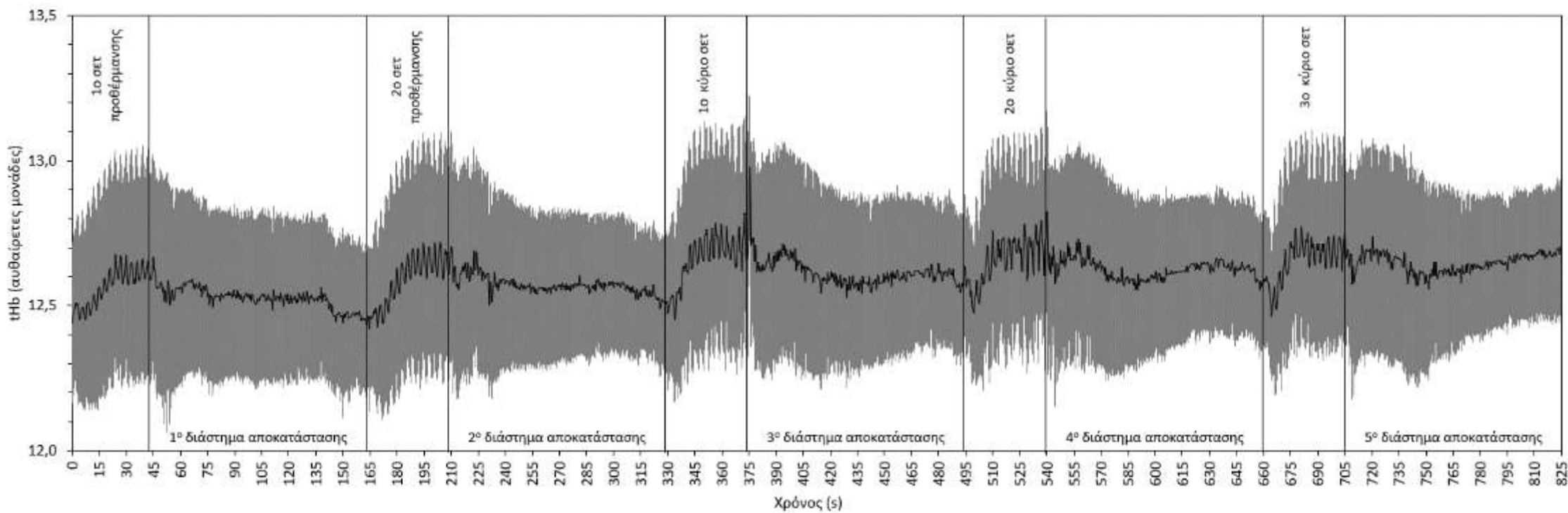
3.4.1. Έξω πλατύς

Στον πίνακα 24 παρουσιάζονται τα ποσοστά των αρχικά ελλειπουσών τιμών της tHb, των τιμών που συμπληρώθηκαν με τη μέθοδο που περιγράφεται στην ενότητα 2.6 και των τιμών που δεν κατέστη δυνατό να συμπληρωθούν.

Πίνακας 24. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών tHb για τον έξω πλατύ.

Σετ	Ποσοστό αρχικά ελλειπουσών τιμών	Ποσοστό συμπληρωμένων τιμών	Ποσοστό μη συμπληρωμένων τιμών
1	5,0	3,3	1,7
2	10,0	5,3	4,7
3	17,0	6,5	10,5
4	13,2	5,7	7,5
5	13,3	7,0	6,3
Σύνολο	11,7	5,6	6,1

Η κινητική της tHb κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 27, το οποίο δείχνει μικρή πτώση στα πρώτα δευτερόλεπτα κάθε σετ, αύξηση στη συνέχεια του σετ και μικρή πτώση κατά την αποκατάσταση. Η αρχική tHb είχε αυξητική τάση από σετ σε σετ, ενώ η τελική tHb είχε γενικά μια αυξητική τάση. Η μεταβολή της tHb είχε αυξητική τάση. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα 25.



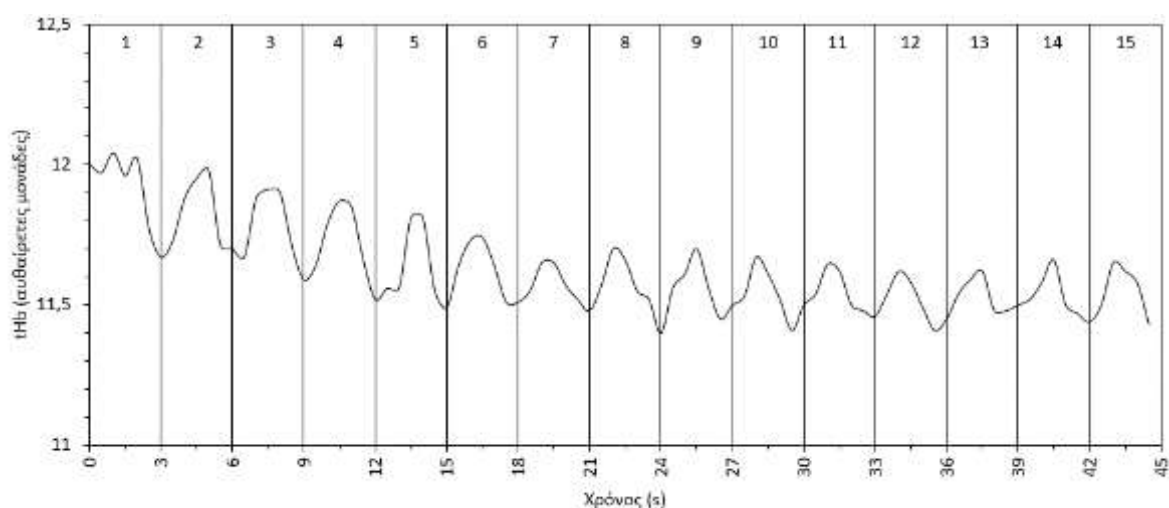
Σχήμα 27. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

Πίνακας 25. Αρχική tHb, τελική tHb και μεταβολή της tHb του έξω πλατύ στα 5 σετ.

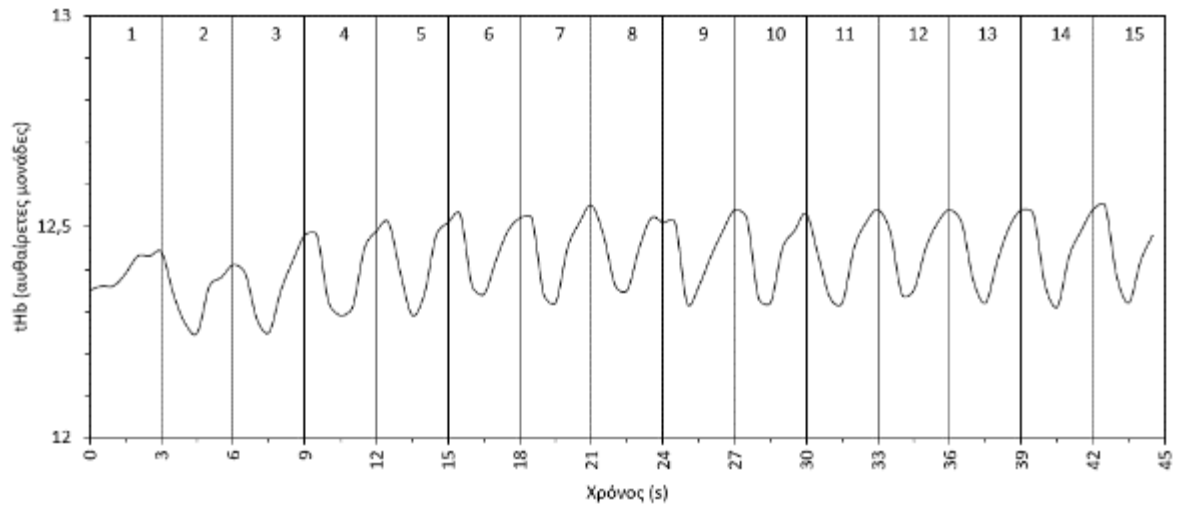
Σετ	Αρχική tHb	Τελική tHb	Μεταβολή tHb
1	12,44 ± 0,28	12,64 ± 0,37	0,20 ± 0,14
2	12,46 ± 0,24	12,68 ± 0,37*	0,20 ± 0,22
3	12,47 ± 0,27	12,71 ± 0,39**	0,22 ± 0,19
4	12,57 ± 0,24	12,73 ± 0,35*	0,15 ± 0,19
5	12,59 ± 0,23	12,73 ± 0,36**	0,12 ± 0,23

Απουσιάζει η τιμή από έναν (*), δύο (**), εθελοντές

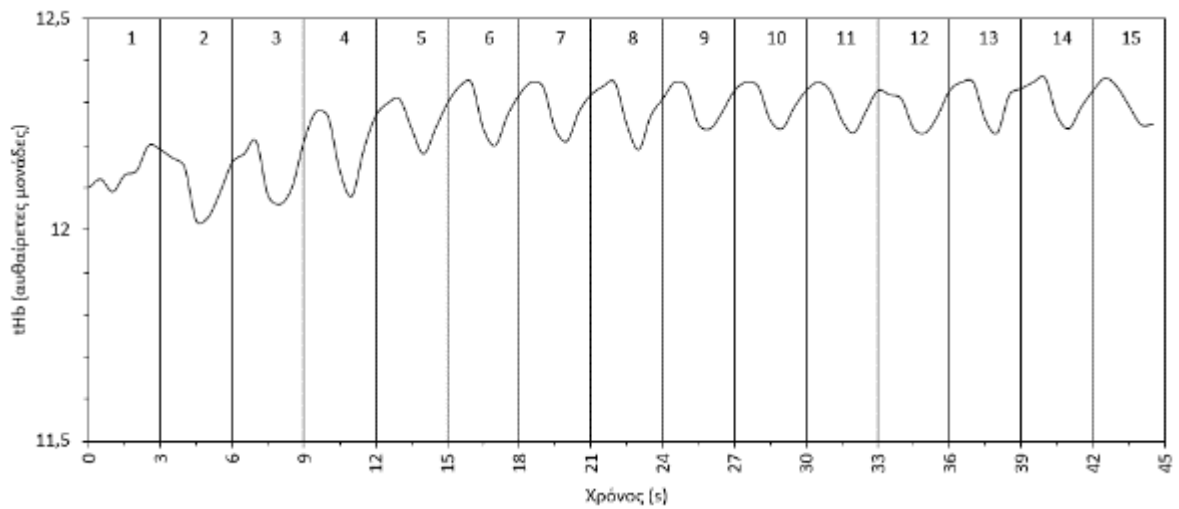
Το σχήμα 27 δείχνει επιπρόσθετα κυματισμό της tHb από επανάληψη σε επανάληψη. Η εξέταση της κινητικής της tHb σε κάθε εθελοντή έδειξε ότι ο κυματισμός αυτός δεν είχε ενιαίο πρότυπο. Αναδείχτηκαν όλα τα πρότυπα που περιγράφηκαν παραπάνω για τον SmO₂ εκτός του προτύπου Γ και ΣΤ. Τα πρότυπα αυτά παρουσιάζονται στα σχήματα .



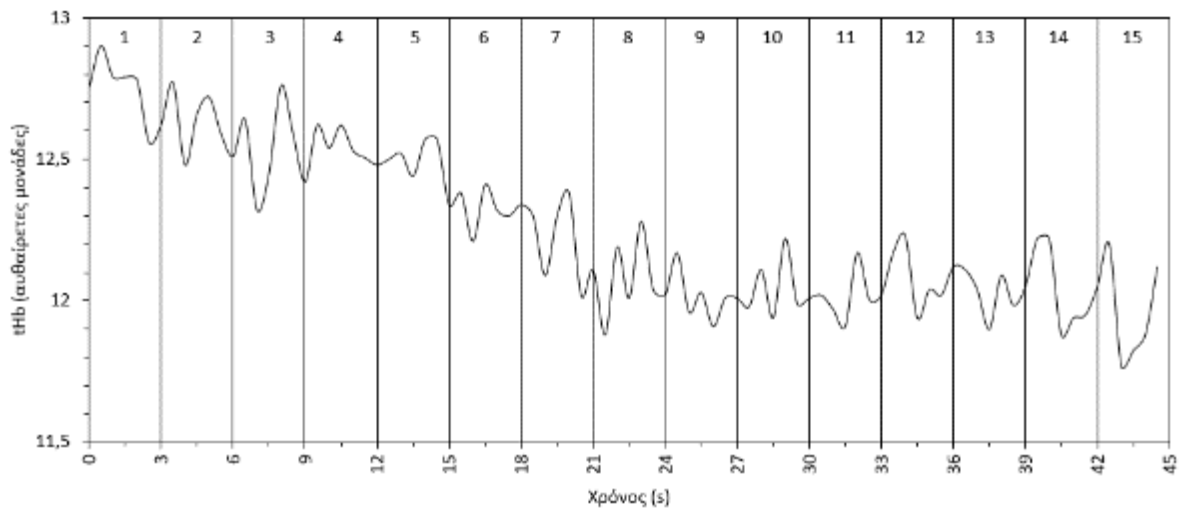
Σχήμα 28. Πρότυπο Α της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



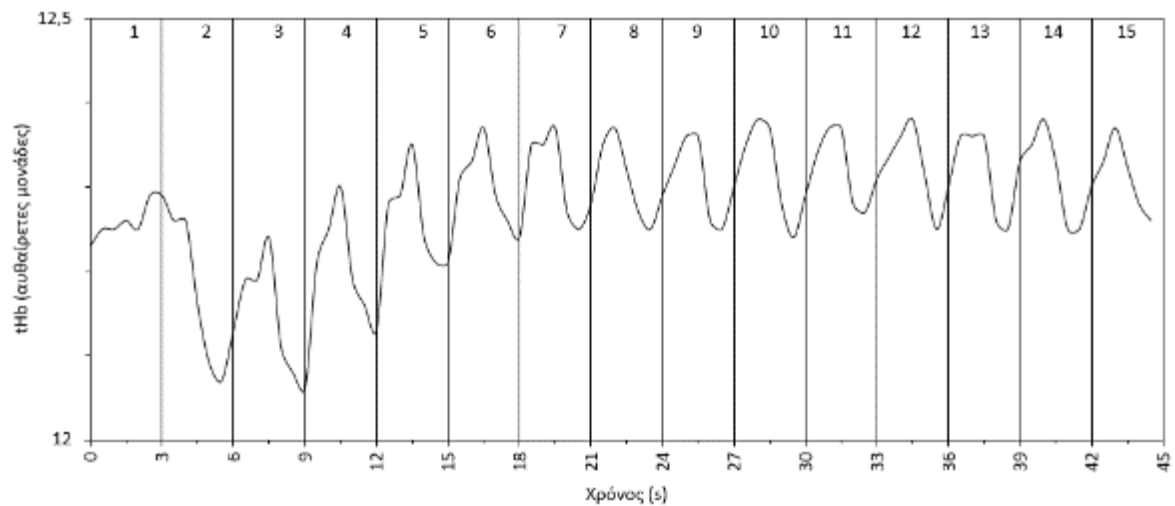
Σχήμα 29. Πρότυπο Β της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



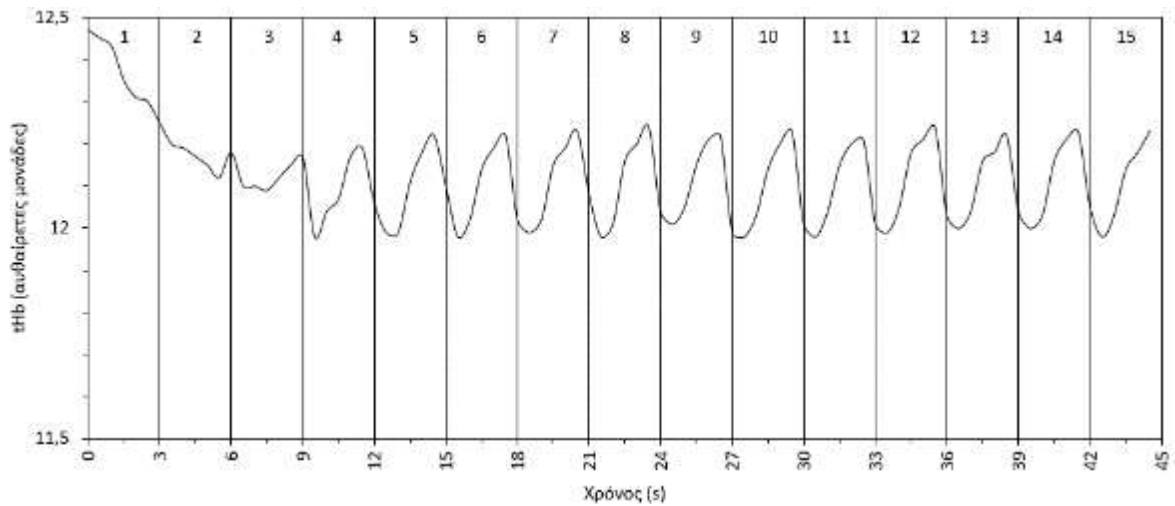
Σχήμα 30. Πρότυπο Δ της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 31. Πρότυπο E της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 32. Πρότυπο Z της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

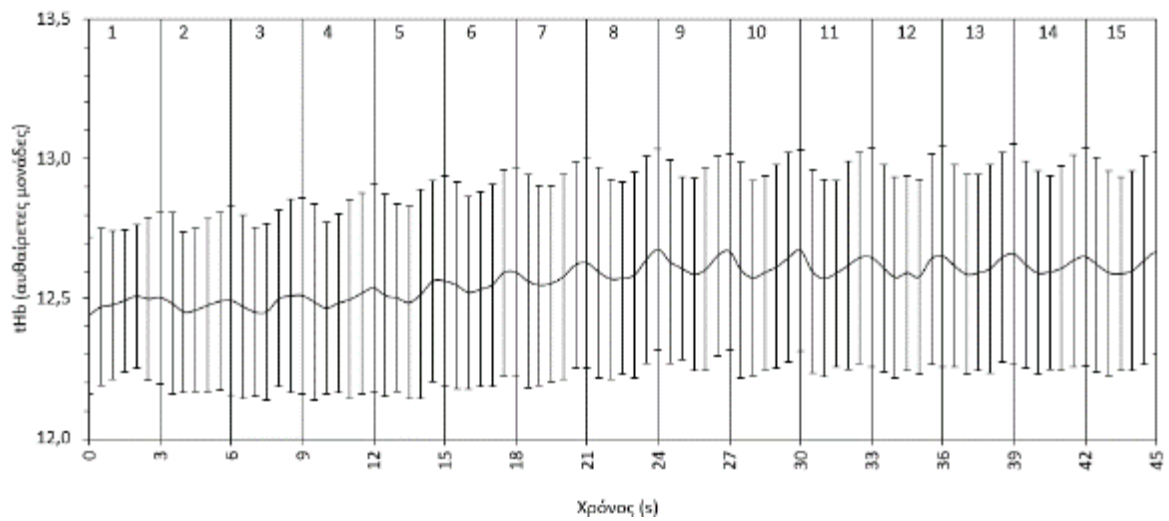


Σχήμα 33. Πρότυπο Η της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

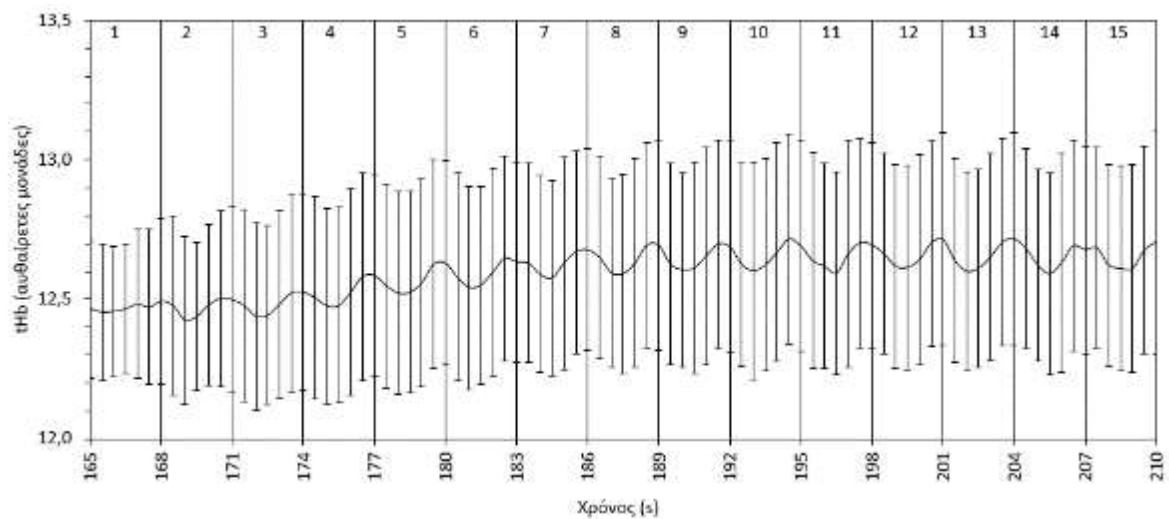
Ο πίνακας 26 παρουσιάζει τα πρότυπα που επέδειξαν οι εθελοντές. Από αυτόν προκύπτει ότι το κυρίαρχο πρότυπο ήταν το Β (στο 47% των σετ), ακολουθούμενο από το Ε (20%), το Δ (19%), το Η (10%), το Α (3%) και το Ζ (1%). Για τον λόγο αυτό η συνολική εικόνα των εθελοντών, όπως φαίνεται στο σχήμα 27, μοιάζει με το πρότυπο Β. Για να γίνει αυτό εμφανέστερο, τα σχήματα 34-38 παρουσιάζουν λεπτομερέστερα την κινητική της tHb σε κάθε σετ ξεχωριστά.

Πίνακας 26. Πρότυπα εθελοντών tHb για τον έξω πλατύ. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι εθελοντές (σύνολο 3) που διατηρούν το ίδιο πρότυπο (B) σε όλα τα σετ.

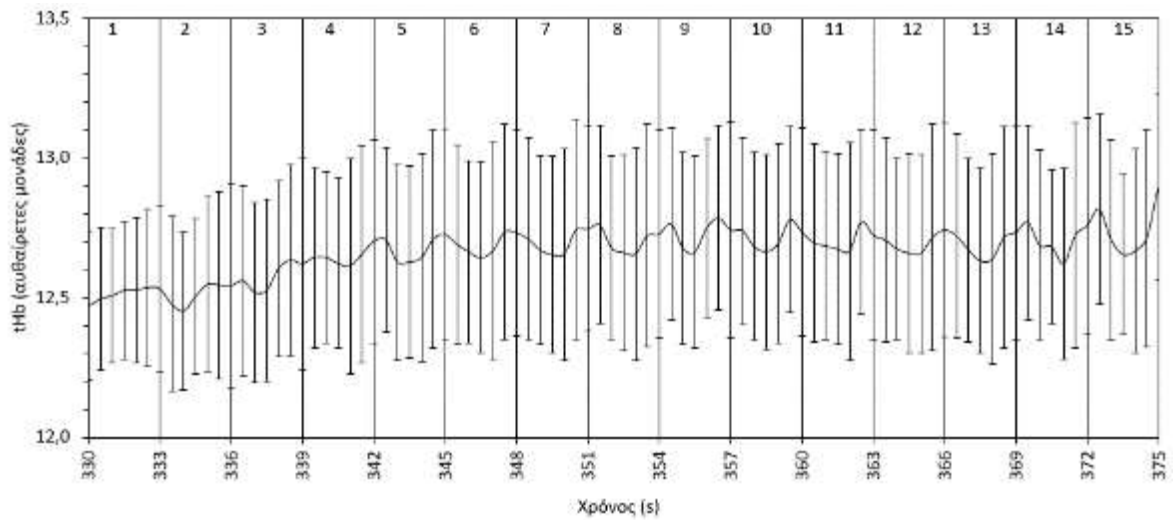
Εθελοντής	1 ^ο σετ προθέρμανσης	2 ^ο σετ προθέρμανσης	1 ^ο κύριο σετ	2 ^ο κύριο σετ	3 ^ο κύριο σετ
1	B	B	B	B	B
2	B	B	B	B	Δ
3	E	E	E	B	B
4	H	E	E	E	E
5	Δ	Δ	Δ	Z	Δ
6	E	E	A	E	E
7	H	Δ	E	B	E
8	H	B	B	B	B
9	B	E	E	E	B
10	Δ	B	Δ	Δ	Δ
11	B	H	H	H	H
12	B	B	B	B	B
13	B	B	E	E	Δ
14	B	B	Δ	B	B
15	B	B	B	Δ	Δ
16	B	B	B	B	B
17	A	H	H	A	B
18	B	Δ	Δ	Δ	B
Σύνολο A	1	0	1	1	0
Σύνολο B	10	9	6	8	9
Σύνολο Δ	2	3	4	3	5
Σύνολο E	2	4	5	4	3
Σύνολο Z	0	0	0	1	0
Σύνολο H	3	2	2	1	1



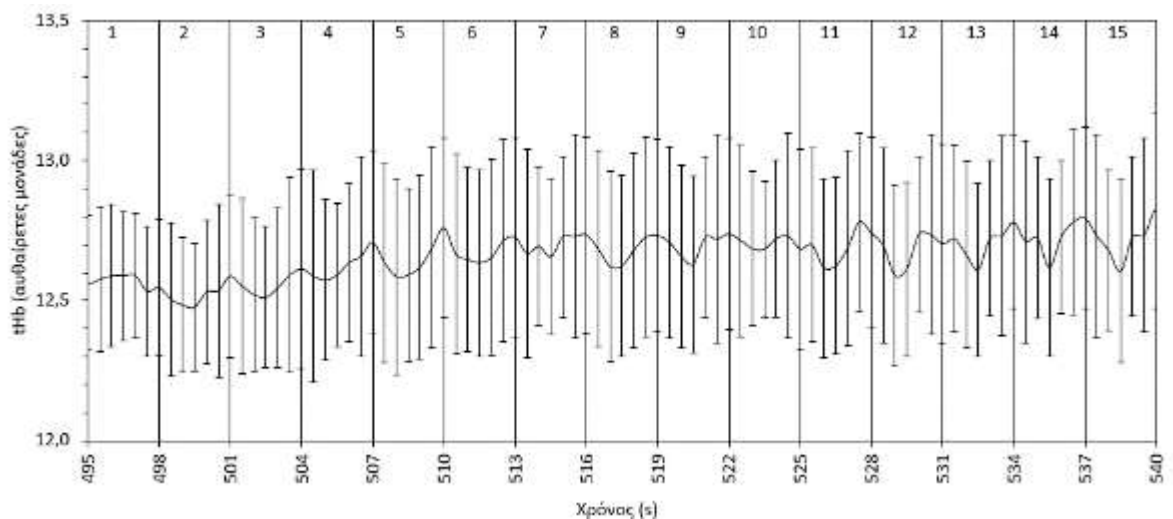
Σχήμα 34. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



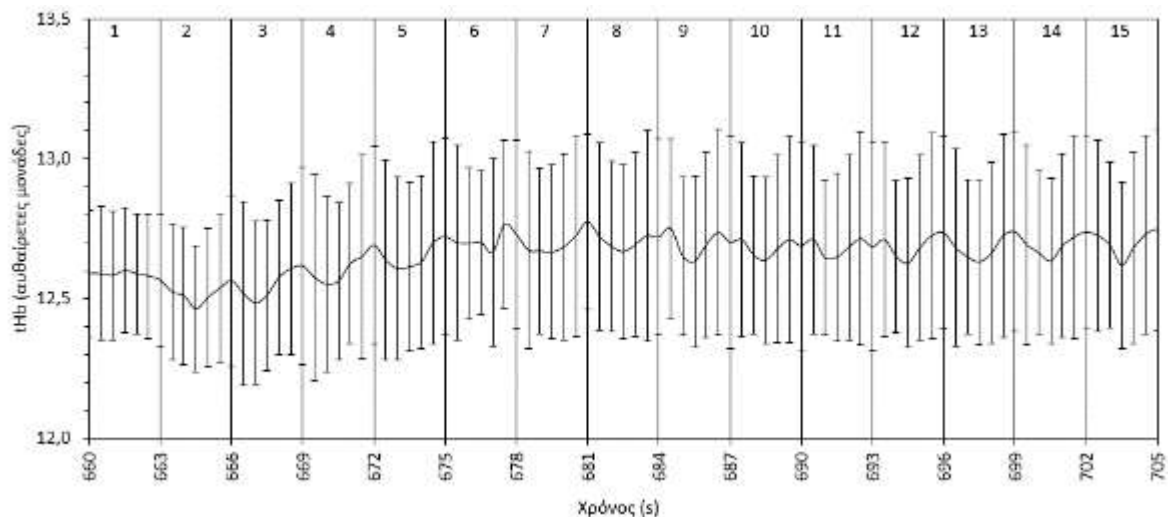
Σχήμα 35. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 36. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 37. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 38. Κινητική της tHb του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Από τα παραπάνω σχήματα φάνηκε ότι το πλάτος του κυματισμού της tHb ήταν 0,1% και στα 5 σετ.

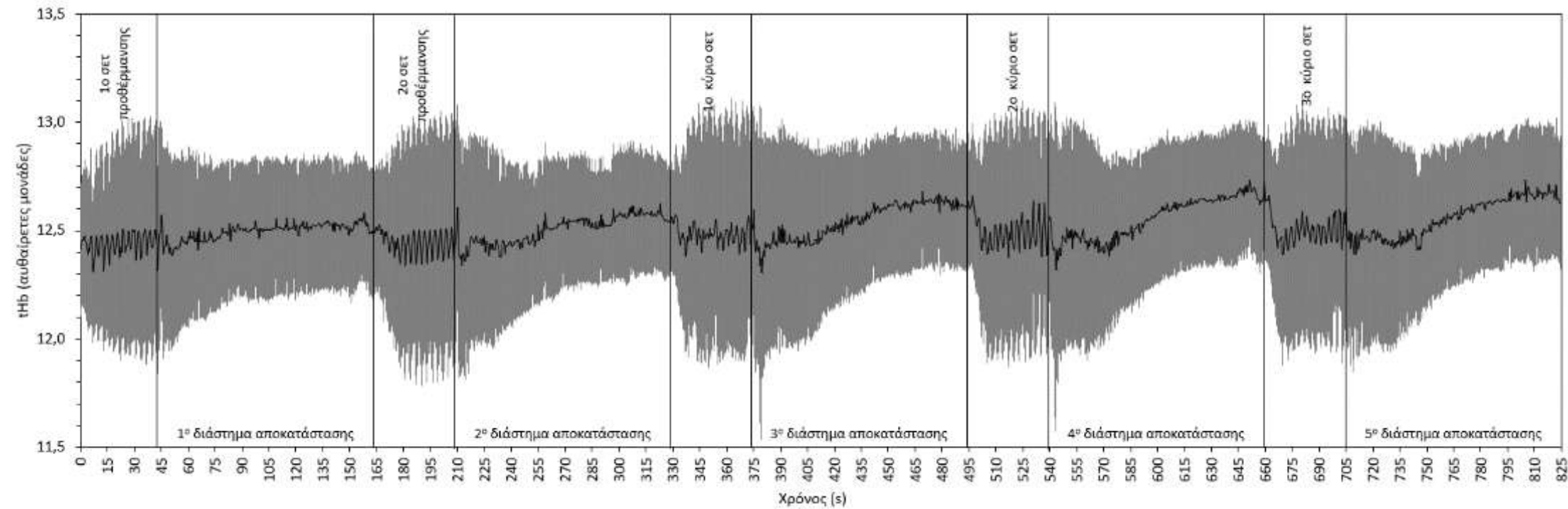
3.4.2. Έσω πλατύς

Στον πίνακα 27 παρουσιάζονται τα ποσοστά των αρχικά ελλειπουσών τιμών της tHb για τον έσω πλατύ.

Πίνακας 27. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών tHb για τον έσω πλατύ

Σετ	Ποσοστό αρχικά ελλειπουσών τιμών	Ποσοστό συμπληρωμένων τιμών	Ποσοστό μη συμπληρωμένων τιμών
1	7,5	3,9	3,6
2	7,3	4,9	2,4
3	10,7	4,1	6,7
4	9,1	4,1	5,0
5	9,6	4,4	5,2
Σύνολο	8,9	4,3	4,6

Η κινητική της tHb κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 39, το οποίο δείχνει μικρή πτώση στα πρώτα δευτερόλεπτα των κύριων σετ, σχετική σταθερότητα στη συνέχεια των κύριων σετ και από την αρχή των σετ προθέρμανσης και μικρή αύξηση κατά την αποκατάσταση. Η αρχική tHb είχε αυξητική τάση από σετ σε σετ, ενώ η τελική tHb είχε γενικά μια αυξητική τάση. Η μεταβολή της tHb είχε αυξητική τάση. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα 28.

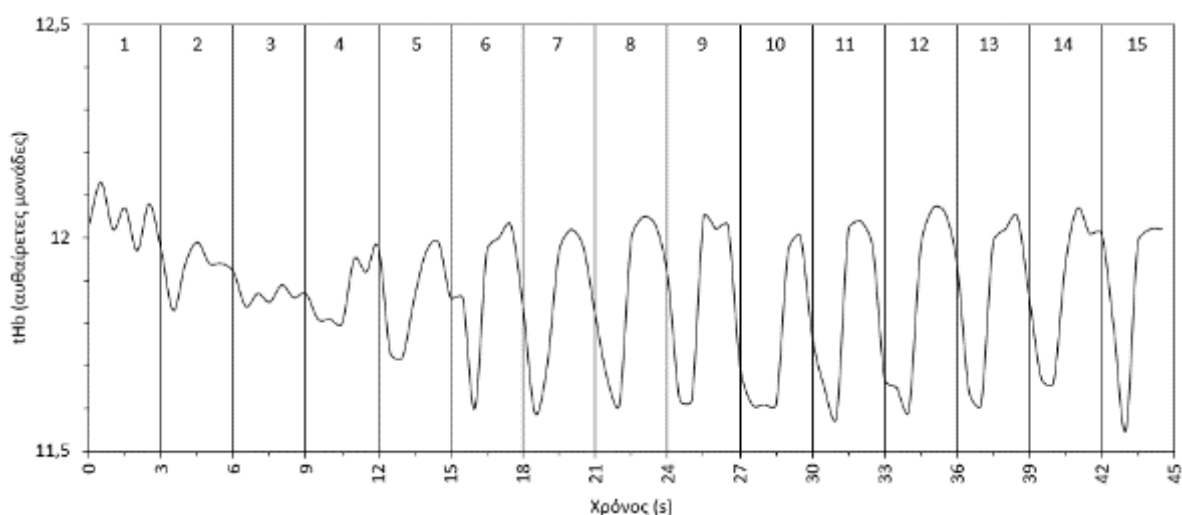


Σχήμα 39. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

Πίνακας 28. Αρχική tHb, τελική tHb και μεταβολή της tHb του έσω πλατύ στα 5 σετ.

Σετ	Αρχική tHb	Τελική tHb	Μεταβολή tHb
1	12,41 ± 0,31	12,50 ± 0,51	0,09 ± 0,32
2	12,51 ± 0,29	12,50 ± 0,51	-0,01 ± 0,36
3	12,54 ± 0,25	12,51 ± 0,54	-0,02 ± 0,40
4	12,60 ± 0,26	12,55 ± 0,50	-0,05 ± 0,34
5	12,64 ± 0,27	12,53 ± 0,49	-0,11 ± 0,34

Το σχήμα 39 δείχνει επιπρόσθετα κυματισμό της tHb από επανάληψη σε επανάληψη. Η εξέταση της κινητικής της tHb σε κάθε εθελοντή έδειξε ότι ο κυματισμός αυτός δεν είχε ενιαίο πρότυπο. Αναδείχτηκαν όλα τα πρότυπα που περιγράφηκαν παραπάνω, για την tHb, και επιπλέον το πρότυπο Γ. Το σχήμα 40 παρουσιάζει το πρότυπο Γ.

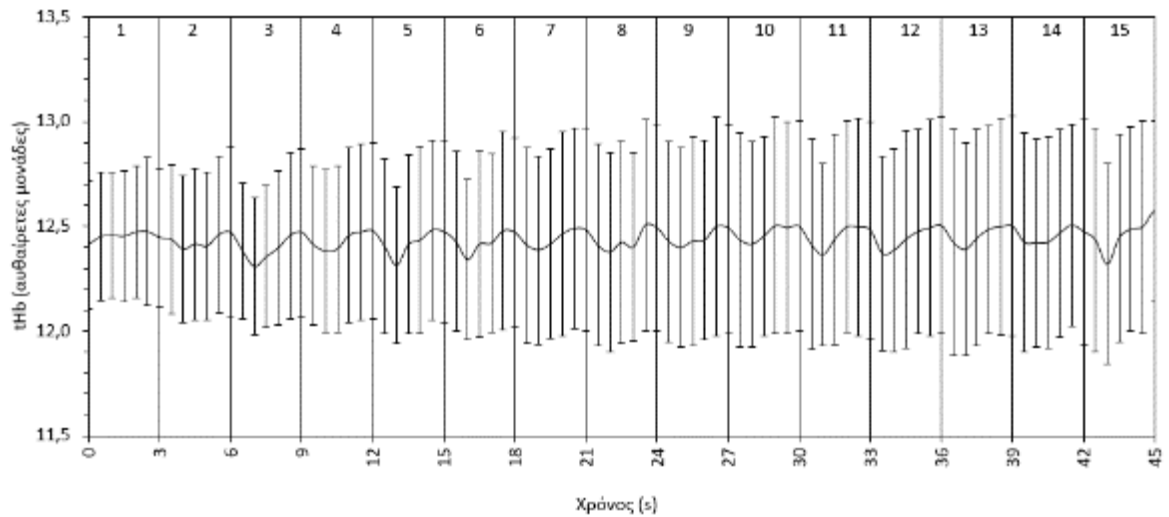


Σχήμα 40. Πρότυπο Γ της κινητικής της tHb μέσα σε ένα σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

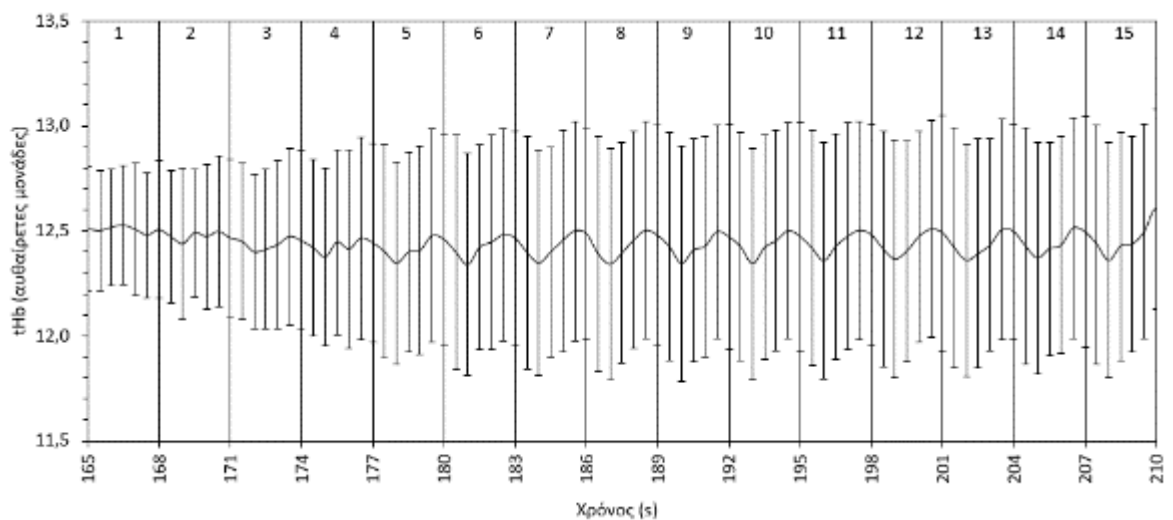
Ο πίνακας 29 παρουσιάζει τα πρότυπα που επέδειξαν οι εθελοντές. Από αυτόν προκύπτει ότι το κυρίαρχο πρότυπο ήταν το Β (στο 38% των σετ), ακολουθούμενο από το Ε (27%), το Η (20%), το Δ (8%), το Α (4%), το Γ (2%) και το Ζ (1%). Για τον λόγο αυτό η συνολική εικόνα των εθελοντών, όπως φαίνεται στο σχήμα 39, μοιάζει με το πρότυπο Β. Για να γίνει αυτό εμφανέστερο τα σχήματα 41-45 παρουσιάζουν λεπτομερέστερα την κινητική της tHb σε κάθε σετ ξεχωριστά.

Πίνακας 29. Πρότυπα tHb εθελοντών για τον έσω πλατύ. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι εθελοντές (σύνολο 6) που διατηρούν το ίδιο πρότυπο (B, E και H) σε όλα τα σετ.

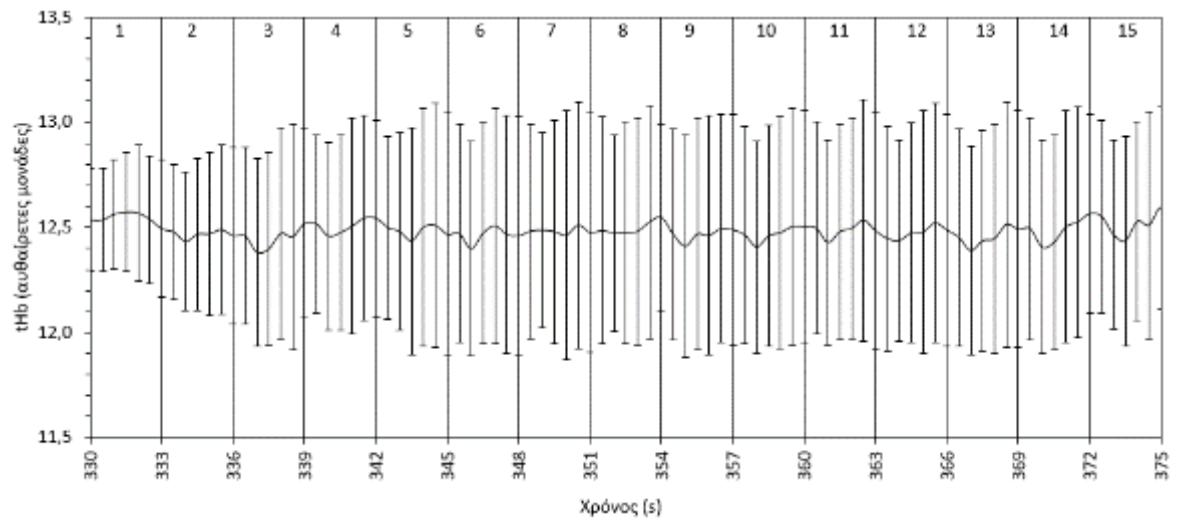
Εθελοντής	1 ^ο σετ προθέρμανσης	2 ^ο σετ προθέρμανσης	1 ^ο κύριο σετ	2 ^ο κύριο σετ	3 ^ο κύριο σετ
1	E	B	E	E	E
2	B	B	B	B	B
3	B	B	B	B	B
4	E	H	Δ	A	E
5	B	E	E	H	Z
6	E	H	E	A	A
7	E	E	E	B	B
8	Δ	E	B	B	E
9	H	H	H	H	H
10	E	E	E	E	E
11	B	A	B	B	H
12	B	B	B	H	H
13	Γ	H	E	Γ	Δ
14	B	B	Δ	B	Δ
15	B	E	E	E	B
16	B	B	H	Δ	Δ
17	H	H	H	H	H
18	B	B	B	B	B
Σύνολο A	0	1	0	2	1
Σύνολο B	9	7	6	7	5
Σύνολο Γ	1	0	0	1	0
Σύνολο Δ	1	0	2	1	3
Σύνολο E	5	5	7	3	4
Σύνολο Z	0	0	0	0	1
Σύνολο H	2	5	3	4	4



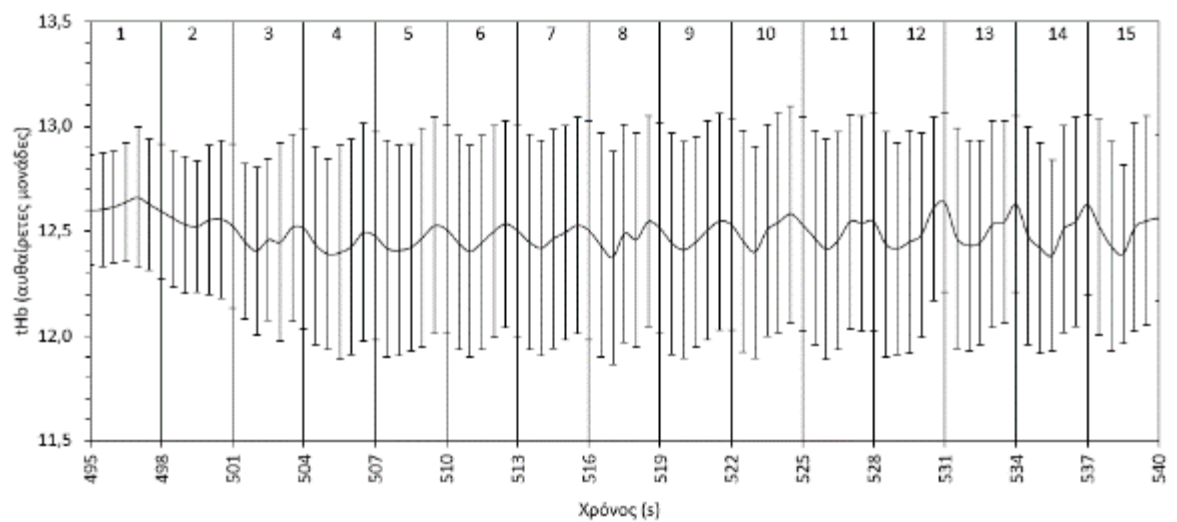
Σχήμα 41. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



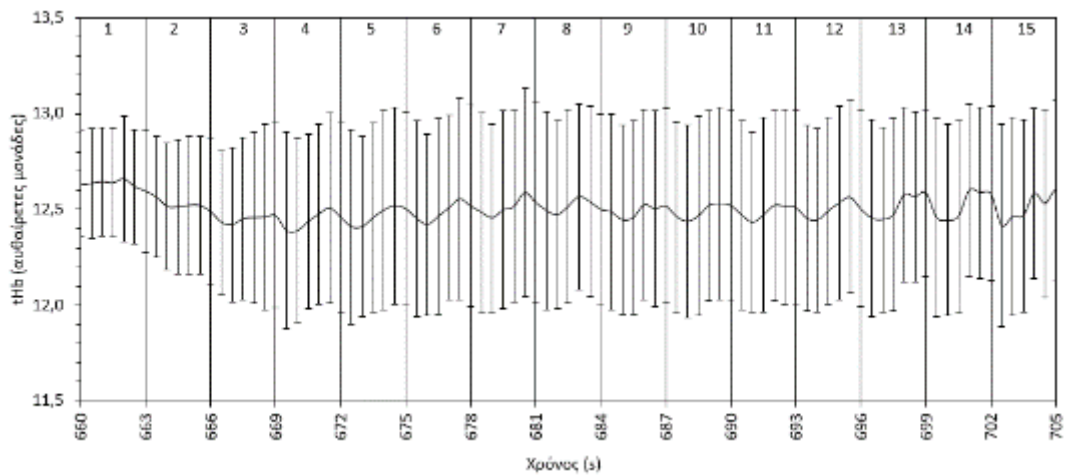
Σχήμα 42. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 43. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 44. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 45. Κινητική της tHb του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Από τα παραπάνω σχήματα φάνηκε ότι το πλάτος του κυματισμού της tHb ήταν 0,1% και στα 5 σετ.

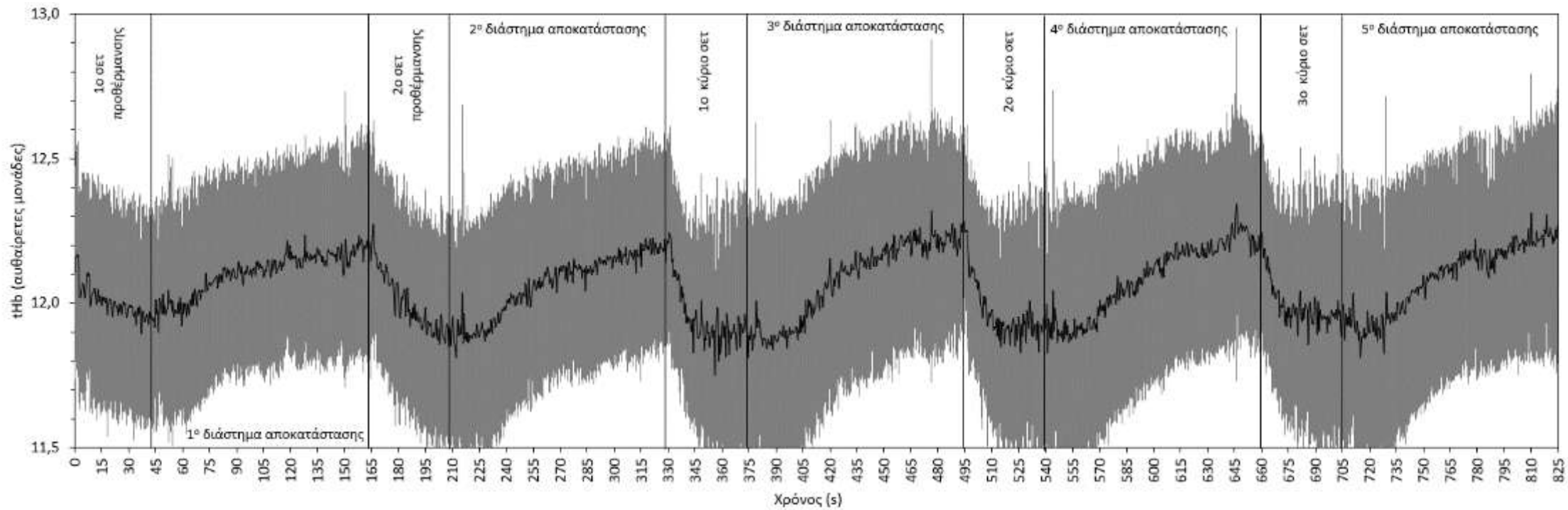
3.4.3. Ορθός μηριαίος

Στον πίνακα 30 παρουσιάζονται τα ποσοστά των αρχικά ελλειπουσών τιμών του tHb, για τον ορθό μηριαίο.

Πίνακας 30. Ποσοστά ελλειπουσών και συμπληρωμένων τιμών tHb για τον ορθό μηριαίο

Σετ	Ποσοστό αρχικά ελλειπουσών τιμών	Ποσοστό συμπληρωμένων τιμών	Ποσοστό μη συμπληρωμένων τιμών
1	9,9	4,7	5,2
2	8,3	3,1	5,2
3	15,2	3,5	11,7
4	10,2	2,5	7,7
5	12,5	3,6	8,9
Σύνολο	11,2	3,5	7,8

Η κινητική της tHb κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 46, το οποίο δείχνει πτώση στα πρώτα δευτερόλεπτα κάθε σετ εκτός του 1^{ου} της προθέρμανσης, παραμονή σε χαμηλές τιμές μέχρι το τέλος του σετ και αύξηση κατά την αποκατάσταση. Η αρχική tHb είχε γενικά μια αυξητική τάση από σετ σε σετ, ενώ η τελική είχε γενικά μια πτωτική τάση. Αλλά επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις η αρχική τιμή ήταν υψηλότερη από την τελική, η μεταβολή ήταν αρνητική. Η μεταβολή της tHb είχε αυξητική τάση. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα 31.



Σχήμα 46. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

Πίνακας 31. Αρχική tHb, τελική tHb και μεταβολή της tHb του ορθού μηριαίου.

Σετ	Αρχική tHb	Τελική tHb	Μεταβολή tHb
1	12,11 ± 0,37	11,92 ± 0,37*	-0,16 ± 0,25
2	12,19 ± 0,33	11,91 ± 0,40	-0,28 ± 0,27
3	12,21 ± 0,35	11,81 ± 0,49*	-0,40 ± 0,34
4	12,25 ± 0,36	11,91 ± 0,46*	-0,33 ± 0,27
5	12,24 ± 0,35	11,89 ± 0,46*	-0,35 ± 0,32

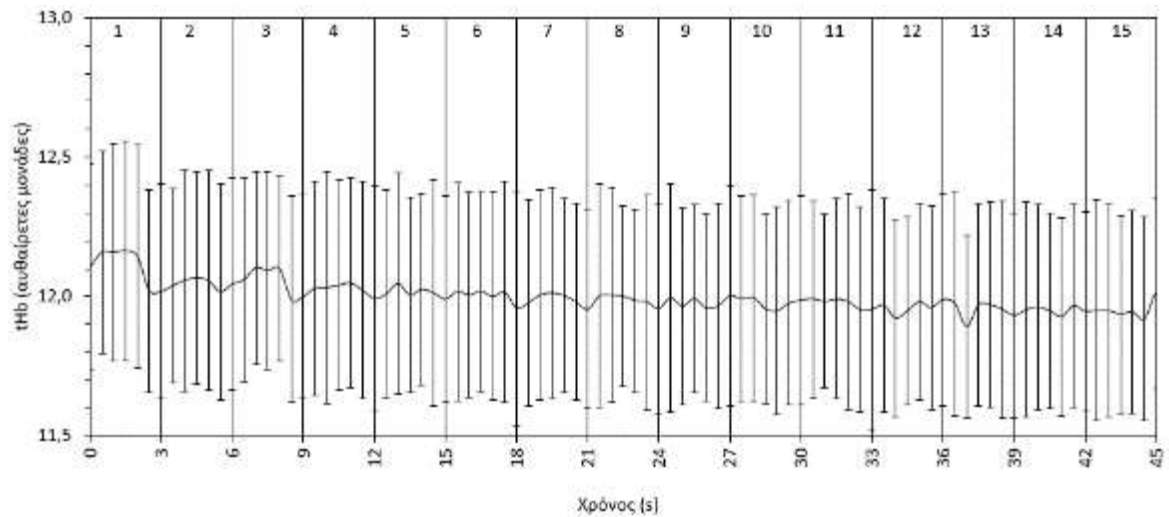
Απουσιάζει η τιμή από έναν (*), δύο (**) εθελοντές

Το σχήμα 46 δείχνει επιπρόσθετα κυματισμό της tHb από επανάληψη σε επανάληψη. Η εξέταση της κινητικής της tHb σε κάθε εθελοντή έδειξε ότι ο κυματισμός αυτός δεν είχε ενιαίο πρότυπο. Αναδείχτηκαν όλα τα πρότυπα που περιγράφηκαν παραπάνω, για την tHb εκτός του προτύπου ΣΤ και Ζ.

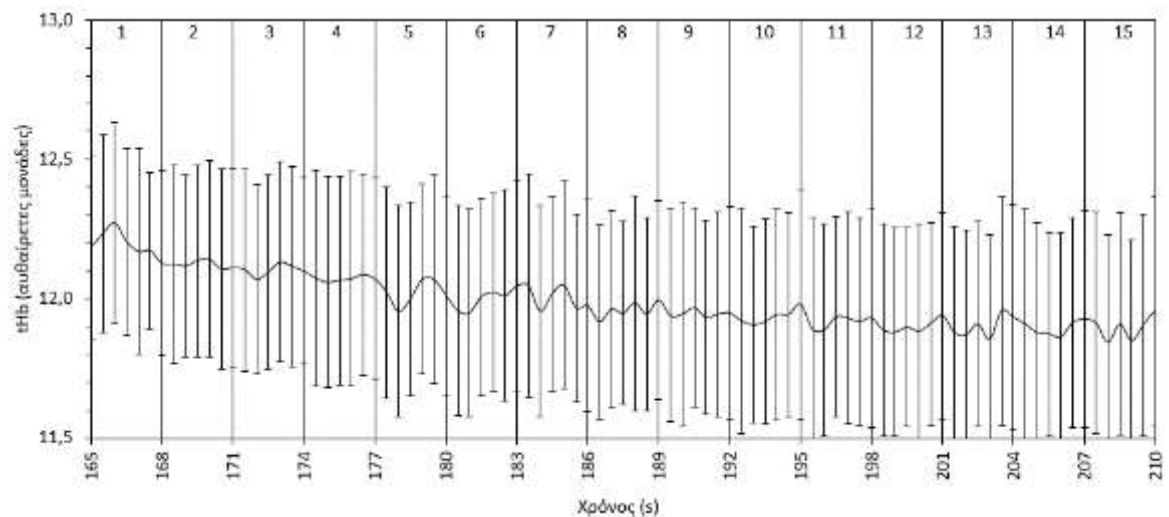
Ο πίνακας 32 παρουσιάζει τα πρότυπα που επέδειξαν οι εθελοντές. Από αυτόν προκύπτει ότι το κυρίαρχο πρότυπο ήταν το Ε (στο 64% των σετ), ακολουθούμενο από το Δ (12%), το Β (11%), το Α (7%), το Η (3%) και το Γ (2%). Για τον λόγο αυτό η συνολική εικόνα των εθελοντών, όπως φαίνεται στο σχήμα 46, μοιάζει με το πρότυπο Ε. Για να γίνει αυτό εμφανέστερο τα σχήματα 47-51 παρουσιάζουν λεπτομερέστερα την κινητική της tHb σε κάθε σετ ξεχωριστά.

Πίνακας 32. Πρότυπα tHb εθελοντών για τον ορθό μηριαίο. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι εθελοντές (σύνολο 10) που διατηρούν το ίδιο πρότυπο (E) σε όλα τα σετ.

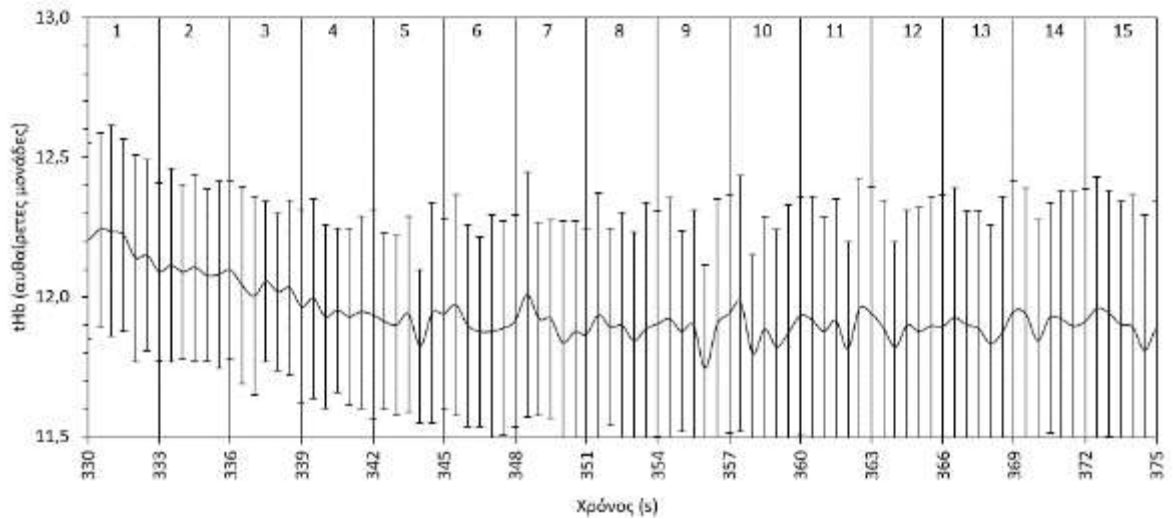
Εθελοντής	1 ^ο σετ προθέρμανσης	2 ^ο σετ προθέρμανσης	1 ^ο κύριο σετ	2 ^ο κύριο σετ	3 ^ο κύριο σετ
1	E	E	E	E	E
2	H	H	B	B	E
3	E	E	E	E	E
4	E	E	E	E	E
5	E	E	E	E	E
6	E	E	E	E	E
7	E	E	E	E	E
8	E	E	E	E	E
9	A	Γ	E	B	Γ
10	E	E	E	E	E
11	E	E	E	E	E
12	E	E	Δ	Δ	E
13	B	H	E	B	E
14	B	B	Δ	E	B
15	E	Δ	Δ	Δ	Δ
16	E	E	B	E	B
17	Δ	E	Δ	Δ	Δ
18	A	A	A	A	A
Σύνολο A	2	1	1	1	1
Σύνολο B	2	1	2	3	2
Σύνολο Γ	0	1	0	0	1
Σύνολο Δ	1	1	4	3	2
Σύνολο E	12	12	11	11	12
Σύνολο H	1	2	0	0	0



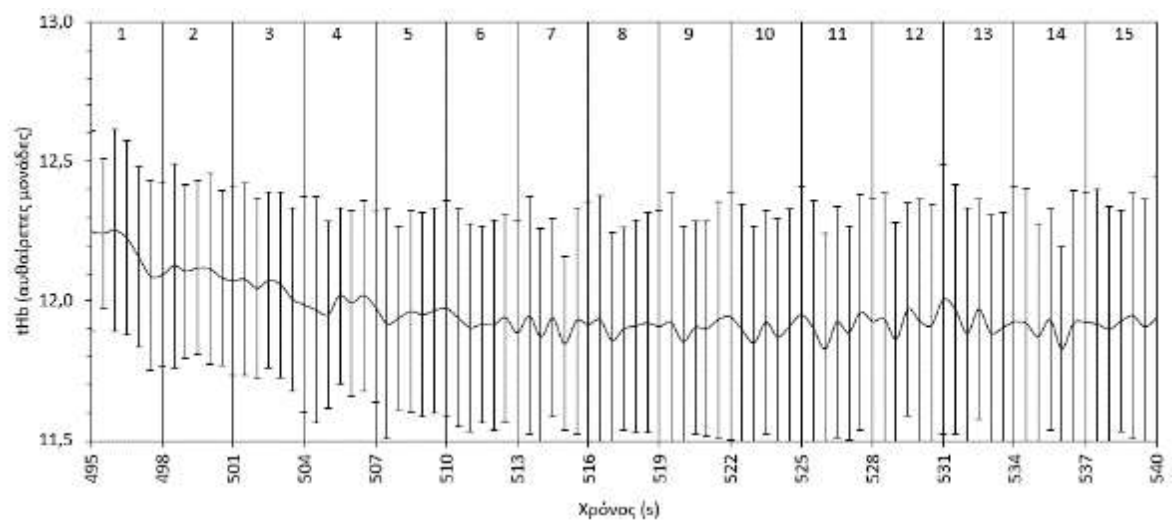
Σχήμα 47. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



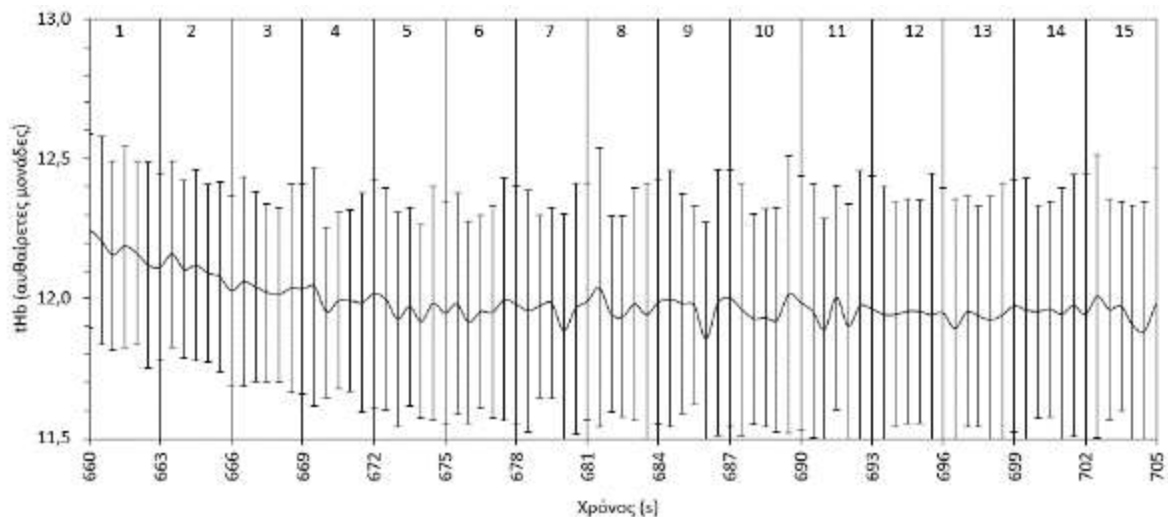
Σχήμα 48. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 49. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 50. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 51. Κινητική της tHb του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

Από τα παραπάνω σχήματα φάνηκε ότι το πλάτος του κυματισμού της tHb ήταν 0,1% και στα 5 σετ.

3.4.4. Σύγκριση μεταβολών tHb μεταξύ μυών και σετ

Πραγματοποιώντας παραγοντική ANOVA βρήκαμε σημαντικές κύριες επιδράσεις τόσο του μυός όσο και του σετ στην αρχική τιμή και στην τελική τιμή ($p < 0,01$). Επίσης, υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μυός και σετ στην τελική τιμή ($p = 0,027$). Σε ό,τι αφορά τη μεταβολή της tHb, δεν υπήρξαν σημαντικές κύριες επιδράσεις ούτε αλληλεπίδραση.

Η ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων που ακολούθησε για να ερμηνεύσει τις παραπάνω κύριες επιδράσεις και αλληλεπιδράσεις έδειξε τα παρακάτω:

- α) Σε ό,τι αφορά την αρχική τιμή της tHb, υπήρξε σημαντική διαφορά του ορθού μηριαίου με τον έξω και έσω πλατύ ($p < 0,05$ και για τα δύο), με τιμές, $12,20 \pm 0,34$, $12,51 \pm 0,24$, $12,54 \pm 0,27$ AU (αυθαίρετες μονάδες) αντίστοιχα και σημαντική διαφορά του 1^{ου} σετ με όλα τα υπόλοιπα εκτός του 2^{ου}, του 2^{ου} με το 4^ο και 5^ο και του 3^{ου} με όλα εκτός του 2^{ου} ($p \leq 0,001$ για όλα), με τιμές κατά σειρά $12,32 \pm 0,25$, $12,39 \pm 0,22$, $12,41 \pm 0,22$, $12,47 \pm 0,22$ και $12,49 \pm 0,22$ AU.
- β) Σε ό,τι αφορά την τελική τιμή της tHb, υπήρξε σημαντική διαφορά του ορθού μηριαίου με τον έξω και έσω πλατύ ($p < 0,001$ και για τα δύο), με τιμές $11,82 \pm 0,39$, $12,72 \pm 0,38$ και $12,52 \pm 0,51$ AU αντίστοιχα και καμία διαφορά στις ζευγαρωτές

συγκρίσεις. Επιπλέον, η ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων στην αλληλεπίδραση έδειξε τις σημαντικές διαφορές που παραθέτονται στον πίνακα 33.

Πίνακας 33. Σημαντικές διαφορές της τελική τιμής της tHb μεταξύ των τριών μυών ($p < 0,001$)

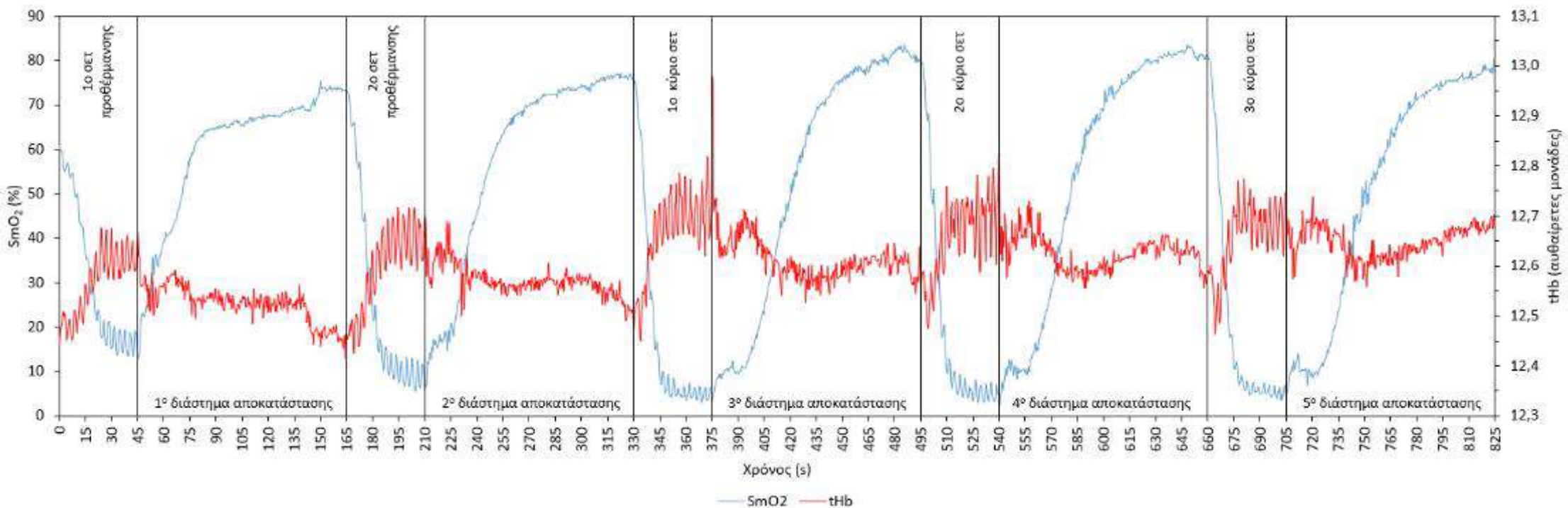
	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	RF1	RF2	RF3	RF4	RF5
VL1	■										*				
VL2	■	■		*								*			
VL3	■	■	■										*		
VL4	■	■	■	■										*	
VL5	■	■	■	■	■										*
VM1	■	■	■	■	■	■					*				
VM2	■	■	■	■	■	■	■					*			
VM3	■	■	■	■	■	■	■	■					*		
VM4	■	■	■	■	■	■	■	■	■					*	
VM5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					*
RF1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
RF2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
RF3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
RF4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
RF5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

3.5. Κυματισμός μυϊκής οξυγόνωσης και αιμάτωσης

Εξετάσαμε παράλληλα τις μεταβολές του SmO_2 και της tHb με σκοπό να διαπιστώσουμε σε ποιο βαθμό οι δεύτερες εξηγούν τις πρώτες.

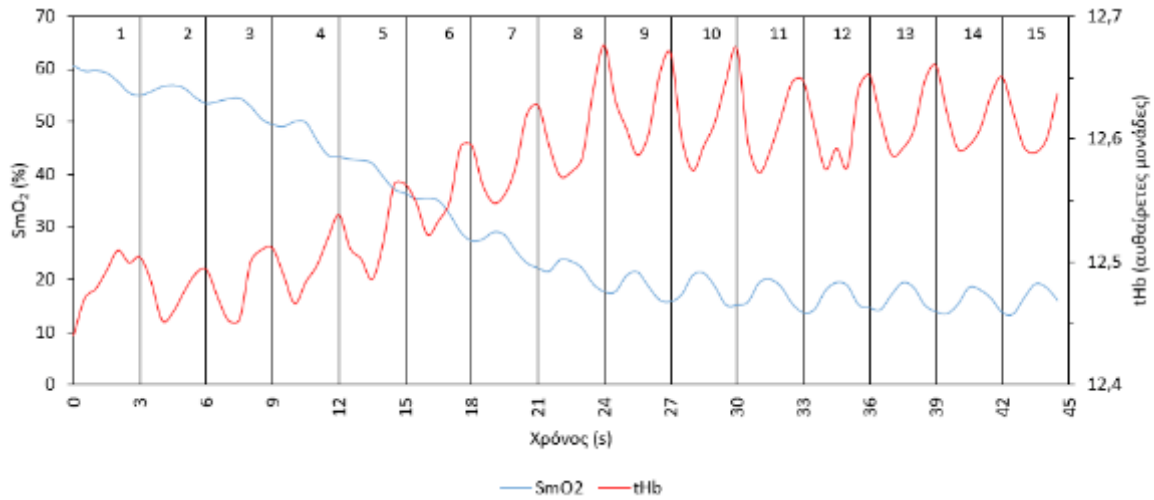
3.5.1. Έξω πλατύς

Η κινητική των SmO_2 και tHb στον έξω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 52, το οποίο επιβεβαιώνει πανοραμικά τις αντίθετες μεταβολές τους που περιγράφηκαν παραπάνω.

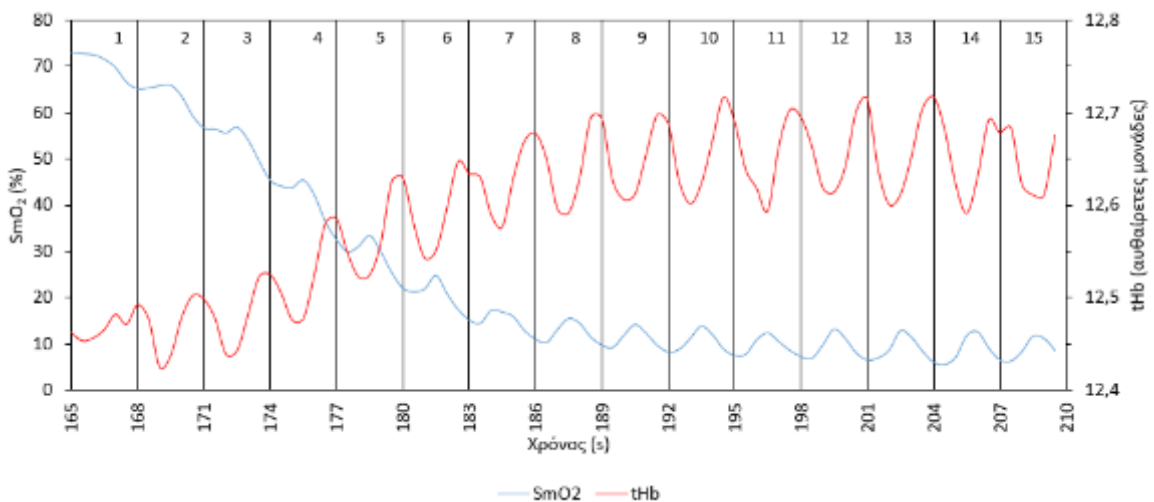


Σχήμα 52. Κινητική SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

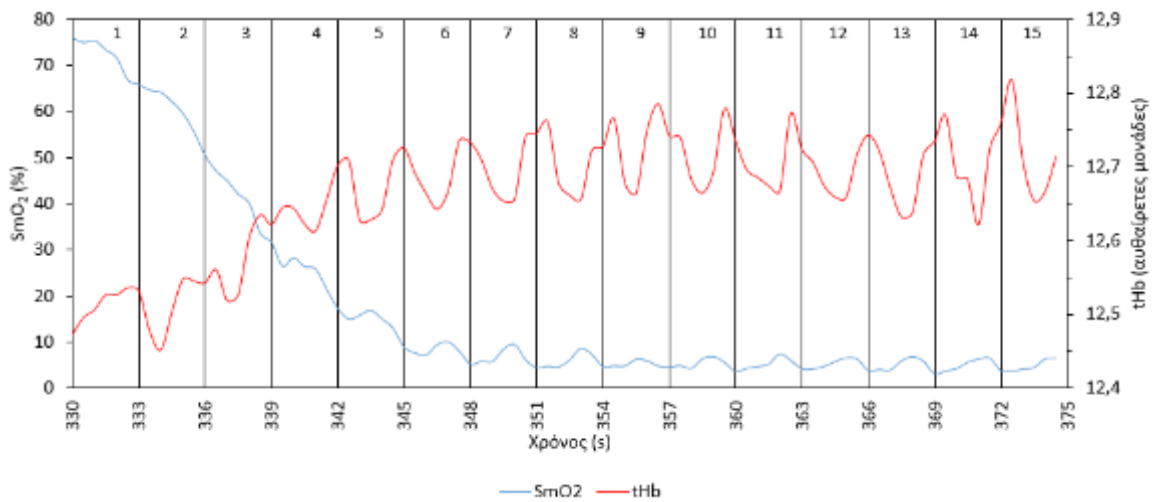
Τα σχήματα 53-57 παρουσιάζουν την κινητική των SmO_2 και tHb σε κάθε σετ. Σε όλα τα σετ φαίνεται η αντίθετη διακύμανση των δυο παραμέτρων.



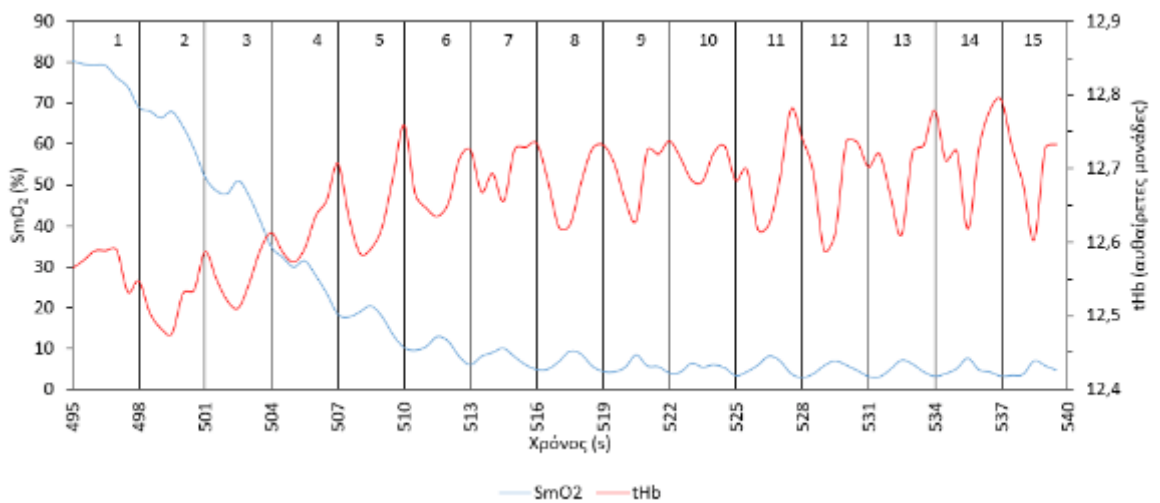
Σχήμα 53. Κινητική του SmO_2 (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



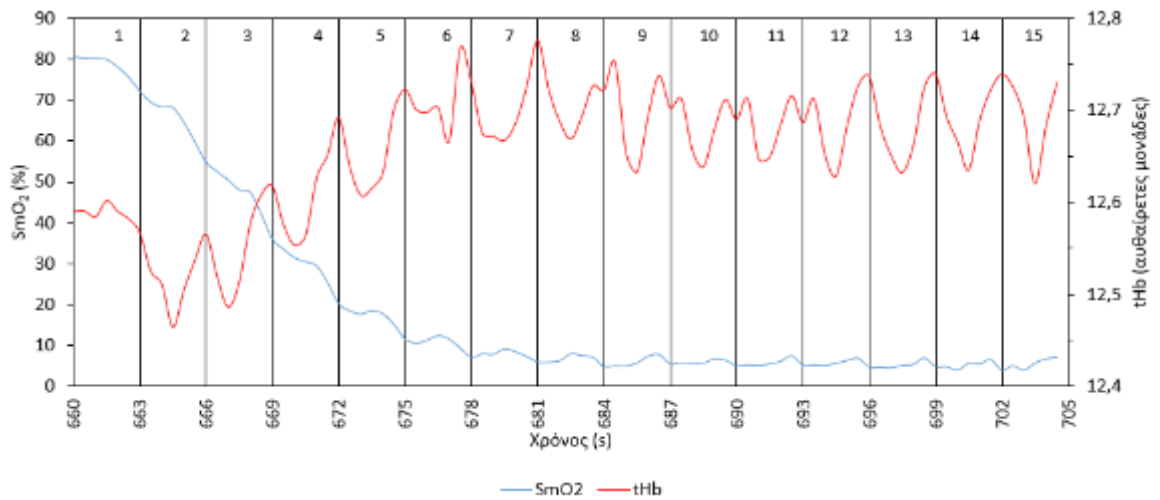
Σχήμα 54. Κινητική του SmO_2 (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 55. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



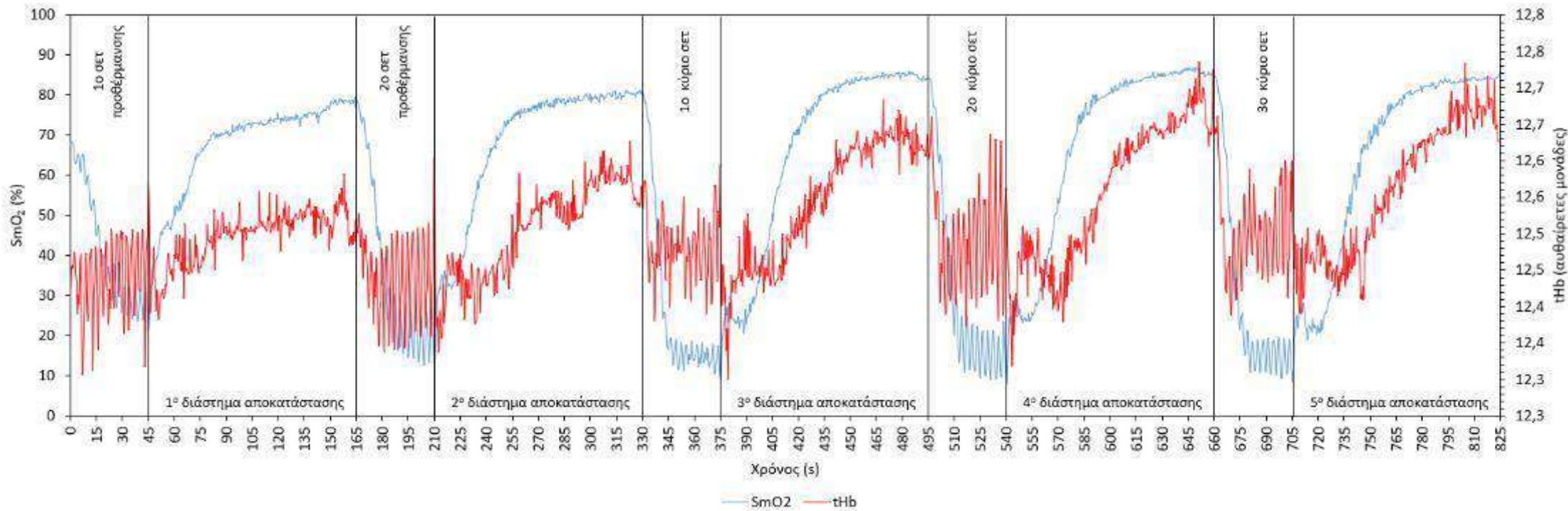
Σχήμα 56. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 57. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έξω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

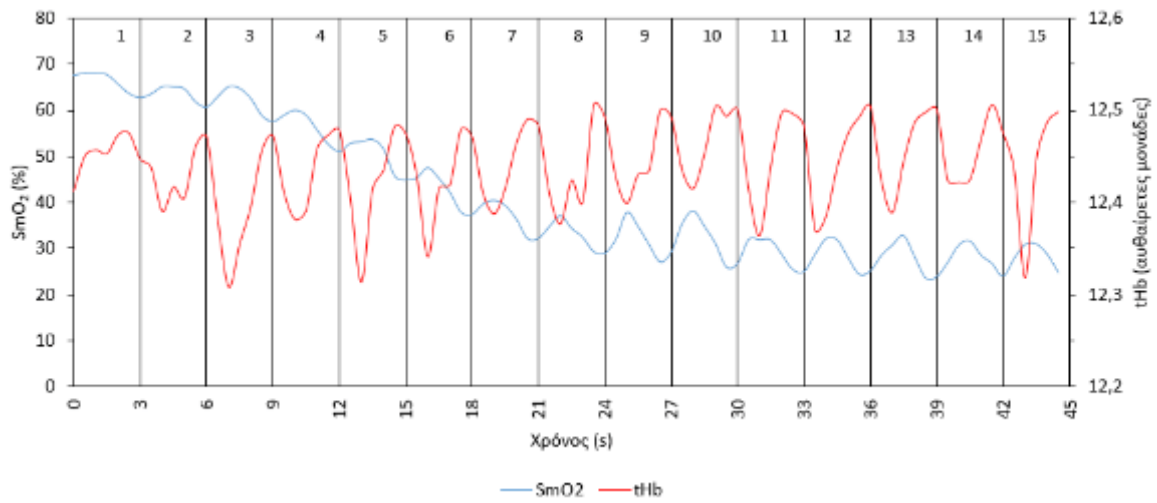
3.5.2. Έσω πλατύς

Η κινητική των SmO₂ και tHb στον έσω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 58, το οποίο επιβεβαιώνει πανοραμικά τις αντίθετες μεταβολές τους που περιγράφηκαν παραπάνω.

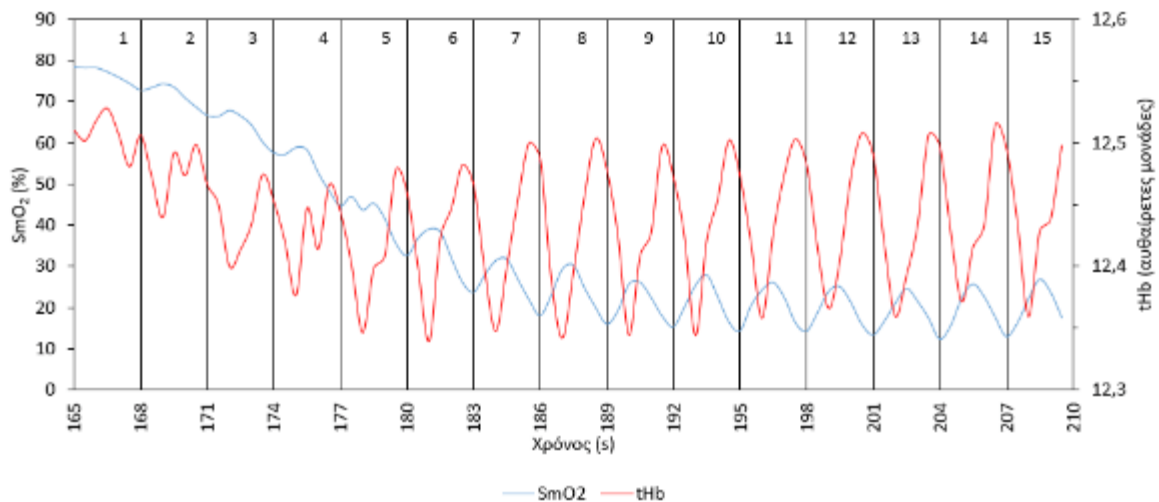


Σχήμα 58. Κινητική SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

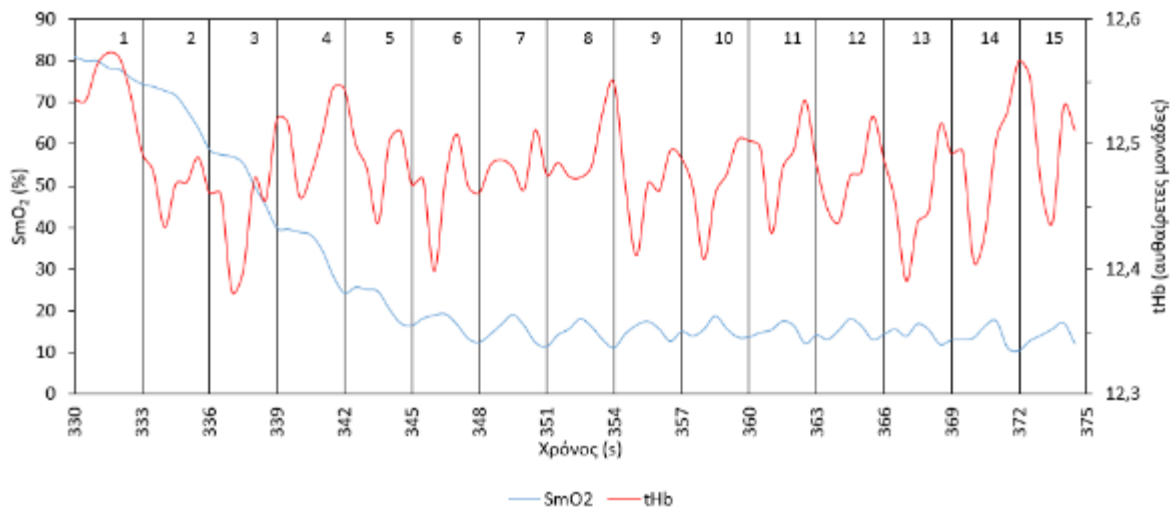
Τα σχήματα 59- 63 παρουσιάζουν την κινητική των SmO₂ και tHb σε κάθε σετ. Σε όλα τα σετ φαίνεται η αντίθετη διακύμανση των δυο παραμέτρων.



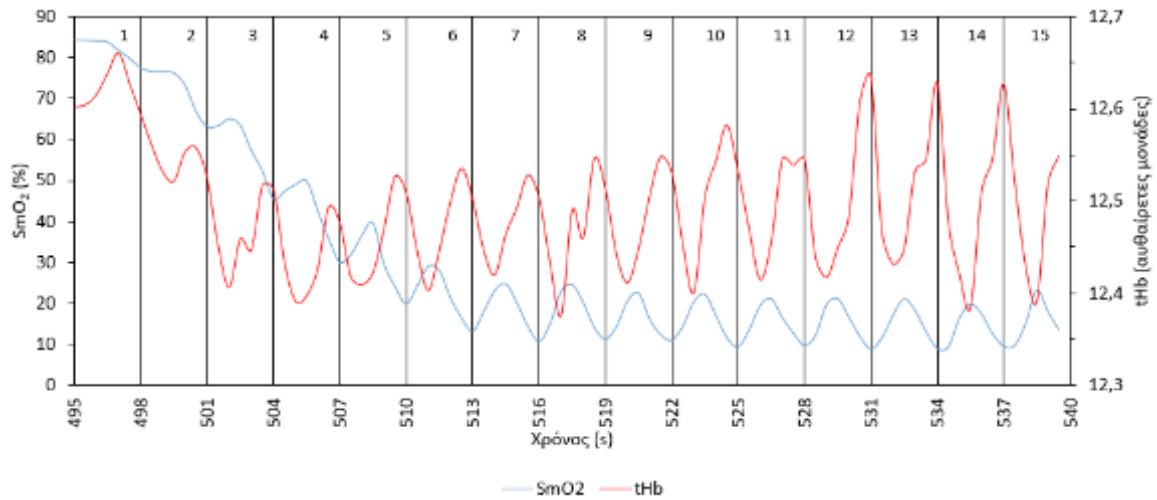
Σχήμα 59. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



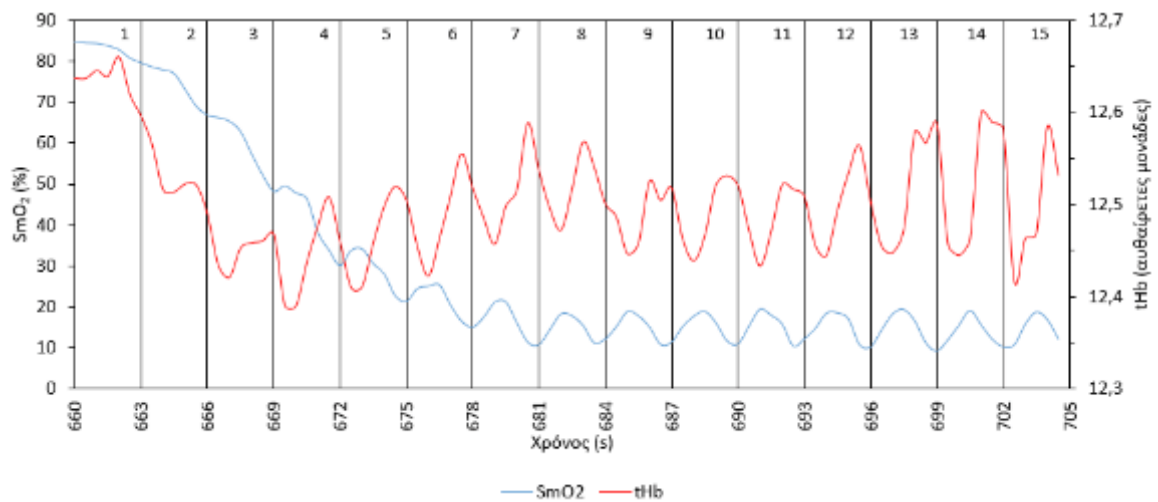
Σχήμα 60. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 61. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



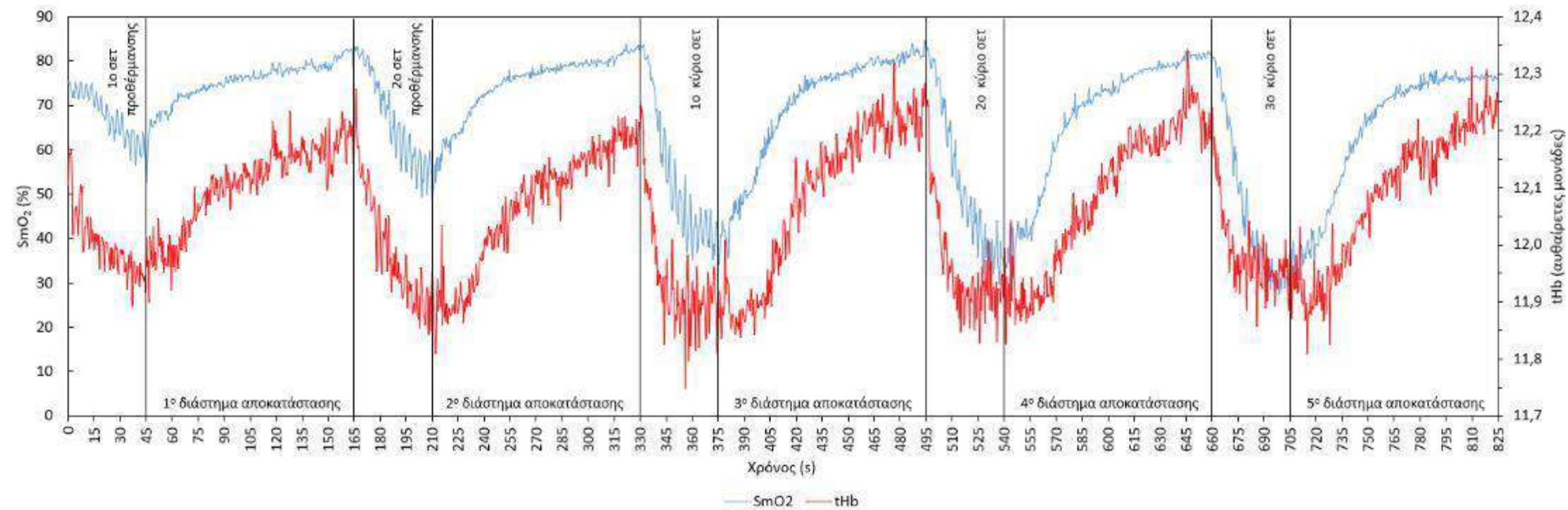
Σχήμα 62. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 63. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του έσω πλατύ κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

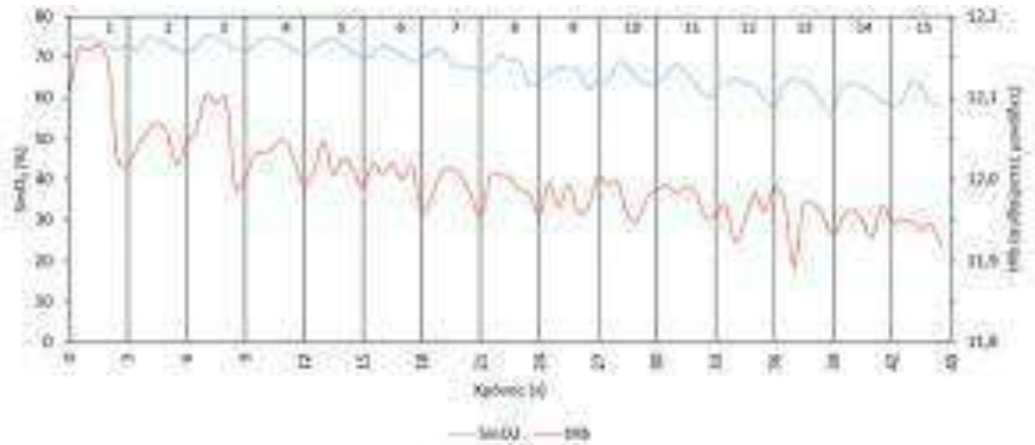
3.5.3. Ορθός μηριαίος

Η κινητική των SmO₂ και tHb στον ορθό μηριαίο κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 64, το οποίο επιβεβαιώνει πανοραμικά τις μεταβολές τους που περιγράφηκαν παραπάνω.

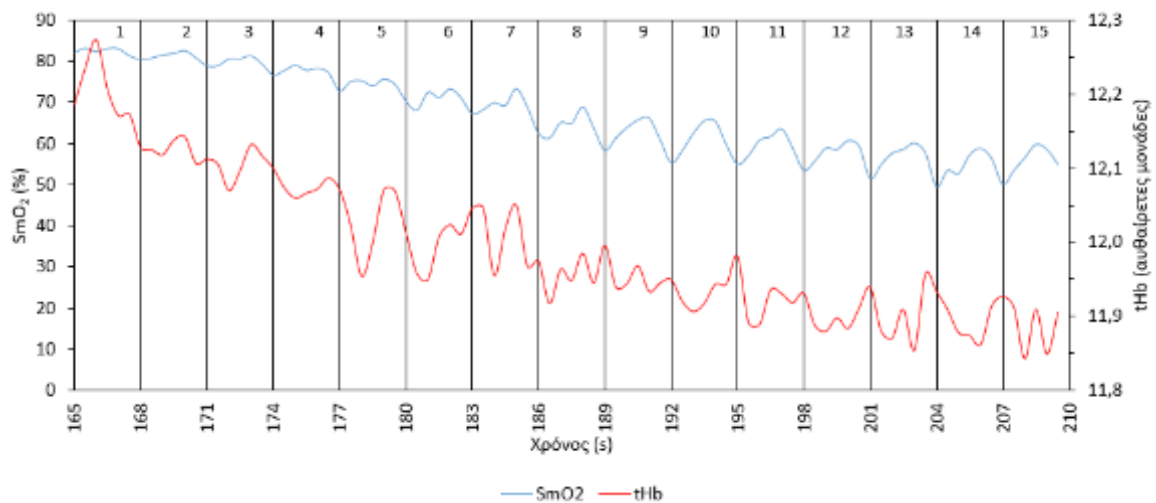


Σχήμα 64. Κινητική SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

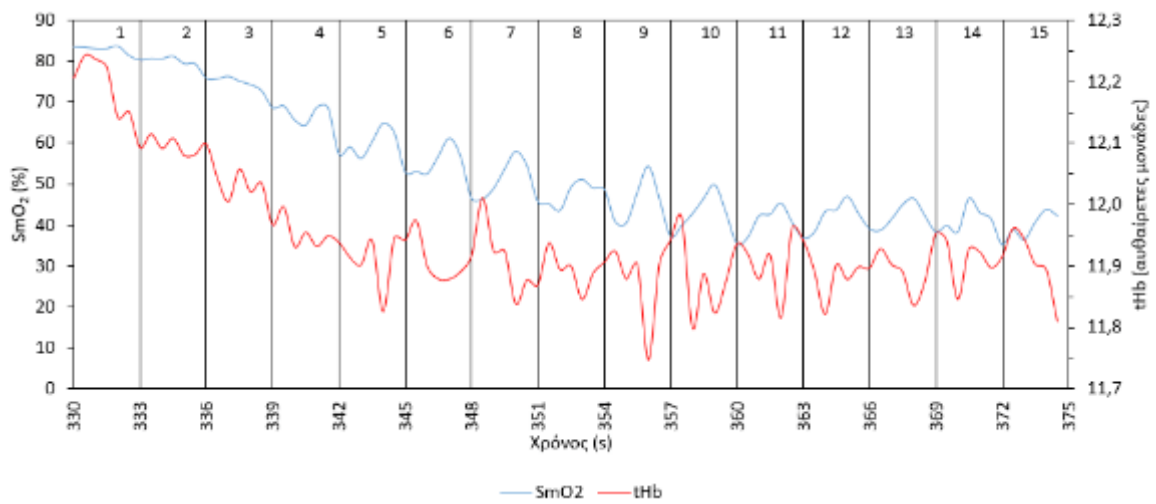
Τα σχήματα 65-69 παρουσιάζουν την κινητική των SmO_2 και tHb σε κάθε σετ. Σε όλα τα σετ φαίνεται γενικά μια αντίθετη διακύμανση των δυο παραμέτρων.



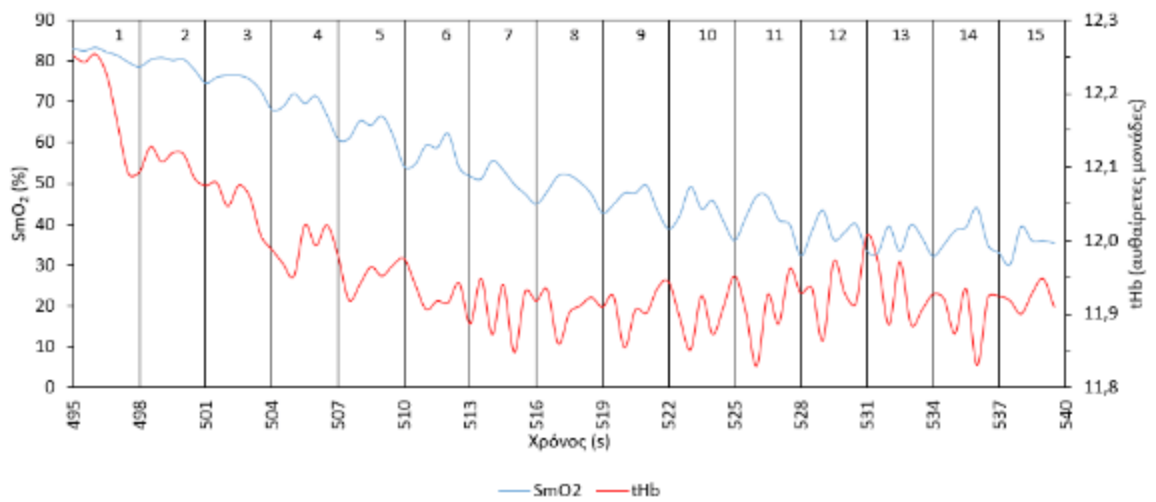
Σχήμα 65. Κινητική του SmO_2 (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



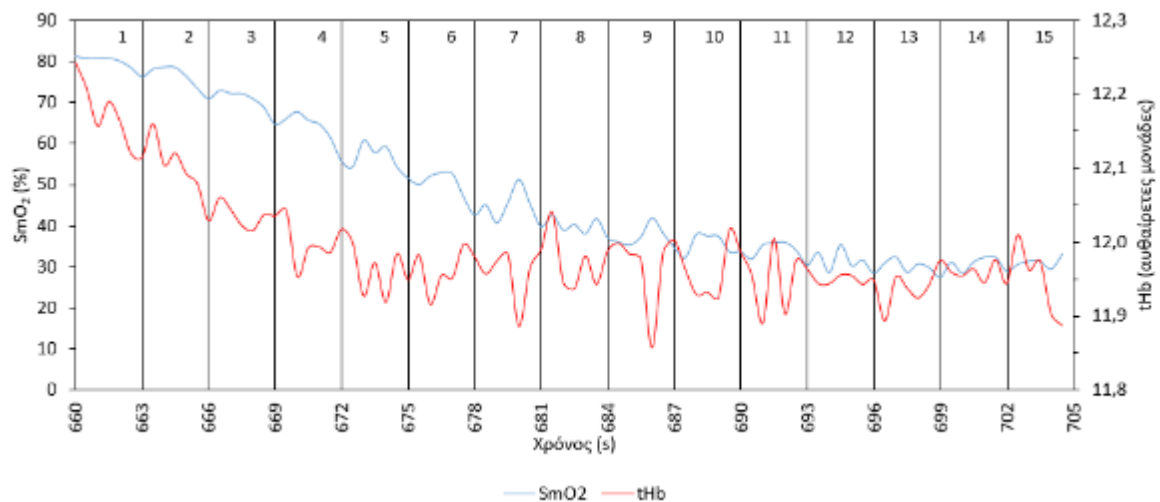
Σχήμα 66. Κινητική του SmO_2 (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2^{ου} σετ προθέρμανσης. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 67. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



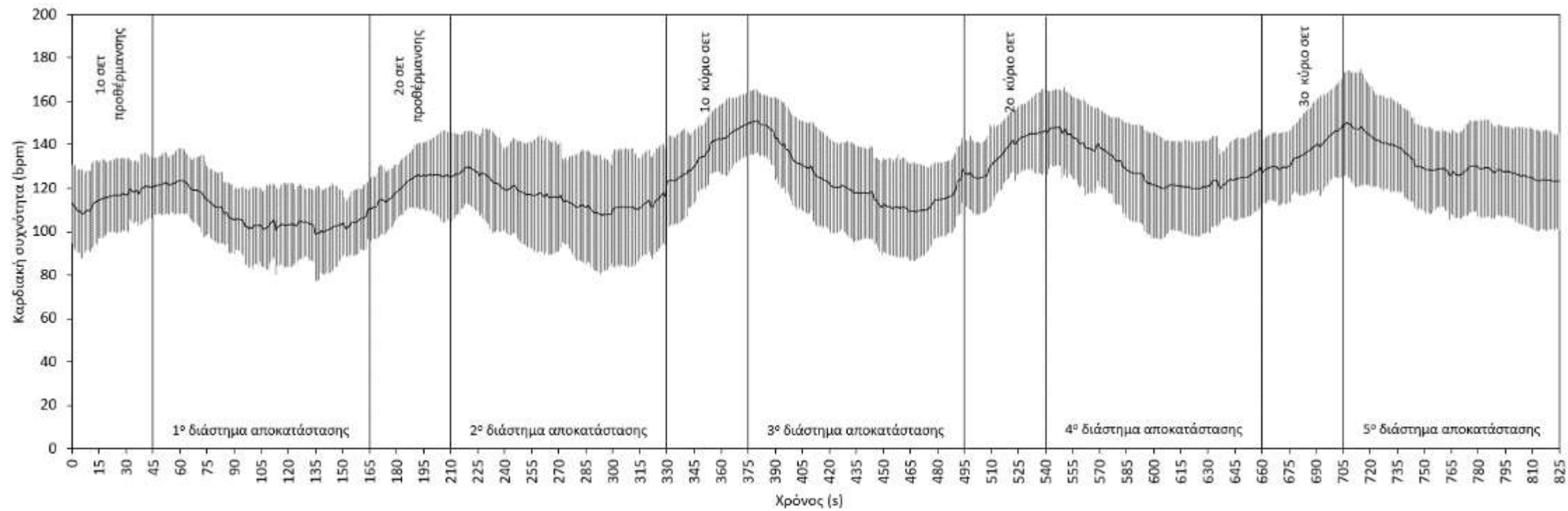
Σχήμα 68. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.



Σχήμα 69. Κινητική του SmO₂ (με γαλάζιο χρώμα) και tHb (με κόκκινο χρώμα) του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύριου σετ. Οι αριθμοί στην κορυφή του γραφήματος δηλώνουν τις 15 επαναλήψεις του σετ.

3.6. Καρδιακή συχνότητα

Η κινητική της ΚΣ κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 70, το οποίο δείχνει αύξηση στα δυο σετ προθέρμανσης και μεγαλύτερη αύξηση στα κύρια σετ και πτώση κατά την αποκατάσταση. Η αρχική και τελική ΚΣ και η μεταβολή της είχαν γενικά αυξητική τάση από σετ σε σετ. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα 34.



Σχήμα 70. Κινητική καρδιακής συχνότητας κατά τη διάρκεια των 5 σετ και των διαστημάτων αποκατάστασης

Πίνακας 34. Αρχική, τελική, μέση καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) και μεταβολή της (μέση τιμή ± τυπική απόκλιση).

Σετ	Αρχική ΚΣ	Τελική ΚΣ	Μεταβολή ΚΣ	Μέση ΚΣ
1	113 ± 18	120 ± 13	5 ± 6	115 ± 17
2	110 ± 14	125 ± 20	15 ± 17	120 ± 14
3	123 ± 21	150 ± 15	29 ± 17	136 ± 15
4	127 ± 16	146 ± 20	22 ± 23	135 ± 14
5	127 ± 15	149 ± 23	25 ± 15	136 ± 16

Πραγματοποιώντας ANOVA με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις βρήκαμε στατιστικά σημαντική επίδραση του σετ στην αρχική, στην τελική, στη μεταβολή και στη μέση ΚΣ ($p < 0,01$). Η ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων που ακολούθησε για να ερμηνεύσει τις παραπάνω κύριες επιδράσεις έδειξε τα παρακάτω:

- α) Σε ό,τι αφορά την αρχική τιμή της ΚΣ, υπήρξε σημαντική διαφορά του 1^{ου} σετ με το 4^ο και 5^ο, του 2^{ου} με το 4^ο και 5^ο και του 3^{ου} με το 4^ο ($p < 0,05$ για όλα).
- β) Σε ό,τι αφορά την τελική τιμή της ΚΣ, υπήρξε σημαντική διαφορά του 1^{ου} σετ με όλα και του 2^{ου} με όλα ($p < 0,01$ για όλα).
- γ) Σε ό,τι αφορά την μεταβολή της ΚΣ, υπήρξε σημαντική διαφορά του 1^{ου} σετ με το 3^ο και 5^ο ($p < 0,05$ για όλα).
- δ) Σε ό,τι αφορά τη μέση ΚΣ, υπήρξε σημαντική διαφορά του 1^{ου} σετ με όλα εκτός από το 2^ο ($p < 0,05$ για όλα).

3.7. Αρτηριακή πίεση

Ο πίνακας 35 δείχνει τις τιμές της αρτηριακής πίεσης μετά τη λήξη κάθε σετ.

Πίνακας 35. Χρόνος μέτρησης και αρτηριακή πίεση μετά από κάθε σετ.

Εθελοντής	Χρόνος μέτρησης (s)				Συστολική πίεση (mmHg)				Διαστολική πίεση (mmHg)			
	2*	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
1	40	30	31	30	112	121	120	122	77	79	74	72
2	34	29	33	22	165	113	132	128	71	62	75	67
3	33	35	27	33	142	142	140	130	92	88	85	77
4			43	41		163	151	144		77	71	85
5		48	32	49		147	174	179		88	93	98
6	30	30	36	30	143	146	133	109	83	81	74	64
7	35	42	49	37	165	173	132	148	82	72	86	80
8	40	30	30	30	164	142	130	133	94	82	80	69
9	30	30	36	35	152	138	147	122	79	81	79	83
10	35	31	70*	30	147	135	136	120	78	83	78	75
11	30	38	42	41	151	172	134	167	86	76	80	82
12	35	40	40	42	133	126	135	128	67	75	75	71
13	35	45	35	29	152	148	144	122	76	73	66	61
14	30	40	30	40	133	144	125	117	66	66	61	60
15	50	50	50		162	178	170		88	93	94	
16			42	40	125	136	153	129	70	80	77	77
17	30	33	39	90**	141	153	169	134	78	74	85	78
18	29	28	35	38	146	145	169	137	73	76	76	75
MT ± TA	34 ± 6	36 ± 7	39 ± 10	39 ± 15	146 ± 15	146 ± 17	144 ± 17	133 ± 18	79 ± 8	78 ± 8	78 ± 8	75 ± 10

*2-5: Τα 5 διαδοχικά σετ. Τα κενά οφείλονται σε ένδειξη σφάλματος (error) του πιεσόμετρου.

**Καθυστερημένη μέτρηση λόγω πρόσθετης παροχής πίεσης από το πιεσόμετρο

Πραγματοποιώντας ANOVA με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις βρήκαμε στατιστικά σημαντική επίδραση του σετ ($p = 0,016$) για τη συστολική πίεση. Η ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά του 2^{ου} σετ με το 5^ο και του 3^{ου} με το 5^ο ($p < 0,05$), με τιμές κατά σειρά 145 ± 15 , 142 ± 16 , 140 ± 14 και 130 ± 14 mmHg. Για τη διαστολική πίεση και τον χρόνο καταγραφής δεν διαπιστώσαμε σημαντικές διαφορές.

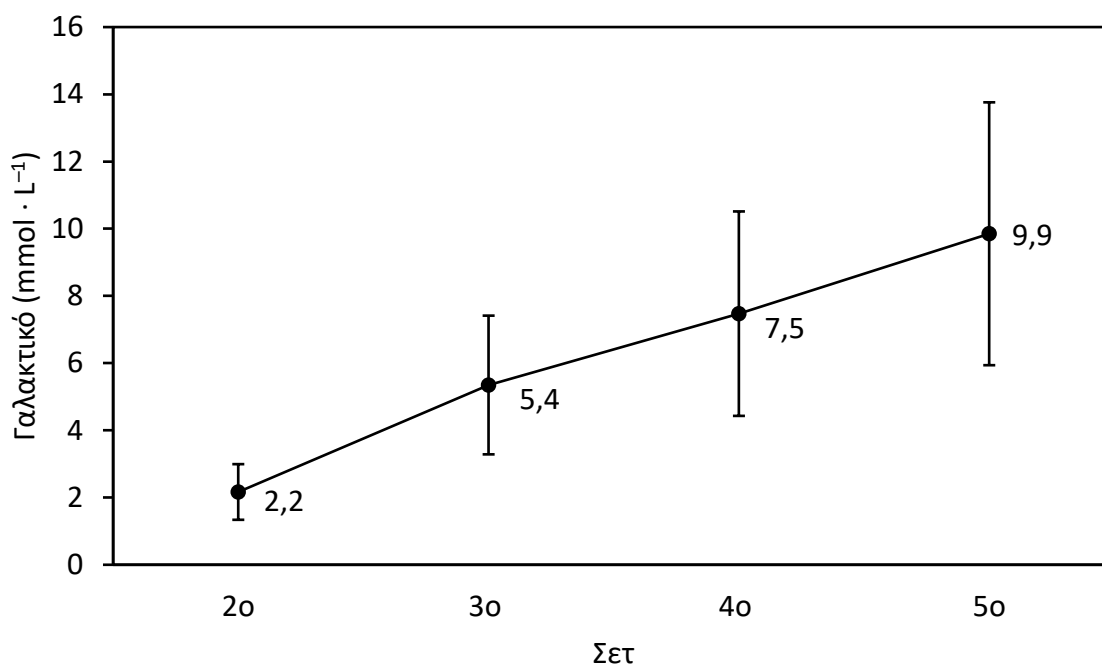
3.8. Γαλακτικό αίματος

Στον πίνακα 36 φαίνονται οι τιμές του γαλακτικού του αίματος μετά το 2^ο, 3^ο, 4^ο και 5^ο σετ για κάθε εθελοντή, ενώ στο σχήμα 71 φαίνονται τα περιληπτικά δεδομένα. Σημειώνεται ότι για το 5^ο σετ αυτά αφορούν τη μέγιστη συγκέντρωση, όπως αυτή σημειώνεται στον πίνακα 36.

Πίνακας 36. Γαλακτικό αίματος (mmol · L⁻¹) μετά από κάθε σετ.

Εθελοντής	Σετ							
	2 ^ο	3 ^ο	4 ^ο	5 ^ο				
				1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
1	3,3	5,4	9,3	9,8	9,1			
2	1,9	4,8	8,5	8,9	6,1	6,3	4,2	
3	1,7	4,4	8,4	8,1	11,1	11,5	10,1	
4	2,3	4,4	5,2	6,3	7,6	7,4		
5	3,2	6,8	7,8	9,8	10,7	10,4		
6	3,7	8,5	14,5	16,3	14,4			
7	1,3	4,9	7,2	6,9	7,5	7,1		
8	2,1	5,9	7,2	8,2	9,5	9,1		
9	2,1	10	11,1	10,7	11,1	12,9	10,8	
10	1,2	3,1	4,4	5,3	5,2			
11	1,2	2,3	3,0	3,0	2,7			
12	1,1	2,3	3,5	3,9	4,6	4,1		
13	3,3	5,7	7,9	11,4	8,2			
14	3,2	7,8	9,1	11	11,5	11,6	11,5	
15	1,9	6,7	10,5	11,2	13,3	14,8	13,4	
16	1,6	3,5	3,4	4,9	5,3	5,5	6,2	5,9
17	1,8	4,3	4,6	6,5	6,7	6,4		
18	2,1	5,5	8,9	11,1	11,4	10,5		
MT ± TA	2,2 ± 0,8	5,4 ± 2,1	7,5 ± 3,0	8,9 ± 3,8	8,7 ± 3,2	9,0 ± 3,2	9,4 ± 3,5	5,9

Με έντονη γραφή σημειώνεται η μέγιστη συγκέντρωση μετά το 5^ο σετ.



Σχήμα 71. Γαλακτικό αίματος μετά από κάθε σετ (μέση τιμή και τυπική απόκλιση).

Πραγματοποιώντας ANOVA με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις βρήκαμε στατιστικά σημαντική επίδραση του σετ ($p < 0,001$) στη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα. Η ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά όλων των σετ με όλα τα σετ ($p < 0,001$). Για τη μεταβολή του γαλακτικού από σετ σε σετ δεν διαπιστώσαμε σημαντικές διαφορές.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να εξετάσει την οξυγόνωση τριών μυών του τετρακεφάλου (έξω πλατύ, έσω πλατύ και ορθού μηριαίου) κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη φάση στο κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα. Το κύριο εύρημα ήταν η ύπαρξη κυματισμού του SmO₂ και της tHb στη διάρκεια κάθε επανάληψης, κάτι που, καθόσον γνωρίζουμε, δεν έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία. Σε ό,τι αφορά τον SmO₂, υπήρξε σταδιακή πτώση του κατά τη διάρκεια κάθε σετ, με σχετική σταθεροποίηση στο μέσο περίπου του σετ (με κυματισμό), και σταδιακή επάνοδος σε υψηλή τιμή κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης. Σε ό,τι αφορά την tHb, υπήρξε μικρή πτώση στα πρώτα δευτερόλεπτα κάθε σετ, αύξηση στον έξω πλατύ, σχετική σταθεροποίηση στον έσω πλατύ και πτώση στον ορθό μηριαίο στη συνέχεια του σετ (με κυματισμό), και μικρή πτώση στον έξω πλατύ ή αύξηση στον έσω πλατύ κι ορθό μηριαίο κατά την αποκατάσταση.

4.1. SmO₂

Από τα δεδομένα των δερματοπτυχών του έξω πλατύ, έσω πλατύ και ορθού μηριαίου (πίνακας 5) φαίνεται ότι κανένας εθελοντής δεν ξεπερνούσε το πάχος των 24 mm, άρα κανενός το πάχος της στιβάδας υποδόριου λίπους δεν ξεπερνούσε τα 12 mm (εκτός του εθελοντή 18, που είχε μια μικρή υπέρβαση, δηλαδή 12,5 mm, στον ορθό μηριαίο). Επομένως, πληρούταν η προϋπόθεση που τέθηκε στην ενότητα 2.1, πράγμα το οποίο συνηγορεί υπέρ της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων των συσκευών Moxy.

Οι διαφορές στις αρχικές τιμές του SmO₂ μεταξύ των κύριων σετ, δηλαδή, η αύξηση από σετ σε σετ, συμφωνούν με τη πλειονότητα της βιβλιογραφίας, η οποία δείχνει αύξηση των αρχικών τιμών, χωρίς ωστόσο να έχει γίνει στατιστική ανάλυση (Cherouneim et al., 2022; Davis et al., 2020; Timon et al., 2018). Όμως, έρχονται σε αντίθεση με μια μελέτη (Gómez-Carmona et al., 2020), η οποία εξέτασε την οξυγόνωση στο κάθισμα και βρήκε μείωση των αρχικών τιμών, χωρίς να μπορούμε να προσδιορίσουμε την αιτία. Τα σετ προθέρμανσης είχαν γενικά σημαντικά χαμηλότερες αρχικές τιμές σε σύγκριση με τα κύρια σετ, κάτι που, καθόσον γνωρίζουμε, δεν έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία. Σε ό,τι αφορά τις διαφορές μεταξύ των μυών, ο έξω πλατύς είχε μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τον έσω πλατύ και ορθό μηριαίο ανά σετ. Δεν υπάρχει κάποια μελέτη στη βιβλιογραφία,

η οποία να έχει εξετάσει τη διαφορά των αρχικών τιμών μεταξύ των μυών του τετρακεφάλου στο κάθισμα με μπάρα.

Η έλλειψη διαφορών στις τελικές τιμές του SmO_2 μεταξύ των κυρίων σετ συμφωνεί με τους Gómez-Carmona et al. (2020), κι έρχεται σε αντίθεση με τους Timon et al. (2018), χωρίς ωστόσο, να έχει γίνει στατιστική ανάλυση και χωρίς να μπορούμε να προσδιορίσουμε την αιτία. Τα σετ προθέρμανσης είχαν γενικά σημαντικά χαμηλότερες τελικές τιμές σε σύγκριση με τα κύρια σετ, κάτι που, καθόσον γνωρίζουμε, δεν έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία. Σε ό,τι αφορά τις διαφορές μεταξύ των μυών, ο έξω πλατύς είχε τις χαμηλότερες τιμές σε σύγκριση τον έσω πλατύ και ορθό μηριαίο ανά σετ. Δεν υπάρχει κάποια μελέτη στη βιβλιογραφία, η οποία να έχει εξετάσει τη διαφορά των τελικών τιμών μεταξύ των μυών του τετρακεφάλου στο κάθισμα με μπάρα.

Οι διαφορές στην πτώση του SmO_2 μεταξύ των σετ, δηλαδή, η αύξηση της πτώσης συμφωνούν με τη βιβλιογραφία (Davis et al., 2020; Formenti et al., 2018). Πιο συγκεκριμένα, βρήκαμε διαφορά του 1^{ου} κύριου σετ με το 3^ο κύριο σετ, ενώ οι Davis et al., (2020) και Formenti et al., (2018) βρήκαν 1^{ου} κύριου σετ με το 2^ο και 3^ο κύριο σετ. Ωστόσο, αν και δεν βρήκαμε σημαντική διαφορά μεταξύ του 2^{ου} και 3^{ου} κύριου σετ, υπήρξε αύξηση της πτώσης. Επίσης, σε ό,τι αφορά τις διαφορές μεταξύ των σετ προθέρμανσης και των κύριων σετ, δεν υπάρχει κάποια μελέτη, που να έχει εξετάσει αυτές τις διαφορές στη βιβλιογραφία. Σε ό,τι αφορά τις διαφορές μεταξύ των μυών, δεν υπάρχει κάποια μελέτη η οποία να έχει εξετάσει τη διαφορά της πτώσης μεταξύ των μυών του τετρακεφάλου στο κάθισμα με μπάρα.

Μόνο μία μελέτη έχει εξετάσει τον χρόνο επανοξυγόνωσης μετά από κάθε σετ στο κάθισμα με μπάρα (Gómez-Carmona et al., 2020). Πιο συγκεκριμένα, οι ερευνητές σύγκριναν 4 πρωτόκολλα από 4 σετ των 4-16 επαναλήψεων στο 60-75% 1ME και βρήκαν αύξηση του χρόνου επανοξυγόνωσης από το 1^ο στο 4^ο σετ (χωρίς σημαντικές διαφορές συνολικά), με μόνο το 1^ο και 4^ο σετ να έχουν σημαντικές διαφορές. Παρότι δεν κάναμε στατιστική ανάλυση για τον χρόνο επανοξυγόνωσης, παρατηρήσαμε αύξηση από σετ σε σετ και στους τρεις μυς, κυρίως από τα σετ προθέρμανσης προς τα κύρια σετ, με τον ορθό μηριαίο να φτάνει πιο γρήγορα σε υψηλές τιμές στον χρόνο επανοξυγόνωσης. Τα ευρήματά μας συμφωνούν με την παραπάνω μελέτη, με την επιφύλαξη της έλλειψης στατιστικής ανάλυσης. Σε ό,τι αφορά τον χρόνο ημιζωής του SmO_2 μετά από κάθε σετ, δεν

υπάρχει κάποια μελέτη στη βιβλιογραφία που να τον έχει αξιολογήσει (όπως έχει οριστεί στην παρούσα έρευνα) στην άσκηση με αντιστάσεις.

Οι παραπάνω διαφορές στις αρχικές και τελικές τιμές, πτώση SmO_2 και στον χρόνο επανοξυγόνωσης και ημιζωής πιθανώς συμβαίνουν για τους παρακάτω λόγους:

- A. Διαφορετικά μορφολογικά χαρακτηριστικά των μυών, δηλαδή ποσοστιαία κατανομή μυϊκών ινών τύπου I και II (για την οποία υπάρχουν δεδομένα μόνο για τον έξω πλατύ από βιοψίες σε ζωντανούς ανθρώπους και για τους τρεις από νεκρούς ανθρώπους) και η αιμάτωσή τους (για την οποία υπάρχουν δεδομένα μόνο για τον έξω πλατύ) (Johnson et al., 1973; Staron et al., 2000; Verdijk et al., 2016). Ωστόσο, κρίνοντας από τη μόνη μελέτη που εξέτασε και τους τρεις μυς (Johnson et al., 1973), οι διαφορές αυτές είναι μικρές.
- B. Αύξηση της επιβάρυνσης από τα σετ προθέρμανσης στα κύρια σετ.
- Γ. Φαινόμενο Bohr και συγκεκριμένα την αύξηση της αποδέσμευσης O_2 από την Hb με την αύξηση της οξύτητας. Η αύξηση της οξύτητας συνάγεται από τη σταδιακά αυξανόμενη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα (σχήμα 71) και μπορεί να εξηγήσει την σταδιακά μεγαλύτερη πτώση του SmO_2 στα τρία κύρια σετ (ενότητα 3.3.4).
- Δ. Σταδιακή εξάντληση της φωσφοκρεατίνης (PCr) λόγω της ανεπαρκούς αναπλήρωσης (πραγματοποιήθηκε 2 m διάλειμμα μεταξύ των σετ, ενώ η PCr χρειάζεται 3-10 m για να αναπληρωθεί) (Mougiou, 2020).

4.2. tHb

Η αύξηση των αρχικών τιμών της tHb από σετ σε σετ συμφωνεί με τη μοναδική μελέτη η οποία έχει εξετάσει την αρχική tHb ανά σετ στο κάθισμα και βρήκε μια μικρή αύξησή της, χωρίς ωστόσο να έχει γίνει στατιστική ανάλυση (Timon et al., 2018). Η αύξηση αυτή δείχνει ότι, κατά το διάλειμμα μεταξύ των σετ, η αιμάτωση επανερχόταν σε τιμή υψηλότερη από την εναρκτήρια του προηγούμενου σετ. Η έλλειψη διαφορών της τελικής τιμές της tHb μεταξύ των σετ μοιάζει με τη μοναδική άλλη μελέτη η οποία έχει εξετάσει την τελική tHb ανά σετ στο κάθισμα και βρήκε μια μικρή αυξομείωση, χωρίς ωστόσο να έχει γίνει στατιστική ανάλυση (Timon et al., 2018). Τέλος, η έλλειψη διαφορών στην μεταβολή της tHb από σετ σε σετ συμφωνεί με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η οποία δεν έχει βρει διαφορές ανάμεσα σε διαδοχικά σετ (Formenti et al., 2018; Timon et al., 2018).

Σημειώνεται ότι από την παραπάνω συζήτηση απουσιάζει η σύγκριση των τριών μυών, επειδή η τιμή της tHb εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το πάχος του υποδόριου λίπους που τους καλύπτει, κάτι δηλαδή άσχετο με τη δική τους μορφολογία και λειτουργία. Αυτό εξηγεί και το ότι οι έξω πλατύς κι έσω πλατύς είχαν τιμές tHb παρόμοιες κι υψηλότερες από εκείνες του ορθού μηριαίου, αφού το πάχος των δερματοπτυχών ήταν ίδιο στους δυο πρώτους και μεγαλύτερο στον τρίτο μυ (Πίνακας 5).

4.3. Κυματισμός μυϊκής οξυγόνωσης και αιμάτωσης

Δεν υπάρχουν δεδομένα στη βιβλιογραφία σε ό,τι αφορά τον κυματισμό του SmO₂ ή της tHb μέσα σε κάθε επανάληψη. Βρήκαμε κυματισμό και στους τρεις εξετασθέντες μυς του τετρακεφάλου. Συγκεκριμένα, στον έξω πλατύ και έσω πλατύ το κυρίαρχο πρότυπο (A) υποδεικνύει αύξηση του SmO₂ κατά την έκκεντρη (καθοδική) φάση και μείωση κατά τη σύγκεντρη (ανοδική). Στον ορθό μηριαίο, παρότι το κυρίαρχο πρότυπο (E) δεν είχε περιοδικότητα, η συνολική εικόνα των εθελοντών, όπως φαίνεται στο σχήμα 20, μοιάζει με το δεύτερο επικρατέστερο πρότυπο (A) στα 3 πρώτα από τα 5 σετ, ενώ στα άλλα 2 κυριαρχεί η έλλειψη περιοδικότητας, υποδεικνύοντας έτσι παρόμοιες μεταβολές του SmO₂ όπως παραπάνω, δηλαδή αύξηση κατά την καθοδική φάση και μείωση κατά την ανοδική. Ο κυματισμός αυτός εξηγείται από τη μικρότερη ενεργειακή ανάγκη της καθοδικής φάσης, αφού κατά την ανοδική φάση οι μύες πρέπει να ανυψώσουν το κέντρο μάζας του σώματος. Επίσης, η έκκεντρη φάση έχει μικρότερη ενεργειακή ανάγκη και χαμηλότερη κατανάλωση οξυγόνου σε σύγκριση με τη σύγκεντρη φάση (Hody et al., 2019).

Κατά τη διάρκεια κάθε επανάληψης, η tHb φαίνεται να έχει αντίθετες μεταβολές από τον SmO₂, δηλαδή μείωση στην καθοδική κι αύξηση στην ανοδική φάση (ενότητα 3.5). Συνεπώς, οι αυξομειώσεις του SmO₂ δεν εξηγούνται από τις αλλαγές στην tHb, αφού, αν συνέβαινε αυτό, θα έπρεπε μια αύξηση στην αιματική ροή να οδηγεί επίσης σε αύξηση της μυϊκής οξυγόνωσης. Ο κυματισμός της αιματικής ροής μπορεί να συνάδει με τη μειωμένη ανάγκη για οξυγόνο κατά την καθοδική φάση και την αυξημένη ανάγκη για οξυγόνο κατά την ανοδική φάση.

Και στους τρεις μυς παρατηρήσαμε το χαμηλότερο πλάτος κυματισμού του SmO₂ στα κύρια σετ, κάτι που μπορεί να οφείλεται στην αύξηση του φορτίου από τα σετ προθέρμανσης, η οποία προκαλεί αυξημένες μεταβολικές απαιτήσεις στον ασκούμενο μυ, περιορίζοντάς του τη δυνατότητα να ανακτήσει οξυγόνο κατά την καθοδική φάση. Επίσης,

παρατηρήσαμε αύξηση του πλάτους κυματισμού από το 1^ο στο 2^ο κύριο σετ και μείωση από το 2^ο στο 3^ο και στους τρεις μυς, χωρίς να μπορούμε να προσδιορίσουμε την αιτία.

4.4. Καρδιακή συχνότητα

Η αύξηση της ΚΣ κατά τη διάρκεια κάθε σετ (Σχήμα 70) συμφωνεί με τη βιβλιογραφία (MacDougall et al., 1985). Οι υψηλότερες αρχικές τιμές, τελικές τιμές, μεταβολές μέσα στο σετ και μέσες τιμές των κύριων σετ από τα σετ προθέρμανσης εξηγούνται από το υψηλότερο φορτίο, το οποίο προκαλεί αύξηση στις μεταβολικές απαιτήσεις του μυός και κατ' επέκταση στο καρδιαγγειακό σύστημα.

4.5. Αρτηριακή πίεση

Η διαφορά της συστολικής πίεσης του 2^{ου} με το 5^ο σετ πιθανώς οφείλεται στη διαφορά του φορτίου μεταξύ των δυο σετ, ενώ η διαφορά του 3^{ου} με το 5^ο σετ έρχεται σε αντίθεση με τη μελέτη των (de Souza Nery et al., 2010), οι οποίοι δεν βρήκαν διαφορές, και ίσως οφείλεται στη διαφορετική άσκηση που χρησιμοποίησαν (εκτάσεις γόνατος). Η έλλειψη διαφορών στη διαστολική πίεση μπορεί να οφείλεται στον μεγάλο χρόνο μέτρησης της αρτηριακής πίεσης μετά την άσκηση (Πίνακας 33).

4.6. Γαλακτικό αίματος

Η σχεδόν γραμμική αύξηση του γαλακτικού, χωρίς σημαντική διαφορά στη μεταβολή του ($2-3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) από σετ σε σετ, υποδεικνύει παρόμοια και σχετικά μικρή συνεισφορά της αναερόβιας διάσπασης των υδατανθράκων στην ενεργειακή απαίτηση κάθε σετ, δεδομένου ότι το διάλειμμα μεταξύ των σετ (2 min) ήταν ανεπαρκές για την απομάκρυνσή του από το αίμα. Η κινητική αυτή και η κορύφωσή του στο τελευταίο σετ βρίσκονται σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία (Wirtz et al., 2014).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, κατά την εκτέλεση σετ καθίσματος με μπάρα με επιβαρύνσεις 14, 45 και 100% του 15ΜΕ, το οξυγόνο των μυών του τετρακεφάλου νέων αντρών έμπειρων στην προπόνηση με αντιστάσεις εξαντλούνταν σε μεγάλο βαθμό και αναπληρωνόταν γρήγορα μεταξύ των σετ. Αυτό, σε συνδυασμό με τη μικρή αύξηση του γαλακτικού του αίματος από σετ σε σετ, υποδεικνύει μεγάλη συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού. Για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία, αναφέρουμε ότι υπάρχει κυματισμός της μυϊκής οξυγόνωσης μέσα σε κάθε επανάληψη με τρόπο που ανταποκρίνεται στο μέγεθος της στιγμιαίας ενεργειακής απαίτησης, δηλαδή αύξηση κατά την καθοδική φάση και μείωση κατά την ανοδική, ενώ η μυϊκή αιμάτωση είχε αντίθετο κυματισμό. Αυτό υποδεικνύει μια γρήγορη ανταπόκριση του κυκλοφοριακού συστήματος για παροχή όσο το δυνατό περισσότερου οξυγόνου στον ασκούμενο μυϊκό ιστό.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alvares, T. S., Oliveira, G. V. De, Soares, R., & Murias, J. M. (2020). Near-infrared spectroscopy-derived total haemoglobin as an indicator of changes in muscle blood flow during exercise-induced hyperaemia. *Journal of Sports Sciences*, *38*(7), 751–758.
2. Angleri, V., DE Oliveira, R., Biazon, T. M. P. C., Damas, F., Borghi-Silva, A., Barroso, R., & Libardi, C. A. (2020). Effects of Drop-Set and Pyramidal Resistance Training Systems on Microvascular Oxygenation: A Near-Infrared Spectroscopy Approach. *International Journal of Exercise Science*, *13*(2), 1549–1562.
3. Ansdell, P., Brownstein, C. G., Škarabot, J., Hicks, K. M., Howatson, G., Thomas, K., Hunter, S. K., & Goodall, S. (2019). Sex differences in fatigability and recovery relative to the intensity–duration relationship. *Journal of Physiology*, *597*(23), 5577–5595.
4. Azuma, K., Homma, S., & Kagaya, A. (2000). Oxygen supply-consumption balance in the thigh muscles during exhausting knee-extension exercise. *Journal of Biomedical Optics*, *5*(1), 97.
5. Barstow, T. J. (2019). Understanding near infrared spectroscopy and its application to skeletal muscle research. *Journal of Applied Physiology*, *126*(5), 1360–1376.
6. Cherouveim, E. D., Margaritelis, N. V, Koulouvaris, P., Tsolakis, C., Malliou, V. J., Chatzinikolaou, P. N., Franchi, M. V, Porcelli, S., Kyparos, A., Vrabas, I. S., Geladas, N. D., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2022). Skeletal muscle and cerebral oxygenation levels during and after submaximal concentric and eccentric isokinetic exercise. *Journal of Sports Sciences*, *40*(2), 195–202.
7. Davis, P. R., Yakel, J. P., & Anderson, D. J. F. (2020). Muscle oxygen demands of the vastus lateralis in back and front squats. *International Journal of Exercise Science*, *13*(6), 734–743.
8. de Souza Nery, S., Gomides, R. S., Silva, G. V. da, de Moraes Forjaz, C. L., Mion, D., & Tinucci, T. (2010). Intra-Arterial Blood Pressure Response in Hypertensive Subjects during Low- and High-Intensity Resistance Exercise. *Clinics*, *65*(3), 271–277.
9. Denis, R., Bringard, A., & Perrey, S. (2011). Vastus lateralis oxygenation dynamics during maximal fatiguing concentric and eccentric isokinetic muscle actions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *21*(2), 276–282.
10. Formenti, D., Perpetuini, D., Iodice, P., Cardone, D., Michielon, G., Scurati, R., Alberti, G., & Merla, A. (2018). Effects of knee extension with different speeds of movement on muscle and cerebral oxygenation. *PeerJ*, *6*(10), e5704.
11. Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., Rojas-Valverde, D., de la Cruz Sánchez, E., García-Rubio, J., Ibáñez, S. J., & Pino-Ortega, J. (2020). Lower-limb Dynamics of Muscle

Oxygen Saturation During the Back-squat Exercise: Effects of Training Load and Effort Level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(5), 1227–1236.

12. Guardado, I. M., Guerra, A. M., Pino, B. S., Camacho, G. O., & Andrada, R. T. (2021). Acute responses of muscle oxygen saturation during different cluster training configurations in resistance-trained individuals. *Biology of Sport*, 38(3), 367–376.
13. Hamaoka, T., & McCully, K. K. (2019). Review of early development of near-infrared spectroscopy and recent advancement of studies on muscle oxygenation and oxidative metabolism. *The Journal of Physiological Sciences*, 69(6), 799–811.
14. Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. *Frontiers in Physiology*, 10(MAY), 1–18.
15. Hoffman, J. R., Im, J., Rundell, K. W., Kang, J., Nioka, S., Spiering, B. A., Kime, R., & Chance, B. (2003). Effect of muscle oxygenation during resistance exercise on anabolic hormone response. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(11), 1929–1934.
16. Johnson, M. A., Polgar, J., Weightman, D., & Appleton, D. (1973). Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. *Journal of the Neurological Sciences*, 18(1), 111–129.
17. Jones, S., Chiesa, S. T., Chaturvedi, N., & Hughes, A. D. (2016). Recent developments in near-infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilise oxygen. *Artery Research*, 16, 25–33.
18. MacDougall, J. D., Tuxen, D., Sale, D. G., Moroz, J. R., & Sutton, J. R. (1985). Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 58(3), 785–790.
19. Miranda-Fuentes, C., Chiroso-Ríos, L. J., Guisado-Requena, I. M., Delgado-Floody, P., & Jerez-Mayorga, D. (2021). Changes in muscle oxygen saturation measured using wireless near-infrared spectroscopy in resistance training: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8).
20. Miyamoto, N., Wakahara, T., Ema, R., & Kawakami, Y. (2013). Non-uniform muscle oxygenation despite uniform neuromuscular activity within the vastus lateralis during fatiguing heavy resistance exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 33(6), 463–469.
21. Perrey, S., & Ferrari, M. (2018). Muscle Oximetry in Sports Science: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(3), 597–616.
22. Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., Murray, T. F., Hostler, D. P., Crill, M. T., Ragg, K. E., & Toma, K. (2000). Fiber Type Composition of the Vastus Lateralis Muscle of Young Men and Women. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 48(5), 623–629.

23. Timon, R., Ponce-gonzález, J. G., Gonzalez-montesinos, J. L., Camacho, G. O., Pérez-pérez, A., & Castro-piñero, J. (2018). Inertial flywheel resistance training and muscle oxygen saturation. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(11), 1618–1624.
24. Tufano, J. J., Omcirik, D., Malecek, J., Pisz, A., Halaj, M., & Scott, B. R. (2020). Traditional sets versus rest-redistribution: a laboratory-controlled study of a specific cluster set configuration at fast and slow velocities. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(4), 421–430.
25. Verdijk, L. B., SNIJDERS, T., HOLLOWAY, T. M., VAN KRANENBURG, J., & VAN LOON, L. J. C. (2016). Resistance Training Increases Skeletal Muscle Capillarization in Healthy Older Men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2157–2164.
26. Wirtz, N., Wahl, P., Kleinöder, H., & Mester, J. (2014). Lactate Kinetics during Multiple Set Resistance Exercise. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(1), 73–77.