



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΟΥ ΕΙΣΠΝΕΟΜΕΝΟΥ ΟΓΚΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΣΚΗΣΗΣ»

ΜΙΧΑΛΗΣ Ε. ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΖΕΡΒΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΠΕΤΡΑΚΗΣ ΕΥΡΙΠΙΔΗΣ

ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ : σελ. 1

- 1. Σκοπός της εργασίας . σελ. 1
- 2. Αναπνευστική υγεία και ποιότητα ζωής σελ. 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ σελ. 3

- 1.1 Αναπνευστική λειτουργία σελ. 3
- 1.2 Αναπνευστικοί μύες σελ. 5
 - 1.2.1 Το διάφραγμα σελ. 6
 - 1.2.2 Οι μεσοπλεύριοι μύες σελ. 7
 - 1.2.3 Οι κοιλιακοί μύες σελ. 10
 - 1.2.4 Δευτερεύοντες μύες σελ. 11
 - 1.2.5 Άλλοι μύες σελ. 11
 - 1.2.6 Αδυναμία των αναπνευστικών μυών και οι επιπτώσεις σελ. 11
- 1.3 Κύριες δυσλειτουργίες του αναπνευστικού συστήματος σελ. 11
 - 1.3.1 Χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) σελ. 11
 - 1.3.2 Χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια σελ. 12
 - 1.3.3 Ο εισπνεόμενος όγκος οξυγόνου ως διαγνωστικό εργαλείο σελ. 14
- 1.4 Σπιδόμετρο σελ. 15
 - 1.4.1 Χρησιμότητα και ιστορική ανάδρομη σελ. 15
 - 1.4.2 Μετρήσεις σελ. 16
 - 1.4.3 Συσκευές μέτρησης σελ. 16
 - 1.4.4 Έλεγχος και βαθμονόμηση σελ. 21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Εύρεση και ανάλυση πληροφοριών από τον εισπνεόμενο όγκο οξυγόνου κατά την διάρκεια άσκησης σελ. 23

- 2.1 Καμπύλη του όγκου του οξυγόνου (ή του διοξειδίου του άνθρακα) προς το χρόνο κατά τη διάρκεια αύξησης αυξανόμενης έντασης . σελ. 23
- 2.2 Οι φάσεις της γραφικής παράστασης του O₂ (ή CO₂) κατά την διάρκεια άσκησης σελ. 26
- 2.3 Έλλειμμα οξυγόνου σελ. 29
- 2.4 Εκθετική μορφή των δεδομένων σελ. 30
 - 2.4.1 Περίπτωση σταθεροποίησης σελ. 30
 - 2.4.2 Περίπτωση μη σταθεροποίησης σελ. 34
- 2.5 Σιγμοειδή μορφή των δεδομένων σελ. 36
 - 2.5.1 Περίπτωση σταθεροποίησης σελ. 36
 - 2.5.2 Περίπτωση μη σταθεροποίησης σελ. 39
- 2.6 Οι παλμοί της καρδιάς κατά την διάρκεια άσκησης σελ. 47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Επεξεργασία και προσέγγιση των δεδομένων σελ.49

3.1 Αφαίρεση outliers σελ.50

3.1.1 Θεωρητικά σελ.50

3.1.2 Εφαρμογή σελ.51

3.2 Ομαλοποίηση (Smoothing) σελ.53

3.2.1 Θεωρητικά σελ.54

3.2.2 Εφαρμογή σελ.54

3.3 Αναγνώριση σημείων του σήματος σελ.55

3.4 Προσέγγιση δεδομένων σελ.57

3.4.1 Εκθετική προσέγγιση σελ.57

3.4.1.1 Αρχική προσέγγιση σελ.57

3.4.1.1.1 Μέθοδοι που χρησιμοποιεί η εντολή του MATLAB *lsqcurvefit* σελ.58

3.4.1.2 Προσέγγιση με βάση τα βάρη σελ.60

3.4.1.2.1 Αλγόριθμος εντολής *robustfit* για γραμμικές συναρτήσεις σελ.61

3.4.1.2.2 Αλγόριθμος εντολής *robustfit* για εκθετική συνάρτηση σελ.62

3.4.2 Σιγμοειδής προσέγγιση σελ.65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Αποτελέσματα και συμπεράσματα σελ.66

4.1 Αποτελέσματα σελ.66

4.1.1 Άσκηση Α σελ.66

4.1.2 Άσκηση Β σελ.84

4.2 Συμπεράσματα σελ.117

4.3 Γενικά συμπεράσματα σελ.131

Βιβλιογραφία σελ.132

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη και η επεξεργασία των δεδομένων του εισπνεόμενου όγκου οξυγόνου ,του εκπνεόμενου όγκου του διοξειδίου του άνθρακα και των παλμών της καρδιάς που προκύπτουν κατά την διάρκεια άσκησης 8 διαφορετικών εξεταζόμενων σε δυο διαφορετικές ασκήσεις .

Επίσης , σκοπός αυτής της εργασίας είναι οι ποσοτικοί υπολογισμοί ορισμένων τιμών που προκύπτουν από τα επεξεργασμένα δεδομένα και συγκρίνοντας αυτές τις τιμές των 8 εξεταζόμενων να καταλήξουμε σε συμπεράσματα για την αναπνευστική κατάσταση αυτών .

Τέλος , χρησιμοποιούμε δυο διαφορετικούς τρόπους επεξεργασίας και προσέγγισης των δεδομένων μας και μπορούμε να οδηγηθούμε σε συμπεράσματα όσον αφορά την καλύτερη προσέγγιση των δεδομένων για να έχουμε όσον το δυνατό ακριβέστερο υπολογισμό των τιμών που θέλουμε να υπολογίσουμε .

2. ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΖΩΗΣ

Ο άνθρωπος όπως όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί ,χρειάζεται οξυγόνο για να ζήσει . Το οξυγόνο είναι το αναγκαίο μέσο έτσι ώστε να γίνει η καύση των θρεπτικών ουσιών και να απελευθερωθεί η ενέργεια που είναι απαραίτητη για όλες τις λειτουργίες του οργανισμού .Εξαιτίας λοιπόν του ότι όλες οι δραστηριότητες του ανθρώπινου οργανισμού έχουν ως βάση τη σωστή λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος ,καθίσταται αναγκαία η μέγιστη φροντίδα αυτού του συστήματος .

Οι τυχόν ανωμαλίες ή δυσκολίες της αναπνευστικής λειτουργίας έχουν επιπτώσεις σε όλες τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού . Οι αρχικές και σημαντικότερες επιπτώσεις αφορούν την ένταση ,την αντοχή και την διάρκεια σε οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα . Επομένως , η κωλυσιεργία του αναπνευστικού έχει αντίκτυπο τόσο στην προσωπική ζωή του υποκείμενου (εργασία ,αθλητικές δραστηριότητες κ.τ.λ.) όσο και στην κοινωνική του ζωή(ανθρώπινες σχέσεις ,κοινωνικές υποχρεώσεις κ.τ.λ.) και γενικότερα στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

Επομένως η ανάγκη για φροντίδα και πρόληψη του αναπνευστικού συστήματος καθίσταται επιτακτική . Όσον αφορά την φροντίδα εννοούμε συστηματική άσκηση ,σωστή διατροφή ,αποχή από βλαβερές συνήθειες (π.χ. κάπνισμα) και μέτρα προστασίας σε εργασίες που το απαιτούν(σε ορυχεία ,σε εργοστάσια με αυξημένου ρύπους κ.τ.λ.).Από την άλλη μεριά ,με την πρόληψη εννοούμε τακτικό έλεγχο του αναπνευστικού συστήματος για έγκυρη διάγνωση τυχόν ανωμαλιών και δυσλειτουργιών.

Για τον έλεγχο της αναπνευστικής λειτουργίας έχουν αναπτυχθεί ποικίλοι μέθοδοι που διαφέρουν μεταξύ τους κυρίως στο αντικείμενο και στο πρόβλημα στο οποίο δίνουν έμφαση .Όταν ο στόχος είναι η καταμέτρηση και επεξεργασία των τιμών διάφορων συστατικών που εμπλέκονται στην αναπνευστική λειτουργία (όγκος O_2 που εισπνέετε , όγκος CO_2 που εκπνέεται) χρησιμοποιούνται όργανα μέτρησης όγκου όπως είναι τα σπιρόμετρα . Οι μετρήσεις αυτές περιέχουν διάφορες πληροφορίες και η επεξεργασία αυτών των μετρήσεων σε διάφορα μαθηματικά υπολογιστικά εργαλεία(όπως MATLAB ,MATHEMATICA) και με ποικίλλες τεχνικές (ανάλογα το σκοπό της επεξεργασίας) είναι ικανές να μας δείξουν ακριβή στοιχεία όσον αφορά την αναπνευστική κατάσταση του υποκείμενου και να οδηγήσουν σε μια σωστή διάγνωση του υποκείμενου και στη συνέχεια σε μια κατάλληλη θεραπεία .

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η μέτρηση και η επεξεργασία διαφόρων στοιχείων που λαμβάνουν μέρος στην αναπνευστική διαδικασία έχει μεγάλη αξία καθώς μας δίνει τη δυνατότητα να δούμε με ακρίβεια τις τυχόν δυσλειτουργίες του αναπνευστικού συστήματος και να οδηγηθούμε σε σωστή διάγνωση και εν συνεχεία σε ανάλογη θεραπεία , η οποία εν τέλει θα οδηγήσει στη καλή λειτουργία του αναπνευστικού και στη καλύτερη ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

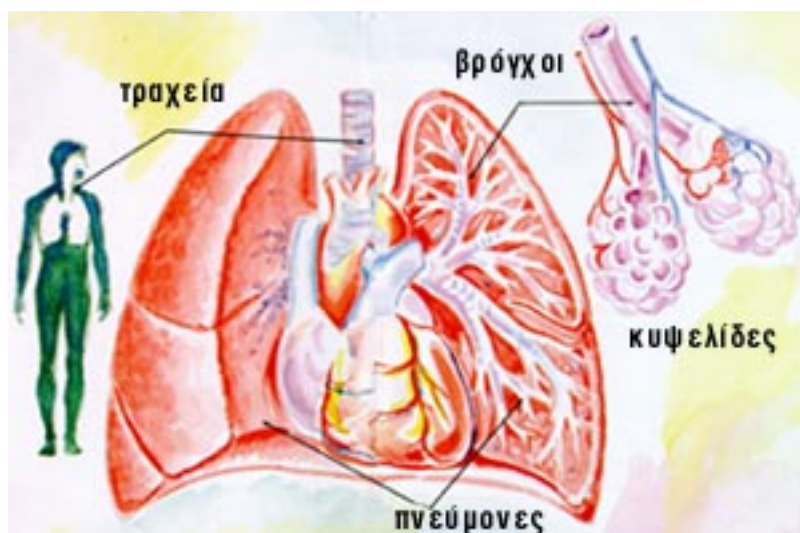
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

1.1 ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού είναι η αναπνευστική λειτουργία. Ο άνθρωπος παίρνει το απαραίτητο οξυγόνο από τον ατμοσφαιρικό αέρα . Το οξυγόνο μεταφέρεται από το αίμα σε όλα τα κύτταρα του σώματος και χρησιμεύει για την καύση των θρεπτικών ουσιών . Με την καύση των θρεπτικών ουσιών απελευθερώνεται ενέργεια ,που είναι απαραίτητη για τις διάφορες λειτουργίες του οργανισμού. Κατά την καύση παράγεται διοξείδιο του άνθρακα που σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι βλαβερό για τον οργανισμό .Το διοξείδιο του άνθρακα μεταφέρεται από το αίμα στους πνεύμονες ,από όπου αποβάλλεται στον αέρα που εκπνέουμε . Η πρόσληψη οξυγόνου και η παράλληλη αποβολή διοξειδίου του άνθρακα γίνεται στους πνεύμονες και ονομάζεται ‘ανταλλαγή αέριων με το περιβάλλον’ η απλούστερα ‘αναπνοή’.

Το αναπνευστικό μας σύστημα αποτελείται από :

1. Την μύτη και το στόμα
2. Τον φάρυγγα
3. Τον λάρυγγα
4. Την τραχεία
5. Τους βρόγχους
6. Τα πνευμόνια



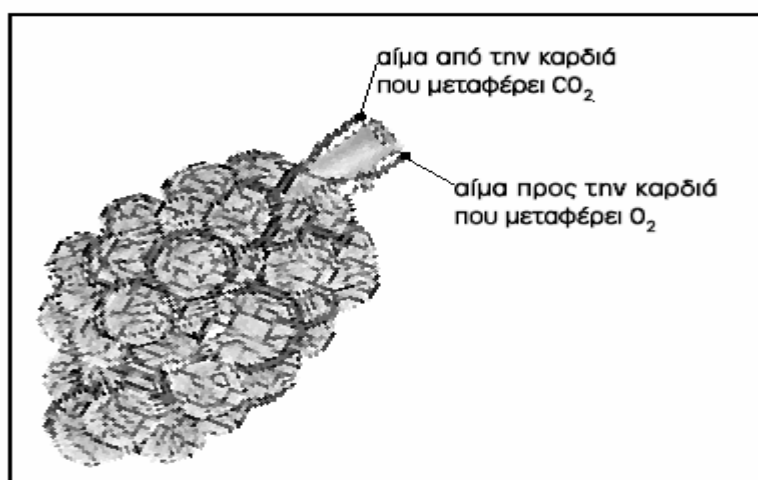
Σχήμα 1.1 Τα κύρια συστατικά του αναπνευστικού συστήματος.

Ο λάρυγγας, η τραχεία και οι βρόγχοι είναι οι σωλήνες που υπό φυσιολογικές συνθήκες επιτρέπουν την ελεύθερη είσοδο και έξοδο του αέρα προς τα πνευμόνια.

Η τραχεία χωρίζεται σε δύο κύριους βρόγχους: τον αριστερό για τον αριστερό πνεύμονα και τον δεξιό για τον δεξιό πνεύμονα. Κάθε κύριος βρόγχος μόλις μπει μέσα στον αντίστοιχο πνεύμονα αρχίζει να διαιρείται διαρκώς σε μικρότερους βρόγχους μέχρι να φθάσει στους μικρότερους δυνατούς βρόγχους τα λεγόμενα τελικά βρογχιόλια, τα οποία δεν διαιρούνται περαιτέρω. Η συνεχής αυτή διαίρεση των βρόγχων δίνει μία τέτοια ανατομική εμφάνιση στο σύνολο των βρόγχων που προσομοιάζεται με δένδρο γι' αυτό και το όλο σύστημα αποκαλείται και βρογχικό δένδρο. Οι βρόγχοι σε όλο το μήκος τους περιβάλλονται (αγκαλιάζονται) από μυϊκές ίνες οι οποίες όταν συσπώνται στενεύουν το αυλό δυσκολεύοντας την είσοδο και την έξοδο του αέρα, ενώ όταν είναι χαλαρωμένες ο αυλός των βρόγχων είναι τελείως ανοικτός και ελεύθερος στην είσοδο και την έξοδο του αέρα. Πολλά αίτια μπορούν να προκαλέσουν τον σπασμό των μυϊκών ινών και το στένωμα των βρόγχων προκαλώντας έτσι δυσκολίες στην είσοδο και την έξοδο του αέρα. Την δυσκολία αυτή στην ελεύθερη είσοδο και έξοδο του αέρα στα πνευμόνια ο άρρωστος την καταλαβαίνει σαν δύσπνοια.

Οι βρόγχοι στο εσωτερικό τους επενδύονται από μία λεπτή μεμβράνη τον βλεννογόνο. Από τον βλεννογόνο παράγεται μία μικρή ποσότητα βλένης η οποία επαλείφει εσωτερικά τους βρόγχους. Το δημιουργημένο λεπτό στρώμα βλένης χρησιμεύει κυρίως στο να παγιδεύει σκόνες, μικρόβια και άλλα μικρομόρια που εισέρχονται στους βρόγχους με τον αναπνεόμενο αέρα. Υπερπαραγωγή βλένης οδηγεί σε στένωση και απόφραξη των βρόγχων. Συνέχεια των τελικών βρογχιολίων είναι οι κυψελίδες οι οποίες δεν είναι τίποτα άλλο παρά σακοειδείς διευρύνσεις του τελικού βρογχιολίου. Το τελικό βρογχιόλιο με το σύνολο των κυψελίδων που προσομοιάζει με ένα τσαμπί σταφύλι.

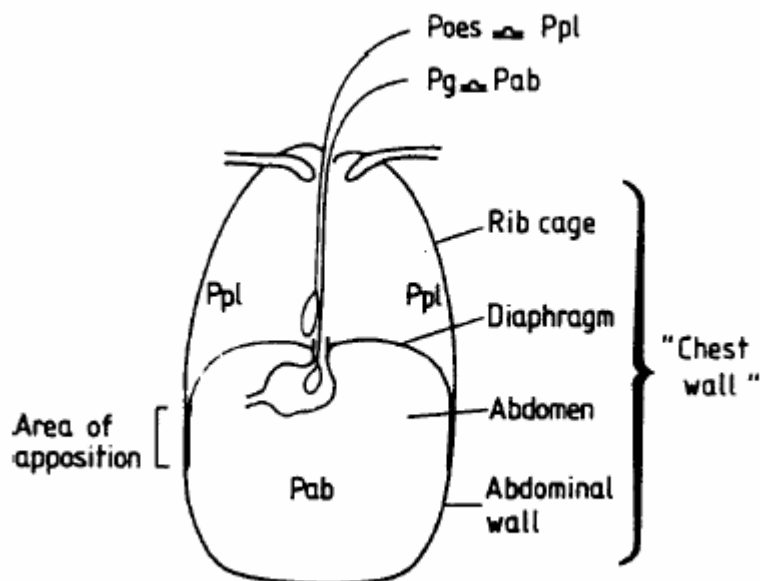
Στις κυψελίδες με την εισπνοή εισέρχεται ο αέρας που είναι πλούσιος σε οξυγόνο και φτωχός σε διοξείδιο του άνθρακος. Εκεί γίνεται η ανταλλαγή των αερίων, όπου το αίμα αποδίδει το διοξείδιο του άνθρακος που παρέλαβε από τα κύτταρα του οργανισμού μας και παραλαμβάνει το οξυγόνο για να το μεταφέρει εκ νέου στα κύτταρα.



Σχήμα 1.2 Η κυψελίδα και η λειτουργία της .

1.2 ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΙ ΜΥΕΣ

Οι κύριοι αναπνευστικοί μύες είναι το διάφραγμα ,οι μεσοπλεύριοι μύες και οι μύες του κοιλιακού τοιχώματος (Σχήμα 1.3) .Οι δευτερεύοντες μύες της αναπνοής περιλαμβάνουν το στερνοκλειδομαστοειδή και άλλους μύες του τράχηλου της ράχης και της ωμικής ζώνης .



Σχήμα 1.3 Οι κύριοι μύες της αναπνευστικής λειτουργίας. (ΠΝΕΥΜΩΝ, Αυγ., 2001)

Rib cage - τοιχώματα θωρακικής κοιλότητας

Diaphragm – διάφραγμα

Abdomen – κοιλιά

Abdominal wall – κοιλιακή κοιλότητα

Area of apposition – περιοχή παράθεσης

Chest wall – θώρακας

Pab – κοιλιακή πίεση , *Ppl* – πλευρική πίεση

Ιστολογική δομή των αναπνευστικών μυών

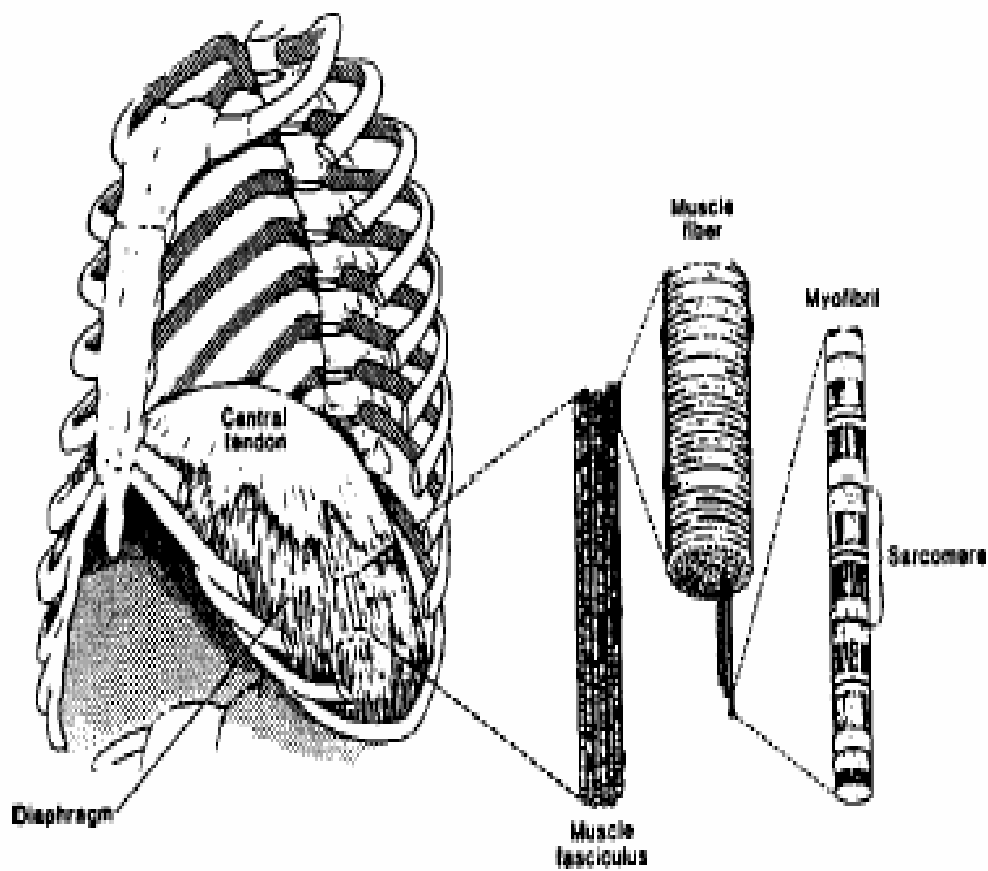
Οι αναπνευστικοί μύες είναι όλοι σκελετικοί μύες και έχουν την ίδια σύνθεση ινών με τους μύες των άκρων . Η σύνθεση των ινών των αναπνευστικών μυών είναι σημαντικός παράγων για την αντοχή τους και τις συσταλτικές τους ιδιότητες .

Υπάρχουν δυο τύποι ινών ,οι ταχείας (FT) και βραδείας (ST) σύσπασης . Οι FT ίνες έχουν δυο υποομάδες , τις FOG και τις FIG ίνες .

1.2.1.ΤΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ

Ανατομία του διαφράγματος

Το διάφραγμα είναι δομικό χαρακτηριστικό των θηλαστικών και όσον αφορά την ανατομία είναι αρκετά πολύπλοκος μυς (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4 . Το διάφραγμα και υποδιαίρεσεις των μυών ως την τελευταία μονάδα .(ΠΝΕΥΜΩΝ, Αυγ., 2001)

tendon – τένοντας

muscle fasciculous - δέσμη ινών

muscle fibre – μυϊκή ίνα

myofibril – μυϊκή ίνα

sarcomere – μονάδα ραβδωτού μυός

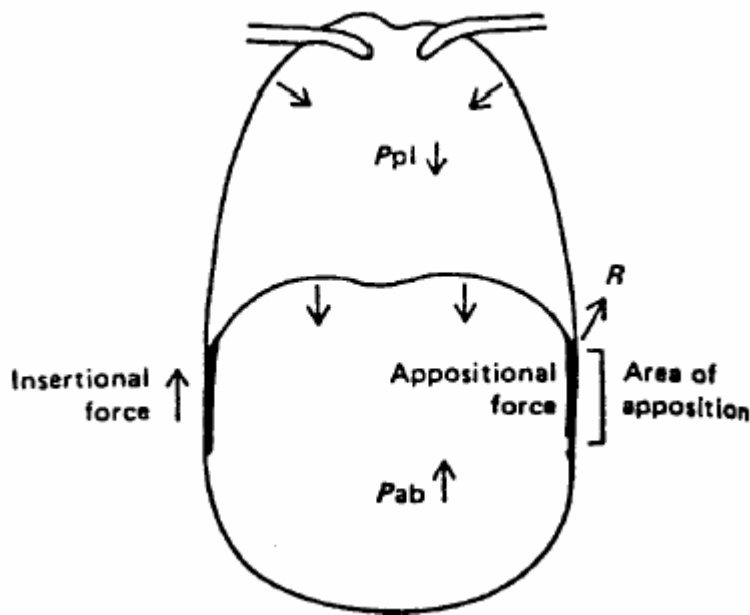
Οι μυϊκές ίνες του διαφράγματος (οι οποίες είναι μέσα στο κεντρικό τένοντα ,σχήμα 4) χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες : (i) οι σπονδυλικές ,(ii) οι πλευρικές και (iii) οι στερνικές .Οι σπονδυλικές ίνες έρχονται από το δεύτερο και τρίτο ασφυϊκό σπόνδυλο, από το μεσαίο τοξοειδή σύνδεσμο και από τον παράλληλο τοξοειδή σύνδεσμο . Οι πλευρικές ίνες έρχονται από το μέσο και το πάνω περιθώριο των έξι χαμηλότερων πλευρών και αλληλοεμπλέκονται με τις ίνες από τους κάθετους κοιλιακούς .Οι ίνες του στερνού έρχονται από το πίσω μέρος της ξιφοειδής διαδικασίας . Όλες οι ίνες συγκλίνουν στο κεντρικό τένοντα .(Περιεχόμενα ,νούμερο 1 ,σελ. 132)

Η παροχή αίματος στο διάφραγμα

Το διάφραγμα παίρνει αρτηριακό αίμα από τρεις κυρίως πηγές : 1) από τον εσωτερικό μαστό 2) από το μεσοπλεύριους 3) και από το κατώτερη φρενική αρτηρία . Η ανώτερη φρενική αρτηρία , που βρίσκεται απέναντι από το φρενικό νευρικό κέντρο , επίσης προσφέρει και αυτή ένα μικρό ποσοστό στην συνολική παροχή αίματος στο διάφραγμα . .(Περιεχόμενα ,νούμερο 1 ,σελ. 132)

Μηχανική λειτουργία του διαφράγματος

Κατά την αναπνοή το διάφραγμα συστέλλεται . Η συστολή του διαφράγματος μειώνει την ενδοθωρακική πίεση και αυξάνει την κοιλιακή πίεση σε ένα υγιή άνθρωπο. Η κάθοδος του διαφραγματικού τρούλου είναι αυτό που δημιουργεί αυτές τις πιέσεις . (Σχήμα 1.5)



Σχήμα 1.5 Οι πιέσεις στο διάφραγμα και οι δυνάμεις που ασκούνται .(ΠΝΕΥΜΩΝ, Αυγ., 2001)

Pab - κοιλιακή πίεση , Ppl - πνευμονική πίεση

Insertional force – εσωτερική δύναμη

Area of apposition –περιοχή παράθεσης

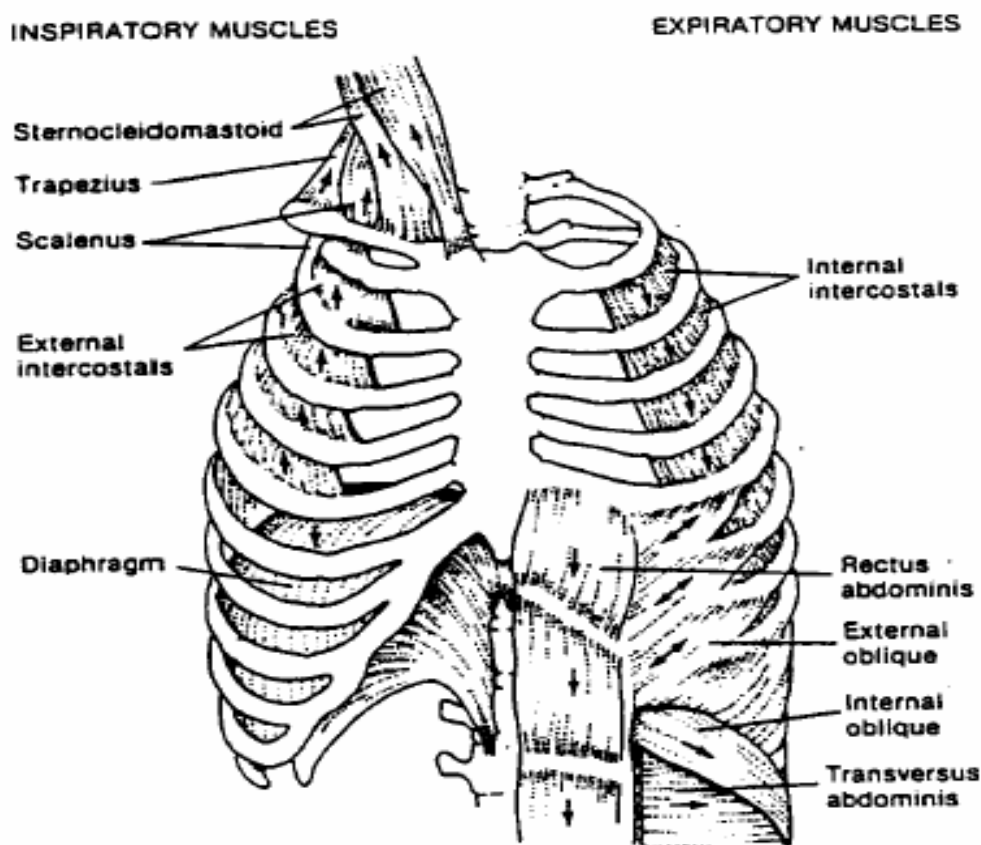
Appositional force –δύναμη παράθεσης

Όταν συστέλλεται το διάφραγμα επακολουθούν οι εξής διαδικασίες : Αρχικά διαστέλλεται η θωρακική κοιλότητα και συμπιέζεται η κοιλιακή κοιλότητα, με αποτέλεσμα την χαμηλότερη πνευμονική(θωρακική) πίεση και την υψηλότερη κοιλιακή πίεση .Στη συνέχεια η πιεσμένη κοιλιακή κοιλότητα ασκεί μια δύναμη στα κάτω τοιχώματα της θωρακικής κοιλότητας (περιοχή παράθεσης) και βοηθάει στο να ανυψωθεί η χαμηλότερη μεριά του θωρακικού τοιχώματος που έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφή των πλευρών πάνω και κάτω.

Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα κατά την εισπνοή ο όγκος των πνευμόνων να αυξάνεται και να εισέρχεται σε αυτούς ατμοσφαιρικός αέρας . Ανάλογα κατά την εκπνοή ,ο μύες χαλαρώνουν και με αποτέλεσμα να μειώνεται ο όγκος των πνευμόνων και κατά συνέπεια να αναγκάζεται ο αέρας να εξέλθει από αυτούς .

1.2.2 ΟΙ ΜΕΣΟΠΛΕΥΡΙΟΙ ΜΥΕΣ

Οι μεσοπλεύριοι μύες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες : 1) τους εξωτερικούς και 2) τους εσωτερικούς μεσοπλεύριους μύες (Σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6 Οι εισπνευστικοί και εκπνευστικοί μύες .(ΠΝΕΥΜΩΝ, Αυγ., 2001)

inspiratory muscle –εισπνευστικοί μύες , *expiratory muscle* – εκπνευστικοί μύες

sternocleidomastoid – στερνοκλειδομαστοειδής

trapezus – τραπεζοειδής

scalenus- σκαληνός

external intercostals –εξωτερικοί μεσοπλεύριοι

internal intercostals –εσωτερικοί μεσοπλεύριοι

diaphragm – διάφραγμα

rectus abdominis - Λείος κοιλιακός

external oblique - Εξωτερικός πλάγιος , *internal oblique* - Εσωτερικός πλάγιος

transversus abdominis - Εγκάρσιος κοιλιακός

Ανατομία των μεσοπλεύριων μυών .

Οι εξωτερικοί μεσοπλεύριοι μύες εκτείνονται από την ρίζα των πλευρών έως την πλευροχονδρική σύνδεση από όπου γίνονται συνεχείς με την προηγούμενη μεσοπλεύρια μεμβράνη. Είναι πιο πυκνοί από τους εσωτερικούς μεσοπλεύριους μύες . Οι ίνες των εξωτερικών μεσοπλεύριων μυών κλίνουν λοξά από το πάνω πλευρό στο κάτω .

Οι εσωτερικοί μεσοπλεύριοι μύες εκτείνονται από το τέλος του προηγούμενου μεσοπλεύριου κενού έως τις γωνίες που σχηματίζουν τα επόμενα πλευρά , από όπου γίνονται συνεχείς με τη επόμενη μεσοπλευρική μεμβράνη . Οι ίνες κλίνουν λοξά προς τα πάνω και προς τα κάτω.

Η παροχή αίματος στους μεσοπλεύριους μύες.

Οι μεσοπλεύριοι μύες τροφοδοτούνται από τις μεσοπλεύριες αρτηρίες και από διακλαδώσεις των εσωτερικών μαστικών αρτηριών .

Μηχανική λειτουργία των μεσοπλεύριων μυών.

Η κύρια μηχανική λειτουργία των μεσοπλεύριων μυών έγκειται στο γεγονός ότι αυτοί οι μύες είναι ουσιαστικά αυτοί που κινούν τα τοιχώματα θωρακικής κοιλότητας . Οι εξωτερικοί μεσοπλεύριοι μύες και το ενδοχονρικό κομμάτι των εσωτερικών μεσοπλεύριων μυών (παραστερνικοί μύες) είναι εισπνευστικοί μύες και βοηθούν ώστε να σηκώνονται τα πλευρά , ενώ το ενδοοστεϊδές κομμάτι των εσωτερικών μεσοπλεύριων μυών είναι εκπνευστικός μυς και βοηθάει στο να χαμηλώνουν τα πλευρά . .(Περιεχόμενα ,νούμερο 1 ,σελ. 132)

1.2.3 ΟΙ ΚΟΙΛΙΑΚΟΙ ΜΥΕΣ

Η κοιλιακή κοιλότητα περιορίζεται από τους προηγούμενους και επόμενους επιμήκης μύες ,οι οποίοι συνδέουν το θωρακικό πλαίσιο με τη λεκάνη και περιέχονται μέσα σε δυνατή δέσμη θηκών , μαζί με τρεις μύες οι οποίοι περικυκλώνουν το υπόλοιπο της κοιλιάς (Σχήμα 1.6) .

Ανατομία των κοιλιακών μυών .

Εξωτερικός πλάγιος.

Αυτός ο μυς έρχεται από την εξωτερική επιφάνεια των οχτώ χαμηλότερων πλευρών . Είναι λοιπόν επιφανειακός στους χαμηλότερους μεσοπλεύριους μύες. Οι νωτιαίοι ίνες περνούν κάτω στο κορυφή του πίσω μέρους του λαγόνιου ιστού. Οι υπόλοιπες ίνες κλίνουν πλάγια προς τα κάτω και προς τα πάνω.

Εσωτερικός πλάγιος .

Ο εσωτερικός πλάγιος μυς περνάει από τον ασφυικό σπόνδυλο ,από την κορυφή του πίσω μέρους του λαγόνιου ιστού , και από το πλευρικό μέρος του βουβωνικού συνδέσμου σε μια εκτεταμένη σύνδεση με τα πλευρικά όρια.

Εγκάρσιος κοιλιακός .

Ο εγκάρσιος κοιλιακός μυς έρχεται από τον πλευρικό χόνδρο των 6 χαμηλότερων πλευρών , από τον ασφυικό σπόνδυλο ,από την κορυφή του πίσω μέρους του λαγόνιου ιστού , και από το πλευρικό μέρος του βουβωνικού συνδέσμου.

Ο εγκάρσιος κοιλιακός είναι ο πιο βαθύς από αυτούς τους μύες .

Λείος κοιλιακός .

Αυτός καλύπτει την εξωτερική επιφάνεια του θωρακικού κελιού αφού περνάει κάθετα από την οριζόντια γραμμή της σύνδεσης με τον πέμπτο ,τον έκτο και τον έβδομο πλευρικό σύνδεσμο(ενίοτε από τον τρίτο και τον τέταρτο) και καταλήγει στο τενοντικό σύνδεσμο του κοιλιακού και μπροστινού οστού της λεκάνης .

Μηχανική λειτουργία των κοιλιακών μυών

Οι κοιλιακοί έχουν δυο βασικές λειτουργίες : λειτουργούν ως περιστροφέας του θώρακα και έχουν και βασική αναπνευστική λειτουργία. Σαν αναπνευστικοί μύες έχουν και εισπνευστικές ιδιότητες και εκπνεύστηκες ιδιότητες . Σαν εκπνευστικοί έχουν την εξής λειτουργία : σπρώχνουν το κοιλιακό τοίχωμα προς τα μέσα και παράγουν μια αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης .Εξαιτίας του ότι τα κοιλιακά στοιχεία είναι μη συμπιεζόμενα ,έχουμε ως αποτέλεσμα την διαστολή του διαφράγματος , που συνεπάγεται αύξηση της πλευρικής πίεσης και μείωση του όγκου των πνευμόνων .Γι'αυτό λοιπόν οι κοιλιακοί μύες είναι βασικοί εκπνευστικοί μύες και ειδικά στην ισχυρή εκπνοή και στο βήχα.

Σαν αναπνευστικοί λειτουργούν ως εξής : διευκολύνουν την διαφραγματική δράση με την συνεχή κοιλιακή συστολή .

1.2.4 ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΕΣ ΜΥΕΣ

Από τους δευτερεύοντες μύες οι πιο σημαντικοί είναι : ο στερνομακλειδοστοειδής ,ο σκαληνός και το τριγωνικό στερνό (Σχήμα 1.6). Η μηχανική τους λειτουργία είναι κυρίως βοηθητικοί των κυρίων μυών του αναπνευστικού συστήματος .

1.2.5 ΑΛΛΟΙ ΜΥΕΣ

Υπάρχουν και άλλοι μύες που λαμβάνουν μέρος στη αναπνευστική λειτουργία αλλά είναι λιγότερο σημαντικοί. Αυτοί είναι : ο τραπεζοειδής μυς ,ο κύριος θωρακικός , ο δευτερεύων θωρακικός ,ο προοδοντωτός ,ο μεταοδοντωτός ο ανώτερος και ο μεταοδοντωτός ο κατώτερος .

1.2.6 ΑΔΥΝΑΜΙΑ ΤΩΝ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .

Οι αναπνευστικοί μύες είναι η κινητήρια δύναμη της αναπνοής αλλά τυχόν αδυναμίας του δημιουργεί αρκετές δυσλειτουργίες στην αναπνοή. Οι κύριοι λόγοι που οδηγούν στην αδυναμία των αναπνευστικών μυών είναι ποικίλοι και προσβάλλουν συνήθως τα κινητικά νεύρα ,τη νευρομυϊκή σύναψη και το μυϊκό κύτταρο.

Οι ασθενείς με αδύναμους αναπνευστικούς μύες αναπνέουν πιο γρήγορα και με μικρότερο αναπνεόμενο όγκο από τα υγιή άτομα .Συν τοις άλλοις , η κούραση των αναπνευστικών μυών επέρχεται πιο γρήγορα και ο η διάρκεια για να επανέρθουν στο αρχικό τους επίπεδο είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τα υγιή άτομα. Επίσης αλλάζουν και τα αέρια του αίματος με την μείωση της πίεσης του οξυγόνου (PO₂).

1.3 ΚΥΡΙΕΣ ΔΥΣΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όπως όλες οι λειτουργίες του οργανισμού έτσι και η αναπνοή είναι ευάλωτη σε αρκετές ασθένειες .Εξαιτίας όμως της σημαντικότητας της αναπνοής , οι ασθένειες αυτές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη ζωή του ασθενή και του υποβαθμίζει τη ποιότητα ζωής του .Από τις πιο σημαντικές από αυτές τις ασθένειες είναι η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και η χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια .

1.3.1 ΧΡΟΝΙΑ ΑΠΟΦΡΑΚΤΙΚΗ ΠΝΕΥΜΟΝΟΠΑΘΕΙΑ (ΧΑΠ).

Ίσως η πιο δημοφιλής και επικίνδυνη δυσλειτουργία του αναπνευστικού συστήματος είναι η ΧΑΠ. Η ΧΑΠ ευθύνεται ετησίως για περισσότερους από τρία εκατομμύρια θανάτους παγκοσμίως. Το δυσάρεστο είναι ότι ο αριθμός των θανάτων αναμένεται να αυξηθεί στις επόμενες δεκαετίες, κυρίως διότι ο αριθμός των καπνιστών παρουσιάζει αυξητική τάση και τα μέτρα για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν φαίνεται να αποδίδουν. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι το 2000 καταγράφηκαν 2,74 εκατομμύρια θάνατοι από ΧΑΠ.

Όσον αφορά την Ελλάδα , τα στοιχεία από πρόσφατη μελέτη της ομάδας ΧΑΠ, της Ελληνικής Πνευμονολογικής Εταιρίας, υπολογίζουν τους πάσχοντες στο 8,4% του γενικού πληθυσμού, δηλαδή περίπου ένα εκατομμύριο Έλληνες, οι περισσότεροι εκ των οποίων δεν το γνωρίζουν.

Το κύριο χαρακτηριστικό της ΧΑΠ είναι η μείωση της ροής του αέρα στους πνεύμονες και κατά συνέπεια η εμφάνιση δυσχέρειας στην εκπνοή και την εισπνοή. Οι αεραγωγοί στενεύουν και ο αέρας παγιδεύεται μέσα στους πνεύμονες με αποτέλεσμα να μην ανανεώνεται.

Η ΧΑΠ δεν είναι μία νόσος αλλά είναι μία ομάδα νόσων με κοινά χαρακτηριστικά. Στη ΧΑΠ περιλαμβάνονται η χρόνια βρογχίτιδα και το εμφύσημα, νόσοι που προκαλούν βλάβη στις αεροφόρες οδούς μέχρι και τα μικρότερα τμήματα τους, που ονομάζονται κυψελίδες. Οι βλάβες που προκαλούν αυτές οι νόσοι δημιουργούν βρογχόσπασμο, δηλαδή σύσπαση των μυών που περιβάλλουν τις αεροφόρες οδούς και επομένως τη μείωση της διαμέτρου τους. Επίσης στο εσωτερικό τοίχωμα των βρόγχων παρατηρείται χρόνια φλεγμονή, που επιδεινώνει την κατάσταση. Τέλος οι αδένες που παράγουν βλέννη με σκοπό την ύγρανση των βρόγχων, λόγω της φλεγμονής των αεραγωγών παράγουν πολύ μεγάλες ποσότητες βλέννης και μάλιστα κακής ποιότητας, επιπλέοντας ακόμη περισσότερο το πρόβλημα. Στο εμφύσημα, το πρόβλημα εντοπίζεται εντελώς περιφερικά, στις κυψελίδες, οι οποίες καταστρέφονται εξ' αιτίας της χρόνιας φλεγμονής. Η βλάβη αυτή είναι μη αναστρέψιμη.

Η ΧΑΠ προκαλείται από πολλούς παράγοντες, όμως δύο είναι οι σημαντικότεροι, το κάπνισμα και η μόλυνση της ατμόσφαιρας, ή του περιβάλλοντος εργασίας.

Υπάρχουν βεβαίως και περιπτώσεις κληρονομικού εμφυσήματος αλλά όλες οι υπόλοιπες αιτίες είναι σπάνιες και αυτό δείχνει πόσο σημαντικό ρόλο παίζει ο σημερινός τρόπος ζωής του ανθρώπου, και ιδίως το κάπνισμα, στην ανάπτυξη της νόσου.

Η έγκυρη διάγνωση και θεραπεία είναι σημαντική όσον αφορά την καταπολέμηση της ασθένειας αυτής. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος επιβίωσης της αρρώστιας είναι από τα αποτέλεσμα των σπυρομετρικών μετρήσεων, όπου με τον υπολογισμό του όγκου του οξυγόνου κατά την εισπνοή και του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα κατά την εκπνοή, μπορούμε να υπολογίσουμε τον βαθμό απόφραξης των αεραγωγών και κατά συνέπεια την ένταση της ΧΑΠ. *(Περιεχόμενα, νούμερο 2, σελ. 132)*

1.3.2 ΧΡΟΝΙΑ ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ

Άλλη μια σημαντική δυσλειτουργία του πνευμονικού συστήματος έρχεται ως αποτέλεσμα της μη φυσιολογικής λειτουργίας της καρδιάς. Η ανωμαλία αυτή της καρδιάς η οποία έχει άμεσες συνέπειες στο αναπνευστικό σύστημα ονομάζεται (χρόνια) καρδιακή ανεπάρκεια.

Καρδιακή ανεπάρκεια είναι η ανικανότητα της καρδιάς να εφοδιάσει τους ιστούς του σώματος με την απαραίτητη ποσότητα αίματος. Αυτό συμβαίνει λόγω καρδιακής βλάβης που προκαλεί μείωση της λειτουργικότητας (δύναμης) της καρδιάς.

Υπάρχουν δυο ειδών καρδιακής ανεπάρκειας: η αριστερή και η δεξιά καρδιακή ανεπάρκεια.

Αριστερή καρδιακή ανεπάρκεια :

Η βλάβη βρίσκεται στην αριστερά κοιλία, που αδυνατεί να προωθήσει το αίμα προς την αορτή. Η πίεση προς τα «πίσω» (αριστερό κόλπο και πνεύμονες) αυξάνει. Αυξημένη πίεση προκαλεί εξίδρωση υγρού στον περιαγγειακό χώρο των πνευμονικών τριχοειδών και σε σοβαρότερες καταστάσεις υγρό εμφανίζεται μέσα στις κυψελίδες. Έτσι τα συμπτώματα που εμφανίζονται είναι από τους πνεύμονες (κυρίως δύσπνοια).

Δεξιά καρδιακή ανεπάρκεια :

Η βλάβη, βρίσκεται στην δεξιά κοιλία που αδυνατεί να προωθήσει το αίμα προς την πνευμονική αρτηρία. Η πίεση προς τα «πίσω» αυξάνεται (δεξιό κόλπο και φλέβες) και τα συμπτώματα προέρχονται από την φλεβική στάση (κυρίως οιδήματα κάτω άκρων).

Συμπτώματα αριστερής καρδιακής ανεπάρκειας :

Το κύριο σύμπτωμα είμαι η δύσπνοια η οποία ανάλογα με την βαρύτητα εκδηλώνεται σαν:

Δύσπνοια προσπάθειας:Εμφανίζονται με την σωματική προσπάθεια. Όσο πιο εύκολα, δηλαδή σε μικρότερη προσπάθεια εμφανίζεται τόσο πιο σοβαρή είναι η καρδιακή ανεπάρκεια. Υποχωρεί μετά τη διακοπή της. Μπορεί να εμφανισθεί και μετά από ψυχική υπερδιέγερση, κατάκλιση, υπερυδάτωση, αρρυθμίες.

Παροξυσμική δύσπνοια ή καρδιακό άσθμα:Εμφανίζεται συχνά κατά την διάρκεια του ύπνου (2-3 ώρες μετά την κατάκλιση) και αναγκάζει τον ασθενή να σηκωθεί για αναζήτηση αέρα. Λίγο μετά την απόκτηση καθιστής ή όρθιας θέσης αισθάνεται καλύτερα και μπορεί να κοιμηθεί για το υπόλοιπο της νύκτας.

Οξύ πνευμονικό οίδημα:Είναι βαριά κλινική εκδήλωση της αριστερής καρδιακής ανεπάρκειας με αιφνίδια αύξηση της πίεσης των πνευμονικών τριχοειδών πάνω από 25 mm Hg και άφθονη εξαγγείωση υγρού στις κυψελίδες. Εμφανίζεται σε χρόνιους καρδιοπαθείς με εύκολη δύσπνοια προσπαθείας ή επεισόδια παροξυσμικής δύσπνοιας που μπορεί να εξελιχθούν σε πνευμονικό οίδημα, συχνά όμως εμφανίζεται και ως πρώτη εκδήλωση σε ασθενείς με οξύ καρδιακό επεισόδιο όπως είναι το οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, κρίση αρτηριακής υπέρτασης κ.ά. Στους καρδιοπαθείς με χρόνια δύσπνοια η έκλυση του οξέος πνευμονικού οιδήματος συχνά οφείλεται σε διαταραχή του καρδιακού ρυθμού, π.χ. παροξυσμό κοιλιακής μαρμαρυγής, αύξηση της αρτηριακής πίεσης ή στηθαγική κρίση και, σπανιότερα, σε υπερβολική χορήγηση υγρών.

Συμπτώματα δεξιάς καρδιακής ανεπάρκειας :

Δύσπνοια. Είναι συνεχής, μικρού βαθμού κατά την ανάπαυση και επιτείνεται κατά την προσπάθεια. Ενίοτε υποχρεώνει τον ασθενή να κάθεται ή να κοιμάται ψηλά με αρκετά 3-4 μαξιλάρια στην πλάτη. Οφείλεται σε συνυπάρχουσα κάμψη της αριστερής καρδιάς ή σε χρόνια πνευμονικό νόσημα που προκάλεσε την κάμψη της δεξιάς

κοιλίας. Επίσης στην εμφάνιση της δύσπνοιας συμβάλλει η ύπαρξη υδροθώρακα και ασκίτη, σε προσωρινά δε καταστάσεις συμβάλλουν και ο ερεθισμός του αναπνευστικού κέντρου λόγω οξέωσης που προκαλείται από το αυξημένο στο αίμα γαλακτικό οξύ.

Κόπωση. Οι πάσχοντες αισθάνονται κόπωση και στη μικρή ακόμη προσπάθεια. Οφείλεται στη μείωση της καρδιακής παροχής.

Γαστρεντερικές διαταραχές. Συνίσταται σε μετεωρισμό της κοιλίας, «φούσκωμα» αμέσως μετά το φαγητό και δυσκοιλιότητα. Σπανιότερα εμφανίζονται ναυτία ή και έμετοι ή ακόμη και διαρροϊκές κενώσεις από τη λήψη φαρμάκων, όπως η δακτυλίτιδα, η κινιδίνη κ.ά.

Ολιγουρία ή δυσουρία. Στους περιπατητικούς ασθενείς η ολιγουρία είναι έκδηλη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τη νύχτα η καρδιά ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις της περιφέρειας και έτσι συμβαίνει κινητοποίηση υγρών και αύξηση της διούρησης (νυκτουρία). Οι άνδρες μέσης ή προχωρημένης ηλικίας συχνά έχουν κάποια διόγκωση του προστάτη, η οποία γίνεται μεγαλύτερη στην καρδιακή ανεπάρκεια λόγω κατακρατήσεως υγρών. Στις περιπτώσεις αυτές οι ασθενείς έχουν δυσκολία στην έναρξη και συνέχιση της ούρησης.

Θόλωση της διάνοιας, σύγχυση ή και ψυχώσεις εκδηλώσεις. Αποδίδονται σε εγκεφαλική ισχαιμία ή επεισόδια εγκεφαλικών εμβολών.

Όπως βλέπουμε η ανεπάρκεια της καρδιάς δημιουργεί μια σειρά από προβλήματα ,τα πιο σημαντικά από τα οποία εντοπίζονται στη αναπνευστική λειτουργία .Για να γίνει έγκυρη και ακριβή διάγνωση της αρρώστιας , ο ασθενής θα πρέπει να κάνει μια σειρά εξετάσεων όπως ηλεκτροκαρδιογράφημα , ακτινογραφία θώρακα , υπερηχογράφημα και σπιρομέτρηση(η οποία με την μέτρηση του αναπνεόμενου όγκου του O_2 και του εκπνεόμενου όγκου CO_2 ανά το χρόνο είναι ικανή να μας δείξει την κατάσταση της δύσπνοιας και της αντοχής του ασθενή) και στη συνέχεια να ακολουθήσει την ανάλογη θεραπεία .

1.3.3 Ο ΕΙΣΠΝΕΟΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΩΣ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ

Όπως είδαμε παραπάνω και στις δυο δυσλειτουργίες του αναπνευστικού συστήματος (ΧΑΠ και καρδιακή ανεπάρκεια) ο όγκος του οξυγόνου κατά την εισπνοή και ο όγκος του διοξειδίου του άνθρακα κατά την εκπνοή ανά τον χρόνο μπορούν να μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες για να αποφανθούμε για την κατάσταση του κάθε εξεταζόμενου .Έτσι λοιπόν είναι σημαντικό να μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά του όγκου του οξυγόνου και να ερευνήσουμε ποια στοιχεία μας δίνουν πληροφορίες για την αναπνευστική κατάσταση του ασθενή .Αυτό θα αναλύσουμε στη συνέχεια .

1.4 ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΟ

Το όργανο με τα οποίο γίνονται οι μετρήσεις του εισπνεόμενου όγκου οξυγόνου και του εμπνεόμενου όγκου διοξειδίου του άνθρακα ονομάζεται σπιρόμετρο . Εμείς στην συγκεκριμένη άσκηση χρησιμοποιούμε μόνο τις τιμές του όγκου του οξυγόνου ή του διοξειδίου του άνθρακα που μας δείχνει(τις οποίες επεξεργαζόμαστε) αλλά το σπιρόμετρο έχει και την δυνατότητα με διάφορες τεχνικές να δώσει σημαντικά στοιχεία για την αναπνευστική υγεία των εξεταζόμενων.

Υπάρχουν πολλά είδη σπιρομέτρων που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές . Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικά για το όργανο αυτό . *(Περιεχόμενα , νούμερο 3 ,σελ. 132)*

1.4.1 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η γενική φιλοσοφία του σπιρόμετρου έγκειται στο να μετράει τον όγκο του αέρα που εισπνέετε και εκπνέεται κατά μια χρονική περίοδο που χρονομετρείται. Κύριες λοιπόν μετρήσεις είναι αυτές του όγκου ,του χρόνου καθώς και της ροής (όγκος δια τον χρόνο) του αέρα κατά την εισπνοή και εκπνοή .Με αυτές τις μετρήσεις και γνωρίζοντας το φύλο ,την ηλικία ,το ιατρικό ιστορικό του εξεταζόμενου καθώς και την καταγωγή του ,μπορούμε να συμπεράνουμε για την κατάσταση των πνευμόνων του.

Η σπιρομετρία είναι η πιο γνωστή μέθοδος για την μέτρηση της κατάστασης της αναπνευστικής λειτουργίας .Η σπιρομετρία είναι χρήσιμη για ένα μεγάλο πεδίο μετρήσεων όπως να εντοπίζει την παρουσία ή την απουσία ασθένειας στους πνεύμονες ,να υπολογίζει την σοβαρότητα της ασθένειας ,τις επιρροές στην αναπνευστική λειτουργία του εξεταζόμενου από το περιβάλλον που ζει και από την εργασία του και να δείχνει την κατάλληλη θεραπεία.

Το πρώτο σπιρομετρο , μια απλή αδιάβροχη συσκευή ,έχει δημιουργηθεί στα μέσα του 18^{ου} αιώνα από τον Hutchison και μετρούσε ουσιαστικά την δύναμη των πνευμόνων και τον όγκο του αέρα που μπορεί να εκπνοηθεί σε μια εκπνοή(vital capacity).

Στη συνέχεια ένας αριθμός από βελτιώσεις ακολούθησαν ,αλλά το πιο σημαντικό ήταν η χρονομέτρηση του της ισχυρής εκπνοής (forced vital capacity) το οποίο τελικά οδήγησε στο forced vital capacity in one second (FVC₁),που έχει σήμερα μεγάλη σημασία για τη σωστή εκτίμηση της αναπνευστικής υγείας του ασθενή.

Η παρουσίαση της ροής του αέρα σε σχέση με τον χρόνο και επίσης η ίδια η ροή ως ένδειξη της κατάστασης των πνευμόνων προστέθηκαν αργότερα. Μέχρι το 1950 μια πληθώρα συσκευών σπιρομετρησης είχε εμφανιστεί στην αγορά μετρώντας είτε όγκο είτε ροή και επίσης περιλαμβάνονταν και φορητές συσκευές για ιδιωτική χρήση .

1.4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι συνηθισμένες μετρήσεις που γίνονται είναι οι εξής:

- 1)VC (vital capacity) : είναι ο μέγιστος όγκος του αέρα που μπορεί να εισπνευθεί ή να εκπνοευθεί κατά την διάρκεια είτε μιας ισχυρής εκπνοής –εισπνοής(forced vital capacity-FVC)είτε μιας συνηθισμένης εκπνοής –εισπνοής(low vital capacity-VC).
- 2)FEV₁ (forced expired volume in one second):είναι ο όγκος που εκπνέεται στο πρώτο δευτερόλεπτο μιας μέγιστης εκπνοής μετά από μια μέγιστη εισπνοή. Είναι χρήσιμη για να μετρήσουμε πόσο γρήγορα γεμάτα πνευμόνια μπορούν να αδειάσουν.
- 3)FEV₁/VC: είναι το FEV₁ δηλωμένο ως ποσοστό του VC ή FVC (όποιος όγκος είναι μεγαλύτερος) και δίνει μια κλινικά χρήσιμη ένδειξη για το περιορισμό της ροής του αέρα.
- 4)FEF_{25-75%} : είναι η μέση ροή του αέρα που εκπνέεται στο 25% της FVC διαδικασίας και θεωρείται ως περισσότερο ευαίσθητη από την FEV₁ διαδικασία όσον αφορά τις μικρές διαδρομές του αέρα .Δυστυχώς ,έχει πλατύ εύρος κανονικότητας , μπορεί να αναπαραχθεί λιγότερο από το FEV₁ και είναι δύσκολο να αναπαραχθεί όταν το VC ή το FVC αυξομειώνονται.
- 5)PEF(peak expiratory flow) : είναι η μέγιστη ροή που έχει εκπνοηθεί και αυτό συμβαίνει στην αρχή της διαδικασίας της ισχυρής εκπνοής. .

Εναλλακτικά , οι μετρήσεις της ροής μπορούν να γίνουν είτε απόλυτα (PEF) είτε σαν συναρτήσεως του όγκου ,το οποίο παράγει μια καμπύλη ,της οποίας το σχήμα για κάθε εξεταζόμενο μπορεί να αναπαραχθεί αλλά διαφέρει αισθητά ανάμεσα σε διαφορετικές ασθένειες του πνεύμονα .(Όταν λέμε ότι μπορεί να αναπαραχθούν τα αποτελέσματα μιας σπιρομετρικής μέτρησης αινούμε ότι επειδή ο εξεταζόμενος επιβάλλεται να κάνει τρεις καλές μετρήσεις για κάθε είδος μέτρησης στο οποίο θα εξεταστεί(δηλαδή τρεις FVCs,τρεις FEV₁ κ.τ.λ.) ,η διάφορα των αποτελεσμάτων των δυο από των τριών αυτών μετρήσεων δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο αριθμό ,ο οποίος καθορίζεται από διάφορους οργανισμούς (ATS,ERS). Εάν λοιπόν το σπιρομετρο έχει την δυνατότητα να μην υπερβαίνει την προτεινόμενη διαφορά των μετρήσεων(πρέπει βέβαια οι προσπάθειες του εξεταζόμενου να είναι πανομοιότυπες) τότε λέμε ότι το σπιρομετρο έχει την δυνατότητα αναπαραγωγής (reproducible)).

1.4.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Υπάρχουν δυο γενικοί τύποι σπιρομέτρων :

Αυτά που βασίζονται στη μέτρηση του όγκου (volume –displacement spirometers) και αυτά που βασίζονται στη μέτρηση της ροής (flow –sensing spirometers).Κάθε ένα από αυτά τα σήματα μπορούν να επεξεργαστούν και να υπολογίσουν είτε τη ροή σε σχέση με τον όγκο και το χρόνο είτε τον όγκο σε σχέση με τη ροή και με τον χρόνο .Οι σημερινοί μικροεπεξεργαστές με το κατάλληλο πρόγραμμα βοηθάνε να γίνονται αυτοί οι μετασχηματισμοί στιγμιαία, αλλά υπάρχει ένα μεγάλο πεδίο σφαλμάτων κατά της δειγματοληψίας και της επεξεργασίας. Αυτό εξηγεί τη ποικιλία των σπιρόμετρων που υπάρχουν στην αγορά και διαφέρουν κυρίως στο κατά πόσο είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματά τους .

VOLUME –DISPLACEMENT SPIROMETERS

Τα ποια συνήθη σπιρόμετρα σε αυτήν την κατηγορία είναι:

- 1)Μετρητή πίεσης(bellows) (π.χ. Vitalgraph R ή S Model)
- 2)Εκτόπισμα ενός κουδουνιού(αδιαβροχο)
- 3)Με κύλινδρο ή πιστόνι(rolling seal)

Κάθε ένα από αυτά μετασχηματίζει ένα φυσικό εκτόπισμα σε μια μέτρηση όγκου και καταγραφή αυτού. Η κίνηση της συσκευής μπορεί να προκαλέσει ένα στυλό να καταγράψει τη πορεία της κίνησης πάνω σε ένα κινούμενο χαρτί και να παράγουμε ένα σπιρόγραμμα. Πολλά volume –displacement spirometers χρησιμοποιούν ψηφιακό κωδικοποιητή ή ποτενσιόμετρο για να παράγουν ένα ψηφιακό ή αναλογικό σήμα. Εάν χρειάζεται το ηλεκτρικό αυτό σήμα περνάει από ένα μετασχηματιστή αναλογικού σε ψηφιακό, δειγματοληπτείται με μια συγκεκριμένη συχνότητα και μπορεί να επεξεργαστεί και να αποθηκευτεί στον υπολογιστή. Με αυτό τον τρόπο μπορεί η ροή να υπολογιστεί με τον υπολογιστή από τον όγκο και τον χρόνο. Η απλότητα αυτών των σπιρομέτρων είναι που τα κάνει να κατέχουν τη πρώτη θέση στις προτιμήσεις των ενδιαφερόμενων.

FLOW –SENSING SPIROMETERS

Τα συνήθη σπιρομετρα που στηρίζονται στον υπολογισμό της ροής του αέρα μετρούν τη ροή του αέρα από:

- 1) την πίεση που ασκείται σε μια αντίσταση(e.g. pneumotach or orifice)

Εδώ στηριζόμαστε στο ότι η αλλαγή της πίεσης που ασκείται στην αντίσταση είναι ανάλογη με την ροή του αέρα που έχει εισέλθει μέσα στην συσκευή αυτή.

- 2)το ηλεκτρονικό μέτρημα της περιστροφής ενός ανεμοδείκτη.

Η τεχνική αυτή στηρίζεται στο ότι η ροή του αέρα που θα εισέλθει στη συσκευή θα περάσει από ένα στρόβιλο ο οποίος στη συνέχεια θα αναγκάσει ένα ανεμοδείκτη να γυρίσει σε μια ταχύτητα ανάλογη της εισερχόμενης ροής. Το μέτρημα αυτή της ταχύτητας γίνεται ως εξής:ο ανεμοδείκτης διακόπτει μια πηγή φώτος κάθε φορά που περνάει από ένα συγκεκριμένο σημείο. Από την συχνότητα της διακοπής του φωτός υπολογίζεται η ταχύτητα του ανεμοδείκτη και επομένως η ροή του εισερχόμενου αέρα.

- 3)την ψύξη ενός θερμού μετάλλου(wire).

Η τεχνική αυτή στηρίζεται στο ότι ο αέρας που εισέρχεται στη συσκευή ψύχει ένα κομμάτι μέταλλο στο οποίο έχουμε περάσει μια ποσότητα ρεύματος και το μέταλλο διατηρείται σε μια ορισμένη θερμοκρασία. Η μείωση λοιπόν του ρεύματος πάνω στο μέταλλο μας δίνει τη ροή του αέρα που εισέρχεται στη συσκευή.

- 4)δέσμες υπέρηχων.

Η τεχνική στηρίζεται στο μέτρημα του χρόνου μεταφοράς μιας δέσμης υπέρηχων από ένα πομπό σε ένα δέκτη. Η τεχνική προϋποθέτει πολύπλοκη επεξεργασία σήματος από υπολογιστή.

Όπως και με τα σπιρόμετρα που βασίζονται στον όγκο έτσι και με αυτά που βασίζονται στη ροή στηριζόμαστε στο μέτρημα ενός φυσικού μεγέθους που είναι εδώ ανάλογο της ροής του αέρα και στην συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρικό

(αναλογικό ή ψηφιακό). Στη συνέχεια υπολογίζουμε από την ροή τον όγκο και τα ζητούμενα αποτελέσματα. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι τα μη γραμμικά σήματα ροής διορθώνονται από το υπολογιστή με κατάλληλα προγράμματα.

ΕΛΕΓΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Εξαιτίας τις μεγάλης ποικιλίας σπιρομέτρων όσον αφορά την ποιότητα των αποτελεσμάτων έχουν κατηγοριοποιεί τα σπιρομετρα σε δυο κατηγορίες

Ελεγκτικές : τα σπιρόμετρα τα οποία είναι συνήθως φτηνά και αξιόπιστα αλλά όχι ακριβή. Συνήθως είναι φορητά σπιρόμετρα, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως εξαιτίας του ότι είναι αξιόπιστα αλλά όχι ακρίβειας κι έτσι μπορούν να δείξουν την πορεία της αναπνευστικής κατάστασης του εξεταζόμενου αλλά δεν ενδείκνυνται για διάγνωση. Οι διαγνωστικές συσκευές οι οποίες είναι επιπλέον και ακριβείς προορίζονται κυρίως για διαγνωστικούς σκοπούς (νοσοκομεία, ιατρεία). Αυτές οι μεταβολές οι οποίες ευθύνονται για την μεγάλη διάφορα των σπιρομετρων όσον αφορά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων οφείλονται κυρίως στην ευαισθησία, την σταθερότητα και την βαθμονόμηση του ηλεκτρονικού κυκλώματος. Για παράδειγμα ένα λάθος στη μέτρηση μηδενικής ροής θα προκαλέσει τεραστία λάθη κατά την μέτρηση του FVC, καθώς το λάθος προστίθεται καθ' όλη τη διάρκεια της εκπνοής. Επίσης μετά από πολλή χρήση ο αισθητήρας (αντίσταση, ανεμοδείκτης κ.τ.λ.) είναι πιθανόν να χάσει τη σωστή βαθμονόμηση του εξαιτίας της συμπτκνωμένης υγρασίας που έχει συσσωρευτεί. Συν τοις άλλοις, πολλά είδη σπιρομέτρων πρέπει να αλλάζουν τον αισθητήρα για λόγους μόλυνσεων, όποτε τα λάθη είναι πιθανά κατά την αντικατάσταση. Εκτός από αυτά, δεν έχουν όλα τα σπιρόμετρα την δυνατότητα να αλλάζουν τις τιμές των προβλεπόμενων τιμών (που είναι στάνταρ) αν παραστεί ανάγκη (κυρίως εξαιτίας της καταγωγής του ατόμου που κάνει ορισμένες φορές υποχρεωτική την αλλαγή των προβλεπόμενων τιμών). Όλα τα παραπάνω και γενικά ότι έχει να κάνει με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα (γραμμικότητα, απόκριση συχνότητας, ευαισθησία σε περιβαλλοντολογικές συνθήκες, βαθμονόμηση και ακρίβεια αποτελεσμάτων) του σπιρομετρου επηρεάζουν την επίδοση του σπιρόμετρου.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΙΑ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΩΝ

1) Με μετρητή πίεσης

Πλεονεκτήματα : Εύκολο σε χρήση.

Δυνατότητα άμεσης εκτύπωσης.

Εύκολη βαθμονόμηση.

Αξιόπιστο, ακριβή, μπορεί να αναπαραχθεί.

Μειονεκτήματα : Δύσκολο καθαρίσμα αν μολυνθεί.

Η επαναβαθμονόμηση (recalibration) απαιτεί μηχανικό ιατρικών οργάνων.

Φτωχή μεταφερσιμότητα στο σπίτι του ασθενή.

2) Εκτόπισμα ενός κουδουνιού(αδιάβροχο)

Πλεονεκτήματα : Εύκολο σε χρήση.

Δυνατότητα άμεσης εκτύπωσης .

Εύκολη βαθμονόμηση.

Αξιόπιστο, ακριβή, μπορεί να αναπαραχθεί.

Μειονεκτήματα :Δύσκολο καθαρίσμα αν μολυνθεί.

Η επαναβαθμονόμηση (recalibration) απαιτεί μηχανικό ιατρικών οργάνων.

Φτωχή μεταφερσιμότητα στο σπίτι του ασθενή.

Εάν κουνηθεί αλλοιώνεται εύκολα η βαθμονόμηση του .

3) Με κύλινδρο ή πιστόνι(rolling seal)

Πλεονεκτήματα : Εύκολο σε χρήση.

Εύκολο καθαρίσμα.

Εύκολη βαθμονόμηση.

Αξιόπιστο, ακριβή, μπορεί να αναπαραχθεί.

Μειονεκτήματα :

Φτωχή μεταφερσιμότητα στο σπίτι του ασθενή.

Χρειάζεται υπολογιστή με εκτυπωτή για να εκθέσει τα αποτελέσματα.

4)Με την πίεση που ασκείται σε μια αντίσταση(e.g. pneumotach or orifice)

Πλεονεκτήματα : Εύκολο σε χρήση.

Ελαφρύ και εύκολο στο κράτημα .

Μεταφερσιμότητα στο σπίτι του ασθενή .

Αξιόπιστο, ακριβή, μπορεί να αναπαραχθεί.

Στα σπριρόμετρα που έχουμε υψηλές θερμοκρασίες οι μολύνσεις αποφεύγονται.

Μειονεκτήματα :Δύσκολο ο καθαρισμός.

Επηρεάζεται από την θερμοκρασία.

Χρειάζεται υπολογιστή ή εκτυπωτή για να εκθέσει τα αποτελέσματα.

Χρειάζεται ειδική βαθμονόμηση εάν κουνηθεί.

Επηρεάζεται από τη συμπύκνωση της υγρασίας

Δύσκολο στην βαθμονόμηση.

5) Με το ηλεκτρονικό μέτρημα της περιστροφής ενός ανεμοδείκτη.

Πλεονεκτήματα : Εύκολο σε χρήση και στο καθαρισμό .

Ελαφρύ και εύκολο στο κράτημα .

Μεταφερσιμότητα στο σπίτι του ασθενή .

Μπορεί να αναπαραχθεί.

Φτηνό

Μειονεκτήματα : Εάν δεν είναι καλά σχεδιασμένο παράγει ανακριβή αποτελέσματα
Εκτύπωση αποτελεσμάτων μόνο από εκτυπωτή του υπολογιστή (όχι κατ'ευθειαν).
Δύσκολο στην βαθμονόμηση
Μετράει λιγότερο όγκο κατά την ελαφριά εκπνοή.

6) Με την ψύξη ενός θερμού μετάλλου(wire).

Πλεονεκτήματα : Εύκολο σε χρήση και στο καθαρισμό .
Ελαφρύ και εύκολο στο κράτημα .
Μεταφερσιμότητα στο σπίτι του ασθενή .
Μπορεί να αναπαραχθεί ,αξιόπιστο.
Σχετικά φτηνό.

Μειονεκτήματα : Επηρεάζεται από την θερμοκρασία.
Χρειάζεται υπολογιστή ή εκτυπωτή για να εκθέσει τα αποτελέσματα.
Όχι πάντα ακριβή.
Δεν είναι εύκολο στην βαθμονόμηση.

7) δέσμες υπέρηχων.

Πλεονεκτήματα : Εύκολο σε χρήση και στο καθαρισμό .
Ελαφρύ και εύκολο στο κράτημα .
Μεταφερσιμότητα στο σπίτι του ασθενή .
Μπορεί να αναπαραχθεί ,αξιόπιστο.

Μειονεκτήματα : Επηρεάζεται από την θερμοκρασία.
Χρειάζεται υπολογιστή ή εκτυπωτή για να εκθέσει τα αποτελέσματα.
Σχετικά ακριβό.

ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

Τα κριτήρια με τα οποία γίνονται οι μετρήσεις βασίζονται στα κριτήρια του ERS αλλά πολλά σπιρόμετρα κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες βασίζονται στα κριτήρια του ATS(American Thoracic Society) που είναι λίγο διαφορετικά (Ακολουθούν κριτήρια ERS).

1) Πεδίου όγκου από 0-8 λίτρα .Ακρίβεια $\pm 3\%$ ή 50 mL

2) Πεδίο ροής : $12 \pm 12 \text{ L*s}^{-1}$.Ακρίβεια $\pm 5\%$ ή $\pm 0.200 \text{ L*s}^{-1}$ (όποιο είναι πιο χαμηλό)

3) Αντίσταση : $<1.5 \text{ cm H}_2\text{O*L*s}^{-1}$ (και πέραν του 0-12 L*s^{-1})

- 4) Η βαθμονόμηση γίνεται με ενός λίτρου ή τριών λίτρων τρόμπα.
- 5) Η γραφική παράσταση του όγκου-χρόνου και ροής –όγκου πρέπει να είναι πραγματικού χρόνου .
- 6) Ικανότητα εκτύπωσης αντιγράφου του για την γραφική παράσταση όγκου-χρόνου και ροής – όγκου (είτε κατευθείαν εκτύπωση είτε μέσω υπολογιστή)
- 7) Πρέπει να μπορεί να μετράει τις ακόλουθες τιμές : FEV₁ ,FVC,VC,PEF.
- 8) Διόρθωση των τιμών στο BTPS.(Περιεχόμενα ,νομόμερο 4 ,σελ. 132)

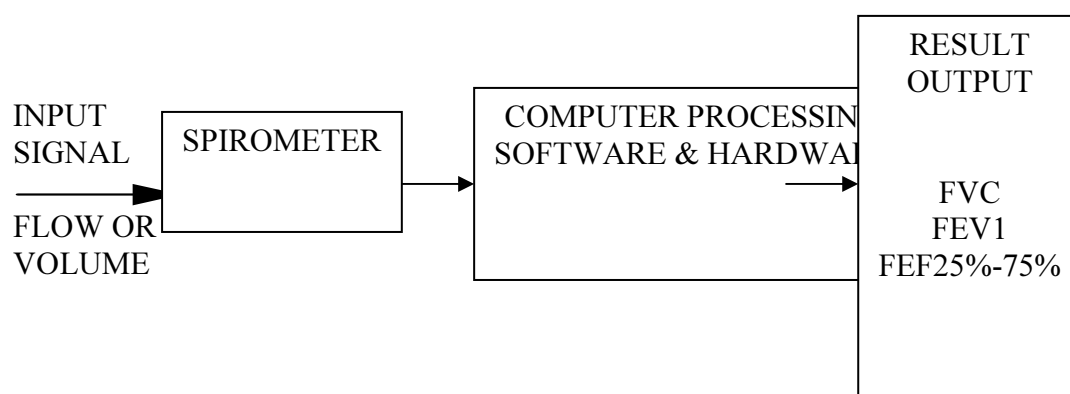
1.4.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Όλα τα κομμάτια του σπιρόμετρου πρέπει να συναρμολογούνται με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τα σωληνάκια και τα κομμάτια που έρχονται σε επαφή με το στόμα πρέπει είτε να καθαρίζονται ειδικά για την αποφυγή μετάδοσης κολλητικών ασθενειών είτε να είναι μιας χρήσεως .Η διαδικασία της σπιρομετρίας πρέπει να γίνεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 17 και 40 βαθμών Κέλσιου αλλά προτιμότερη είναι περιοχή μεταξύ 20 και 25 βαθμών Κέλσιου(πάντα όμως σε συμφωνία με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Τα σπιρόμετρα που βασίζονται στο όγκο πρέπει να ελέγχονται για διαρροές τακτικά ανάλογα με το είδος του σπιρομέτρου και τις οδηγίες που το συνοδεύουν.

Τα σπιρόμετρα που βασίζονται στη μέτρηση της ροής πρέπει να ελέγχονται για τρύπες στον αισθητήρα και στα κανάλια σύνδεσης και μεταφοράς πληροφοριών και επίσης να ελέγχονται για υπερβολική υγρασία

Τέλος το εργαλείο βαθμονόμησης πρέπει να συμφωνεί με τα διεθνή στάνταρ και να ελέγχεται συστηματικά..



Σχήμα 1.7 :Σχηματική αναπαράσταση συστήματος σπιρομέτρησης



Σχήμα 1.8 :Το τελευταίο μοντέλο ενός HOT- WIRE ANEMOMETER της εταιρείας Dantec Dynamic.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΙΣΠΝΕΟΜΕΝΟ ΟΓΚΟ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΣΚΗΣΗΣ

Κατά την διάρκεια άσκησης ,ο εισπνεόμενος όγκος οξυγόνου (αλλά και εκπνεόμενος όγκος διοξειδίου του άνθρακα)προς το χρόνο εμπεριέχει ένα πλήθος πληροφοριών ,οι οποίες πληροφορίες είναι ικανές να δείξουν την αναπνευστική κατάσταση του εξεταζόμενου .

Επίσης ίδιες πληροφορίες μπορούμε να πάρουμε από τον όγκο του διοξειδίου του άνθρακα καθώς ο όγκος του CO₂ είναι ένα σταθερό ποσοστό του όγκου του O₂ . Ειδικότερα $R = \text{CO}_2 / \text{VO}_2$,όπου R είναι ο λόγος ανταλλαγής αέριων κατά την αναπνοή.

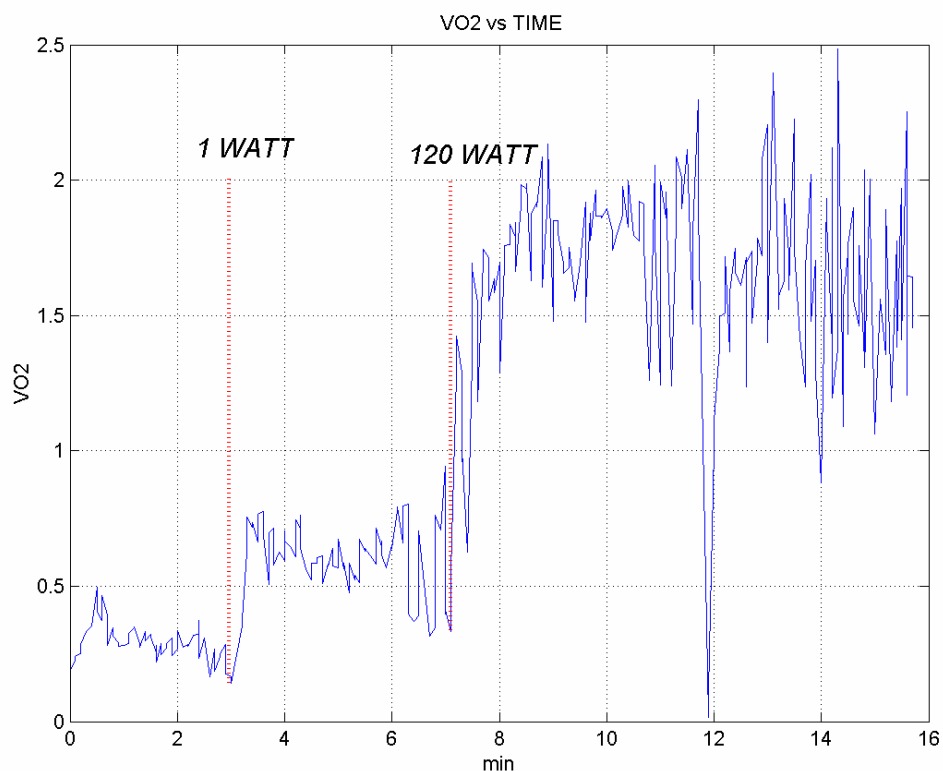
Η ιδανικότερη άσκηση από την οποία μπορούμε να συλλέξουμε σημαντικές πληροφορίες για τον εισπνεόμενο όγκο είναι η εξής : ο εξεταζόμενος αναπνέει κανονικά χωρίς να ασκείται .Στη συνέχεια ξεκινάει την άσκηση σε ένα σταθερό ποδήλατο αρχικά με ελάχιστη αντίσταση(1-2 Watt) και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα ανεβαίνει η ένταση της άσκησης (119-120 Watt) όπου παραμένει για μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια .

Η μέτρηση του όγκου του οξυγόνου που καταναλώνεται και του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται γίνεται με ειδικά όργανα μέτρησης όγκου που ονομάζονται σπιρόμετρα (Αναλυτικά στο κεφαλαίο 1.4).

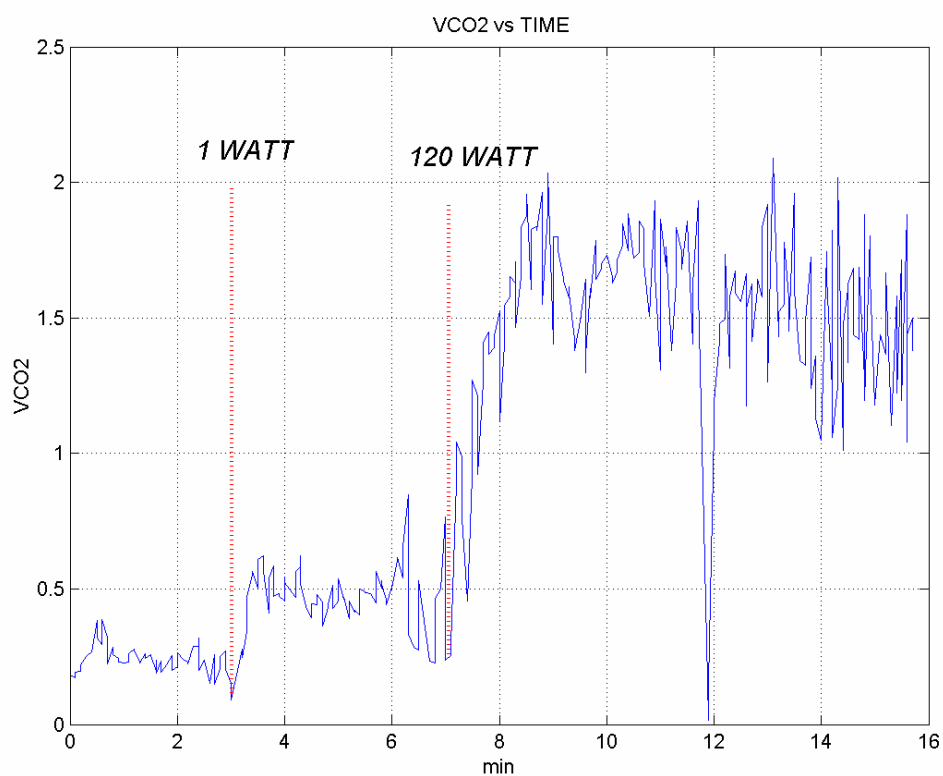
2.1.ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (Ή ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ) ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΣΚΗΣΗΣ ΑΥΞΑΝΟΜΕΝΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ .

Αρχικά ακολουθούν οι αντιπροσωπευτικές γραφικές παραστάσεις (Σχήμα 2.1 και 2.2) του όγκου (σε λίτρα) του O₂ και του CO₂ ανά το χρόνο (λεπτά της ώρας) από κάποιον εξεταζόμενο.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε και θα ερμηνεύσουμε τα χαρακτηριστικά αυτής της καμπύλης.



Σχήμα 2.1 Γραφική παράσταση όγκου οξυγόνου προς το χρόνο .
(Μετά από χρόνο τριών λεπτών ξεκινάει η άσκηση με ένταση 1 Watt και στα 7 λεπτά ανεβαίνει στα 120 Watt η ένταση της άσκησης)



Σχήμα 2.2 Γραφική παράσταση όγκου διοξειδίου του άνθρακα προς το χρόνο .

Περιγραφή άσκησης

Αρχικά ο εξεταζόμενος δεν ασκείται .Στη συνέχεια ποδηλατεί σε ένα σταθερό ποδήλατο με ελάχιστη αντίσταση 1 Watt. Μετά από 4 λεπτά η ένταση της άσκησης (δηλαδή η αντίσταση του ποδηλάτου) ανεβαίνει στα 120 Watt .Ο εξεταζόμενος ποδηλατεί στα 120 Watt για περίπου 8 λεπτά όποτε και σταματάει η άσκηση.

Σε όλη την διάρκεια της άσκησης ο εξεταζόμενος είναι συνδεδεμένος με ένα σπιρόμετρο και μετράμε όγκο O_2 και όγκο CO_2 (Σχήμα 2.1 και 2.2).

Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι η ένταση πρέπει να έχει ένα ορισμένο όριο .Εάν η ένταση της άσκησης είναι τόσο μεγάλη που να αναγκάσει τον εξεταζόμενο να ξεπεράσει το κατώφλι του γαλακτικού οξέος τότε δεν θα καταφέρει ο εξεταζόμενος να φτάσει σε μια περίοδο σταθεροποίησης και δεν θα μπορέσουμε να εξάγουμε τα συμπεράσματα που θέλουμε .

Περιγραφή βιολογικών διεργασιών κατά την περίοδο της άσκησης

Ο ανθρώπινος οργανισμός για να αντεπεξέλθει στις ανάγκες μιας άσκησης χρειάζεται οξυγόνο από την ατμόσφαιρα ,που είναι απαραίτητο για να χρησιμοποιηθεί ως οξειδωτικό μέσο στη μιτοχονδριακή ηλεκτρική αλυσίδα μεταφοράς , δηλαδή είναι αυτό που χρειάζεται ο οργανισμός για να γίνει καύση και να παραχθεί ενέργεια η οποία θα κινήσει τους μύες .

Αναλυτικά , η χημική ένωση που χρειάζονται τα κύτταρα των μυών για να δραστηριοποιηθούν ονομάζεται αδενικός τριφοφορικός (ATP).Η ATP παράγεται όταν τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια στο άτομο του κύτταρου αρχίζουν να ‘δουλεύουν’ ,δηλαδή τα ηλεκτρόνια ρέουν να εφοδιάσουν την οξειδοαναγωγή και να ιδρύσουν τα μεταμεμβρανικά πρωτόνια που θα δυναμώσουν την φωσφοριοποίηση και θα παράγουν την ATP στη μιτοχονδριακή ηλεκτρική αλυσίδα μεταφοράς .Το συστατικό που χρειάζεται ως οξειδωτικό μέσο για να γίνουν αυτές οι διεργασίες είναι το οξυγόνο. .(Περιεχόμενα ,νούμερο 10 ,σελ. 132)

Ο πνευμονικός όγκος του οξυγόνου είναι απαραίτητος για να γίνουν οι παραπάνω διεργασίες .Αυτός ο όγκος καθορίζεται από την ποσότητα της μειωμένης αιμοσφαιρίνης (η οποία κουβαλάει το οξυγόνο μέσα στο αίμα) που εισέρχεται μέσα στο τριχοειδές στρώμα ανά χρονική περίοδο .Αυτή η ποσότητα με την σειρά της καθορίζεται από δυο ξεχωριστές αλλά σχετικές μεταβλητές :i) την πνευμονική ροή αίματος και ii) το περιεχόμενο σε O_2 της φλέβας .

Αυτή λοιπόν είναι η άξια του οξυγόνου και οι μεταβλητές από τις οποίες αποτελείται .Όπως παρατηρείται όμως από την γραφική παράσταση του όγκου κατά την άσκηση, (Σχήμα 2.1) όταν ανεβαίνει η ένταση της άσκησης (1 Watt ή 120 Watt) , δεν έχουμε

μια απότομη αύξηση του όγκου του οξυγόνου που εισπνέετε και είναι απαραίτητος για να αντεπεξέλθει ο εξεταζόμενος στην άσκηση ,αλλά μια σταδιακή αύξηση που εν τέλει σταθεροποιείται(εκθετική αύξηση) .Τα μέρη και την πορεία της γραφικής παράστασης θα μελετήσουμε αμέσως τώρα .

2.2 ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ O_2 ($H CO_2$) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΣΚΗΣΗΣ

Όπως παρατηρείται στο σχήμα 2.1 είναι εμφανής δυο σταθεροποιήσεις του όγκου του οξυγόνου προς το χρόνο .Όταν η άσκηση ξεκινάει (1 Watt) έχουμε μια αύξηση του όγκου και μετά μια σταθεροποίηση(πρώτη σταθεροποίηση) .Στη συνέχεια αυξάνεται η ένταση της άσκησης (120 Watt) και αυξάνεται ο όγκος του οξυγόνου έως ότου σταθεροποιηθεί και πάλι (δεύτερη σταθεροποίηση) .Για να μελετήσουμε καλύτερα τον τρόπο αύξησης του όγκου του οξυγόνου θα επικεντρωθούμε στην πρώτη αύξηση(1 Watt) αλλά τα ίδια ισχύουν και για την άλλη αύξηση της έντασης (120 Watt) .

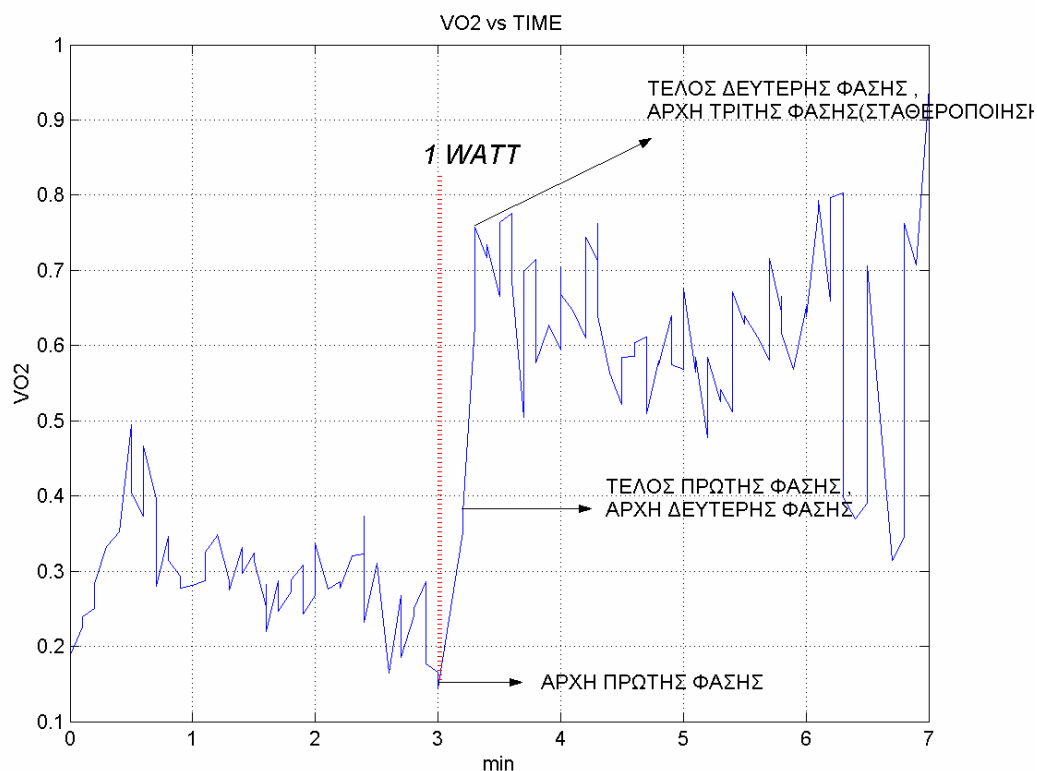
Η προέλευση του οξυγόνου είναι διαφορετική κατά την περίοδο της σταθεροποίησης(τρίτη φάση) και διαφορετική κατά την περίοδο μέχρι να φτάσει εκεί (πρώτη και δεύτερη φάση).(Σχήμα 2.3)

Κατά την περίοδο σταθεροποίησης(τρίτη φάση) οι αυξομειώσεις του VO_2 είναι ίσες με τις αυξομειώσεις του μέσου ρυθμού της μυϊκής χρησιμοποίησης οξυγόνου (QO_2). Στη περίοδο μη σταθεροποίησης (πρώτη και δεύτερη φάση) ο όγκος του O_2 διαφέρει από την μυϊκή χρησιμοποίηση οξυγόνου:1) προσωρινά ,ως αποτέλεσμα της καθυστέρησης για την μεταφορά από τον μυ στον πνεύμονα 2)όσον αφορά την ποσότητα ,σαν αποτέλεσμα της μυϊκής χρησιμοποίησης αποθηκευμένου στο αίμα O_2 .

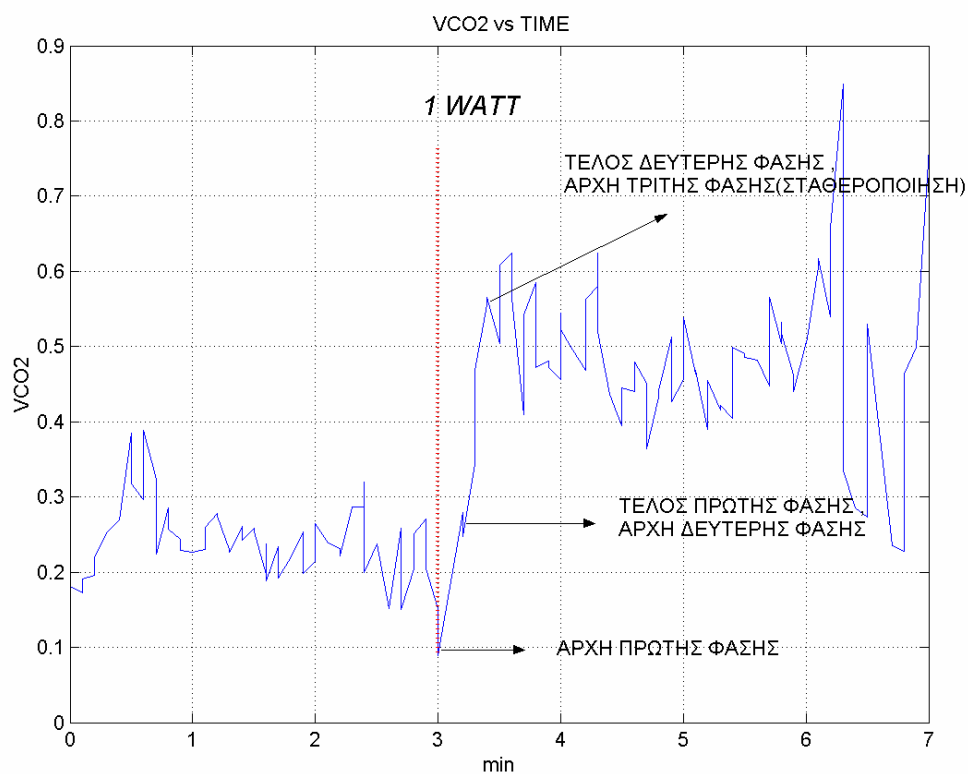
Επίσης κατά την περίοδο πριν την σταθεροποίηση όπως είναι φανερό έχουμε έλλειψη οξυγόνου καθώς οι ανάγκες για ενέργεια της άσκησης είναι μεγαλύτερες από ότι προς το παρόν μπορεί να δώσει ο εισπνεομενος όγκος O_2 . Για να καλυφθεί η έλλειψη σε O_2 ο οργανισμός παίρνει ενέργεια από άλλες πηγές που είναι μη αερόβιες (δηλαδή δεν έχουν άμεση σχέση με την αναπνευστική λειτουργία και με το αέρα όπως το εισπνεομενο οξυγόνο). .(Περιεχόμενα ,νούμερο 10 ,σελ. 132)

Αυτές οι αναερόβιες πηγές είναι : η ενέργεια που παράγεται από την ελάττωση του φωσφορικού άλατος (ειδικότερα την κρεάτινη) και η ενέργεια που παράγεται από την παραγωγή του γαλακτικού οξέος (L^-) και την παραγωγή ιόντων υδρογόνου(H^+).Συν τοις άλλοις ,και η ενέργεια που παράγεται από το οξυγόνο που είναι ήδη αποθηκευμένο στον οργανισμό θεωρείται αναερόβια .

Το σύνολο αυτών των αναερόβιων ενεργειών ονομάζεται έλλειμμα οξυγόνου και είναι αυτή η ενέργεια που χρησιμοποιεί ο οργανισμός για να αντεπεξέλθει στις ανάγκες για ενέργεια της άσκησης όταν το εισπνεόμενο οξυγόνο από το περιβάλλον δεν είναι προς το παρόν αρκετό .Το έλλειμμα οξυγόνου θα μας απασχολήσει στη συνέχεια καθώς είναι σημαντικές οι πληροφορίες που μπορεί να μας δώσει .



Σχήμα 2.3 Η γραφική παράσταση του όγκου O_2 προς το χρόνο με τις φάσεις της όταν ο εξεταζόμενος ξεκινάει την άσκηση(1 Watt) .



Σχήμα 2.4 Η γραφική παράσταση του όγκου CO_2 προς το χρόνο με τις φάσεις της όταν ο εξεταζόμενος ξεκινάει την άσκηση(1 Watt) .

Οι φάσεις της γραφικής παράστασης

Αρχικά ο όγκος οξυγόνου αντιστοιχεί στον όγκο οξυγόνου του εξεταζόμενου που εισπνέει κατά την ηρεμία .Στην συνέχεια με την έναρξη της άσκησης ξεκινάνε οι φάσεις της γραφικής παράστασης .

Πρώτη φάση ή καρδιοδυναμική φάση

Είναι η αντίδραση στην αύξηση της έντασης της άσκησης . Ονομάζεται καρδιοδυναμική φάση γιατί εξαρτάται περισσότερο από την απόκριση της λειτουργίας της καρδιάς παρά των πνευμονικών μυών .Δηλαδή εάν η καρδιά λειτουργεί σωστά τότε θα έχουμε και καλή απόκριση στην απαιτούμενη ενέργεια. Όποτε η φάση αυτή είναι μια καλή ένδειξη για να εντοπίσουμε τυχόν καρδιακά προβλήματα. .(Περιεχόμενα ,νούμερο 9 ,σελ. 132)

Όσον αφορά το χαρακτηριστικό της φάσης αυτής είναι πάντα μια απότομη αύξηση που ακολουθεί μια ήρεμη κατάσταση πριν αρχίσει η δεύτερη φάση (Σχήμα 3 και 4) Δηλαδή έχει την μορφή μιας απότομης εκθετικής .

Συνήθως η πρώτη φάση καταλαμβάνει το 50% της συνολικής αύξησης του όγκου του οξυγόνου (Δηλαδή από την στιγμή που ξεκινάει η άσκηση έως ότου σταθεροποιηθεί ο όγκος του οξυγόνου).Αυτό το ποσοστό μπορεί να κυμαίνεται από 30-70%.

Επιπλέον, ο χρόνος που απαιτείται για να τελειώσει αυτή η απότομη αύξηση μας δείχνει πόσο καλά έχει αντιδράσει η καρδιά και μπορεί να μας οδηγήσει σε διάφορα συμπεράσματα όσον αφορά την λειτουργία της .Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο χρόνος σε σύγκριση με άλλους εξεταζόμενους (με παρόμοια χαρακτηριστικά ,ηλικία κ.τ.λ) σημαίνει ότι η καρδιά αντιμετωπίζει προβλήματα και αργεί να αντεπεξέλθει .

Δεύτερη φάση

Η δεύτερη φάση έχει και αυτή εκθετική αύξηση αλλά διαφέρει με την προηγούμενη στο ότι είναι πιο ομαλή(Σχήμα 2.3 και 2.4) .

Επίσης η αύξηση αυτή αντανακλά στη αύξηση της παραγωγής οξυγόνου από τους αναπνευστικούς μύες .Δηλαδή δεν εξαρτάται τόσο από την λειτουργία της καρδιάς όπως την πρώτη φάση αλλά από τους μύες που εξάγουν το οξυγόνο και γενικά το αναπνευστικό σύστημα .

Επιπλέον, το μέγιστο σημείο της δεύτερης φάσης εξαρτάται από την ένταση της άσκησης ενώ ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει στο τέλος της εκθετικής αύξησης (μέγιστο της δεύτερης φάσης) εξαρτάται από το πόσο καλά λειτουργούν οι αναπνευστικοί μύες και όλη η αναπνευστική λειτουργία .Άρα συγκρίνοντας το χρόνο αυτό με άλλους εξεταζόμενους μπορούμε να βγάλουμε σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την λειτουργία των αναπνευστικών μυών .

Τρίτη φάση

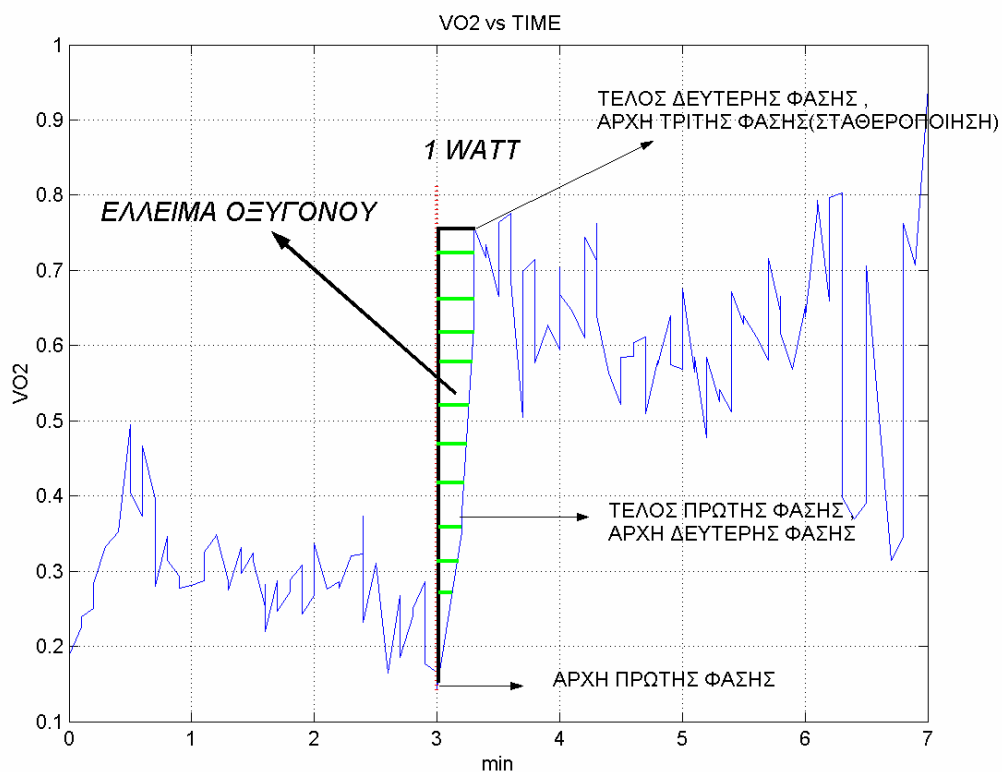
Στην φάση αυτή έχουμε μια σταθεροποίηση του όγκου του οξυγόνου .
Είναι η φυσιολογική συνέχεια της δεύτερης φάσης όπου μετά την εκθετική αύξηση ακολουθεί μια σταθεροποίηση(Σχήμα 2.3 και 2.4) .

Κατά αυτήν την περίοδο τον οξυγόνο που εισπνέετε χρησιμοποιείται όλο από τους μύες και δεν έχουμε χρησιμοποίηση του αποθηκευμένου O_2 (όπως συμβαίνει στις δυο πρώτες φάσεις ,όπως αναφέραμε).

Το πλάτος της φάσης αυτής εξαρτάται από την ένταση της άσκησης ,αφού όσο πιο έντονη είναι η άσκηση τόσο μεγαλύτερη ποσότητα O_2 χρειάζεται.

2.3 ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Όπως αναφέραμε τόσο η πρώτη όσο και η δεύτερη φάση παρουσιάζουν μια εκθετική αύξηση .Στο τέλος της δεύτερης φάσης ο όγκος του οξυγόνου σταθεροποιείται γύρω από μια τιμή .Η διάφορα του εμβαδού της ευθείας με τιμή ίση με την τιμή σταθεροποίησης ως προς το χρόνο μείον το εμβαδόν που καλύπτουν οι δυο πρώτες φάσεις ως προς το ίδιο χρόνο μας δίνει το έλλειμμα οξυγόνου. Το μέγεθος του ελλείμματος οξυγόνου είναι ικανό να μας δώσει σημαντικά στοιχεία για τυχόν αναπνευστικές ή καρδιακές δυσλειτουργίες .Μεγάλο έλλειμμα οξυγόνου σε σύγκριση με άλλους εξεταζόμενους δείχνει ανωμαλίες στην αναπνευστική λειτουργία (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5. Έλλειμμα οξυγόνου.

Η κυριότερη ιδιότητα του εμβადού αυτού (έλλειμμα οξυγόνου) είναι ότι μπορούμε να το υπολογίσουμε σχετικά εύκολα με προσέγγιση των δεδομένων(fitting). Έτσι λοιπόν έχοντας τη δυνατότητα να υπολογίσουμε εύκολα το έλλειμμα οξυγόνου ,μπορούμε να εξάγουμε σημαντικά αποτελέσματα για την αναπνευστική κατάσταση των εξεταζόμενων .Δηλαδή εάν παρατηρηθεί μεγάλη διαφορά στο έλλειμμα οξυγόνου μεταξύ δυο εξεταζόμενων στην ίδια άσκηση τότε αυτός με το μεγάλο έλλειμμα οξυγόνου μπορεί να χαρακτηριστεί λιγότερο υγιής σε σχέση με το άλλο όσον αφορά την αναπνευστική του κατάσταση .

2.4 Η ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

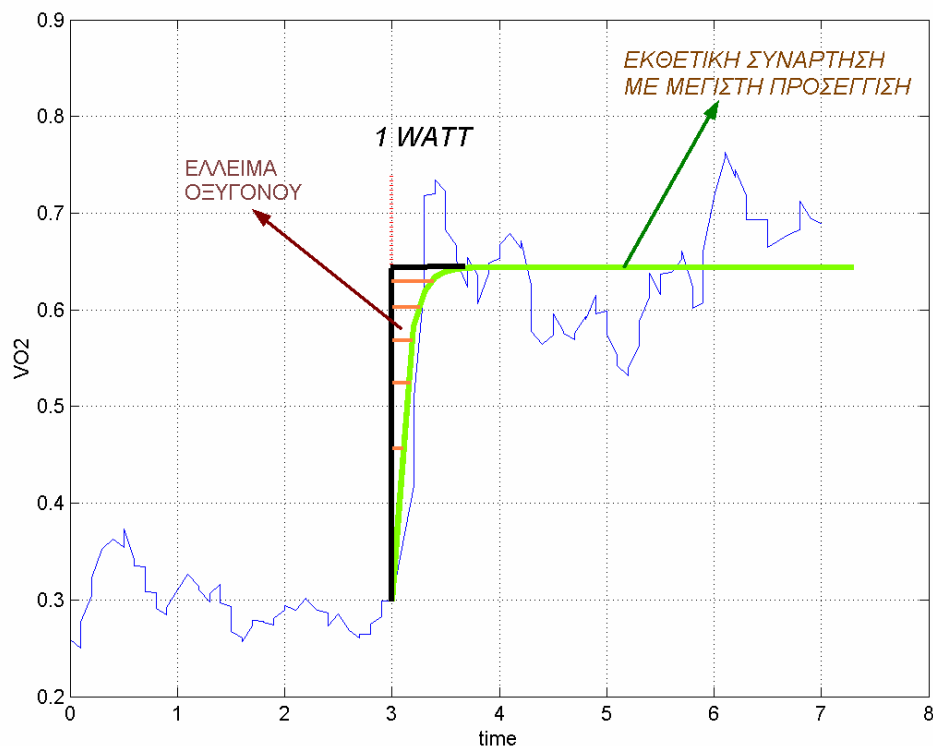
2.4.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Είναι φανερό ότι μόλις ξεκινήσει η άσκηση ,ο όγκος του οξυγόνου αυξάνει εκθετικά μέχρι να σταθεροποιηθεί γύρω από μια τιμή . Επομένως για να μελετήσουμε καλύτερα τα δεδομένα είναι προτιμότερο να προσεγγίσουμε (fitting) τα δεδομένα με μια εκθετική συνάρτηση και έτσι να υπολογίσουμε διάφορες τιμές που θα μας δείξουν την αναπνευστική υγεία του εξεταζόμενου.

Το fitting αυτό μπορεί να μας δώσει και την συγκεκριμένη τιμή σταθεροποίησης αλλά επίσης και το χρόνο σταθεροποίησης . Επομένως κάνοντας το κατάλληλο fitting μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή σταθεροποίησης και τον χρόνο σταθεροποίησης οι οποίες τιμές είναι σημαντικές ενδείξεις για τυχόν δυσλειτουργίες .Μεγάλος σχετικά χρόνος σταθεροποίησης σημαίνει ότι αργεί ο εξεταζόμενος να φτάσει στην τιμή σταθεροποίησης δηλαδή είναι αρκετά πιθανόν ο εξεταζόμενος να αντιμετωπίζει προβλήματα είτε στην καρδιά (πρώτη φάση) είτε στο κυρίως αναπνευστικό μέρος (δεύτερη φάση) .

Εξαιτίας λοιπόν της βαρύτητας των δεδομένων είναι απαραίτητο να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση των δεδομένων από την εκθετική συνάρτηση για να έχουμε ακριβέστερα αποτελέσματα. (Σχήμα 2.6)

Όπως βλέπουμε από το σχήμα 2.6 τα δεδομένα (τα οποία στο σχήμα αυτό έχουν υποστεί επεξεργασία ,δηλαδή λείπουν τα outliers και έχουν περάσει από φίλτρο ομαλοποίησης) προσεγγίζονται από μια εκθετική με τους κατάλληλους συντελεστές .



Σχήμα 2.6. Fitting με την εκθετική συνάρτηση επάνω σε φιλτραρισμένα δεδομένα χωρίς outliers (Αναλυτικά για φίλτρα και outliers στο ΚΕΦ. 3)

Η αρχική μορφή μιας εκθετικής συνάρτησης είναι :

$E(t) = 1 - \exp(-t / \tau)$, όπου t είναι η μεταβλητή και όπου τ ο χρόνος σταθεροποίησης

Ξέρουμε όμως ότι η αρχική μορφή της εκθετικής ξεκινάει από την τιμή 0 και μεγιστοποιείται στην τιμή 1. Όμως τα δικά μας τα δεδομένα ξεκινούν από μη μηδενική τιμή και καταλήγουν σε τιμή διαφορετική του 1 (την οποία την ζητάμε όπως και το χρόνο σταθεροποίησης). Άρα λοιπόν η μορφή της συνάρτησης που μπορεί να προσεγγίσει τα δεδομένα μας γίνεται :

$$E(t) = A_{APX} + (A_{\Sigma TA\Theta} - A_{APX}) * (1 - \exp(-t / \tau))$$

όπου A_{APX} - η αρχική τιμή της συνάρτησης

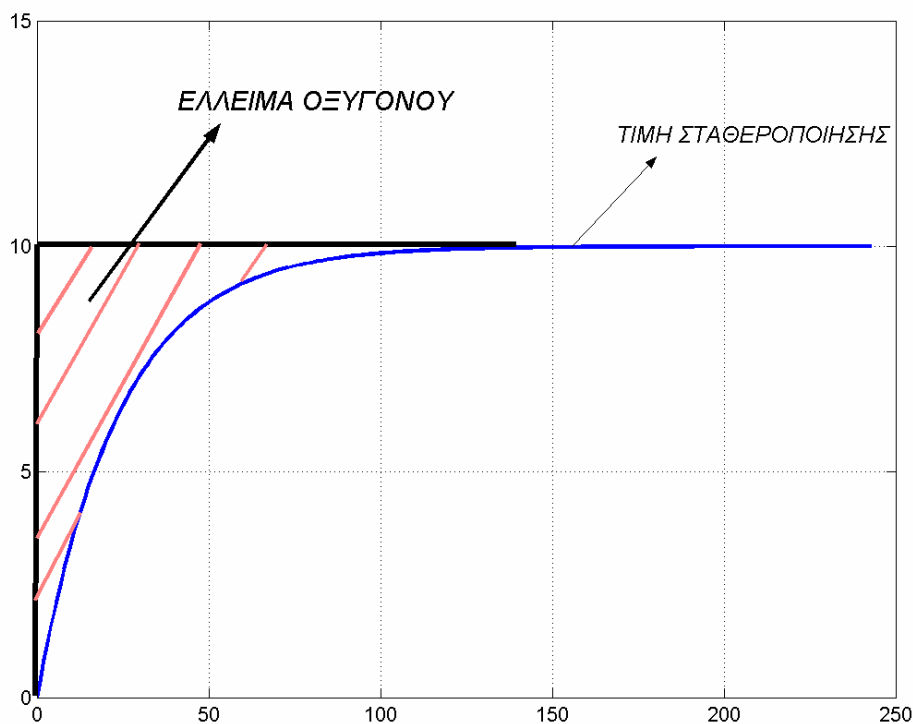
$A_{\Sigma TA\Theta}$ - η τιμή σταθεροποίησης

t - η μεταβλητή του χρόνου

τ - ο χρόνος σταθεροποίησης

Το A_{APX} και το t είναι γνωστά καθώς προκύπτουν από τα δεδομένα ενώ το τ και το $A_{\Sigma TA\Theta}$ είναι οι συντελεστές της συνάρτησης και θα βρεθούν από το fitting της συνάρτησης επάνω στα δεδομένα .

Είναι ενδιαφέρον επίσης να επισημάνουμε την σχέση που υπάρχει μεταξύ των δυο συντελεστών της εκθετικής προσέγγισης (χρόνος σταθεροποίησης (τ) και τιμή σταθεροποίησης ($A_{\Sigma T\Theta.}$)) και το έλλειμμα οξυγόνου (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7 Η εκθετική συνάρτηση και το έλλειμμα οξυγόνου .

Το έλλειμμα οξυγόνου είναι το εξής :

$$DEF_O_2 = A * \tau$$

Απόδειξη

Το έλλειμμα οξυγόνου όπως από το σχήμα 2.7 είναι η διάφορα των εμβαδών του ορθογωνίου με ύψος την τιμή σταθεροποίησης ($A_{\Sigma T\Theta.}$) και πλάτος του συνολικού χρόνου T μείον το εμβαδόν που καλύπτει η εκθετική συνάρτηση ,δηλαδή:

$$DEF_O_2 = \text{Εμβαδόν_Ορθογωνίου} - \text{Εμβαδόν_Εκθετικής} \quad (2.1)$$

$$(\text{Όπου } DEF_O_2 = DEFICIT_O_2 = \text{ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ})$$

και με αντικατάσταση η (1) γίνεται :

$$DEF_O_2 = A * T - A * \int_0^T (1 - \exp(-t/\tau)) dt \quad (2.2)$$

όπου T ο συνολικός χρόνος, τ ο χρόνος σταθεροποίησης, t η μεταβλητή και A η τιμή σταθεροποίησης.

Εάν βρούμε το ολοκλήρωμα έχουμε :

$$A^* \int_0^T (1 - \exp(-t/\tau)) dt = A^* [(t + \tau \exp(-t/\tau))^T - (t + \tau \exp(-t/\tau))^0] \quad (2.3)$$

και με αντικατάσταση έχουμε :

$$A^* \int_0^T (1 - \exp(-t/\tau)) dt = A^* [(T + \tau \exp(-T/\tau)) - (0 + \tau \exp(-0/\tau))] \Leftrightarrow$$

όμως επειδή το T είναι αρκετά μεγαλύτερο από το τ το $\exp(-T/\tau) = 0$,
Άρα :

$$A^* \int_0^T (1 - \exp(-t/\tau)) dt = A^* [(T) - (\tau)] = A^* T - A^* \tau \quad (2.4)$$

Επομένως η (2.2) γίνεται :

$$DEF_{O_2} = A^* T - A^* T + A^* \tau \Leftrightarrow$$

Τελικά έχουμε :

$$DEF_{O_2} = A^* \tau \quad (2.5)$$

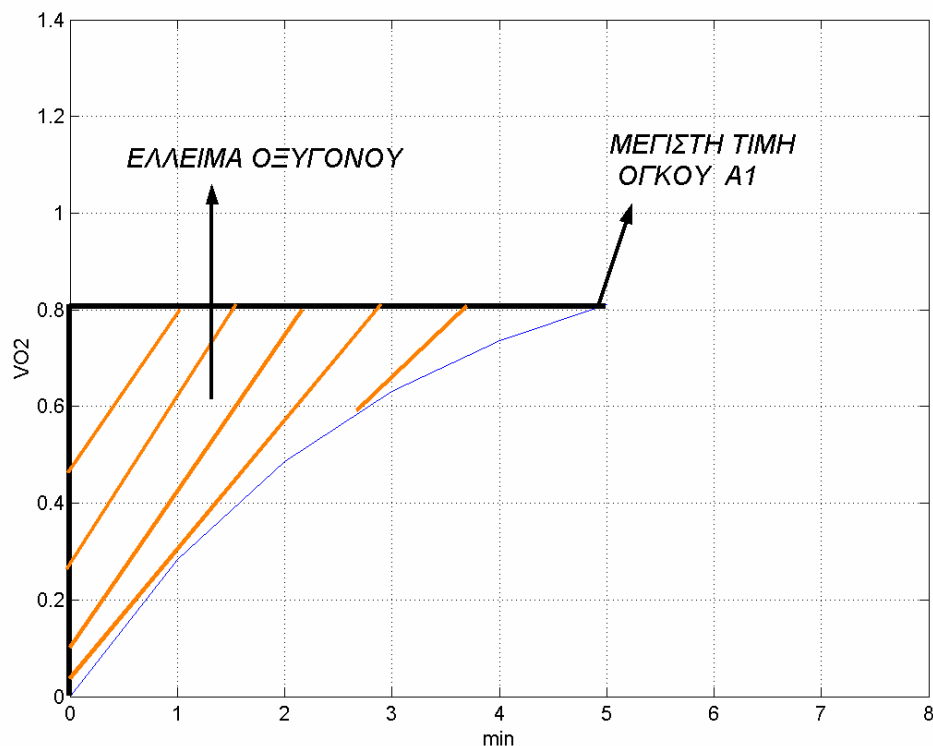
Η σχέση αυτή είναι αρκετά χρήσιμη καθώς μας δίνει την δυνατότητα να υπολογίσουμε εύκολα το έλλειμμα οξυγόνου αν γνωρίζουμε τους συντελεστές της εκθετικής συνάρτησης δηλαδή την τιμή σταθεροποίησης και το χρόνο σταθεροποίησης. (Υπολογισμός έγινε με την εκθετική με μηδενική αρχική τιμή. Όμως το ίδιο ισχύει και για την εκθετική που αρχίζει από κάποια μη μηδενική τιμή.)

Επομένως με το να προσεγγίσουμε τα δεδομένα με μια εκθετική συνάντηση έχουμε καταφέρει να έχουμε την δυνατότητα να υπολογίσουμε ορισμένες τιμές που είναι

σημαντικές ενδείξεις για την αναπνευστική κατάσταση του εξεταζόμενου .Αυτές οι τιμές είναι ο χρόνος σταθεροποίησης τ , η τιμή σταθεροποίησης A (που εξαρτάται από την ένταση της άσκησης) και το έλλειμμα οξυγόνου που προκύπτει από τις παραπάνω τιμές .

2.4.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου ο εξεταζόμενος με την αύξηση της άσκησης δεν καταφέρνει να φτάσει σε μια τιμή σταθεροποίησης του όγκου του οξυγόνου . Σ' αυτήν την περίπτωση δεν ισχύει ο τύπος (2.5) καθώς η τιμή σταθεροποίησης A δεν επιτυγχάνεται αλλά ο εξεταζόμενος φτάνει σε μια τιμή του όγκου μικρότερη από το A . (Σχήμα 2.8)



Σχήμα 2.8 Έκθετική προσέγγιση δεδομένων όπου ο εξεταζόμενος δεν φτάνει σε μια τιμή σταθεροποίησης αλλά σε μια τιμή όγκου $A1$.

Το έλλειμμα οξυγόνου είναι το εξής σε αυτήν την περίπτωση :

$$DEF_{O_2} = A1 * \tau - (A - A1) * (t_{TEA} - t_{APX})$$

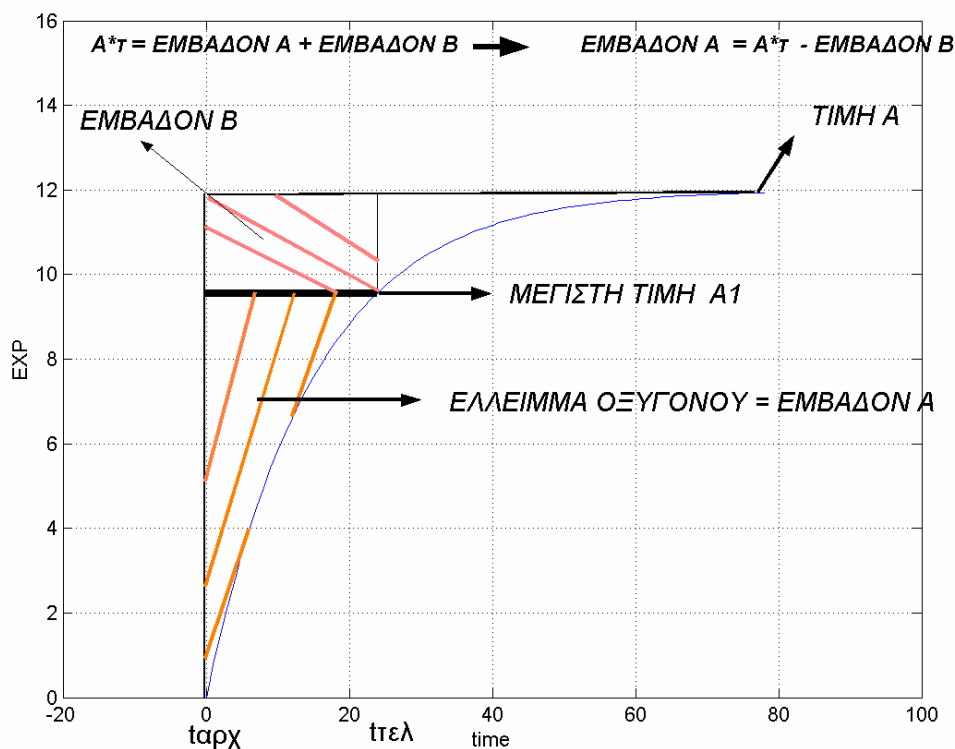
,όπου τ είναι ο χρόνος σταθεροποίησης της εκθετικής που αντιστοιχεί στην τιμή σταθεροποίησης A .

Απόδειξη

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα σε αυτήν την περίπτωση ο όγκος του οξυγόνου δεν φτάνει σε μια τιμή σταθεροποίησης αλλά μέχρι μια τιμή $A1$. Σε αυτήν την περίπτωση για να βρούμε το έλλειμμα οξυγόνου στον τύπο (2.5) αντικαθιστούμε την τιμή σταθεροποίησης της συνάρτησης (A) με την μέγιστη τιμή του όγκου ($A1$) και αφαιρούμε το εμβαδόν του ορθογωνίου με ύψος $A-A1$ και πλάτος $t_{TEΛ} - t_{APX}$. Και αυτό διότι το $A1 \cdot \tau$ θα μας δώσει το έλλειμμα οξυγόνου σε σχέση με την τιμή A και όχι με την τιμή $A1$, επομένως πρέπει να αφαιρεθεί το εμβαδόν του ορθογωνίου $(A-A1) \cdot (t_{TEΛ} - t_{APX})$. (Σχήμα 2.9)

$$DEF_{O_2} = A1 \cdot \tau - (A-A1) \cdot (t_{TEΛ} - t_{APX}) \quad (2.6)$$

,όπου τ είναι ο χρόνος σταθεροποίησης της εκθετικής που αντιστοιχεί στην τιμή σταθεροποίησης A .



Σχήμα 2.9 Υπολογισμός του ελλείμματος οξυγόνου κατά την περίπτωση μη σταθεροποίησης με εκθετική προσέγγιση .

Επομένως κατά αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε το έλλειμμα οξυγόνου στην περίπτωση μη σταθεροποίησης με την εκθετική προσέγγιση .

Άρα γνωρίζοντας το έλλειμμα οξυγόνου και την τιμή $A1$ μπορούμε να υπολογίσουμε τον αντίστοιχο χρόνο σταθεροποίησης που θα αντιστοιχούσε σύμφωνα με τον τύπο 2.5 σε μια εκθετική όπου το A θα είναι το $A1$ και με έλλειμμα οξυγόνου αυτό που υπολογίσαμε .

Άρα :

$$\tau_{EQUAL} = DEF_{O_2} / A1 \quad (2.7)$$

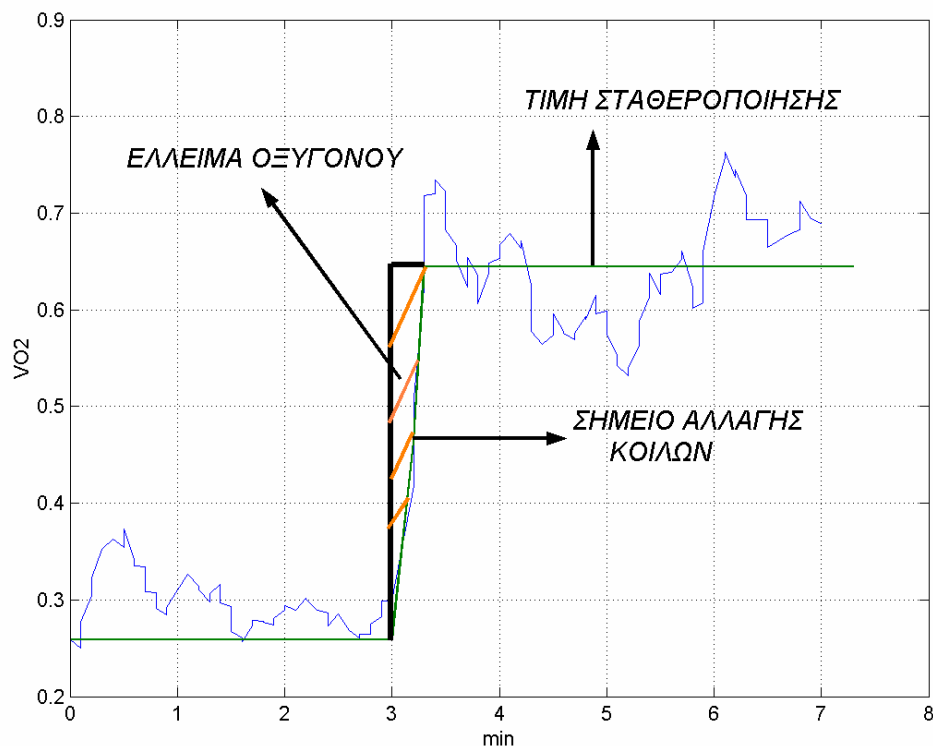
2.5 ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΜΟΡΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.5.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Υπάρχει άλλη μια συνάρτηση η οποία έχει και αυτή εκθετική μορφή και μπορεί να προσεγγίσει αρκετά καλά τα δεδομένα μας .Αυτή η συνάρτηση είναι η σιγμοειδής συνάρτηση .

Κάνοντας σωστή προσέγγιση των δεδομένων μας με μια σιγμοειδή συνάρτηση μας δίνεται η δυνατότητα από τους συντελεστές της συνάρτησης που προκύπτουν να υπολογίσουμε το έλλειμμα οξυγόνου ,την τιμή σταθεροποίησης και τον χρόνο σταθεροποίησης .(Σχήμα 2.10)

Επομένως καταφέρνουμε με την επιπλέον αυτή προσέγγιση να έχουμε μια παραπάνω εκδοχή των αποτελεσμάτων και επίσης σε πολλές περιπτώσεις όπως θα φανεί από τα αποτελέσματα η μορφή των δεδομένων μας προσεγγίζεται καλύτερα από μια σιγμοειδής παρά μια εκθετική συνάρτηση .



Σχήμα 2.10 Fitting με την σιγμοειδή συνάρτηση επάνω σε φιλτραρισμένα δεδομένα χωρίς outliers (Αναλυτικά για φίλτρα και outliers στο ΚΕΦ. 3)

Η αρχική μορφή της σιγμοειδής συνάρτηση είναι :

$$SIG(t) = 1 / (1 + \exp(-\tau * (t - c)))$$

Όπου t είναι η μεταβλητή του χρόνου, c είναι το σημείο του χρόνου όπου αλλάζουν τα κοίλα της συνάρτησης (Σχήμα 10), και τ είναι μια σταθερά που καθορίζει πόσο απότομη θα είναι η μεταβολή της συνάρτησης (το αντίστοιχο για την εκθετική είναι ο χρόνος σταθεροποίησης).

Για να προσαρμοστεί στα δικά μας δεδομένα γίνεται :

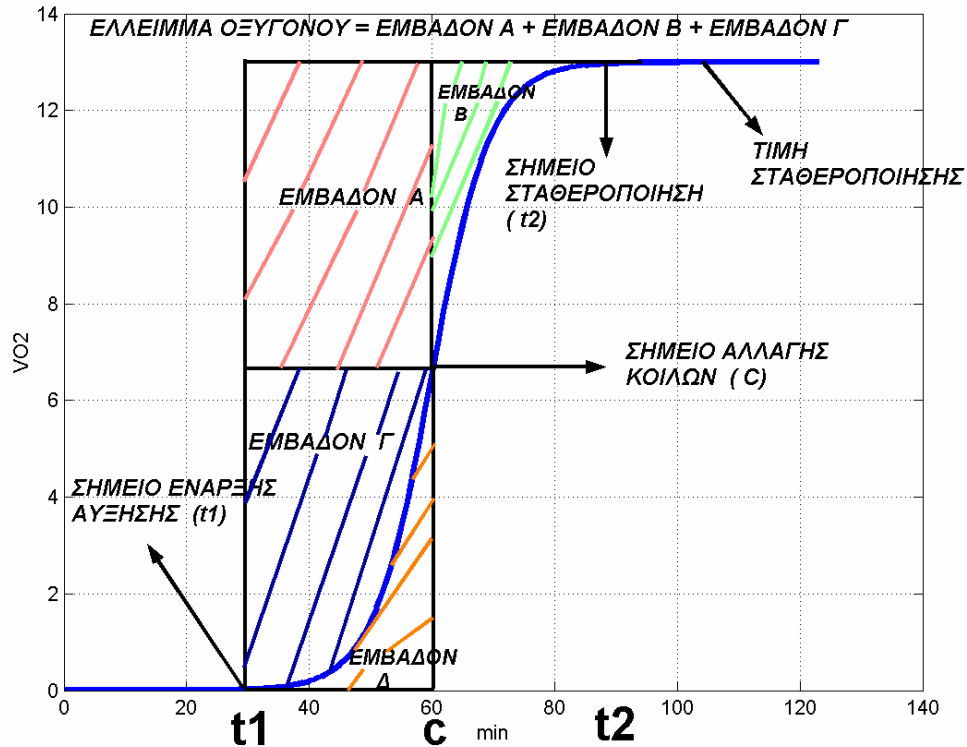
$$SIG(t) = A_{APX} + (A_{ΣΤΑΘ} - A_{APX}) * (1 / (1 + \exp(-\tau * (t - c))))$$

όπου A_{APX} - η αρχική τιμή της συνάρτησης

$A_{ΣΤΑΘ}$ - η τιμή σταθεροποίησης

από αυτούς τους συντελεστές, το $A_{ΣΤΑΘ}$, το τ και το c είναι άγνωστοι και θα καθοριστούν μετά το fitting.

Όπως και την εκθετική υπάρχει μια ενδιαφέρων σχέση ανάμεσα στην σιγμοειδή συνάρτηση και το έλλειμμα οξύνου που προκύπτει από αυτήν.



Σχήμα 2.11 . Η σιγμοειδής συνάρτηση και το έλλειμμα οξυγόνου .

Το έλλειμμα οξυγόνου είναι το εξής σε αυτήν την περίπτωση :

$$DEF_{O_2} = A * (c - t1)$$

,όπου A η τιμή σταθεροποίησης

Απόδειξη

Η σιγμοειδής συνάρτηση είναι συμμετρική γύρω από το σημείο c (Σχήμα 2.11). Γι' αυτό λοιπόν το $ΕΜΒΑΔΟΝ B$ είναι ίσο με το $ΕΜΒΑΔΟΝ Δ$ εξαιτίας του ότι τα χρονικά σημεία $t1, t2$ ισαπέχουν (σε απόλυτη τιμή) από το σημείο c και εξαιτίας της συμμετρίας της σιγμοειδής συνάρτησης .Άρα :

$$ΕΜΒΑΔΟΝ B = ΕΜΒΑΔΟΝ Δ$$

(2.8)

Επίσης έχουμε από το σχήμα 2.11 για το έλλειμμα οξυγόνου ότι :

$$DEF_O_2 = EMBΛΔON A + EMBΛΔON B + EMBΛΔON Γ \quad (2.9)$$

Με βάση τη σχέση 2.8 η σχέση 2.9 γίνεται :

$$DEF_O_2 = EMBΛΔON A + EMBΛΔON Δ + EMBΛΔON Γ \quad (2.10)$$

Όμως όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.11 το άθροισμα αυτών των εμβαδών ισούται με το εμβαδόν του ορθογωνίου με ύψος την τιμή σταθεροποίησης A και πλάτος την χρονική απόσταση από το σημείο $t1$ στο σημείο c . Επομένως έχουμε :

$$DEF_O_2 = A * (c - t1) \quad (2.11)$$

Επομένως καταφέραμε να υπολογίσουμε το έλλειμμα οξυγόνου όταν κάνουμε προσέγγιση με την σιγμοειδή. Αλλά βλέποντας την σχέση 2.5 παρατηρούμε ότι εφόσον μιλάμε για το ίδιο έλλειμμα οξυγόνου και αν η τιμή σταθεροποίησης θεωρηθεί ίδια (στα ίδια δεδομένα σιγμοειδής και εκθετική συνάρτηση πιθανότατα θα παρουσιάσουν την ίδια τιμή σταθεροποίησης) τότε μπορούμε να υπολογίσουμε ένα χρόνο σταθεροποίησης τ_{EQUAL} που προκύπτει από την σιγμοειδή αλλά αντιστοιχεί σε μια εκθετική με χρόνο σταθεροποίησης τ_{EQUAL} . Δηλαδή από τις σχέσεις 2.5 και 2.11 έχουμε :

$$A * (c - t1) = A * \tau_{EQUAL} \quad \Leftrightarrow \quad c - t1 = \tau_{EQUAL} \quad (2.12)$$

Άρα βρίσκουμε το χρόνο σταθεροποίησης τ_{EQUAL} που προκύπτει από την σιγμοειδή και αντιστοιχεί σε μια εκθετική συνάρτηση. Επομένως κατά αυτόν τον τρόπο μπορούμε να κάνουμε δυο διαφορετικές προσεγγίσεις και να έχουμε ανάλογα αποτελέσματα που μπορούμε να συγκρίνουμε.

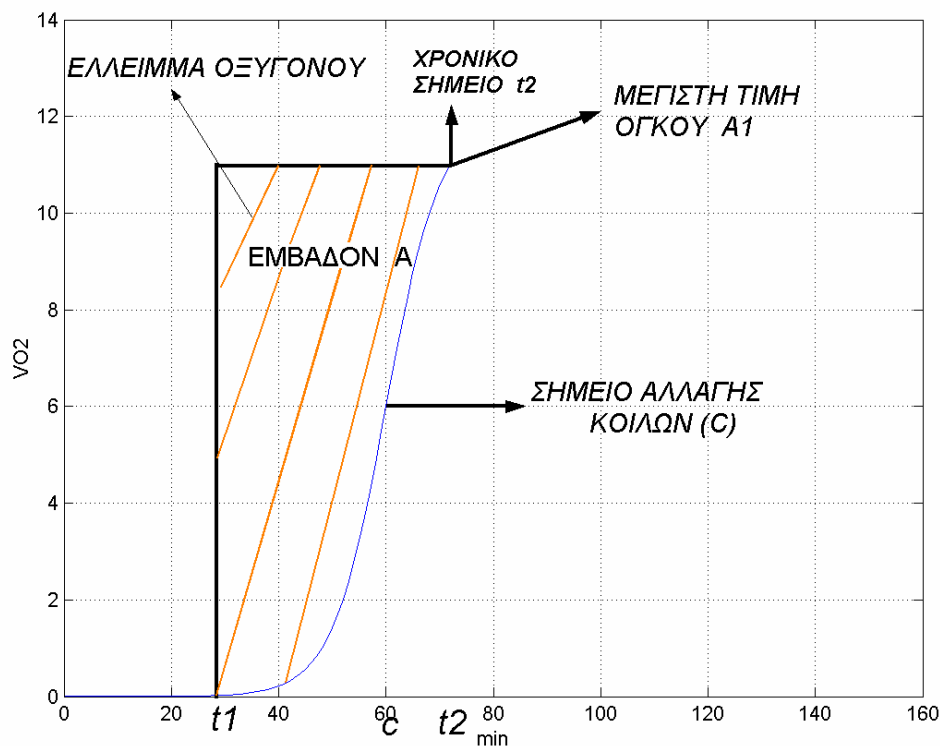
Ακόμη και στην περίπτωση που έχουμε διαφορετικές τιμές σταθεροποίησης η αντιστοιχία ισχύει δηλαδή το $c - t1$ αντιστοιχεί σε ένα τ_{EQUAL} .

$$A * (c - t1) = B * \tau_{EQUAL} \quad \Leftrightarrow \quad c - t1 \leftrightarrow \tau_{EQUAL} \text{ και } A \leftrightarrow B \quad (2.13)$$

2.5.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

i) Το χρονικό σημείο της συνάρτησης (χρονικό σημείο $t2$) είναι μεγαλύτερο ή ίσο του σημείου αλλαγής των κοίλων της συνάρτησης (c).

Στις περιπτώσεις όπου ο εξεταζόμενος δεν καταφέρνει να φτάσει σε μια κατάσταση σταθεροποίησης αλλά χρονικά να ξεπερνάει (ή να ισούται) με το χρονικό σημείο αλλαγής των κοίλων (c) της συνάρτησης έχουμε ως αποτέλεσμα την σιγμοειδή συνάρτηση που προσεγγίζουμε να μην φτάνει και αυτή σε μια κατάσταση σταθεροποίησης. (Σχήμα 2.12)



Σχήμα 2.12 .Σιγμοειδής προσέγγιση δεδομένων όπου ο εξεταζόμενος δεν φτάνει σε μια τιμή σταθεροποίησης αλλά σε μια τιμή όγκου $A1$.

Το έλλειμμα οξυγόνου είναι το εξής σε αυτήν την περίπτωση :

$$DEF_O_2 = A1*(t2 - t1) - 2*(c-t1)*A(c) + f(2*c-t1) - f(t2)$$

,όπου A η τιμή σταθεροποίησης όπου καταλήγει η συνάρτηση και $A(c)$ τιμή της συνάρτησης στο σημείο c ενώ η f είναι η συνάρτηση που υπολογίζει το εμβαδόν από το σημείο c έως μια τιμή t , με $t > c$.

Απόδειξη

Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.12 το έλλειμμα οξυγόνου σ'αυτήν την περίπτωση είναι:

$$DEF_O_2 = ΕΜΒΑΔΟΝ Α \quad (2.14)$$

Για να υπολογίσουμε το έλλειμμα οξυγόνου χρειάζεται πρώτα να δούμε το ολοκλήρωμα της σιγμοειδής συνάρτησης.

Η σιγμοειδής όπως είπαμε είναι:

$$SIG(t) = 1 / (1 + \exp(-\tau * (t - c)))$$

και το αόριστο ολοκλήρωμα της είναι :

$$\int \dot{g}(t) dt = 1/\tau * \log(1 + \exp(-\tau * (t-c))) - 1/\tau * \log(\exp(-\tau * (t-c))) \quad (2.15)$$

Τώρα θα υπολογίσουμε το ολοκλήρωμα της σιγμοειδής από την τιμή c (σημείο αλλαγής κοίλων) έως μια τιμή t_1 η οποία τιμή είναι μεγαλύτερη του c . Έχουμε λοιπόν:

$$\int_c^{t_1} \dot{g}(t) dt = [1/\tau * \log(1 + \exp(-\tau * (t-c))) - 1/\tau * \log(\exp(-\tau * (t-c)))]^{t_1} - [1/\tau * \log(1 + \exp(-\tau * (t-c))) - 1/\tau * \log(\exp(-\tau * (t-c)))]^c$$

➔

$$\int_c^{t_1} \dot{g}(t) dt = 1/\tau * \log(1 + \exp(-\tau * (t_1 - c))) - 1/\tau * \log(\exp(-\tau * (t_1 - c))) - 1/\tau * \log(1 + 1) - 0$$

➔

$$\int_c^{t_1} \dot{g}(t) dt = 1/\tau * \log(1 + \exp(-\tau * (t_1 - c))) - 1/\tau * \log(\exp(-\tau * (t_1 - c))) - 1/\tau * \log(2)$$

➔

$$\int_c^{t_1} \dot{g}(t) dt = 1/\tau * \log(1 + \exp(-\tau * (t_1 - c))) - 1/\tau * \log(\exp(-\tau * (t_1 - c))) - 1/\tau * 0.6931 \quad (2.16)$$

Αυτή η σχέση (2.16) ισχύει για οποιοδήποτε τιμή t_1 η οποία είναι μεγαλύτερη από την τιμή c . Επομένως μπορεί να εκφραστεί ως μια συνάρτηση :

$$f(t) = 1/\tau * \log(1 + \exp(-\tau * (t-c))) - 1/\tau * \log(\exp(-\tau * (t-c))) - 1/\tau * 0.6931$$

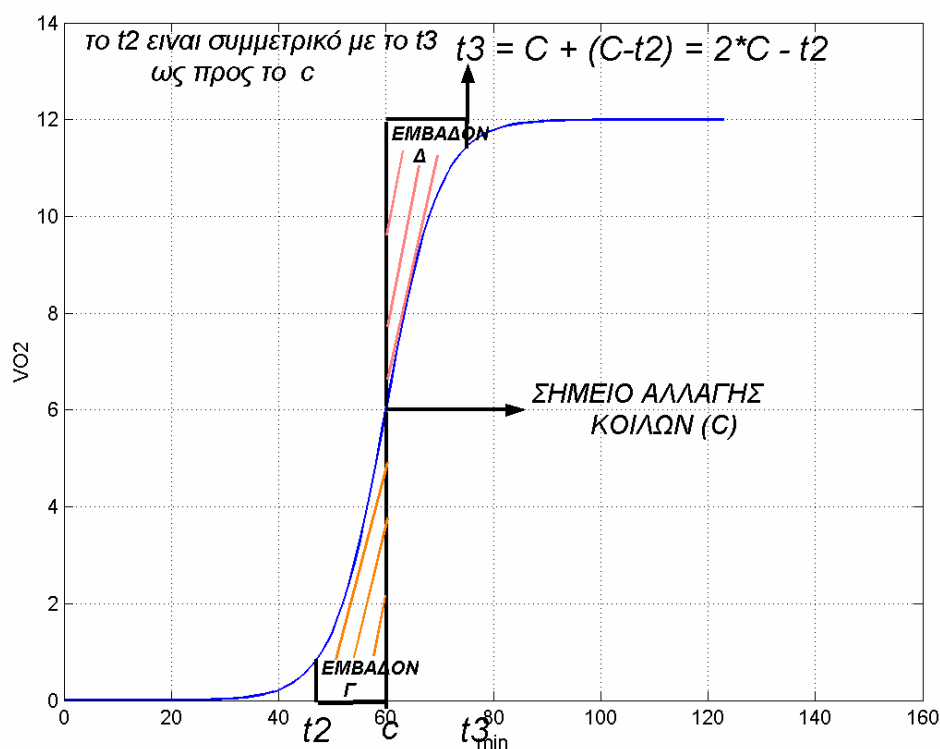
και

$$f(t) = \int_c^t \dot{g}(t) dt, \text{ για } t > c \quad (2.17)$$

Ενώ εάν η συνάρτηση είναι πολλαπλασιασμένη με μια τιμή A τότε η συνάρτηση γίνεται :

$$f(t) = A * \int_c^t \dot{g}(t) dt, \text{ για } t > c \quad (2.18)$$

Αυτή η σχέση είναι αρκετά σημαντική αφού μπορεί να μας δώσει το ολοκλήρωμα της συνάρτησης για οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη του c . Αλλά εξαιτίας της συμμετρίας και το ολοκλήρωμα από t_2 - το οποίο είναι μικρότερο του c - έως το c μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον ίδιο τύπο, τον τύπο (2.18). Αυτό φαίνεται παρακάτω :



Σχήμα 2.13 Το ολοκλήρωμα (ΕΜΒΑΔΟΝ Γ) από ένα σημείο t_2 - με $t_2 < c$ - έως το σημείο αλλαγής κοίλων (c) και το ίσο του ΕΜΒΑΔΟΝ Δ από το σημείο c έως το συμμετρικό του t_2 το t_3 .

Από το σχήμα 2.13 έχουμε λόγω συμμετρίας ότι το εμβαδόν Γ είναι ίσο με το εμβαδόν Δ , όπου τα χρονικά σημεία t_2 και t_3 είναι συμμετρικά δηλαδή ισχύει :

$$t_3 = c + (c - t_2) = 2 \cdot c - t_2 \quad (2.19)$$

και

$$ΕΜΒΑΔΟΝ \Gamma = ΕΜΒΑΔΟΝ \Delta \quad (2.20)$$

Το εμβαδόν Γ είναι ουσιαστικά το ολοκλήρωμα της σιγμοειδής από t_2 ως c ενώ το εμβαδόν Δ είναι η διάφορα του εμβαδού του ορθογωνίου με ύψος την τιμή σταθεροποίησης A της σιγμοειδής και πλάτος την χρονική τιμή $t_3 - c$ μείον το ολοκλήρωμα της σιγμοειδής από την τιμή c ως την τιμή t_3 . Δηλαδή :

$$EMBAΔON Γ = \int_{t2}^c \dot{g}(t) dt \quad (2.21)$$

$$EMBAΔON Δ = (t3-c)*A - \int_c^{t3} \dot{g}(t) dt \quad (2.22)$$

Αλλά με βάση την σχέση (2.19) αντικαθιστούμε και έχουμε

$$\begin{aligned} EMBAΔON Δ &= (2*c-t2-c)*A - \int_c^{2*c-t2} \dot{g}(t) dt \\ &\Leftrightarrow \\ EMBAΔON Δ &= (c-t2)*A - \int_c^{2*c-t2} \dot{g}(t) dt \end{aligned} \quad (2.23)$$

Αλλά εξαιτίας της ισότητας των δυο εμβαδών έχουμε (σχέση 2.20) :

$$\begin{aligned} EMBAΔON Γ &= (c-t2)*A - \int_c^{2*c-t2} \dot{g}(t) dt \\ &\Leftrightarrow \text{ (από σχέση 2.21)} \\ \int_{t2}^c \dot{g}(t) dt &= (c-t2)*A - \int_c^{2*c-t2} \dot{g}(t) dt \end{aligned} \quad (2.24)$$

και με βάση την σχέση 2.18 έχουμε :

$$\int_{t2}^c \dot{g}(t) dt = (c-t2)*A - f(2*c-t2) \quad (2.25)$$

Επομένως αυτή η σχέση μπορεί να γενικευθεί για κάθε ολοκλήρωμα από μια τιμή t μικρότερη του c έως το c. Δηλαδή :

$$\int_t^c \dot{g}(t) dt = (c-t)*A - f(2*c-t) \quad , \text{ για } t < c \quad (2.26)$$

Άρα έχουμε καταφέρει χρησιμοποιώντας μια βασική εξίσωση (την σχέση 2.18) να υπολογίσουμε το ολοκλήρωμα από μια τιμή t έως το σημείο αλλαγής των κοίλων.

Για να γυρίσουμε στον αρχικό μας σκοπό πρέπει να βρούμε το έλλειμμα οξυγόνου στις περιπτώσεις μη σταθεροποίησης. Έχουμε λοιπόν την σχέση 2.14 και πρέπει να υπολογίσουμε αυτά τα εμβαδά. Έχουμε λοιπόν βλέποντας και το σχήμα 2.12:

$$DEF_O_2 = EMBΑΔΟΝ A$$

Αλλά το εμβαδόν A είναι η διάφορα του εμβαδού του ορθογωνίου με ύψος A1 και πλάτος t2-t1 μείον το ολοκλήρωμα της συνάρτησης από την χρονική τιμή t1 έως την τιμή t2. Δηλαδή:

$$DEF_O_2 = A1 * (t2 - t1) - \int_{t1}^{t2} \dot{g}(t) dt \quad (2.27)$$

Αλλά το ολοκλήρωμα $\int_{t1}^{t2} \dot{g}(t) dt$ μπορεί να χωριστεί σε δυο ολοκληρώματα με βάση το σημείο c. Άρα έχουμε:

$$DEF_O_2 = A1 * (t2 - t1) - \left(\int_{t1}^c \dot{g}(t) dt + \int_c^{t2} \dot{g}(t) dt \right) \quad (2.28)$$

και με βάση τις σχέσεις 2.18 και 2.26 έχουμε:

$$DEF_O_2 = A1 * (t2 - t1) - \left((c-t1) * A - f(2*c-t1) + f(t2) \right)$$

⇔

$$DEF_O_2 = A1 * (t2 - t1) - (c-t1) * A + f(2*c-t1) - f(t2)$$

όπου A είναι η νοητή τιμή σταθεροποίησης, εξαιτίας του ότι δεν έχουμε σταθεροποίηση και για αυτό την αντικαθιστούμε με τη διπλάσια τιμή του όγκου του οξυγόνου στο σημείο c (σημείο αλλαγής κοίλων) που είναι ίση λόγω συμμετρίας δηλαδή: $A = 2 * A(c)$

⇔

$$DEF_O_2 = A1 * (t2 - t1) - 2 * (c-t1) * A(c) + f(2*c-t1) - f(t2) \quad (2.29)$$

Άρα καταφέραμε να υπολογίσουμε το έλλειμμα οξυγόνου στην περίπτωση μη σταθεροποίησης της στιγμοειδής προσέγγισης αλλά με τελικό χρόνο μεγαλύτερο του χρονικού σημείου αλλαγής κοίλων. Επομένως σε αντιστοιχία με την ανάλογη περίπτωση της εκθετικής και έχοντας τον τύπο 2.5 μπορούμε να υπολογίσουμε τον αντίστοιχο χρόνο σταθεροποίησης:

$$\tau_{EQUAL} = DEF_O_2 / A1 \quad (2.30)$$

Άρα έχουμε υπολογίσει και την περίπτωση μη σταθεροποίησης της σιγμοειδής συνάρτησης για t_2 μεγαλύτερο του c .

ii) Το χρονικό σημείο της συνάρτησης (χρονικό σημείο t_2) είναι μικρότερο του σημείου αλλαγής των κοίλων της συνάρτησης (c).

Υπάρχει και η περίπτωση μη σταθεροποίησης της σιγμοειδής αλλά η συνάρτηση να μην φτάνει ούτε το σημείο αλλαγής των κοίλων (Σχήμα 2.14). Σε αυτήν την περίπτωση δεν ισχύει η σχέση 2.29 αλλά για την υπολογίσουμε κάνουμε τα εξής :

Το έλλειμμα οξυγόνου είναι το εξής σε αυτήν την περίπτωση :

$$DEF_{O_2} = A1*(t_2 - t_1) - \{ [(c-t_2)*A - f(2*c-t_2)] - [(c-t_1)*A - f(2*c-t_1)] \}$$

,όπου A η τιμή σταθεροποίησης όπου καταλήγει η συνάρτηση ενώ η f είναι η συνάρτηση που υπολογίζει το εμβαδόν από το σημείο c έως μια τιμή t , με $t > c$.

Απόδειξη

Βλέποντας το σχήμα 2.14 βλέπουμε και το έλλειμμα του οξυγόνου που πρέπει να υπολογίσουμε. Αυτό ουσιαστικό ισούται με την διάφορα του εμβαδού του ορθογωνίου με ύψος $A1$ και πλάτος t_2-t_1 μείον το εμβαδόν που καλύβει η συνάρτηση από το σημείο t_1 έως t_2 , δηλαδή :

$$DEF_{O_2} = A1*(t_2 - t_1) - \int_{t_1}^{t_2} \dot{g}(t) dt \quad (2.31)$$

Αλλά το ολοκλήρωμα από t_1 έως t_2 της σιγμοειδής ισούται με :

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{g}(t) dt = \int_{t_1}^c \dot{g}(t) dt - \int_{t_2}^c \dot{g}(t) dt \quad (2.32)$$

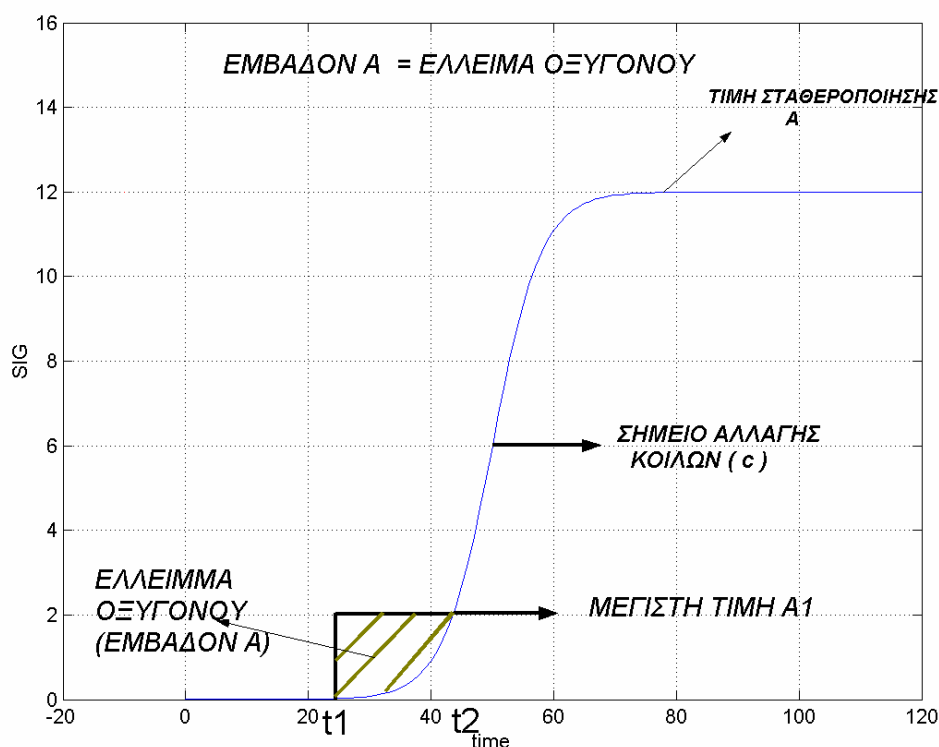
και επειδή $t_1, t_2 < c$ και σύμφωνα με την σχέση 2.26 έχουμε :

$$\int_{t1}^{t2} \dot{g}(t) dt = [(c-t2)*A - f(2*c-t2)] - [(c-t1)*A - f(2*c-t1)] \quad (2.33)$$

Έτσι λοιπόν αντικαθιστούμε στην 2.31 και γνωρίζοντας την f από την σχέση 2.18 έχουμε :

$$DEF_O_2 = A1*(t2 - t1) - \{ [(c-t2)*A - f(2*c-t2)] - [(c-t1)*A - f(2*c-t1)] \} \quad (2.34)$$

Επομένως καλύβοντας και αυτήν την περίπτωση έχουμε καλύψει όλες τις περιπτώσεις για να υπολογίσουμε το έλλειμμα οξυγόνου στην σιγμοειδή προσέγγιση .



Σχήμα 2.14 Η περίπτωση μη σταθεροποίησης της σιγμοειδούς όταν η συνάρτηση χρονικά δεν φτάνει το σημείο αλλαγής των κοίλων (c).

Τέλος για να καλύψουμε όλες τις περιπτώσεις που θα αντιμετωπίσουμε κατά την διάρκεια των αποτελεσμάτων πρέπει να μελετήσουμε και την περίπτωση όπου έχουμε μεν σταθεροποίηση αλλά το χρονικό σημείο εκκίνησης της αύξησης της σιγμοειδής διαφέρει από το χρονικό σημείο αύξησης των πραγματικών δεδομένων . Σε αυτήν την περίπτωση δεν ισχύει ο τύπος 2.11 αλλά για να βρούμε το έλλειμμα οξυγόνου πρέπει να υπολογίσουμε το εμβαδόν του ορθογωνίου με ύψος A (τιμή σταθεροποίησης) και πλάτος $t2 - t1$ (όπου $t2$ είναι το χρονικό σημείο σταθεροποίησης και $t1$ είναι το χρονικό σημείο αύξησης των πραγματικών

δεδομένων) και να αφαιρέσουμε από αυτό το εμβαδόν της σιγμοειδής από το σημείο $t1$ έως το σημείο $t2$.

Δηλαδή εάν το σημείο $t1$ βρίσκεται πριν από το σημείο αλλαγής κοίλων (c) τότε σύμφωνα με τους τύπους 2.26 και 2.18 έχουμε:

$$DEF_O2 = A * (t2 - t1) - [((c - t1) * A - f(2 * c - t1)) + f(t2)] \quad , \text{ για } t1 < c, t2 > c$$

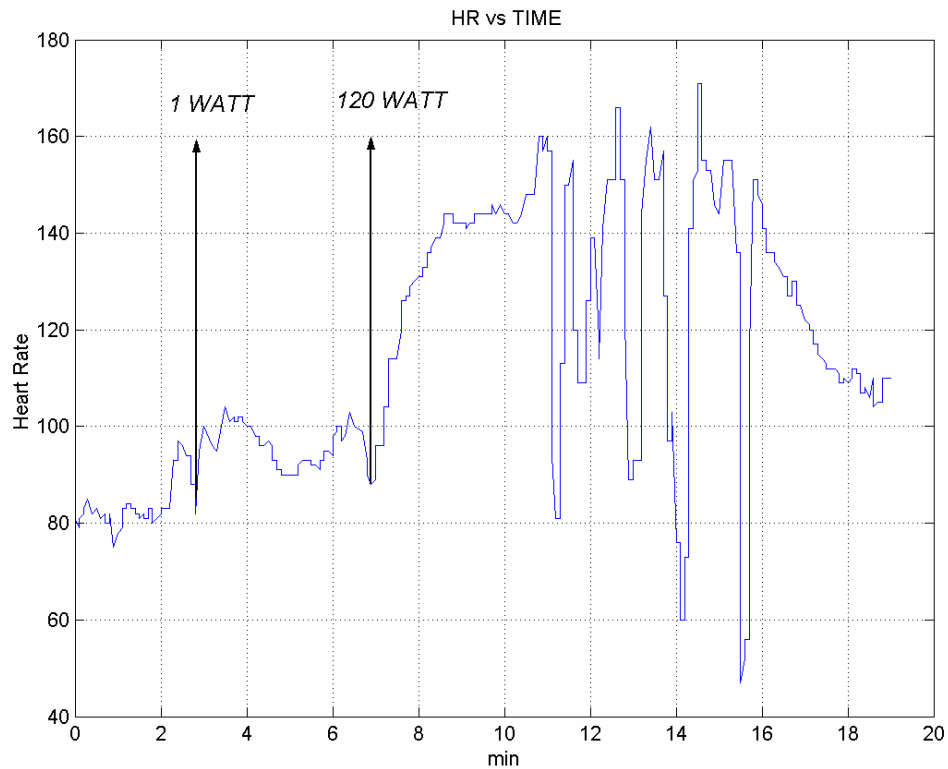
ενώ αν το χρονικό σημείο $t1$ είναι μεγαλύτερο από το σημείο αλλαγής κοίλων (c) τότε έχουμε

$$DEF_O2 = A * (t2 - t1) - (f(t2) - f(t1)) \quad , \text{ για } t1, t2 > c$$

2.6 ΟΙ ΠΑΛΜΟΙ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Όπως έχουμε αναφέρει και ο όγκος του διοξειδίου του άνθρακα ακολουθεί μια παρόμοια πορεία με τον όγκο του οξυγόνου αφού ο όγκος του οξυγόνου με τον όγκο του διοξειδίου του άνθρακα είναι ανάλογες τιμές και συνδέονται με την σχέση του λόγου ανταλλαγής αέριων R όπου $R = \text{CO}_2 / \text{VO}_2$.Επομένως αν στα δεδομένα του διοξειδίου του άνθρακα κάνουμε τις ανάλογες προσεγγίσεις όπως και στον όγκο του οξυγόνου μπορούμε να συλλέξουμε τις ανάλογες πληροφορίες .

Τα ίδια ισχύουν και για τους παλμούς της καρδιάς κατά την διάρκεια της άσκησης .Τα δεδομένα λοιπόν των παλμών της καρδιάς μπορούν να προσεγγιστούν και αυτά από τις ίδιες συναρτήσεις και να υπολογιστούν οι ανάλογες ποσότητες .Αξίζει να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι πορεία της γραφικής παράστασης κατά την διάρκεια άσκησης δεν είναι τόσο σταθερή και προβλέψιμη όπως τον όγκο του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα .(Σχήμα 2.15)



Σχήμα 2.15 Η γραφική παράσταση των παλμών της καρδιάς κατά την διάρκεια της αυξανόμενης αύξησης. Είναι η φανερή η μη προβλέψιμη πορεία της γραφικής παράστασης των παλμών της καρδιάς κατά την διάρκεια αύξησης της άσκησης σε σχέση με τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις των όγκων του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα (Σχήματα 2.1 και 2. 2).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στα προηγούμενα κεφάλαια καταλήξαμε στο τρόπο με τον οποίο θα βρούμε αυτές τις ποσοτικές τιμές οι οποίες θα μας δείξουν την αναπνευστική κατάσταση του εξεταζόμενου. Τώρα σε αυτό το κεφάλαιο θα δείξουμε πως καταλήγουμε στις προσεγγίσεις αυτές και τι επεξεργασία χρειάζονται τα δεδομένα πριν από τις προσεγγίσεις.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι τα δεδομένα υφίστανται την εξής επεξεργασία :

Α) αρχικά αφαιρούμε από κάθε γραφική παράσταση τα σημεία εκείνα τα οποία έχουν μεγάλη διάφορα με την αναμενόμενη τιμή σύμφωνα με την πορεία της γραφικής παράστασης (outliers).

Β)στη συνέχεια περνάμε τα δεδομένα από ένα φίλτρο ομαλοποίησης (smoothing), το οποίο φιλτράρισμα έχει ως αποτέλεσμα τα δεδομένα να ομαλοποιηθούν και να είναι κατάλληλα για σωστή προσέγγιση.

Γ) εν συνέχεια χρησιμοποιούμε ένα φίλτρο το οποίο μας δείχνει τα χρονικά σημεία που μας ενδιαφέρουν.

Δ) τέλος τα δεδομένα προσεγγίζονται από δυο διαφορετικές συναρτήσεις (την εκθετική και την σιγμοειδή συνάρτηση) χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο που στηρίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων αλλά το κάθε δεδομένο αποκτά διαφορετικό βάρος αναλόγως με τη διάφορα που έχει από τις αναμενόμενες τιμές που προκύπτουν από την πορεία της συνάρτησης.

Έχοντας κάνει την παραπάνω επεξεργασία κάνουμε διάφορους ποσοτικούς υπολογισμούς με βάση τις προσεγγιστικές συναρτήσεις κι έτσι βρίσκουμε αυτά που μας ενδιαφέρουν.

Όλες οι επεξεργασίες θα γίνουν από το μαθηματικό εργαλείο MATLAB.

Ακολουθούν αναλυτικά τα βήματα αυτά.

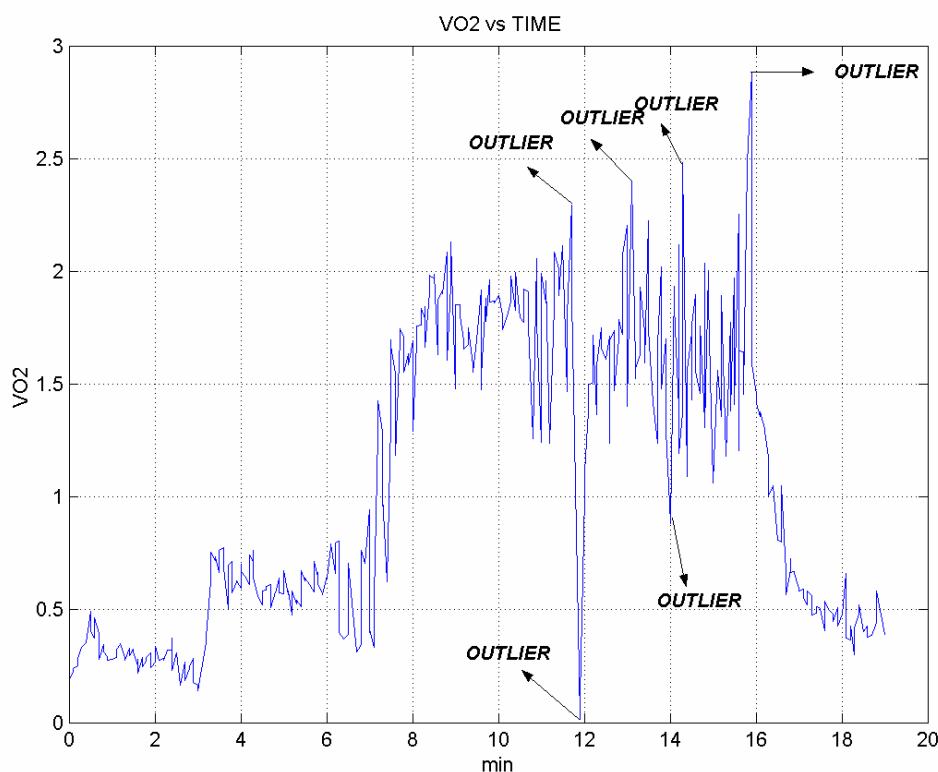
3.1 ΑΦΑΙΡΕΣΗ OUTLIERS

3.1.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ

Τα outliers γενικά μπορούμε να πούμε ότι συνηθίζονται να εμφανίζονται στα περισσότερα είδη σήματος . Οι λόγοι της ύπαρξης τους ποικίλουν αναλόγως το σήμα .

Στην δική μας περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι τα outliers οφείλονται κυρίως στον ίδιο τον εξεταζόμενο και τον όγκο του οξυγόνου (ή διοξειδίου του άνθρακα) που εισπνέει (ή εκπνέει) κατά την διάρκεια της άσκησης (δηλαδή σε περίοδο μεγάλης κατανάλωσης οξυγόνου είναι πιθανόν ο εξεταζόμενος να εισπνεύσει πολύ λιγότερο οξυγόνο από ότι εισέπνεε πριν και θα εισπνεύσει αμέσως μετά).Επίσης μπορούμε να πούμε ότι τα outliers οφείλονται και στο όργανο με το οποίο γίνεται η μέτρηση του όγκου (σπιρόμετρα) ,δηλαδή υπάρχει περίπτωση μια πιθανή ανακρίβεια να δώσει τιμή η οποία διαφέρει πολύ από τις γειτονικές τις τιμές .

Τα outliers αυτά πρέπει να αντικατασταθούν από τις αναμενόμενες τιμές διότι αυτά τα outliers εάν είναι μεγάλα και πολλά είναι δυνατόν να αλλοιώσουν σημαντικά την τιμή διάφορων ποσοτικών υπολογισμών που επιδιώκουμε να υπολογίσουμε .



Σχήμα 3.1 Η γραφική παράσταση του όγκου του οξυγόνου με τον χρόνο και τα πιο μεγάλα outliers .

3.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Επομένως τα outliers πρέπει να αντικατασταθούν από τις αντίστοιχες αναμενόμενες τιμές τους για να έχουμε στην συνέχεια καλύτερη προσέγγιση από τις συναρτήσεις (εκθετική και σιγμοειδής).

Δηλαδή το σήμα πρέπει να περάσει από ένα φίλτρο όπου στην έξοδο του θα πάρουμε το ίδιο σήμα χωρίς outliers. Πρέπει όμως να επισημάνουμε ότι τα outliers είναι κατά κάποιον τρόπο υποκειμενική τιμή. Δηλαδή εξαρτάται από αυτόν που κάνει την επεξεργασία για να καθορίσει πόσο 'καθαρό' το θέλει το σήμα από τα outliers. Δηλαδή τιμές οι οποίες δεν ξεφεύγουν πολύ από τις γειτονικές τους και τις αναμενόμενες είναι πιθανόν να χαρακτηριστούν από κάποιο ως outliers και από κάποιον άλλο όχι. Άρα το φίλτρο πρέπει να δίνει την δυνατότητα στο χρηστή να καθορίζει πόσο 'καθαρό' το θέλει το σήμα του από τα outliers.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Χωρίζουμε τις τιμές του όγκου ανά ομάδες, βρίσκουμε το μέσο όρο για κάθε μια ομάδα και στη συνέχεια συγκρίνουμε το κάθε στοιχείο της ομάδας με το μέσο όρο της ομάδας αυτής. Εάν έχει πολύ μεγάλη διαφορά αντικαθίσταται από το μέσο όρο. Επί παραδείγματι :

Έστω χωρίζουμε τις τιμές σε ομάδες των πέντε. Βγάζουμε το μέσο όρο της κάθε ομάδας και συγκρίνουμε ως εξής: Συγκρίνουμε το κάθε στοιχείο με το μέσο όρο της ομάδας του πολλαπλασιαζόμενο με μια σταθερά, δηλαδή εάν το στοιχείο είναι είτε μεγαλύτερο από το $(\text{μέσο όρο} + 0.5 * \text{μέσο όρο})$ είτε μικρότερο από $(\text{μέσο όρο} - 0.5 * \text{μέσο όρο})$ τότε αντικαθιστάται από το μέσο όρο. Αυτή η σταθερά (εδώ 0.5) καθορίζει πόσο 'αυστηρά' θα κόβονται τα outliers, δηλαδή μεγάλη σταθερά σημαίνει αρκετά 'επιεικής' αντιμετώπιση των outliers ενώ μικρή σταθερά σημαίνει 'αυστηρή' αντιμετώπιση των outliers.

Γενικά, εάν τα δεδομένα μας είναι τα y και x και είναι N στο πλήθος τότε τα χωρίζουμε σε ομάδες των k και βρίσκουμε το μέσο όρο για κάθε ομάδα

$i = N/k$, ο αριθμός των ομάδων

$mean = 1/k * \sum_{i=1}^k C(i)$, όπου C ο πίνακας που περιέχει τις ομάδες

$q_i = mean_i$, ο μέσος όρος για κάθε ομάδα i

Στη συνέχεια συγκρίνουμε όλα τα δεδομένα μας y με τα $mean_i$ της αντίστοιχης ομάδας τους και αντικαθιστούμε με το $mean_i$ όσες τιμές παρεκκλίνουν αρκετά από το $mean_i$

$if (y(j)_i >> mean_i)$
 $y(j)_i = mean_i$

Στη συνέχεια ακολουθεί ο αλγόριθμος .

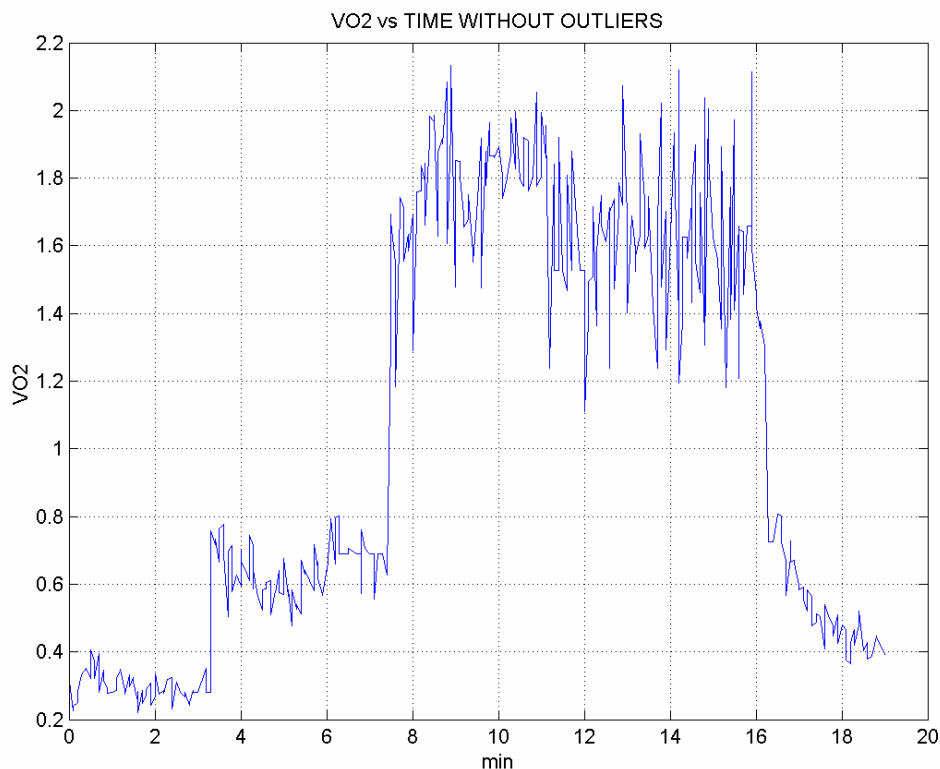
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

```
A , πίνακας δεδομένων
ave= K , πλήθος ομάδας
co=c , σταθερά αυστηρότητας
N = length( A) , πλήθος στοιχείων σήματος
y= N/ave

for i=0 έως (y-1) , τόσες φορές όσες ο αριθμός ομάδων
(
    m=ave *i
    C=A((1+m):(ave+m)) , πίνακας που περιέχει τα στοιχεία της εκάστοτε ομάδας
    k=sum(C)/ave; , μέσος όρος της εκάστοτε ομάδας

    for j=1:ave , για κάθε ομάδα
    (
        if A(j+m)>k+(k*co) | A(j+m)<k-(k*co) ,αν outlier
            A(j+m)=k , τότε αντικατάσταση από μέσο όρο
        end
    )
end
)
end
```

Άρα με αυτόν τον αλγόριθμο καταφέρνουμε να αφαιρέσουμε τα outliers και με την αυστηρότητα που επιθυμεί ο χρήστης .



Σχήμα 3.2 Ίδιο σήμα με σχήμα 3.1 αλλά χωρίς outliers .

3.2. ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗ (SMOOTHING)

3.2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα 3.2 παρόλο που έχουν αφαιρεθεί τα outliers το σήμα χρειάζεται μια ομαλοποίηση δηλαδή ουσιαστικά θέλουμε οι τιμές μεταξύ τους να μην έχουν μεγάλες διαφορές έτσι ώστε να επιτυγχάνεται όσον το δυνατόν μια ομαλοποιημένη γραφική παράσταση αλλά χωρίς να αλλοιωθούν σημαντικά οι τιμές της .

Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία ορισμένων φίλτρων που καταφέρνουν να ομαλοποιήσουν όσο το δυνατόν καλύτερα τα δεδομένα μας χωρίς να απομακρυνθούμε σημαντικά από τα πραγματικά δεδομένα .

Αυτή η ομαλοποίηση θα μας βοηθήσει στη συνέχεια να κάνουμε καλύτερες προσεγγίσεις επάνω στα επεξεργασμένα δεδομένα και στη συνέχεια να προχωρήσουμε στους ποσοτικούς υπολογισμούς που θέλουμε .

3.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Ένα από τα καλύτερα φίλτρα ομαλοποίησης το οποίο καταφέρνει να κάνει smoothing στα δεδομένα χωρίς να αλλοιώνει σημαντικά τα δεδομένα είναι το εξής :
moving average window (μετακινούμενο παράθυρο μέσου όρου).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Το *moving average window* λειτουργεί ως εξής :

Σε μια σειρά αριθμών ,δημιουργεί μια καινούργια σειρά της οποίας τα στοιχεία είναι οι μεσοί όροι των τιμών των συνεχόμενων ομάδων ,δηλαδή :Εάν π.χ. έχουμε μια σειρά με 100 στοιχεία και το περάσουμε από το moving average window με ομάδες των 10 στοιχείων τότε αρχικά παίρνει τα στοιχεία [1-10] βρίσκει το μέσο όρο αυτών και το τοποθετεί στην πρώτη θέση μίας καινούργιας σειράς .Στη συνέχεια παίρνουμε τα στοιχεία [2-11],βρίσκουμε το μέσο όρο αυτών και το τοποθετούμε στη δεύτερη θέση της καινούργιας σειράς κ.ο.κ. (σχήμα 3.3)

Γενικά εάν τα δεδομένα μας είναι τα y και x και είναι N στο πλήθος τότε δημιουργούμε N ομάδες των k στοιχείων έτσι ώστε αν C_i η κάθε ομάδα τότε

$$C_i = [i + 1, i + 2 \dots i + k] \text{ , για κάθε } i \text{ με } 0 \leq i < N - 1$$

και βρίσκουμε το μέσο όρο για κάθε ομάδα

$$mean = 1/k * \sum_{i=0}^k C(i) \text{ , όπου } C \text{ ο πίνακας που περιέχει τις ομάδες}$$

$$q_i = mean(T_i) \text{ , ο μέσος όρος για κάθε ομάδα } i$$

Στη συνέχεια αντικαθιστούμε όλα τα δεδομένα μας y με τα $mean_i$ της αντίστοιχης ομάδας τους .

$$y(i+1) = mean_i$$

Στη συνέχεια ακολουθεί ο αλγόριθμος .

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

A , πίνακας δεδομένων
num=D , μέγεθος παραθύρου

```

x=length(A);                                , πλήθος στοιχείων σήματος

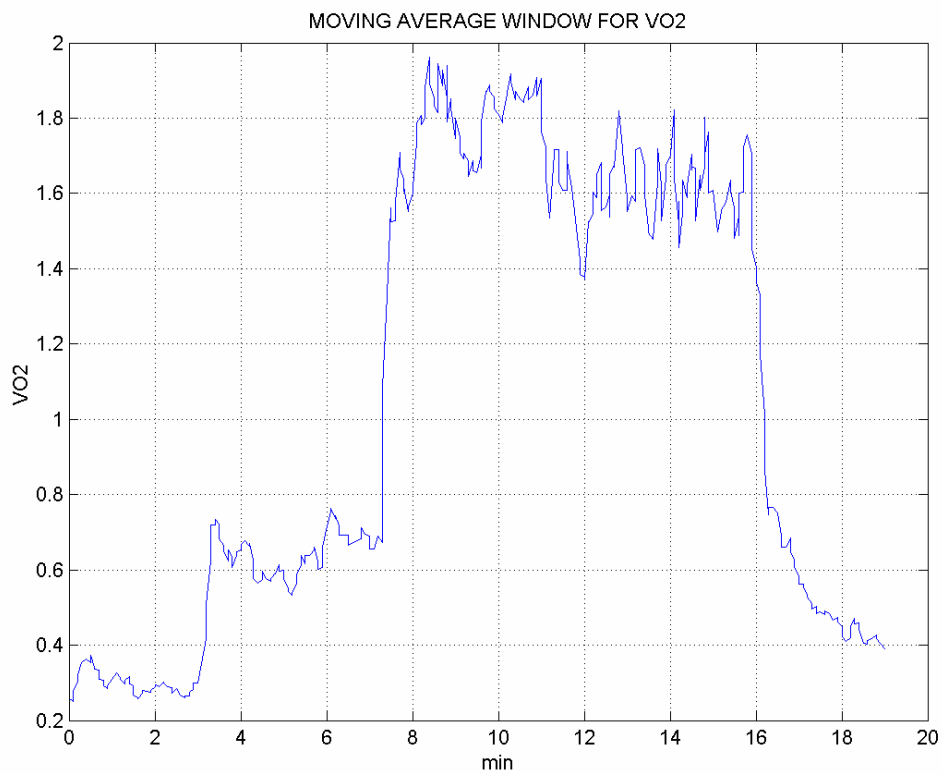
for i=0:(x-1)

(
    C=A((1+i):(num+i))                    , πίνακας της ομάδας
    k=sum(C)/num                          , μέσος όρος ομάδας
    A(i+1)=k                              , αντικατάσταση του i στοιχείου με το μέσο
)
    , μέσο της ομάδας του

end

```

Άρα με αυτό το παράθυρο καταφέρνουμε να ομαλοποιήσουμε τα δεδομένα (στα οποία έχουν αφαιρεθεί τα outliers) και στη συνέχεια στο καινούργιο σήμα να προχωρήσουμε στις προσεγγίσεις .



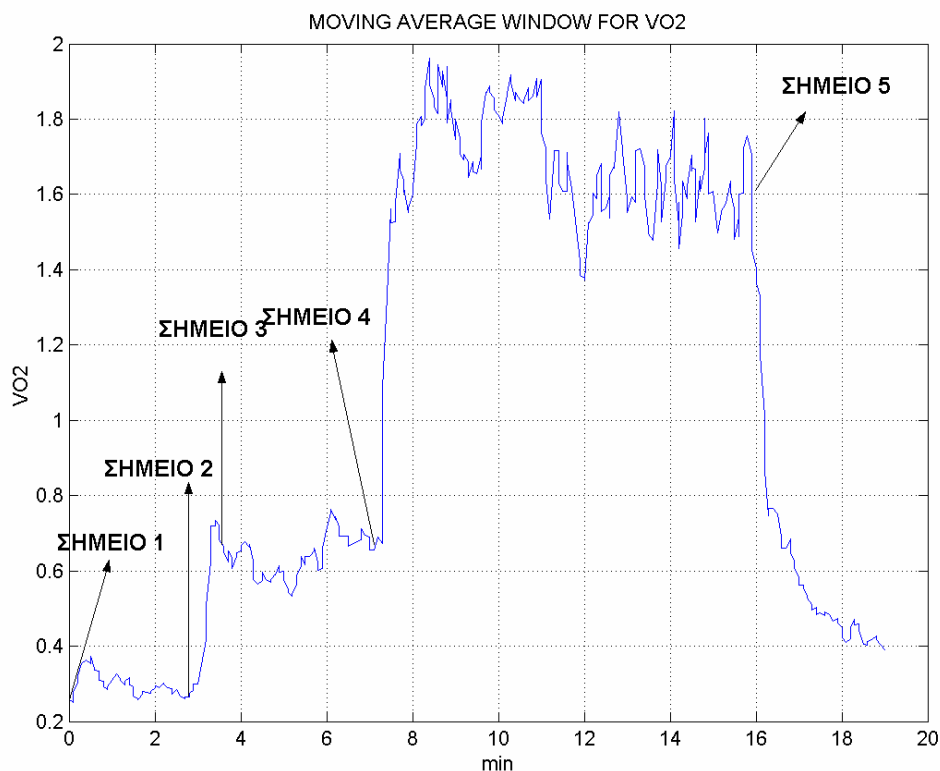
Σχήμα 3.3 Το ίδιο σήμα με το σχήμα 3.2 αλλά ομαλοποιημένο (*smoothing*) .

3.3 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

Παραληρώντας το σχήμα 3.4 συνειδητοποιούμε ότι πρέπει να υπολογίσουμε ορισμένα χρονικά σημεία στο σήμα διότι αυτά θα καθορίσουν τα δεδομένα που θα προσπαθήσουμε να προσεγγίσουμε με μια συνάρτηση.

Επί παραδείγματι στο σχήμα 3.4 πρέπει να υπολογίσουμε αυτά τα 5 σημεία διότι από τα σημεία 2 έως 4 θα προσεγγίσουμε την πρώτη εκθετική και από τα σημεία 4 έως 5 την δεύτερη εκθετική. Επίσης από τα σημεία 1 έως 4 θα προσεγγίσουμε την πρώτη σιγμοειδή ενώ από τα σημεία 3 έως 5 την δεύτερη σιγμοειδή.

Για να βρούμε αυτά τα σημεία θα χρησιμοποιήσουμε ένα φίλτρο που θα μας δείχνει τα σημεία αυτά.



Σχήμα 3.4 Χρονικά σημεία που μας ενδιαφέρουν σε ένα σήμα

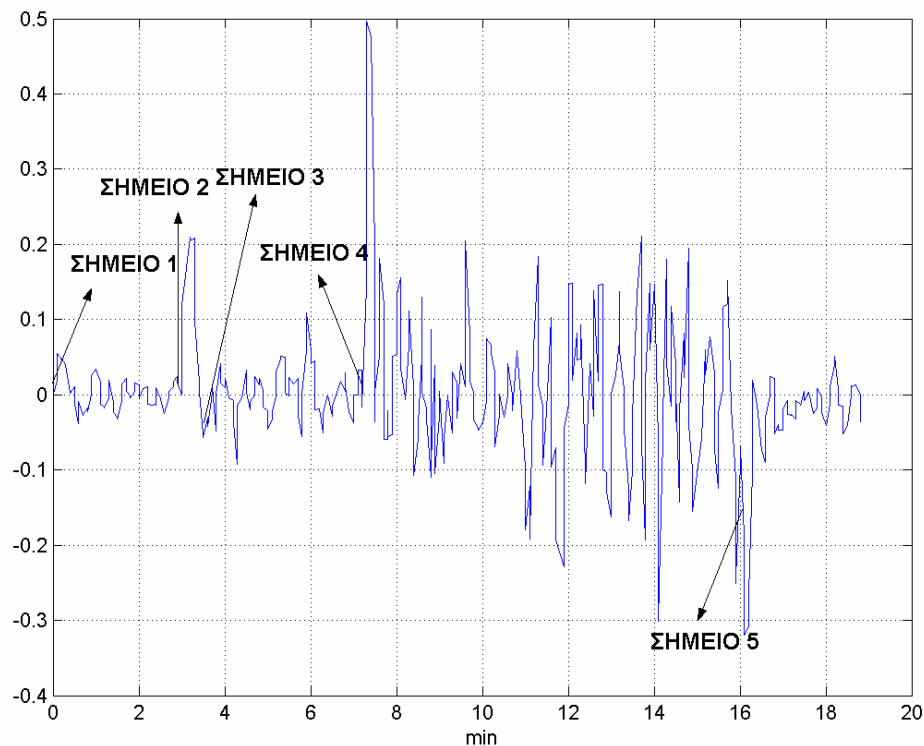
Το φίλτρο αυτό μας δείχνει σε ποιο σημείο του σήματος έχουμε σημαντικές και απότομες αλλαγές στις τιμές του σήματος.

Ουσιαστικά δημιουργούμε ένα καινούργιο σήμα όπου το κάθε ένα σημείο του είναι η διάφορα του επόμενου αντιστοίχου σημείου του αρχικού σήματος μείον το προηγούμενο αντίστοιχο σημείου του αρχικού σήματος. Δηλαδή εάν ονομάσουμε B το καινούργιο σήμα και το αρχικό σήμα είναι το A έχουμε :

$$B(i)=A(i+1)-A(i-1)$$

Το σήμα που προκύπτει φαίνεται στο σχήμα 3.5. Σε αυτό φαίνεται τα χρονικά σημεία που θέλουμε να υπολογίσουμε. Το σημείο 1 είναι η αρχή του σήματος. Τα σημεία 2 και 4 μπορούμε να τα υπολογίσουμε καθώς έχουμε μια απότομη αύξηση του σήματος κι έτσι χρησιμοποιώντας κατώφλια (*thresholds*) μπορούμε να τα υπολογίσουμε ακριβώς. Επίσης στο σημείο 5 έχουμε μια απότομη μείωση οπότε πάλι με ένα κατώφλι μπορούμε να το υπολογίσουμε. Τέλος το σημείο 3 είναι το σημείο που έχει σταθεροποιηθεί το σήμα από την αύξηση (που άρχισε στο σημείο 2) και χρησιμοποιώντας πάλι ένα κατώφλι μπορούμε να το υπολογίσουμε.

Έτσι λοιπόν υπολογίζουμε τα σημεία που θα μας χρειαστούν για να κάνουμε τις προσεγγίσεις.



Σχήμα 3.5 Το σήμα που μας δείχνει τα σημεία που μας ενδιαφέρουνε.

3.4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε αυτό το στάδιο πρέπει να προσεγγίσουμε τα επεξεργασμένα δεδομένα μας στις δυο συναρτήσεις, την εκθετική και την σιγμοειδή. Αρχικά θα αναφερθούμε για την εκθετική και στην συνέχεια για την σιγμοειδή.

3.4.1 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3.4.1.1 ΑΡΧΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Θέλουμε λοιπόν να προσεγγίσουμε τα δεδομένα μας σε μια εκθετική συνάρτηση .Δηλαδή θέλουμε ουσιαστικά να βρούμε τους συντελεστές της εκθετικής οι οποίοι θα προσεγγίζουν καλύτερα τα δεδομένα μας .Με άλλα λόγια θα πρέπει να βρούμε ποιοι συντελεστές της εκθετικής ελαχιστοποιούν την διάφορα ανάμεσα στα δεδομένα μας και την εκθετική συνάντηση .Δηλαδή ψάχνουμε το εξής :

$$\min \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (F(x, \theta(i)) - y(i))^2 \quad (3.1)$$

όπου τα $ydata$ και $xdata$ είναι τα δεδομένα μας F είναι η εκθετική συνάρτηση με συντελεστές το διάνυσμα x , ενώ N είναι το πλήθος των δεδομένων .

Επομένως αναζητάμε τους συντελεστές στην εξίσωση (3.1) ,οι οποίοι θα ελαχιστοποιήσουν την διάφορα αυτή .

Τους συντελεστές αυτούς μπορούμε να τους βρούμε χρησιμοποιώντας μια εντολή σε MATLAB , την εντολή *lsqcurvefit* , η οποία εντολή παίρνει ως ορίσματα την συνάρτηση που θα προσεγγίσει τα δεδομένα μας (εδώ η εκθετική συνάρτηση) ,τα δεδομένα μας ($xdata$ και $ydata$) και μια αρχική εκτίμηση των συντελεστών ($x0$) και επιστρέφει τους συντελεστές της εκθετικής .Δηλαδή :

$$x = lsqcurvefit(F, x0, xdata, ydata) \quad (3.2)$$

Ας δούμε τώρα με ποιο τρόπο αυτή η εντολή λύνει την εξίσωση (3.1).Αυτή λοιπόν η εντολή χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο εμπιστευόμενου πεδίου(trust region method) που στηρίζεται στη μέθοδο *Newton* .

3.4.1.1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ Η ΕΝΤΟΛΗ ΤΟΥ MATLAB *lsqcurvefit*

Newton method

Έχουμε λοιπόν τα δεδομένα μας (έστω y , x) και θέλουμε να τα προσεγγίσουμε σε μια συνάρτηση f .Δηλαδή έχουμε :

$$\min h(\theta) = \sum_{i=1}^N [y(i) - f(x(i), \theta)]^2 \quad (3.3)$$

Άρα ψάχνουμε το διάνυσμα θ το οποίο θα ελαχιστοποιήσει την συνάρτηση $h(\theta)$.

Μια από τις πιο απλές μορφές συναρτήσεων που μπορούν να δώσουν το ελάχιστο θ είναι η δεύτερου βαθμού συνάρτηση :

$$q(\theta) = \alpha + \beta' \theta + 1/2 \theta' G \theta \quad (3.4)$$

Επίσης προκύπτουν από την 3.4 οι εξής πίνακες :

α) gradient πίνακας ,όπου είναι οι πρώτοι παραγωγοί του h

$$g(\theta) = dh(\theta)/d\theta \quad (3.5)$$

β) Hessian πίνακας στο θ ,όπου είναι οι δεύτεροι παράγωγοι :

$$H(\theta) = d^2 h(\theta) / d\theta_i * d\theta_j \quad (3.6)$$

Η μέθοδος του Newton είναι επαναληπτική μέθοδος δηλαδή βρίσκει καινούργια $\theta^{(\alpha+1)}$ τα οποία ελαχιστοποιούν την εξίσωση (3.3) περισσότερο από το προηγούμενο $\theta^{(\alpha)}$.

Στη γεωμετρική μορφή αυτά τα θ μπορούν να θεωρηθούν ως συνεχόμενα σημεία που έχουν πορεία προς την τιμή εκείνη του θ που δίνει την ελάχιστη τιμή στην συνάρτηση (3.3). Άρα κάθε σημείο απέχει από το προηγούμενο μια συγκεκριμένη απόσταση σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση .Άρα έχουμε :

$$\theta^{(\alpha+1)} = \theta^{(\alpha)} + \delta^{(\alpha)} \quad (3.7)$$

Ενώ το δ είναι μεταβλητή που εμπεριέχει την απόσταση του $\theta^{(\alpha+1)}$ από το $\theta^{(\alpha)}$ καθώς και την διεύθυνση της απόστασης αυτής και μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$\delta^{(\alpha)} = p^{(\alpha)} * d^{(\alpha)} \quad (3.8)$$

Όπου d ονομάζεται η κατεύθυνση του βήματος και p το μήκος βήματος . Η τιμή p επιλέγεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί την γραμμή $\theta^{(\alpha)} + p^{(\alpha)} * d^{(\alpha)}$,διαδικασία γνωστή ως ψάξιμο γραμμής .Όσον αφορά την κατεύθυνση ,αυτή θα πρέπει σε κάθε βήμα να έχει πορεία προς την πιο καλύτερη λύση θ η οποία θα ελαχιστοποιεί το $h(\theta)$.Για την κατεύθυνση d ισχύει :

$$g^{(\alpha)'} d = \frac{d}{dp} h(\theta^{(\alpha)} + p * d) |_{p=0} < 0 \quad (3.9)$$

Και με Taylor expansion έχουμε :

$$h(\theta^{(\alpha)} + p * d) \approx h(\theta^{(\alpha)}) + p * g^{(\alpha)'} * d + O(p^2) \quad (3.10)$$

Και επειδή η κατεύθυνση d μπορεί να γράφει ως $d = - R * g$, όπου R ένας θετικός πεπερασμένος πίνακας ,έχουμε

$$\theta^{(\alpha+1)} = \theta^{(\alpha)} - p^{(\alpha)} * R^{(\alpha)} * g^{(\alpha)} \quad (3.11)$$

Ενώ από την δεύτερου βαθμού συνάρτηση (σχέση 3.6) και τους πίνακες gradient και Hessian (σχέσεις 3.4, 3.5) μετά από πράξεις μπορούμε να καταλήξουμε στη σχέση :

$$\delta^{(a)} = - H^{(a)-1} * g^{(a)} \quad (\text{Newton Method}) \quad (3.12)$$

και η σχέση 3.7 γίνεται :

$$\theta^{(a+1)} = \theta^{(a)} + - H^{(a)-1} * g^{(a)} \quad (3.13)$$

Έτσι λοιπόν περιληπτικά βρίσκουμε το θ το οποίο θα μας ελαχιστοποιήσει την συνάρτηση $h(\theta)$. (Περιεχόμενα , νούμερο 6 , σελ. 132)

trust region method

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιήσει μια συνάρτηση $h(x)$ αλλά βασίζεται σε ένα αλγόριθμο εύρεσης της ελαχιστοποίησης (στη συγκεκριμένη περίπτωση η μέθοδος του Newton) .Αυτή η μέθοδος ουσιαστικά αντικαθιστά την συνάρτηση $h(x)$ με μια συνάρτηση $g(x)$ η οποία αντανακλά την συμπεριφορά της $h(x)$ σε μια περιοχή N γύρω από το σημείο x .Αυτή η περιοχή ονομάζεται trust region , ενώ το υποπρόβλημα είναι

$$\min \{ q(s) \mid s \in N \} \quad (3.14)$$

Άρα το καινούργιο σημείο $x+s$ θα αντικαταστήσει το σημείο x εάν $h(x+s) < h(x)$
 Άρα υπολογίζοντας με μια σειρά από πράξεις την περιοχή αυτήν (trust region) αλλά και την συνάρτηση αντικατάστασης μπορούμε να βρούμε ευκολότερα το x το οποίο θα ελαχιστοποιήσει την συνάρτηση $h(x)$.

Επομένως με την εντολή αυτή του MATLAB την lsqcurvefit καταφέρνουμε να υπολογίσουμε τους συντελεστές της συγκεκριμένης εκθετικής συνάρτησης η οποία προσεγγίζει μέγιστα τα δεδομένα μας .

3.4.1.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΒΑΡΗ

Η προηγούμενη μέθοδος προσεγγίζει την εκθετική συνάρτηση επάνω στα δεδομένα μας .Για να έχουμε ακόμη καλύτερη προσέγγιση μπορούμε να αντιστοιχίσουμε στα δεδομένα μας βάρη τα οποία θα δείχνουν πόσο διαφέρουν τα δεδομένα μας από τις αντίστοιχες τιμές της αρχικής εκθετικής προσέγγισης(που προκύπτει από τη μέθοδο Newton) .Εάν οι διάφορες αυτές είναι αρκετά μεγάλες τότε αυτά τα δεδομένα δεν θα επηρεάσουν την εκθετική προσέγγιση που επιδιώκουμε .Έτσι λοιπόν κατά αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να έχουμε ακόμη καλύτερη προσέγγιση των δεδομένων.

Η μέθοδος αυτή υλοποιείται από μια εντολή του MATLAB ,την εντολή *robustfit* η οποία απευθύνεται σε γραμμικές συναρτήσεις και όχι σε εκθετικές .Για αυτό λοιπόν προσαρμόζοντας τη στην εκθετική συνάρτηση περνούμε τα αποτελέσματα που θέλουμε .

Αρχικά θα δείξουμε τον αλγόριθμο προσέγγισης δεδομένων με βάση τα βάρη για την γραμμική συνάρτηση και στην συνέχεια θα δείξουμε της αλλαγές για να προσαρμοστεί στην εκθετική συνάρτηση .

3.4.1.2.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΟΛΗΣ ROBUSTFIT ΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ

Αυτός ο αλγόριθμος απευθύνεται σε προσεγγίσεις από γραμμικές συναρτήσεις $Y=X*B$ και μας δίνει μια προσέγγιση που στηρίζεται λιγότερα στα δεδομένα που παρεκκλίνουν πολύ από την αρχική λύση που προκύπτει από τα ελάχιστα τετράγωνα .

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής : Μόλις εφαρμοστεί ο αλγόριθμος βρίσκει αρχικά τον συντελεστή B που προκύπτει με την εφαρμογή των ελάχιστων τετραγώνων. Στη συνέχεια ξεκινάει ο βρόγχος (loop) κατά τον οποίο υπολογίζεται η διαφορά (residuals) $r=Y1-XB$.

Η διάφορα αυτή στέλνεται σε μια συνάρτηση ***madsigma*** η οποία απορρίπτει τις διαφορές που ξεπερνάνε ένα καθορισμένο όριο (έτσι απαλλάσσεται από την ανάμειξη των OUTLIERS). Μετά τα αποτελέσματα της

madsigma στέλνονται σε μια συνάρτηση για τον υπολογισμό των βαρών(default είναι η συνάρτηση ***bisquare*** : $w = (abs(r)<1) .* (1 - r.^2).^2$).Στη συνέχεια τα βάρη αυτά στέλνονται σε μια συνάρτηση ***wfit*** στην οποία τα βάρη πολλαπλασιάζονται με τα δεδομένα Y και X και με τα καινούργια αποτελέσματα YW και XW βρίσκουμε τους καινούργιους συντελεστές πάλι με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων. Μετά από αυτό ξαναγυρνάμε στην αρχή του loop και ακολουθούνται τα ίδια βήματα έως ότου να μην μεταβάλλονται πια οι συντελεστές .Άρα σε αυτό το σημείο έχουμε φτάσει στην καλύτερη λύση .

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

```
% Βρίσκουμε αρχικά το διάνυσμα B σύμφωνα με την μέθοδο των ελάχιστων
%τετράγωνων
[n ,p] =size(X)
p=p+1
X=[ ones (n,1) X]
[Q,R]=qr (X,0)
b= R/(Q' *y)
```

```

% ξεκινάει ο βρόγχος (loop )
while( b_i ≠ b_{i+1})
(
    %Βρίσκουμε διαφορές (residuals)
    r= y- X*b
    s=madsigma(r,p)    % απαλλάσσει από τα outliers
    if (s==0),s=1; end

    % υπολογίζουμε τα βάρη σύμφωνα με την συνάρτηση bisquare και τα residuals
    w=feval (bisquare, r )
    b0=b
    b= wfit (y,X,w)    % πολλαπλασιάζουμε τα X και y το w και προκύπτουν καινούργια
                        δεδομένα που με τα ελάχιστα τετράγωνα βρίσκουμε το νέο b
)
end

% Η συνάρτηση madsigma η οποία απομακρύνει τα outliers
madsigma( r,p)
(
    m=median (r)
    rs=sort(abs(r-m))
    s=median (rs(p:end))/0.6745
    if (s==0) ,s= 5*mean (rs) end
)

wfit (y,x,w) % Συνάρτηση υπολογισμού νέων δεδομένων και νέων συντελεστών
(
    sw=sqrt(w)
    [ r,c]=size(x)
    yw = y*sw    % νέα δεδομένα σύμφωνα με τα βάρη
    xw =x *sw
    [Q,R]=qr (xw,0) % ελάχιστα τετράγωνα για νέα δεδομένα
    b= R/(Q' *yw)
)
% Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των βαρών
bisquare (r)
(
    w (r) = (abs(r)<1) .* (1 - r^2)^2
)

```

Άρα με αυτόν τον αλγόριθμο καταφέρνουμε να υπολογίσουμε τους κατάλληλους συντελεστές για την γραμμική προσέγγιση.

3.4.1.2.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΟΛΗΣ ROBUSTFIT ΓΙΑ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

Τώρα θα πρέπει να προσαρμόσουμε τον παραπάνω αλγόριθμο στην εκθετική συνάρτηση και όχι στην γραμμική.

Ο αλγόριθμος βασικά παραμένει ο ίδιος μόνο βέβαια που αλλάζει η συνάρτηση .Δηλαδή έχουμε εκθετική συνάρτηση και τους πρώτους συντελεστές που βρίσκουμε με την μέθοδο ελάχιστων τετράγωνων (από την εντολή του MATLAB `lsqcurvefit` όπως φαίνεται παραπάνω).Επίσης όταν βρίσκουμε τα καινούργια δεδομένα δεν αλλάζουμε τα δεδομένα του Y .

Ας δούμε τώρα την μαθηματική μορφή του αλγόριθμου .

Έχουμε τα δεδομένα y και x και την συνάρτηση $f(x)=a1*(1-exp(-x/a2))$.
Θέλουμε να βρούμε τους συντελεστές λοιπόν $a1$ και $a2$ που θα προσεγγίσουν τα δεδομένα μας μέγιστα .Μια αρχική τιμή των συντελεστών μας δίνει η εντολή `lsqcurvefit`

$[a1,a2]_{αρχ} = lsqcurvefit(f, x0, x, y)$, όπου $x0$ μια αρχική εκτίμηση

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις διαφορές της $f(x,a1,a2)$ με τα δεδομένα y

$R(i) = y(i) - f(i)$, όπου R είναι ο πίνακας των διαφορών

Κατόπιν αυτό υπολογίζουμε την μέση τιμή του R και αν υπάρχει $R(i)$ πολύ μεγάλο το αντικαθιστούμε με τη μέση τιμή του R

$mean = 1/N * \sum_{i=1}^N R(i)$, όπου N το πλήθος των δεδομένων
 $m = mean(R)$, μέση τιμή των διαφορών R
 if ($R(i) >> m$)
 $R(i) = m$

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το R ως μεταβλητή στην συνάρτηση `bisquare`

$bisquare(R) = (abs(R) < 1) .* (1 - R^2)^2$

Και το αποτέλεσμα το πολλαπλασιάζουμε το x

$xw = x * bisquare(R)$

Και στα καινούργια δεδομένα ακολουθείται η ίδια διαδικασία και στα τέλος θα καταλήξουμε στην τελική συνάρτηση f με συντελεστές $[a1,a2]_{τελ}$

Ακολουθεί ο αλγόριθμος .

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

```
% Βρίσκουμε αρχικά το διάνυσμα B σύμφωνα με την μέθοδο των ελάχιστων
% τετράγωνων
[n ,p] = size(X)
```

```

p=p+1
X=[ ones (n,1) X]
X0=[ a1,a2 ] %Αρχικές συνθήκες
b = lsqcurvefit (exponential_func , X0,X , y) %βρίσκουμε συντελεστές με lsqcurvefit

% ξεκινάει ο βρόγχος (loop )
while( b_i ≠ b_{i+1})
(
    %Βρίσκουμε διαφορές (residuals)
    r= y- X*b
    s=madsima(r,p) % απαλλάσσει από τα outliers
    if (s==0),s=1; end

    % υπολογίζουμε τα βάρη σύμφωνα με την συνάρτηση bisquare και τα residuals
    w=feval (bisquare, r )
    b0=b
    b= wfit (y,X,w) % πολλαπλασιάζουμε τα X και y το w και προκύπτουν καινούργια
    % δεδομένα που με τα ελάχιστα τετράγωνα βρίσκουμε το νέο b
)
end

% Η συνάρτηση madsigma η οποία απομακρύνει τα outliers
madsigma( r,p)
(
    m=median (r)
    rs=sort(abs(r-m))
    s=median (rs(p:end))/0.6745
    if (s==0) ,s= 5*mean (rs) end
)

wfit (y,x,w) % Συνάρτηση υπολογισμού νέων δεδομένων και νέων συντελεστών
(
    sw=sqrt(w)
    [ r,c]=size(x)
    yw = y*sw % νέα δεδομένα σύμφωνα με τα βάρη
    xw =x *sw
    b = lsqcurvefit (exponential_func , X0,xw , y) %βρίσκουμε συντελεστές με lsqcurvefit
)
% Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των βαρών
bisquare (r)
(
    w (r) = (abs(r)<1) .* (1 - r^2)^2
)

```

Άρα ακολουθώντας τους παραπάνω μεθόδους μπορούμε να υπολογίσουμε τους συντελεστές της εκθετικής συνάρτησης . Η εκθετική που για να υπενθυμίσουμε την μορφή που την χρησιμοποιούμε είναι :

$$VO_2(t) = A_{APX} + (A_{\Sigma TA\Theta} - A_{APX}) * (1 - \exp(-t / \tau))$$

όπου A_{APX} - η αρχική τιμή της συνάρτησης

$A_{\Sigma TA\Theta}$ - η τιμή σταθεροποίησης

t - η μεταβλητή του χρόνου

τ - ο χρόνος σταθεροποίησης

Επομένως η τιμή σταθεροποίησης και ο χρόνος σταθεροποίησης είναι η συντελεστές που θα υπολογίσουμε με τις παραπάνω μεθόδους κάνοντας τις κατάλληλες προσεγγίσεις .

Τώρα θα δούμε τις διάφορες που υπάρχουν εάν θέλουμε να προσεγγίσουμε τα δεδομένα μας στην σιγμοειδή συνάρτηση .

3.4.2 ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Για την σιγμοειδής προσέγγιση το μόνο που χρειάζεται να αλλάξουμε είναι η συνάρτηση δηλαδή όπου χρησιμοποιούμε την εκθετική συνάρτηση Θα χρησιμοποιούμε την σιγμοειδή .Δηλαδή :

$$SIG(t) = A_{APX} + (A_{\Sigma TA\Theta} - A_{APX}) * (1 / (1 + \exp(-\tau * (t - c))))$$

όπου A_{APX} - η αρχική τιμή της συνάρτησης

$A_{\Sigma TA\Theta}$ - η τιμή σταθεροποίησης

c - σημείο αλλαγής κοίλων

t - η μεταβλητή του χρόνου

τ - ο χρόνος σταθεροποίησης της σιγμοειδής

Επομένως η τιμή σταθεροποίησης , ο χρόνος σταθεροποίησης της σιγμοειδής και το σημείο αλλαγής κοίλων είναι οι συντελεστές που θα υπολογίσουμε με τις παραπάνω μεθόδους κάνοντας τις κατάλληλες προσεγγίσεις .

Άρα για την σιγμοειδή στην προσέγγιση των δεδομένων δεν αλλάζει τίποτα παρά μόνο η συνάρτηση που αντικαθιστά την εκθετική .

Επομένως λοιπόν με την παραπάνω επεξεργασία των δεδομένων και την προσέγγιση (fitting) των δεδομένων αυτών στις δυο συναρτήσεις (εκθετική και σιγμοειδή) μπορούμε να υπολογίσουμε τους συντελεστές οι οποίοι θα μας οδηγήσουν στους ποσοτικούς υπολογισμούς που θέλουμε να κάνουμε οι οποίοι θα μας δείξουν την αναπνευστική κατάσταση των εξεταζόμενων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1.1 ΑΣΚΗΣΗ Α

Η άσκηση Α είναι η εξής :

Αρχικά το σπιρόμετρο είναι συνδεδεμένο με τον εξεταζόμενο σε κατάσταση ηρεμίας .Στη συνέχεια ο εξεταζόμενος αρχίζει να ποδηλατεί σε ένα σταθερό ποδήλατο με ελάχιστη ένταση (1 Watt) . Μετά από χρόνο περίπου 4 λεπτών η ένταση της άσκησης ανεβαίνει στα 120 Watt , όπου και παραμένει για περίπου 10 λεπτά .

Από το σπιρόμετρο παίρνονται οι μετρήσεις του όγκου του οξυγόνου που εισπνέει ο εξεταζόμενος και όγκος του διοξειδίου του άνθρακα που εκπνέει .Επίσης μετράμε και τους παλμούς της καρδιάς του εξεταζομένου. Τέλος υπολογίζεται και η τιμή VO_2/HR που είναι η τιμή του όγκου του οξυγόνου δια την τιμή των παλμών της καρδιάς .

Τα αποτελέσματα που μετράμε είναι :

α) η διάφορα της τιμής (όγκος οξυγόνου ή διοξειδίου του άνθρακα ή παλμών της καρδιάς ή VO_2/HR) από όταν συμβαίνει η αλλαγής της έντασης της άσκησης μέχρι την επόμενη αλλαγή της έντασης : ΔA

β) η τιμή σταθεροποίησης η οποία αντιστοιχεί στην εκθετική συνάρτηση που προσεγγίζει τα δεδομένα : τ

γ) το έλλειμμα οξυγόνου (μόνο για το οξυγόνο) : $DEF\ O_2$

δ) το απόλυτο σφάλμα μέσης τιμής το οποίο δείχνει πόσο καλή προσέγγιση έχουν κάνει οι συναρτήσεις : R

$$\text{όπου } R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{f} - f(i))^2}{n(n-1)}} , \quad \text{απόλυτο σφάλμα μέσης τιμής}$$

Επίσης να πούμε ότι στην γραφικές παραστάσεις με την σιγμοειδή προσέγγιση , η κάθε σιγμοειδής συνάρτησης ξεκινάει με ένα σχήμα (κύκλος ,ρόμβος κ.τ.λ.) και τελειώνει με το ίδιο σχήμα .

Ακολουθούν τα αποτελέσματα από τους οχτώ εξεταζομένους .

R = απόλυτο σφάλμα μέσης τιμής

τ = χρόνος σταθεροποίησης (σε λεπτά)

τ_{equal} = ο αντίστοιχος χρόνος σταθεροποίησης που προκύπτει από τους συντελεστές της σιγμοειδής

ΔA = διαφορά τιμής σταθεροποίησης με αρχική τιμή ($A_{ΣΤΑΘ.} - A_{ΑΡΧ.}$)

$DEF O_2$ = έλλειμμα οξυγόνου

$WATT$ = ένταση άσκησης

1) 1^{ος} εξεταζόμενος

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0192	0.1155	0.3447	0.0398	1
	VCO ₂	0.0197	0.0830	0.2471		1
	HR	2.3358	0.4298	13.6952		1
	VO ₂ /HR	0.2878	0.1401	3.3252		1

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0100	0.1986	0.3858	0.0766	1
	VCO ₂	0.0094	0.2031	0.2881		1
	HR	1.2502	0.2537	14.1798		1
	VO ₂ /HR	0.1294	0.2037	2.7413		1

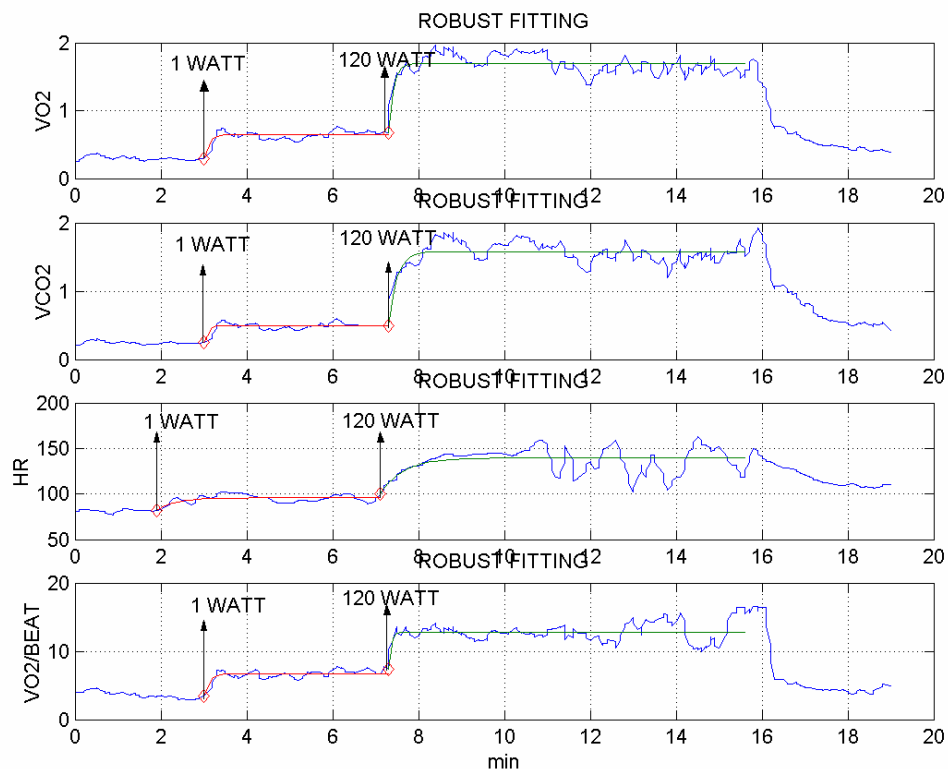
ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

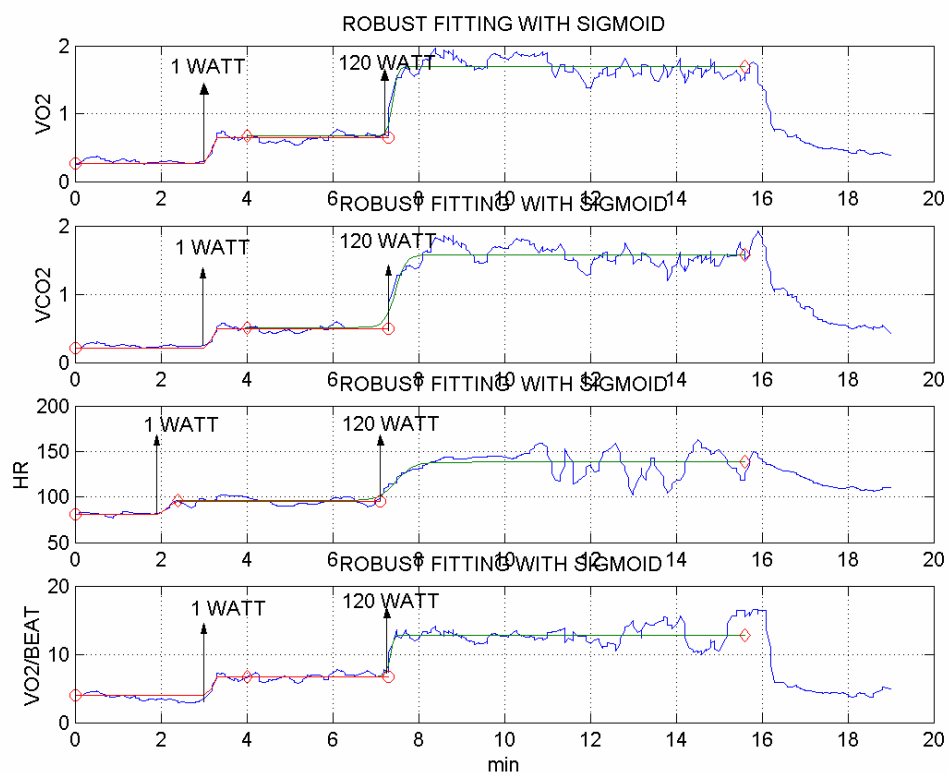
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0113	0.1127	1.0220	0.1151	120
	VCO ₂	0.0119	0.1947	1.0924		120
	HR	1.2907	0.5401	39.5605		120
	VO ₂ /HR	0.1379	0.0531	5.4110		120

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0077	0.0938	0.9897	0.0938	120
	VCO ₂	0.0079	0.1593	0.9552		120
	HR	0.6423	0.3755	36.7586		120
	VO ₂ /HR	0.0771	0.0387	5.9073		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

2) 2^{ος} εξεταζόμενος

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0955	1.0492	0.2805	0.2746	1
	VCO ₂	0.0931	1.3465	0.2671		1
	HR	4.7413	0.4211	32.1968		1
	VO ₂ /HR	1.1343	0.5056	1.8541		1

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0344	0.9064	0.3202	0.2902	1
	VCO ₂	0.0363	1.2604	0.2593		1
	HR	2.1078	0.4394	14.7351		1
	VO ₂ /HR	0.4258	0.5467	1.8011		1

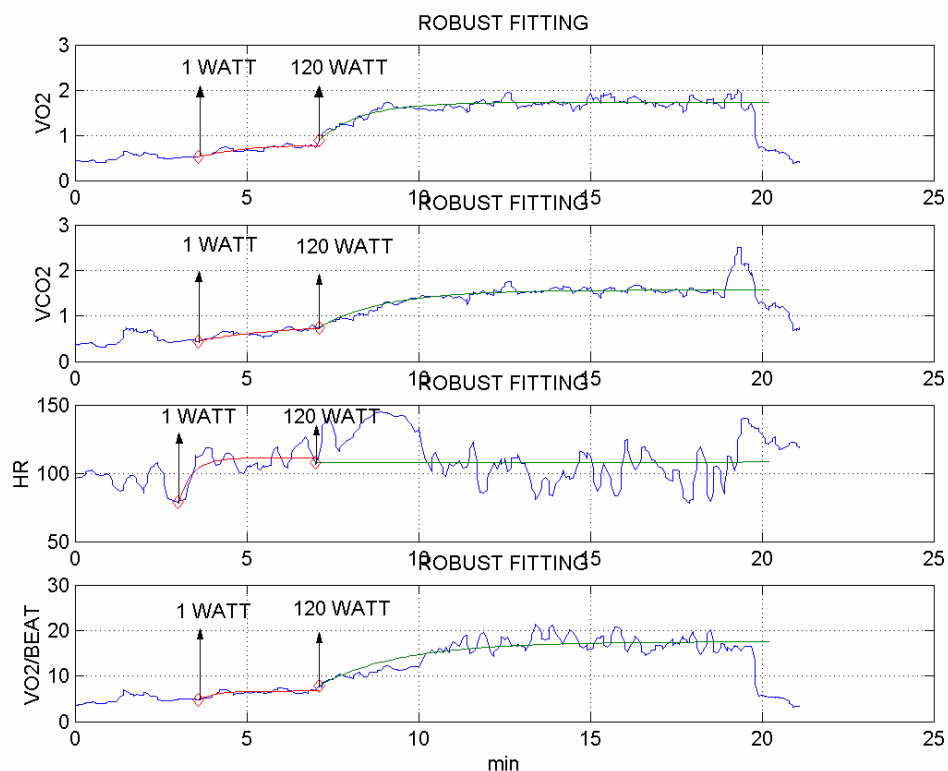
ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

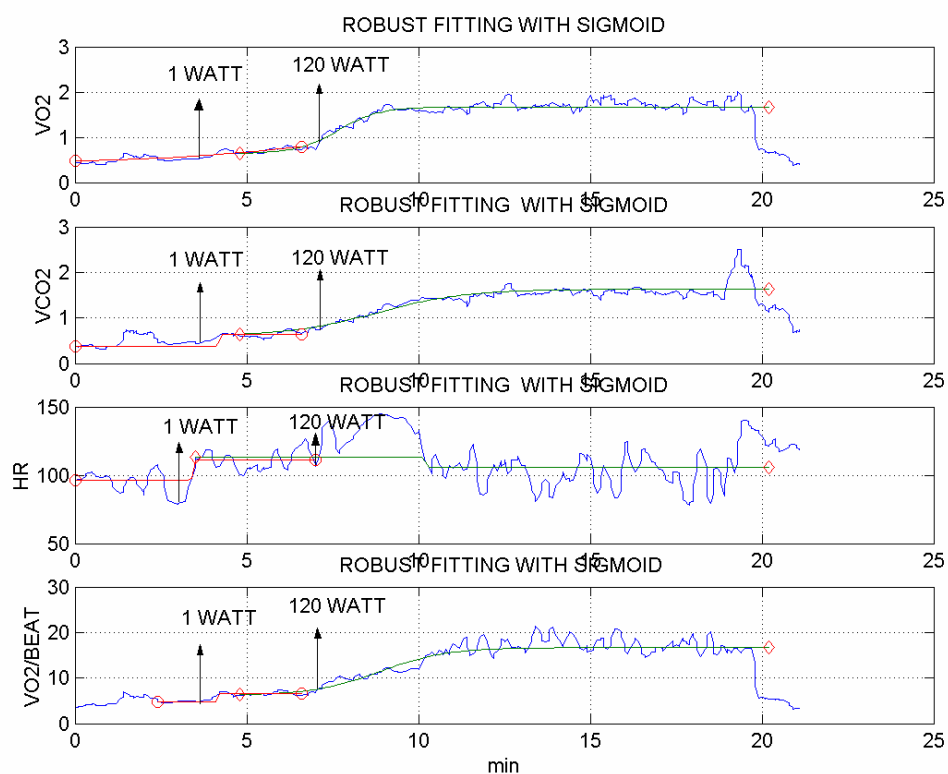
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0204	1.2491	0.8450	1.0555	120
	VCO ₂	0.0198	1.9253	0.8219		120
	HR	1.4110	0	0		120
	VO ₂ /HR	0.2460	2.3729	9.7075		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0132	1.0756	0.9209	0.9905	120
	VCO ₂	0.0127	1.7134	0.8937		120
	HR	0.9510	0	0		120
	VO ₂ /HR	0.1612	1.8011	9.7368		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3) 3^{ος} εξεταζόμενος

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
EXP	VO ₂	0.0322	0.2802	0.2515	0.0705	1
	VCO ₂	0.0449	2.1481	0.2915		1
	HR	0.6649	0.0018	5.5318		1
	VO ₂ /HR	0.2898	0.3044	2.1202		1

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
SIG	VO ₂	0.0220	0.4176	0.1944	0.0818	1
	VCO ₂	0.0269	2.2513	0.2116		1
	HR	0.6150	0	0		1
	VO ₂ /HR	0.2035	0.4577	1.4311		1

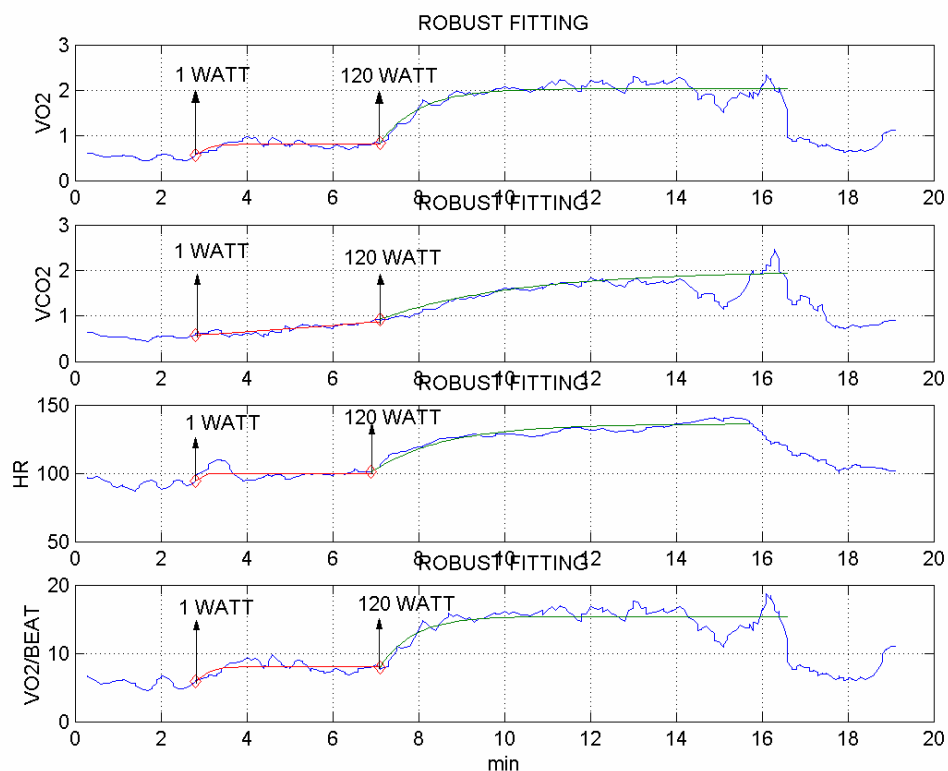
ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

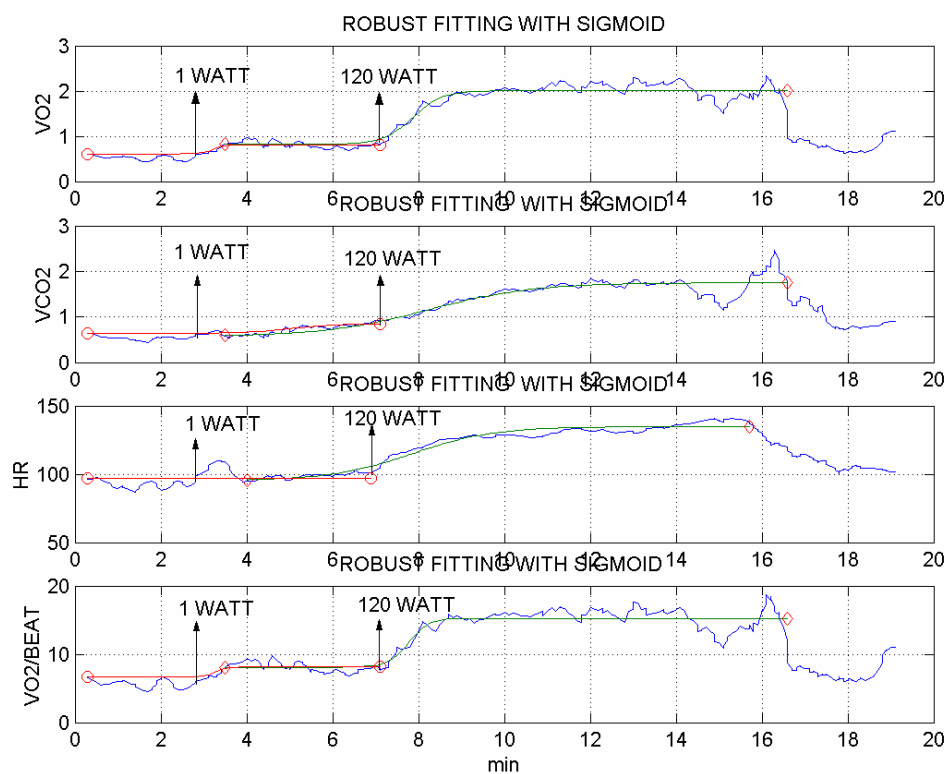
		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
EXP	VO ₂	0.0156	0.9302	1.2047	1.1206	120
	VCO ₂	0.0213	3.1551	1.0635		120
	HR	0.2770	1.7006	35.3433		120
	VO ₂ /HR	0.1387	0.7823	7.4800		120

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
SIG	VO ₂	0.0115	0.7616	1.1873	0.8333	120
	VCO ₂	0.0138	2.1450	0.8708		120
	HR	0.2386	0.9549	31.2278		120
	VO ₂ /HR	0.1014	0.6661	6.9112		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

4) 4^{ος} εξεταζόμενος

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
EXP	VO ₂	0.0249	0.2800	0.2007	0.0562	1
	VCO ₂	0.0317	0.4914	0.0993		1
	HR	0.6914	0.0793	5.8556		1
	VO ₂ /HR	0.2210	0.3285	1.3366		1

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
SIG	VO ₂	0.0100	0.3840	0.1694	0.0655	1
	VCO ₂	0.0070	0.4981	0.1119		1
	HR	0.6583	0	0		1
	VO ₂ /HR	0.0719	0.3674	1.0495		1

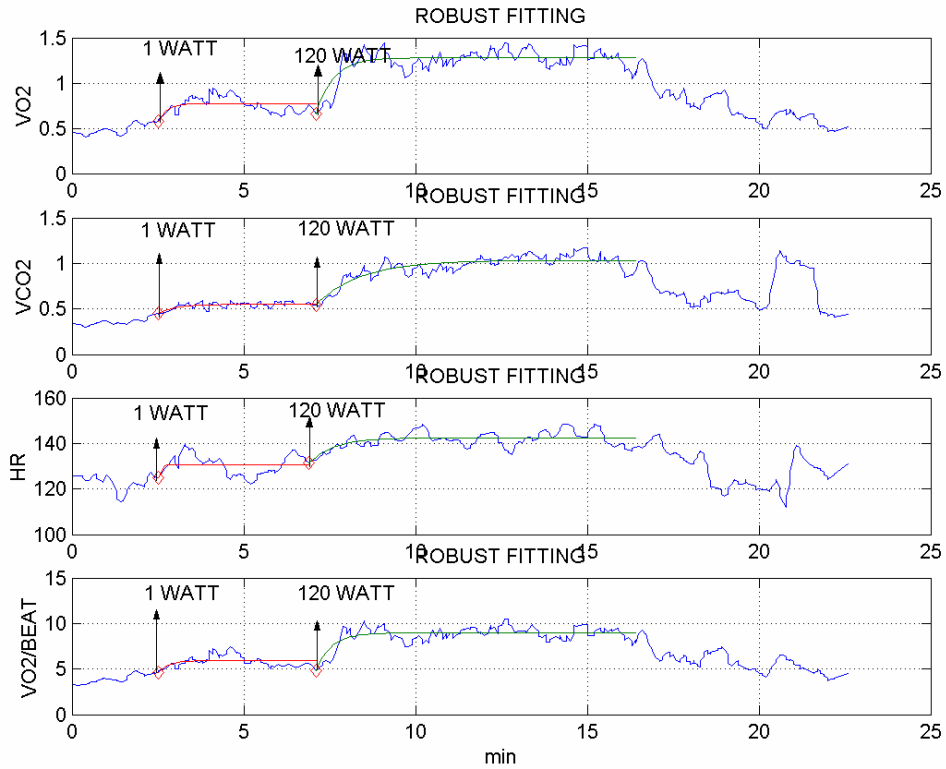
ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

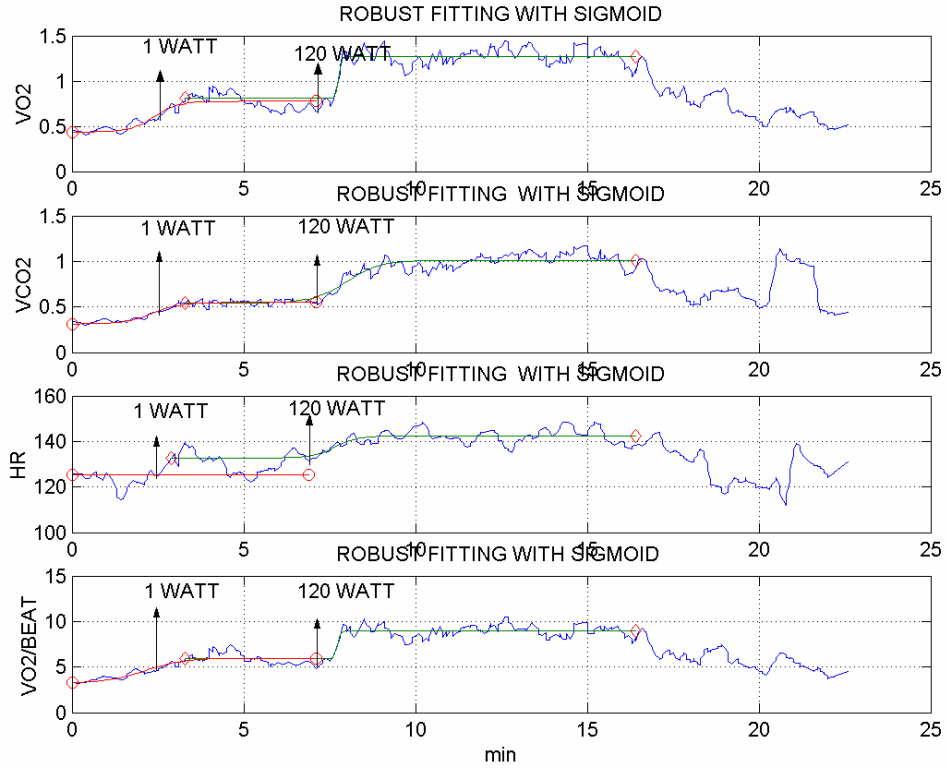
		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
EXP	VO ₂	0.0138	0.5048	0.6246	0.3153	120
	VCO ₂	0.0172	1.3030	0.4903		120
	HR	0.2669	0.7387	11.2331		120
	VO ₂ /HR	0.1205	0.4501	4.1335		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
SIG	VO ₂	0.0062	0.4660	0.4665	0.2174	120
	VCO ₂	0.0045	0.9055	0.4691		120
	HR	0.2594	0.7672	9.6493		120
	VO ₂ /HR	0.0045	0.6246	3.0231		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

5) 5^{ος} εξεταζόμενος

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0139	0.5535	0.2121	0.1174	1
	VCO ₂	0.0100	0.5837	0.1667		1
	HR	1.7106	0.0017	11.3279		1
	VO ₂ /HR	0.1506	0.5335	2.2590		1

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0072	0.6227	0.1770	0.1105	1
	VCO ₂	0.0051	0.4984	0.1551		1
	HR	0.7244	0.0785	5.8612		1
	VO ₂ /HR	0.0739	0.3552	1.8329		1

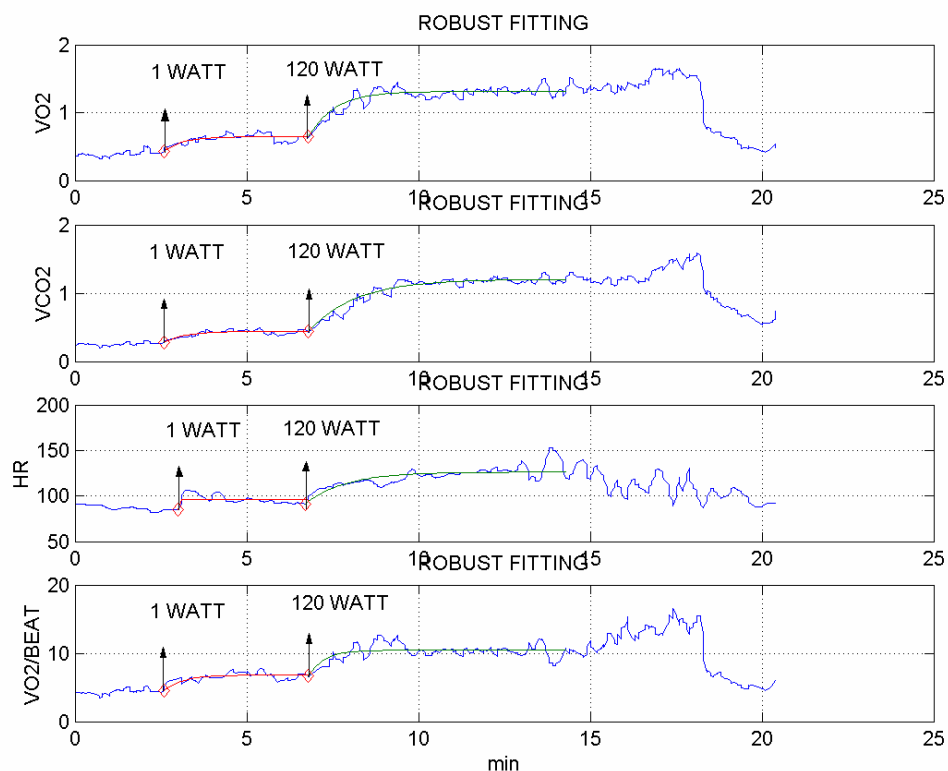
ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

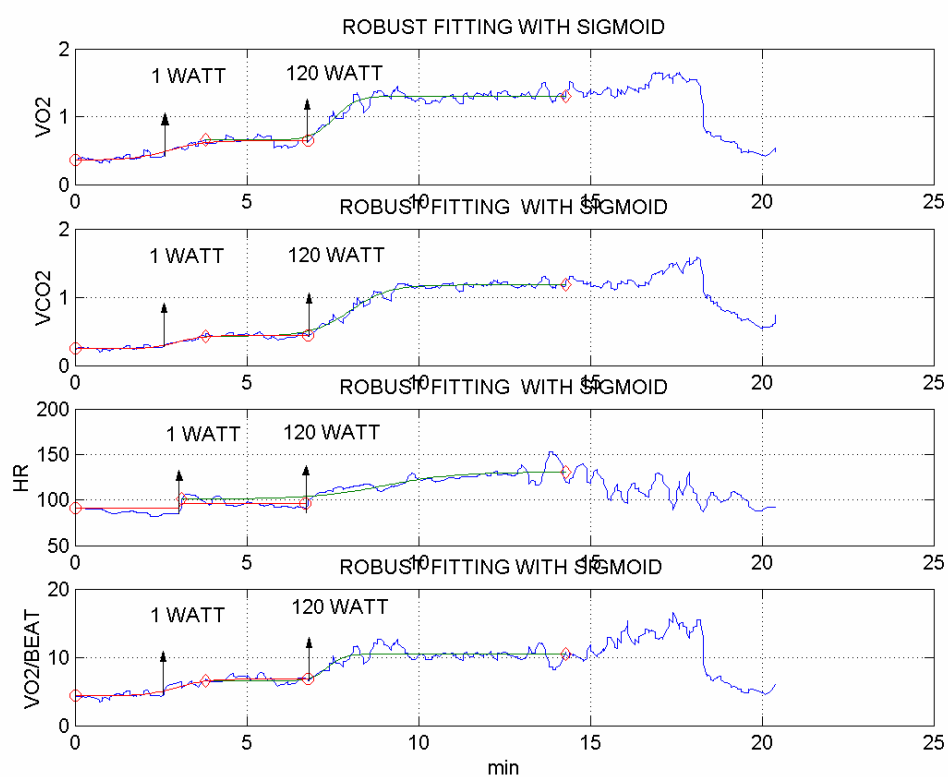
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0079	0.7630	0.6659	0.5088	120
	VCO ₂	0.0065	1.3723	0.7621		120
	HR	0.7875	1.1412	35.4568		120
	VO ₂ /HR	0.0940	0.4606	3.7491		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0056	0.7474	0.6058	0.4528	120
	VCO ₂	0.0040	1.2299	0.6870		120
	HR	0.4835	2.3270	27.1575		120
	VO ₂ /HR	0.0614	0.5520	3.6855		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

6) 6^{ος} εξεταζόμενος :

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0392	0.1493	0.2772	0.0414	1
	VCO ₂	0.0519	0.1087	0.1230		1
	HR	1.9657	0.0038	5.3036		1
	VO ₂ /HR	0.2708	0.1862	2.8082		1

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0248	0.1825	0.1983	0.0362	1
	VCO ₂	0.0320	0.0465	0.1209		1
	HR	1.1282	0.0099	5.7975		1
	VO ₂ /HR	0.1700	0.1504	2.5279		1

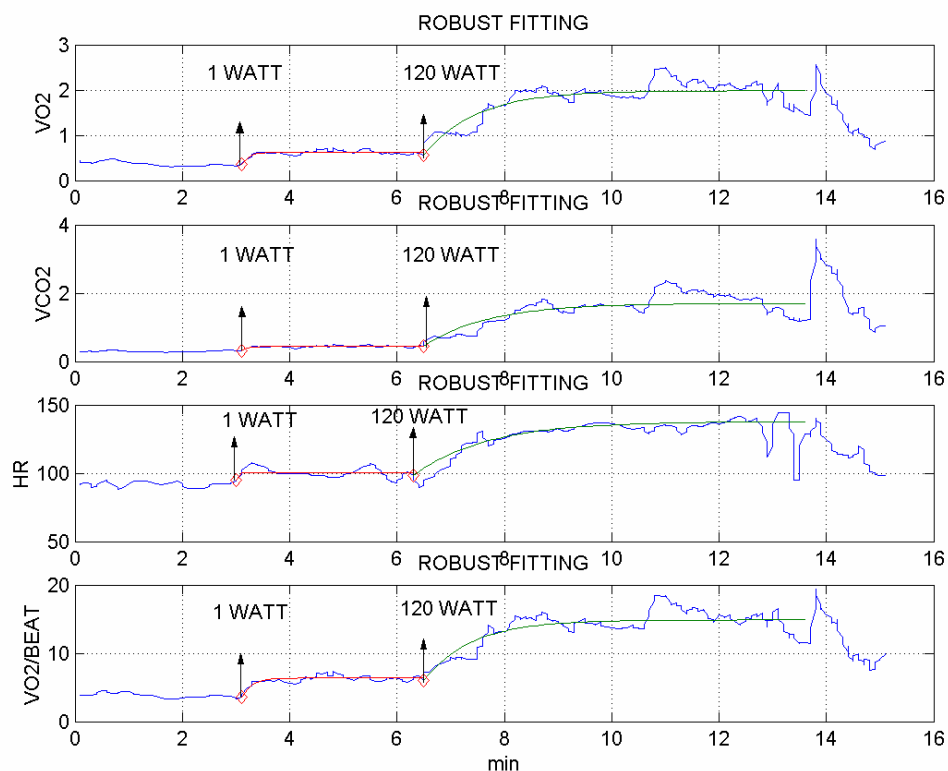
ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0174	0.9743	1.4139	1.3375	120
	VCO ₂	0.0213	1.1987	1.2567		120
	HR	0.6979	1.3589	39.9065		120
	VO ₂ /HR	0.1158	0.8940	8.8082		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0127	0.9976	1.3119	1.3087	120
	VCO ₂	0.0159	1.1520	1.2377		120
	HR	0.5133	0.9969	29.7642		120
	VO ₂ /HR	0.0864	0.9315	8.2436		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

7) 7^{ος} εξεταζόμενος

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
EXP	VO ₂	0.0199	0.0210	0.1150	0.0020	1
	VCO ₂	0.0191	0.0594	0.0895		1
	HR	3.5927	0.0018	2.2029		1
	VO ₂ /HR	0.4215	0.0364	1.0741		1

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
SIG	VO ₂	0.0061	0.0131	0.0921	0.0012	1
	VCO ₂	0.0061	0.0210	0.0757		1
	HR	1.0862	0	0		1
	VO ₂ /HR	0.1096	0.0890	0.8871		1

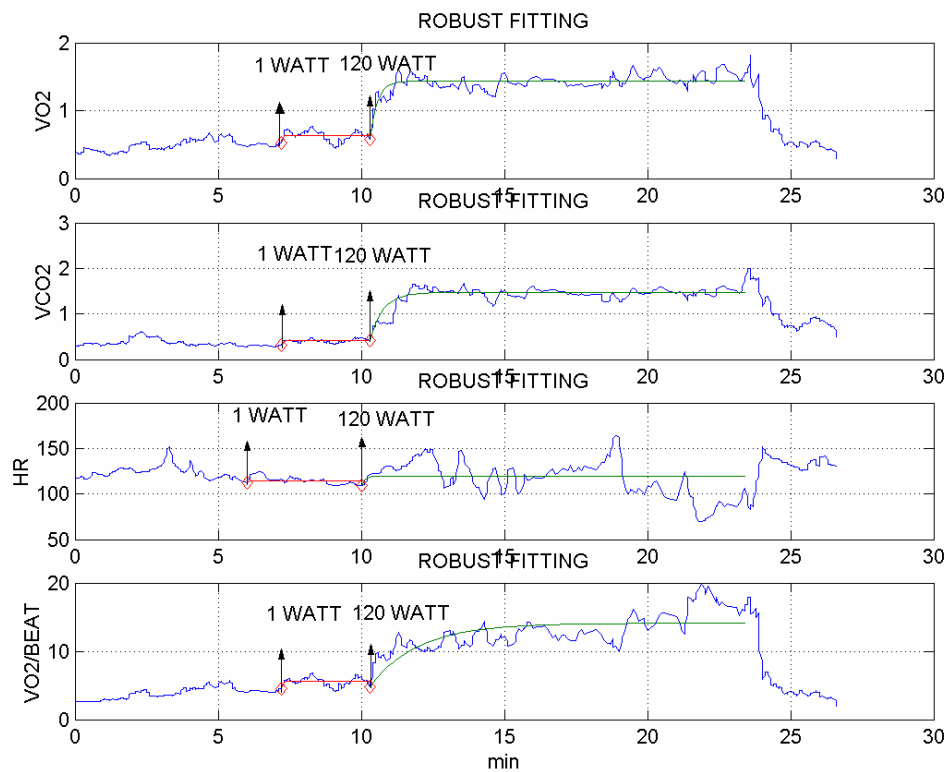
ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

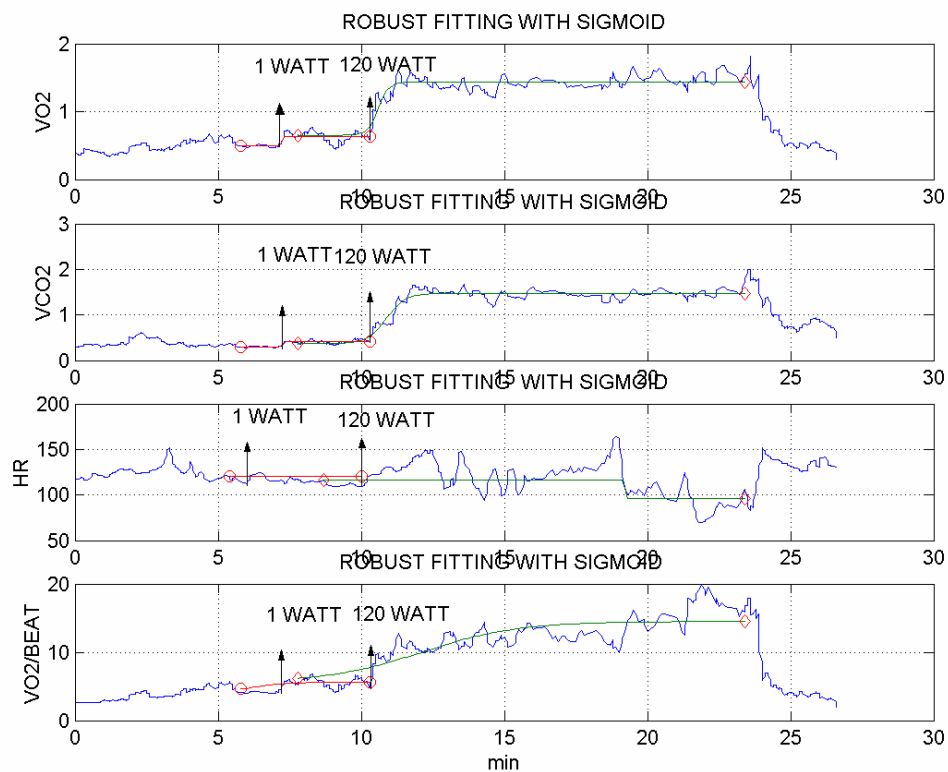
		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
EXP	VO ₂	0.0091	0.2599	0.8632	0.2244	120
	VCO ₂	0.0112	0.4576	1.0546		120
	HR	1.7318	0.1171	10.6383		120
	VO ₂ /HR	0.1938	1.6885	9.2664		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
SIG	VO ₂	0.0062	0.2920	0.7837	0.2288	120
	VCO ₂	0.0053	0.5731	0.9736		120
	HR	0.9445	0	0		120
	VO ₂ /HR	0.0967	1.8460	6.8078		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

8) 8^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 40 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 80 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120, ΣΤΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΞΕΚΟΥΡΑΖΕΤΑΙ ΓΙΑ 17 ΛΕΠΤΑ ΚΑΙ ΑΝΕΒΑΙΝΕΙ ΠΑΛΙ Η ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΑ 120 WATT.)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0254	0.7165	0.6133	0.4394	40
	VCO ₂	0.0193	1.2603	0.6677		40
	HR	1.1313	0.1904	19.2364		40
	VO ₂ /HR	0.2056	0.6093	5.5453		40

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0163	0.5251	0.6216	0.3210	40
	VCO ₂	0.0115	0.8727	0.6642		40
	HR	0.7119	0.3122	27.2955		40
	VO ₂ /HR	0.1264	0.4761	5.7683		40

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0433	0.1706	0.2218	0.0378	80
	VCO ₂	0.0361	0.0352	0.1305		80
	HR	2.7327	0	0		80
	VO ₂ /HR	0.3756	0.9225	1.7737		80

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0206	0.4147	0.2988	0.0350	80
	VCO ₂	0.0173	0.0812	0.1441		80
	HR	1.0542	0.9673	12.2512		80
	VO ₂ /HR	0.1632	0.5920	2.1268		80

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0097	1.0073	0.4375	0.4407	120
	VCO ₂	0.0080	1.2180	0.5565		120
	HR	0.3037	1.8946	21.6415		120
	VO ₂ /HR	0.0781	0.5408	1.9761		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0085	0.7081	0.4430	0.3137	120
	VCO ₂	0.0069	1.1803	0.5584		120
	HR	0.2930	1.3767	18.0827		120
	VO ₂ /HR	0.0648	0.8426	2.1675		120

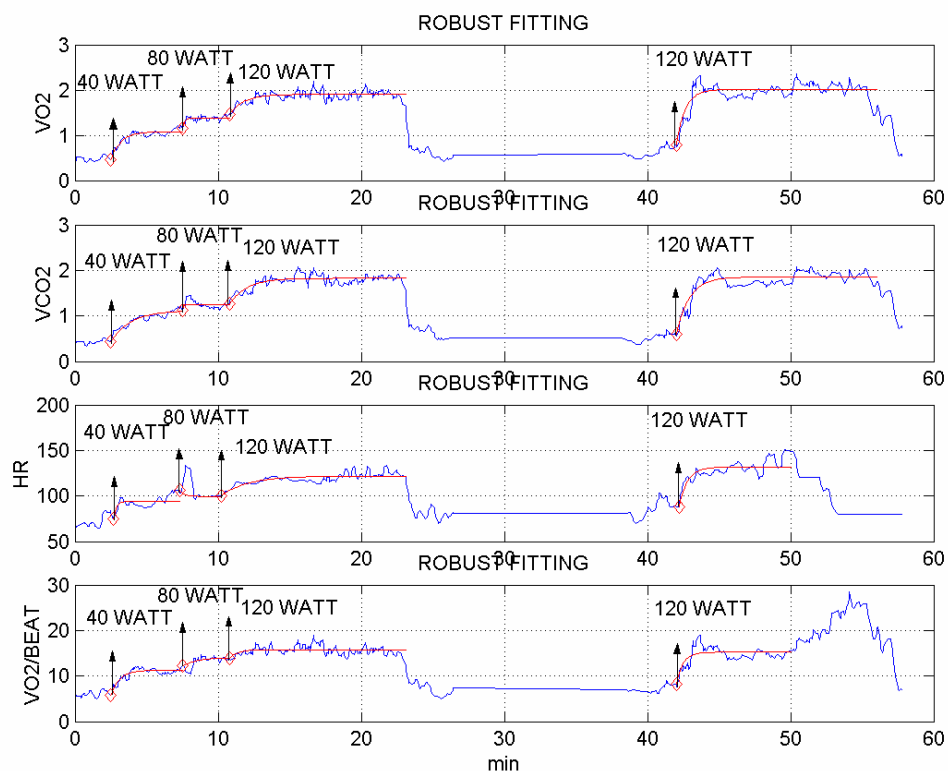
iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

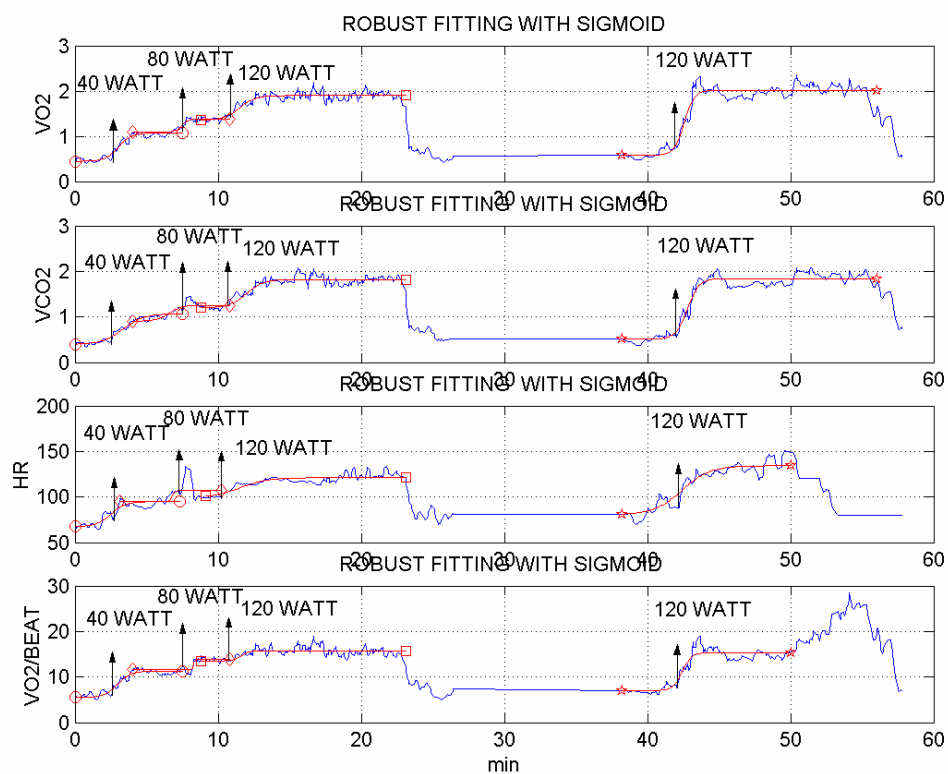
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0159	0.6330	1.2277	0.7720	120
	VCO ₂	0.0118	0.9215	1.2639		120
	HR	0.8205	0.5908	43.2255		120
	VO ₂ /HR	0.0079	0.4677	7.0810		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0103	0.5568	1.2462	0.6939	120
	VCO ₂	0.0080	0.7910	1.2007		120
	HR	0.5819	0.2199	31.2744		120
	VO ₂ /HR	0.0085	0.4269	6.9665		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

4.1.2 ΑΣΚΗΣΗ Β

Η άσκηση Β είναι η εξής :

Αρχικά το σπιρόμετρο είναι συνδεδεμένο με τον εξεταζόμενο σε κατάσταση ηρεμίας .Στη συνέχεια ο εξεταζόμενος αρχίζει να ποδηλατεί σε ένα σταθερό ποδήλατο με ελάχιστη ένταση (1 Watt) . Μετά από χρόνο περίπου 4 λεπτών η ένταση της άσκησης ανεβαίνει στα 40 Watt .Μετά από 4 λεπτά ανεβαίνει η ένταση στο 80 Watt .Στα επόμενα 4 λεπτά ανεβαίνει στα 120 Watt ,στην συνέχεια μετά 4 λεπτά πάει στα 160 Watt και τελικά μετά την πάροδο 4 λεπτών καταλήγει στα 200 Watt όπου και παραμένει για περίπου 4 λεπτά και πάλι.

Οι τιμές που υπολογίζονται είναι ίδιες με τις πρώτης άσκησης.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα .

1) 1^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 1 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 40 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 80, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 160 ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 200 WATT)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0108	1.0331	0.2980	0.3078	1
	VCO ₂	0.0087	0.3921	0.2255		1
	HR	0.6947	0.0849	16.0795		1
	VO ₂ /HR	0.0894	1.7295	2.9814		1

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0067	0.7954	0.2438	0.2004	1
	VCO ₂	0.0057	0.2351	0.2586		1
	HR	0.5122	0.0699	19.7933		1
	VO ₂ /HR	0.0585	1.2575	2.7025		1

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0121	0.2132	0.2193	0.0467	40
	VCO ₂	0.0101	0.1161	0.2186		40
	HR	0.3858	0.2856	12.8702		40
	VO ₂ /HR	0.1028	0.2991	1.9908		40

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0063	0.1908	0.1946	0.0371	40
	VCO ₂	0.0062	0.0929	0.1786		40
	HR	0.3677	0.6020	8.9975		40
	VO ₂ /HR	0.0581	0.1244	1.5341		40

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0078	1.3047	0.4678	0.6104	80
	VCO ₂	0.0067	1.3009	0.5776		80
	HR	0.3334	1.1220	22.4190		80
	VO ₂ /HR	0.0638	0.4595	1.6722		80

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0047	1.0584	0.3948	0.4017	80
	VCO ₂	0.0041	1.2088	0.5007		80
	HR	0.2842	0.4354	18.1251		80
	VO ₂ /HR	0.0491	0.1312	2.0191		80

iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0089	0.2479	0.1736	0.0430	120
	VCO ₂	0.0079	0.4074	0.3109		120
	HR	0.2554	2.0388	25.6298		120
	VO ₂ /HR	0.0638	0.0997	1.0300		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0050	0.2559	0.1829	0.0468	120
	VCO ₂	0.0055	0.2659	0.4528		120
	HR	0.3390	1.2228	26.1421		120
	VO ₂ /HR	0.509	0.0685	0.6136		120

ν) Από άσκηση εντάσεως ίση με 120 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 160 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0081	1.3428	0.4002	0.5373	160
	VCO ₂	0.0071	1.0615	0.4617		160
	HR	0.1836	1.0766	15.6068		160
	VO ₂ /HR	0.0494	1.4086	1.3366		160

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0062	1.1549	0.3593	0.4149	160
	VCO ₂	0.0051	0.8626	0.4350		160
	HR	0.1636	0.7999	13.9114		160
	VO ₂ /HR	0.0421	1.2461	1.0439		160

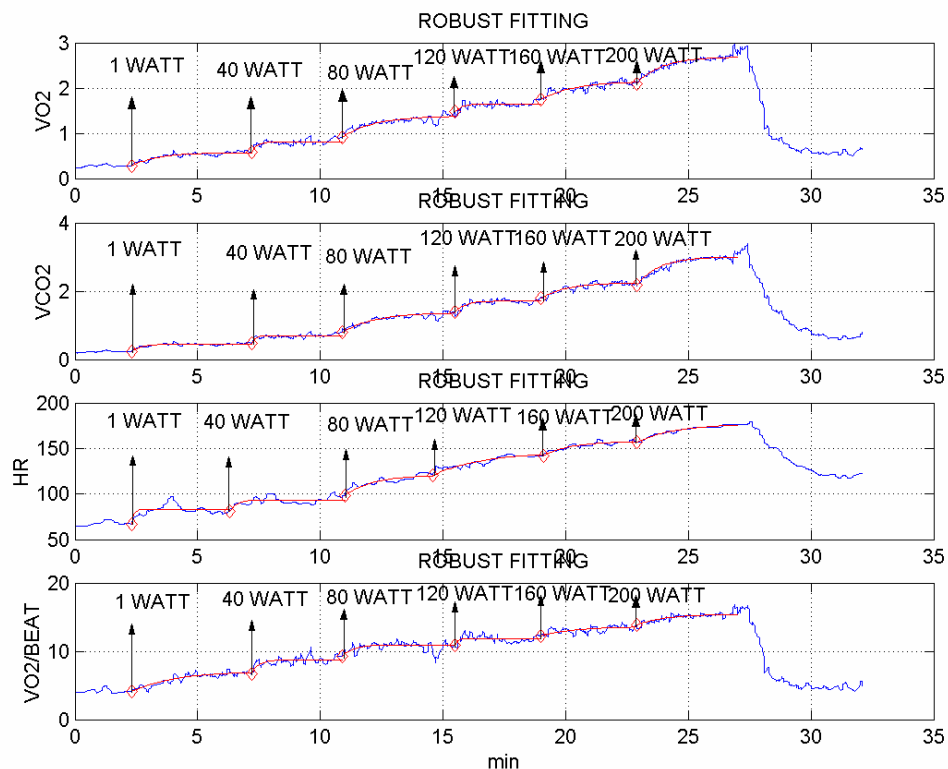
vi) Από άσκηση εντάσεως ίση με 160 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 200 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

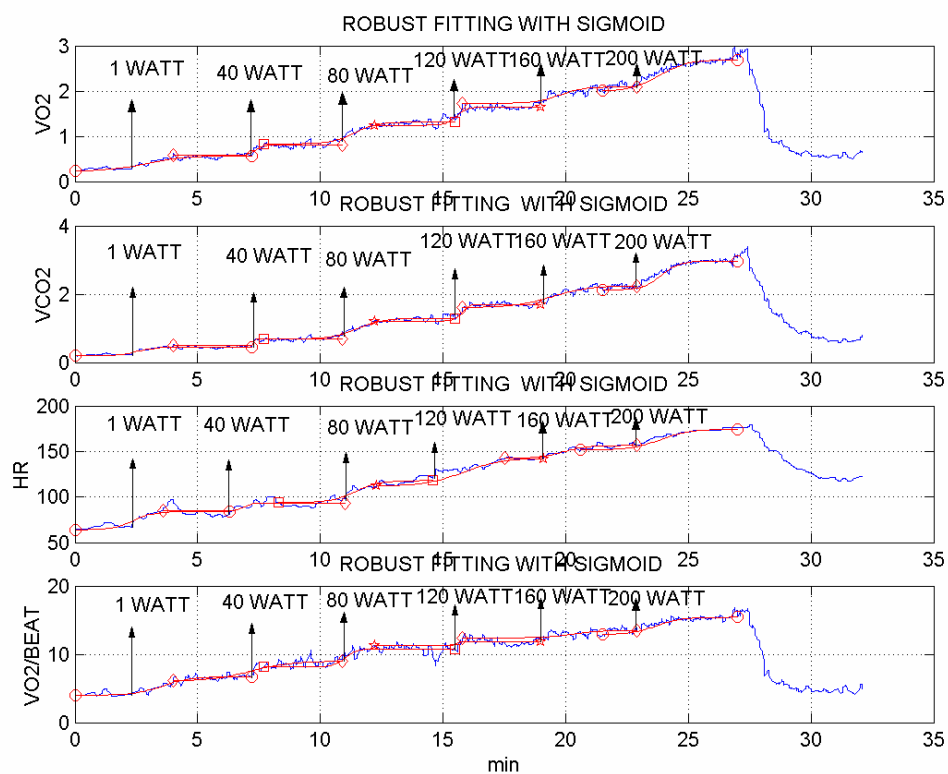
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0053	0.9984	0.5906	0.5897	200
	VCO ₂	0.0055	0.9106	0.8269		200
	HR	0.0867	1.5916	20.0574		200
	VO ₂ /HR	0.0294	1.1148	1.5848		200

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0061	1.0483	0.6000	0.6245	200
	VCO ₂	0.0067	0.9963	0.8078		200
	HR	0.1977	0.9800	19.3371		200
	VO ₂ /HR	0.0338	0.7990	2.1572		200



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

2) 2^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 1 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 40 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 80, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120 ΚΑΙ, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 160.)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0318	0.1382	0.3550	0.0491	1
	VCO ₂	0.0232	0.1542	0.1805		1
	HR	0.7782	0.1787	9.6182		1
	VO ₂ /HR	0.2210	0.1413	4.3616		1

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0226	0.1728	0.3779	0.0653	1
	VCO ₂	0.0162	0.1895	0.1581		1
	HR	0.6741	0.1982	10.5778		1
	VO ₂ /HR	0.1960	0.1610	3.9343		1

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0166	0.6921	0.2972	0.2057	40
	VCO ₂	0.0130	2.1316	0.4152		40
	HR	0.4278	1.4122	19.1032		40
	VO ₂ /HR	0.1316	0.3693	1.6760		40

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0111	1.1519	0.2791	0.3233	40
	VCO ₂	0.0079	1.4917	0.3160		40
	HR	0.5532	1.1203	8.3724		40
	VO ₂ /HR	0.0975	0.6632	1.4039		40

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0248	0.1241	0.4802	0.0596	80
	VCO ₂	0.0195	0.6352	0.5289		80
	HR	0.3299	0.6139	26.2616		80
	VO ₂ /HR	0.1553	0.1517	2.0323		80

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0162	0.1387	0.4609	0.0639	80
	VCO ₂	0.0136	0.4620	0.3789		80
	HR	0.2606	0.4476	26.4430		80
	VO ₂ /HR	0.1321	0.5173	2.3866		80

iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0181	2.0603	0.6427	1.3241	120
	VCO ₂	0.0145	2.2732	0.8701		120
	HR	0.3191	1.3891	39.5971		120
	VO ₂ /HR	0.1039	0.2894	1.8505		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0109	1.2005	0.6009	0.7244	120
	VCO ₂	0.0094	1.1132	0.7540		120
	HR	0.2460	0.9081	32.7261		120
	VO ₂ /HR	0.0781	0.2199	1.2290		120

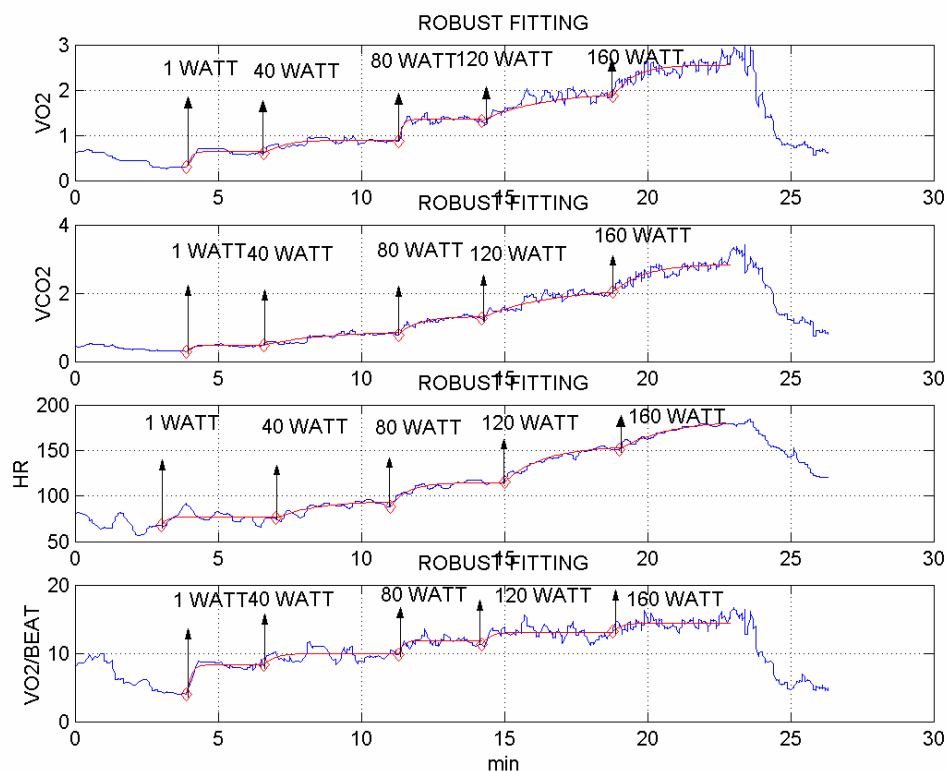
ν) Από άσκηση εντάσεως ίση με 120 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 160 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

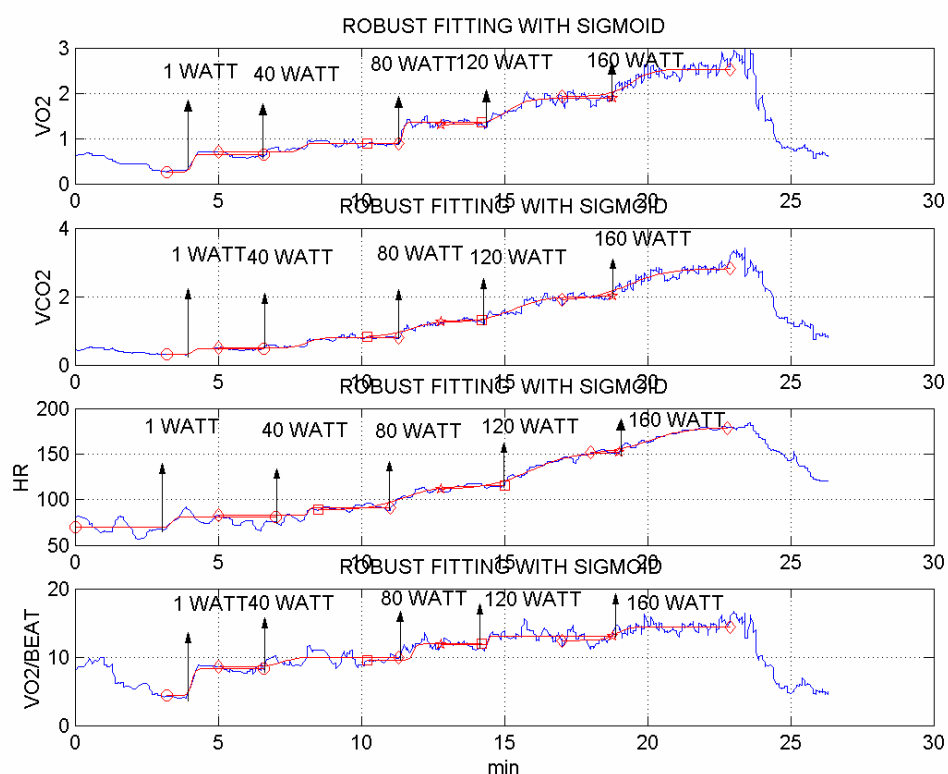
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0129	0.7368	0.6899	0.5084	160
	VCO ₂	0.0122	1.0920	0.8180		160
	HR	0.1993	1.6387	32.1319		160
	VO ₂ /HR	0.0713	0.3131	1.2720		160

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0092	0.6254	0.6013	0.3761	160
	VCO ₂	0.0094	0.7623	0.8048		160
	HR	0.1523	1.0359	27.4559		160
	VO ₂ /HR	0.0583	0.1214	1.6354		160



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3) 3^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 1 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 40 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 80, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 160 ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 200 WATT)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0322	0.8277	0.3844	0.3188	1
	VCO ₂	0.0514	1.4493	0.4119		1
	HR	1.0113	0.0035	1.4961		1
	VO ₂ /HR	0.3509	0.8243	4.7421		1

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0171	0.8211	0.3452	0.2844	1
	VCO ₂	0.0314	2.1095	0.5075		1
	HR	0.5887	2.9337	0.0313		1
	VO ₂ /HR	0.2099	0.5315	5.0633		1

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0195	1.5672	0.2369	0.3712	40
	VCO ₂	0.0314	2.0489	0.2471		40
	HR	0.7017	0.8271	12.0555		40
	VO ₂ /HR	0.2163	2.4617	1.2233		40

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0120	1.6197	0.2101	0.3557	40
	VCO ₂	0.0234	3.0445	0.4190		40
	HR	0.3998	1.2787	12.9595		40
	VO ₂ /HR	0.1494	1.2133	1.5489		40

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0182	0.4668	0.4477	0.2090	80
	VCO ₂	0.0319	1.0636	0.2199		80
	HR	1.1411	3.5809	6.7282		80
	VO ₂ /HR	0.2007	0.1348	2.8130		80

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0118	0.3749	0.4225	0.3149	80
	VCO ₂	0.0216	1.3217	0.2857		80
	HR	0.3748	0.1433	9.9301		80
	VO ₂ /HR	0.1440	0.8330	1.9457		80

iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0338	0.1255	0.5899	0.0740	120
	VCO ₂	0.0474	0.3461	1.1856		120
	HR	1.5409	5.6021	25.1326		120
	VO ₂ /HR	0.4522	0.0661	3.7639		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0144	0.1777	0.5135	0.0913	120
	VCO ₂	0.0367	0.9902	0.4587		120
	HR	0.887	0.9465	16.3184		120
	VO ₂ /HR	0.1875	0.0709	2.6898		120

ν) Από άσκηση εντάσεως ίση με 120 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 160 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0191	1.1492	0.8240	0.9479	160
	VCO ₂	0.0285	2.0317	0.8102		160
	HR	1.7890	0	0		160
	VO ₂ /HR	0.2548	2.2496	9.5600		160

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0145	1.2627	0.6894	0.8705	160
	VCO ₂	0.0185	1.8470	0.6763		160
	HR	1.0058	0	0		160
	VO ₂ /HR	0.2135	2.2314	9.1184		160

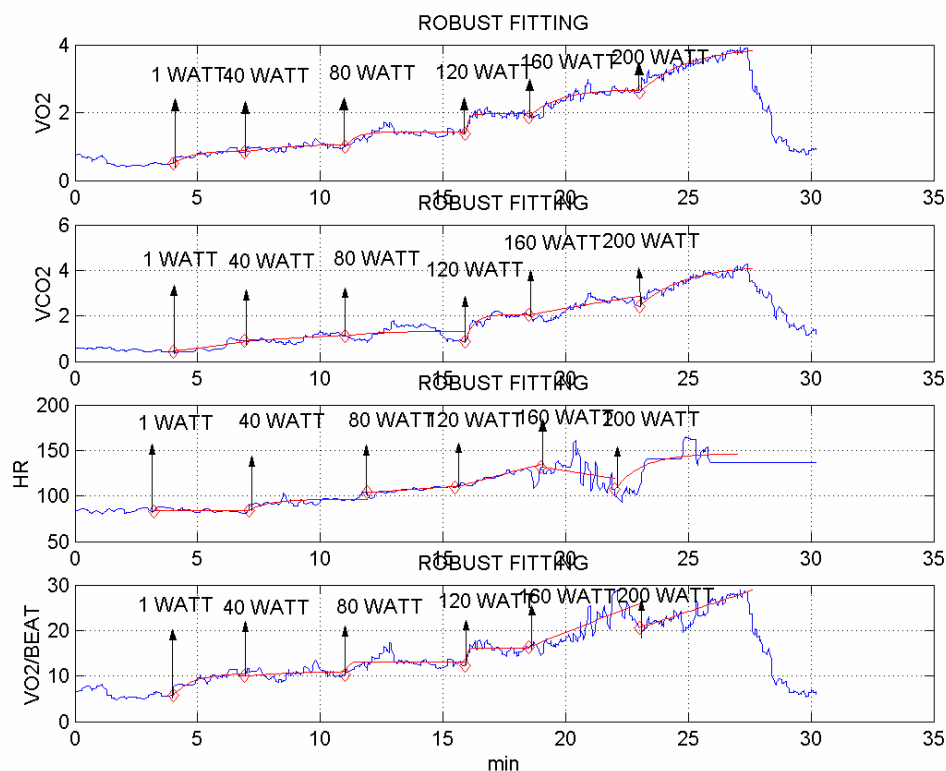
vi) Από άσκηση εντάσεως ίση με 160 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 200 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

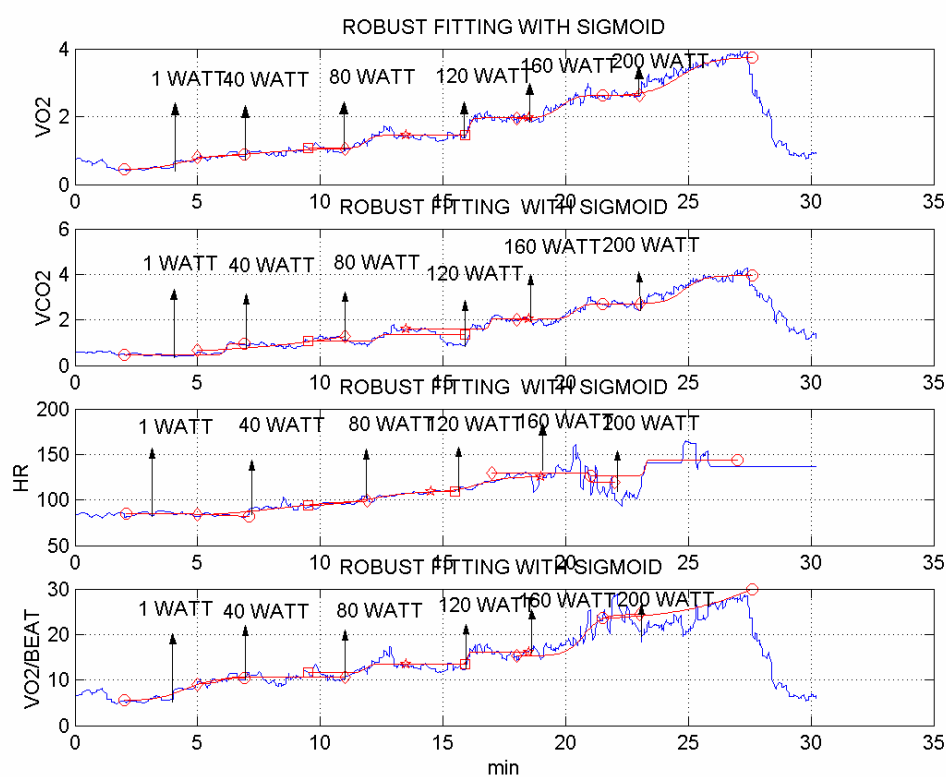
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0135	1.8917	1.3456	2.5454	200
	VCO ₂	0.0157	1.8288	1.8159		200
	HR	0.9433	1.1361	39.1321		200
	VO ₂ /HR	0.1531	2.2998	8.2513		200

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0126	2.1434	1.3340	2.8594	200
	VCO ₂	0.0153	1.8314	1.2470		200
	HR	0.9632	1.2311	21.0493		200
	VO ₂ /HR	0.1973	3.3426	6.9726		200



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

4) 4^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 1 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 40 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 80 ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120.)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0132	2.1776	0.3412	0.7429	1
	VCO ₂	0.0141	1.3983	0.1463		1
	HR	0.6341	0.3041	11.0823		1
	VO ₂ /HR	0.1009	1.0611	1.2739		1

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0152	1.9958	0.3142	0.6258	1
	VCO ₂	0.0144	1.4391	0.1587		1
	HR	0.5748	0.3551	11.9078		1
	VO ₂ /HR	0.1053	1.0717	1.2416		1

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0060	0.7975	0.4076	0.3251	40
	VCO ₂	0.0058	1.1333	0.3072		40
	HR	0.4112	0	0		40
	VO ₂ /HR	0.0492	0.9263	3.4329		40

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0065	0.8017	0.4126	0.3308	40
	VCO ₂	0.0059	1.1997	0.2886		40
	HR	0.3368	0	0		40
	VO ₂ /HR	0.0483	0.6539	3.6215		40

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0108	0.6838	0.5147	0.3659	80
	VCO ₂	0.0085	1.8251	0.7051		80
	HR	0.3703	2.3218	33.1841		80
	VO ₂ /HR	0.0704	0.3307	2.6142		80

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0075	0.7032	0.5017	0.3528	80
	VCO ₂	0.0073	1.5594	0.6845		80
	HR	0.3411	0.5957	18.6126		80
	VO ₂ /HR	0.0527	0.4272	2.3404		80

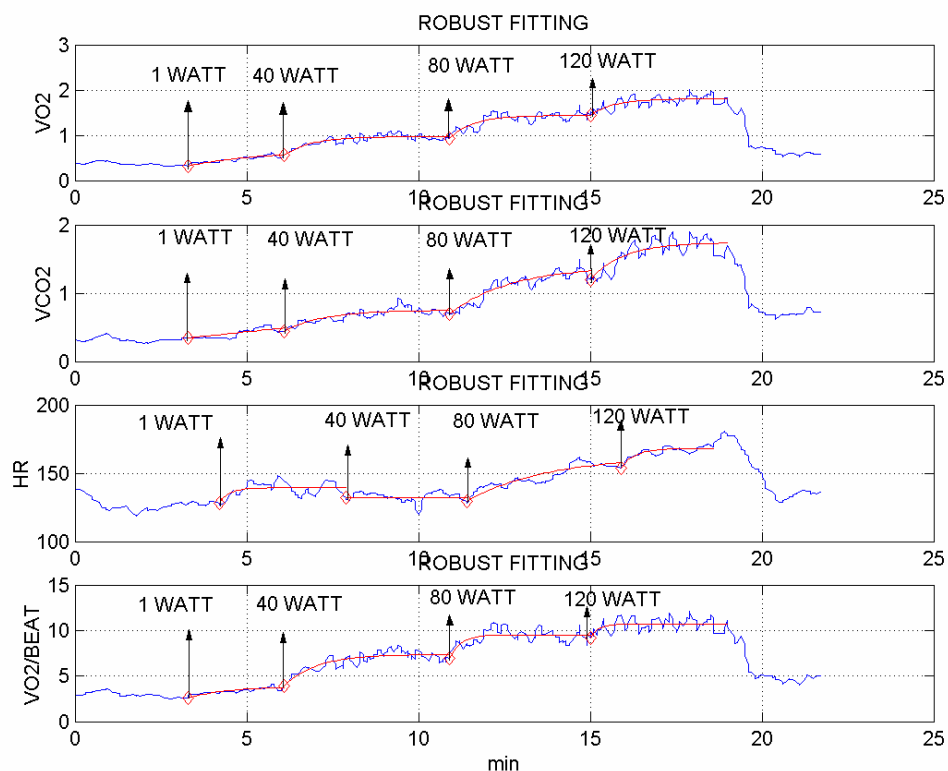
iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

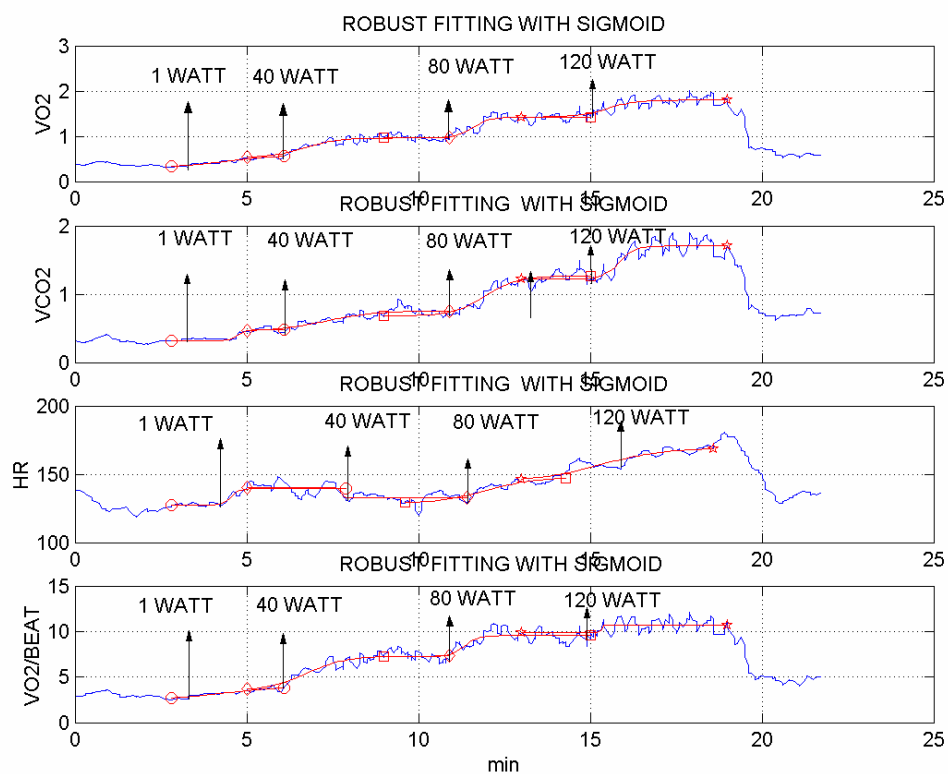
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0101	0.6833	0.3659	0.2500	120
	VCO ₂	0.0119	0.9762	0.5405		120
	HR	0.2699	0.4045	14.0490		120
	VO ₂ /HR	0.0710	0.2228	1.5004		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0083	0.6315	0.3707	0.2341	120
	VCO ₂	0.0088	0.8420	0.4841		120
	HR	0.3056	1.5965	9.1573		120
	VO ₂ /HR	0.0615	0.3093	0.7990		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

5) 5^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 1 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 40 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 80, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 160 ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 200 WATT)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0129	1.4451	0.1714	0.2477	1
	VCO ₂	0.0150	1.4733	0.1081		1
	HR	1.4732	0.2567	29.6512		1
	VO ₂ /HR	0.3156	1.8991	0.9549		1

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0067	1.2250	0.1252	0.1534	1
	VCO ₂	0.0075	1.0160	0.0884		1
	HR	0.8800	0.1975	30.7036		1
	VO ₂ /HR	0.1511	1.8220	0.8479		1

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0103	0.8503	0.2471	0.2101	40
	VCO ₂	0.0109	1.9784	0.3321		40
	HR	1.2575	0.0028	9.5111		40
	VO ₂ /HR	0.2324	1.2992	3.4907		40

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0081	1.0710	0.2338	0.2504	40
	VCO ₂	0.0083	1.3533	0.2757		40
	HR	0.8799	1.1973	7.4411		40
	VO ₂ /HR	0.1686	1.4189	2.8170		40

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0089	0.8972	0.3660	0.3284	80
	VCO ₂	0.0130	1.8660	0.4183		80
	HR	1.2347	0.7046	25.0714		80
	VO ₂ /HR	0.2226	0.7350	1.9032		80

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0068	0.7588	0.3519	0.2670	80
	VCO ₂	0.0081	1.3921	0.4784		80
	HR	0.9019	0.7528	22.9929		80
	VO ₂ /HR	0.1579	0.5123	1.6491		80

iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0086	1.4217	0.3842	0.3803	120
	VCO ₂	0.0095	1.3779	0.5543		120
	HR	0.5958	0.7417	22.8122		120
	VO ₂ /HR	0.1757	0.8063	2.0254		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0057	1.0009	0.3406	0.3749	120
	VCO ₂	0.0063	1.2508	0.5454		120
	HR	0.5131	0.4997	17.3910		120
	VO ₂ /HR	0.1089	0.8849	1.6547		120

ν) Από άσκηση εντάσεως ίση με 120 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 160 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0101	0.7054	0.4891	0.3450	160
	VCO ₂	0.0107	0.8893	0.7179		160
	HR	2.8304	0.0002	10.4113		160
	VO ₂ /HR	0.1940	0.9255	3.1121		160

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0072	0.5042	0.4042	0.2634	160
	VCO ₂	0.0072	0.7130	0.6603		160
	HR	0.5916	2.0441	10.2020		160
	VO ₂ /HR	0.1177	0.7818	3.6421		160

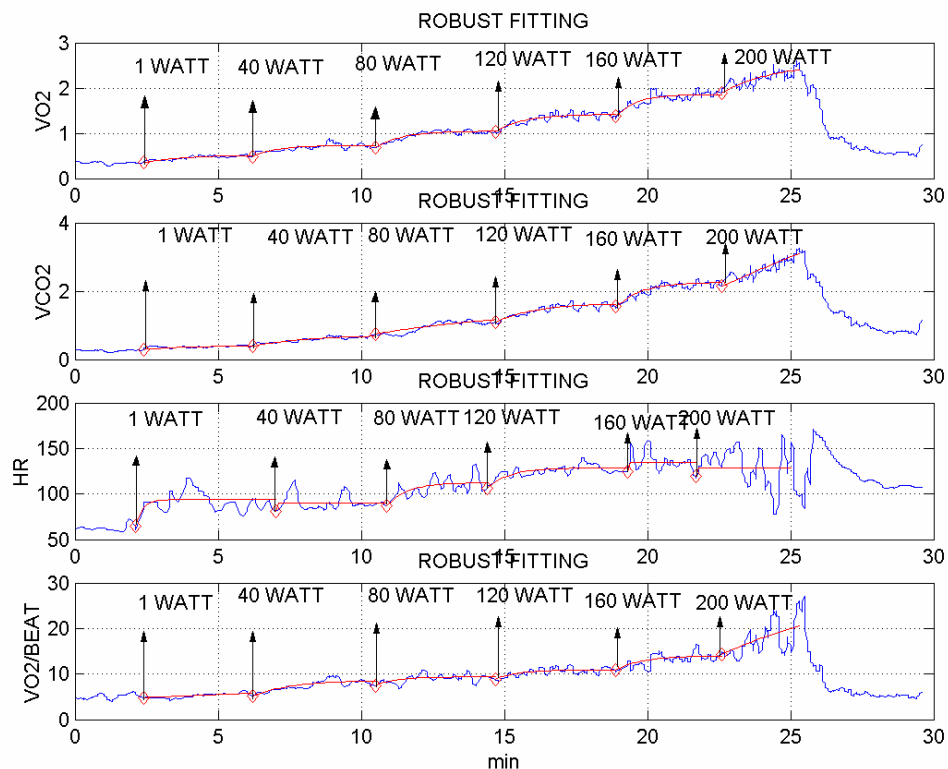
vi) Από άσκηση εντάσεως ίση με 160 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 200 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

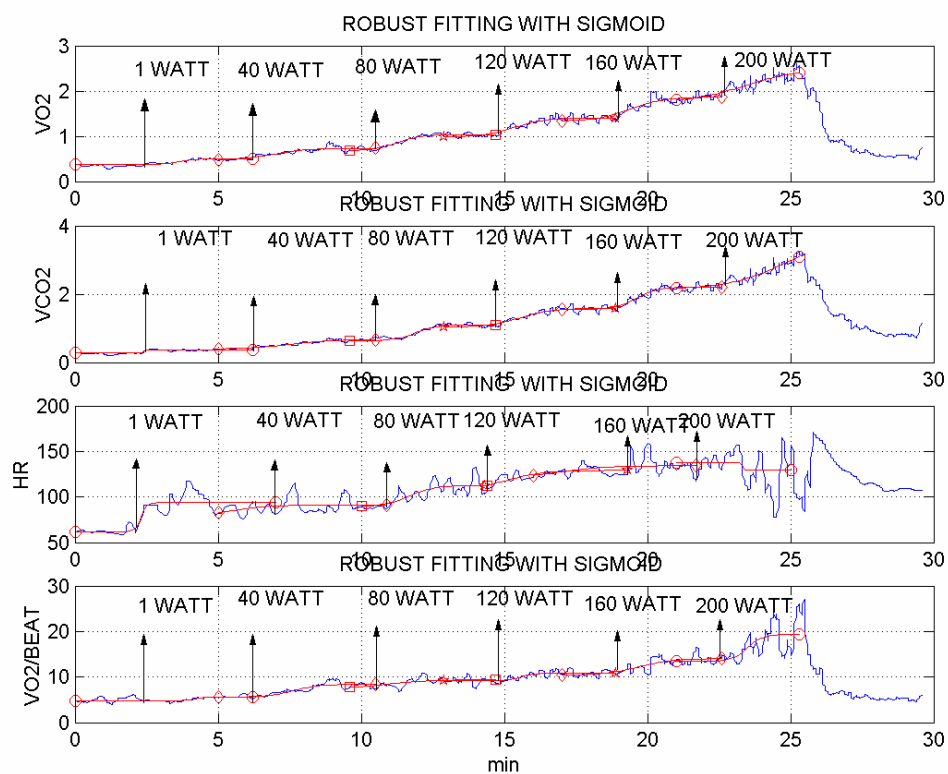
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0115	1.8078	0.6654	1.2028	200
	VCO ₂	0.0144	1.3183	0.9678		200
	HR	1.9664	0.0315	9.5017		200
	VO ₂ /HR	0.3180	1.2502	6.2364		200

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0074	1.6285	0.6285	1.0186	200
	VCO ₂	0.0091	1.2523	0.9239		200
	HR	1.6079	0	0		200
	VO ₂ /HR	0.2009	0.8931	5.8988		200



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

6) 6^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 1 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 40 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 80, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 160 ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 200 WATT)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0199	2.2979	0.3004	0.6904	1
	VCO ₂	0.0233	2.1980	0.2000		1
	HR	0.8677	0.2882	15.9379		1
	VO ₂ /HR	0.1316	0.9119	2.0750		1

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0115	2.4980	0.2899	0.7267	1
	VCO ₂	0.0127	1.9204	0.1922		1
	HR	0.5251	0.0607	17.8473		1
	VO ₂ /HR	0.0870	1.2734	2.0059		1

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0197	1.7187	0.4266	0.7333	40
	VCO ₂	0.0224	2.0143	0.3896		40
	HR	0.8427	0.4296	15.9686		40
	VO ₂ /HR	0.1377	0.9597	2.1416		40

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0113	1.5469	0.4065	0.6295	40
	VCO ₂	0.0124	1.7121	0.3990		40
	HR	0.6044	0.1755	12.9338		40
	VO ₂ /HR	0.0884	1.0181	2.0371		40

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0166	0.5292	0.5021	0.2657	80
	VCO ₂	0.0181	1.1090	0.7133		80
	HR	0.6175	1.2917	17.4331		80
	VO ₂ /HR	0.1222	0.3994	4.1694		80

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0112	0.5163	0.4729	0.2442	80
	VCO ₂	0.0124	1.0122	0.5320		80
	HR	0.4924	0.8556	16.6791		80
	VO ₂ /HR	0.0927	0.5122	2.6716		80

iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0175	0.6609	0.5012	0.3312	120
	VCO ₂	0.0200	1.9734	0.5896		120
	HR	0.4300	0.0053	12.9261		120
	VO ₂ /HR	0.1292	0.4223	3.1457		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0123	0.7243	0.3832	0.2775	120
	VCO ₂	0.0129	0.9625	0.5090		120
	HR	0.3012	0.4656	9.9264		120
	VO ₂ /HR	0.0879	0.6125	2.6291		120

ν) Από άσκηση εντάσεως ίση με 120 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 160 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0141	1.5129	0.6755	1.9432	160
	VCO ₂	0.0142	1.5430	0.8456		160
	HR	0.3034	1.3145	27.8230		160
	VO ₂ /HR	0.0800	0.4949	2.6240		160

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0088	1.0882	0.5940	0.6464	160
	VCO ₂	0.0091	1.2076	0.7158		160
	HR	0.2022	0.8366	23.4549		160
	VO ₂ /HR	0.0681	0.5708	1.5031		160

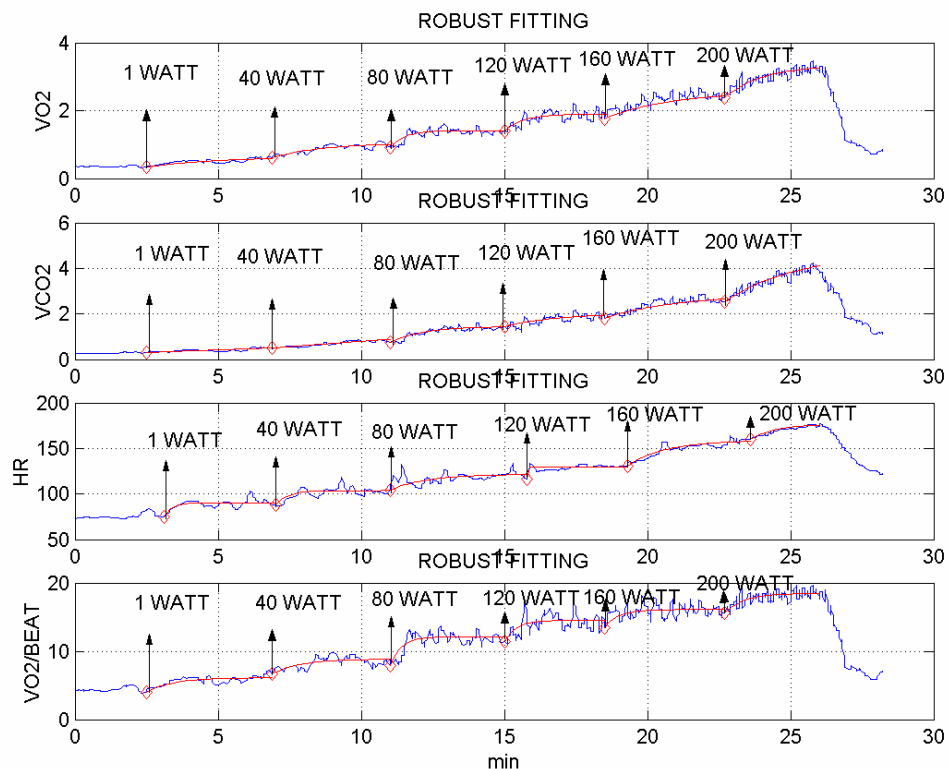
vi) Από άσκηση εντάσεως ίση με 160 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 200 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

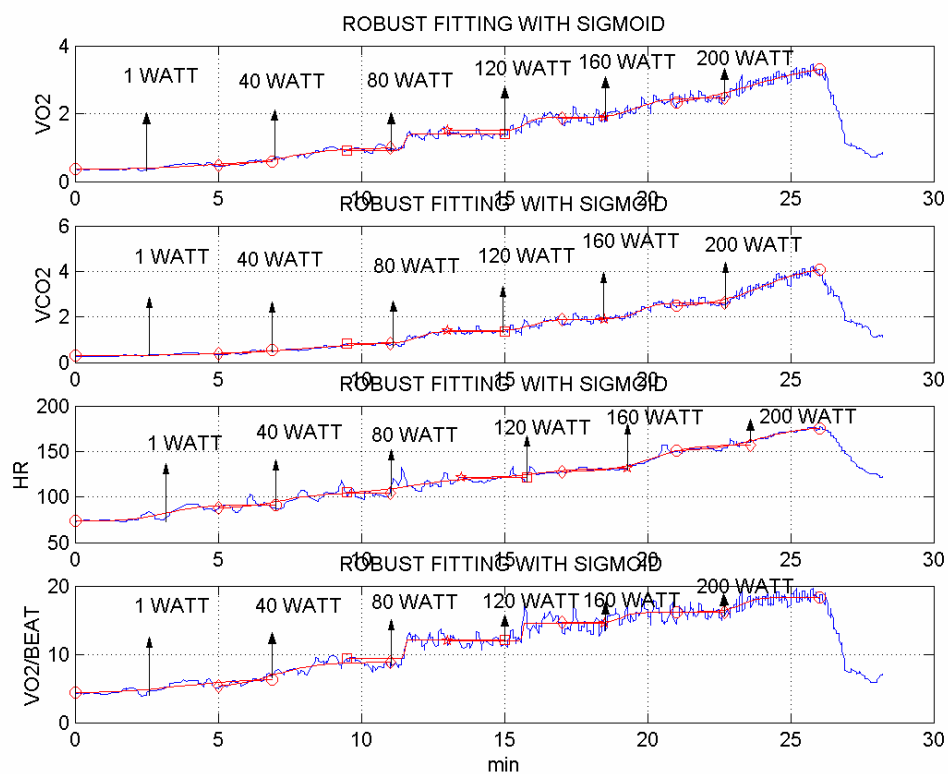
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0093	1.3308	0.9463	1.2594	200
	VCO ₂	0.0122	1.2823	1.5747		200
	HR	0.3103	0.08331	16.3887		200
	VO ₂ /HR	0.0548	0.6532	2.9128		200

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0078	0.9346	0.9103	0.8508	200
	VCO ₂	0.0096	1.3213	1.5235		200
	HR	0.1098	0.2997	17.0952		200
	VO ₂ /HR	0.0447	0.5826	2.1395		200



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

7) 7^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 1 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 40 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 80, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 160 ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 200 WATT)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0176	0.6513	0.1224	0.0797	1
	VCO ₂	0.0208	1.7464	0.0262		1
	HR	1.0379	0	0		1
	VO ₂ /HR	0.5122	0.8178	1.5731		1

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0074	0.6217	0.1277	0.0794	1
	VCO ₂	0.0101	1.8122	0.0158		1
	HR	1.2055	0	0		1
	VO ₂ /HR	0.0722	0.7963	1.4104		1

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0168	0.6706	0.2899	0.2222	40
	VCO ₂	0.0196	2.1763	0.2835		40
	HR	0.6542	0.0799	12.4394		40
	VO ₂ /HR	0.0954	1.2597	2.4888		40

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0082	0.8204	0.2558	0.2110	40
	VCO ₂	0.0113	2.3665	0.3792		40
	HR	0.6213	0.0978	10.5041		40
	VO ₂ /HR	0.0810	0.8276	2.4521		40

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0139	0.2292	0.4637	0.1063	80
	VCO ₂	0.0165	1.2472	0.4076		80
	HR	0.4952	1.7170	26.4669		80
	VO ₂ /HR	0.0895	0.1414	3.6774		80

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0093	0.2896	0.3485	0.1010	80
	VCO ₂	0.0113	1.2582	0.3950		80
	HR	0.6512	1.5867	23.8880		80
	VO ₂ /HR	0.1210	0.4227	2.4450		80

iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0122	0.2292	0.4570	0.1047	120
	VCO ₂	0.0154	1.2472	0.7407		120
	HR	-	-	-		120
	VO ₂ /HR	-	-	-		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0072	0.3386	0.3310	0.1121	120
	VCO ₂	0.0090	1.1632	0.5948		120
	HR	-	-	-		120
	VO ₂ /HR	-	-	-		120

ν) Από άσκηση εντάσεως ίση με 120 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 160 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0179	0.9468	0.3970	0.3759	160
	VCO ₂	0.0250	1.6114	0.6044		160
	HR	-	-	-		160
	VO ₂ /HR	-	-	-		160

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0123	0.9912	0.4938	0.4896	160
	VCO ₂	0.0147	1.4386	0.5900		160
	HR	-	-	-		160
	VO ₂ /HR	-	-	-		160

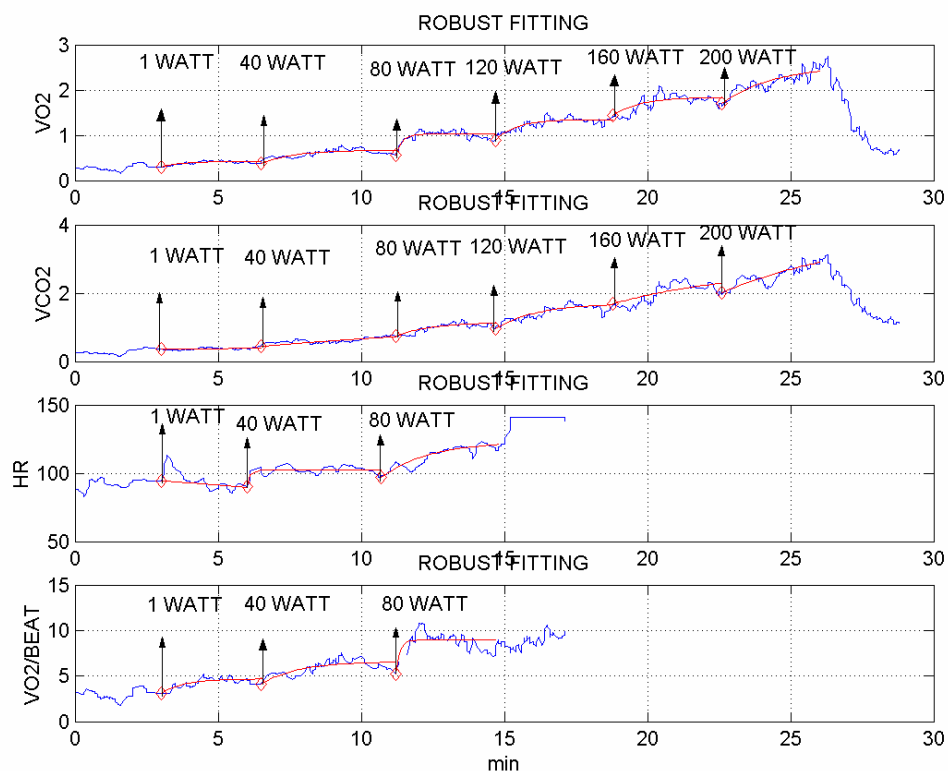
vi) Από άσκηση εντάσεως ίση με 160 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 200 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

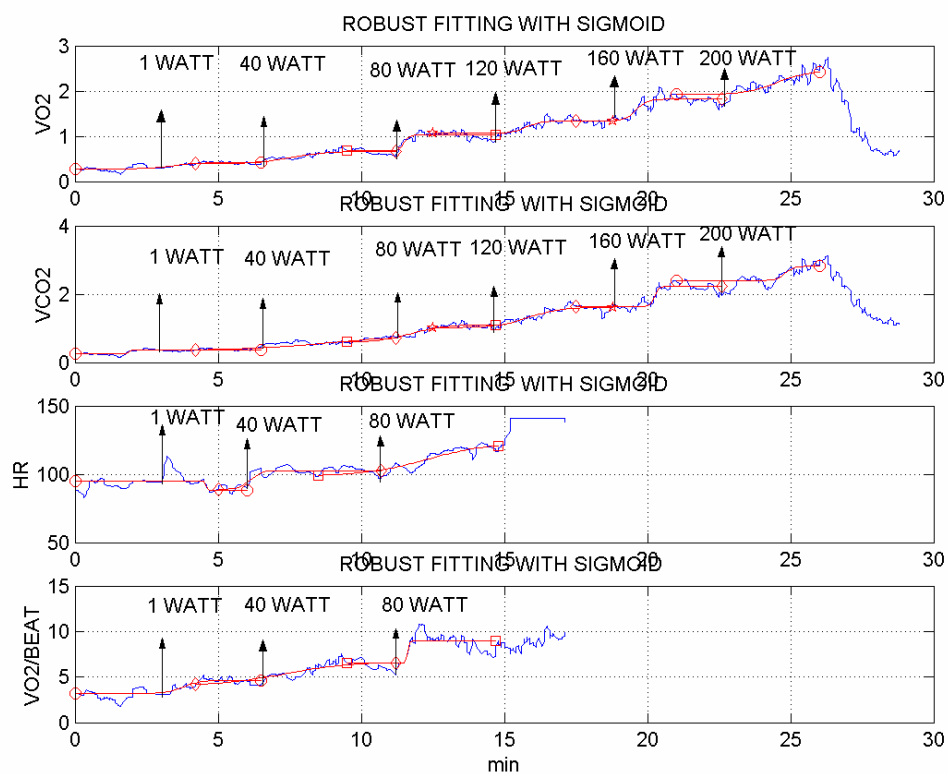
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0209	1.8373	0.8455	1.5516	200
	VCO ₂	0.0268	1.4837	0.8860		200
	HR	-	-	-		200
	VO ₂ /HR	-	-	-		200

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0160	1.9001	0.5271	1.0016	200
	VCO ₂	0.0213	2.2097	0.4154		200
	HR	-	-	-		200
	VO ₂ /HR	-	-	-		200



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

8) 8^{ος} εξεταζόμενος

(ΕΛΩ Ο ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ ΠΑΕΙ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 1 WATT ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ. ΣΤΑ 40 WATT, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 80, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 120, ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 160 ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 4 ΛΕΠΤΑ ΣΤΑ 200 WATT. ΣΤΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 9 ΛΕΠΤΑ ΞΕΚΟΥΡΑΣΗΣ ΑΝΕΒΑΙΝΕΙ Η ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΑ 120 WATT.)

i) Από ηρεμία σε άσκηση με ένταση ίση με 1 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0097	0.0576	0.1189	0.0069	1
	VCO ₂	0.0133	0.0340	0.0200		1
	HR	2.9971	0.2281	14.7064		1
	VO ₂ /HR	0.2511	0.3648	1.8486		1

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0066	0.3512	0.0902	0.0312	1
	VCO ₂	0.0070	0.2976	0.0366		1
	HR	0.8231	3.5509	16.4582		1
	VO ₂ /HR	0.1600	0.0110	2.4313		1

ii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 40 Watt

α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0123	0.6012	0.3565	0.2145	40
	VCO ₂	0.0125	0.7252	0.1826		40
	HR	3.5192	0	0		40
	VO ₂ /HR	0.2438	0.2767	2.2732		40

β) ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0088	0.9039	0.2610	0.2359	40
	VCO ₂	0.0073	0.7705	0.2019		40
	HR	0.9003	0	0		40
	VO ₂ /HR	0.1751	0	0		40

iii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 40 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 80 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0106	0.5878	0.6281	0.3692	80
	VCO ₂	0.0128	0.7134	0.5472		80
	HR	2.2112	2.3501	6.0991		80
	VO ₂ /HR	0.1945	0.3915	5.6398		80

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0083	0.5038	0.6057	0.3052	80
	VCO ₂	0.0088	0.6265	0.5319		80
	HR	0.9232	4.3559	66.9469		80
	VO ₂ /HR	0.1439	0.3522	4.0860		80

iv) Από άσκηση εντάσεως ίση με 80 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0111	0.4259	0.5344	0.2276	120
	VCO ₂	0.0112	0.5969	0.4306		120
	HR	1.8920	0	0		120
	VO ₂ /HR	0.3379	1.9998	4.0692		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0092	0.4763	0.4102	0.1954	120
	VCO ₂	0.0080	0.6595	0.4366		120
	HR	1.9372	0	0		120
	VO ₂ /HR	0.1822	1.4721	5.1058		120

ν) Από άσκηση εντάσεως ίση με 120 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 160 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0107	0.4013	0.5721	0.2296	160
	VCO ₂	0.0128	0.5994	0.7470		160
	HR	1.7059	0.2069	3.8788		160
	VO ₂ /HR	0.3246	0.7958	4.7921		160

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0081	0.3633	0.5322	0.1934	160
	VCO ₂	0.0100	0.7136	0.5764		160
	HR	2.0345	0	0		160
	VO ₂ /HR	0.2287	1.2311	5.9350		160

vi) Από άσκηση εντάσεως ίση με 160 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 200 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0088	1.4766	0.5928	0.6947	200
	VCO ₂	0.0130	1.5341	0.8354		200
	HR	1.2214	0	0		200
	VO ₂ /HR	0.3069	0.9792	12.8784		200

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0082	0.9887	0.5928	0.5861	200
	VCO ₂	0.0091	0.8871	0.6858		200
	HR	2.1962	0	0		200
	VO ₂ /HR	0.2268	0.6411	14.5055		200

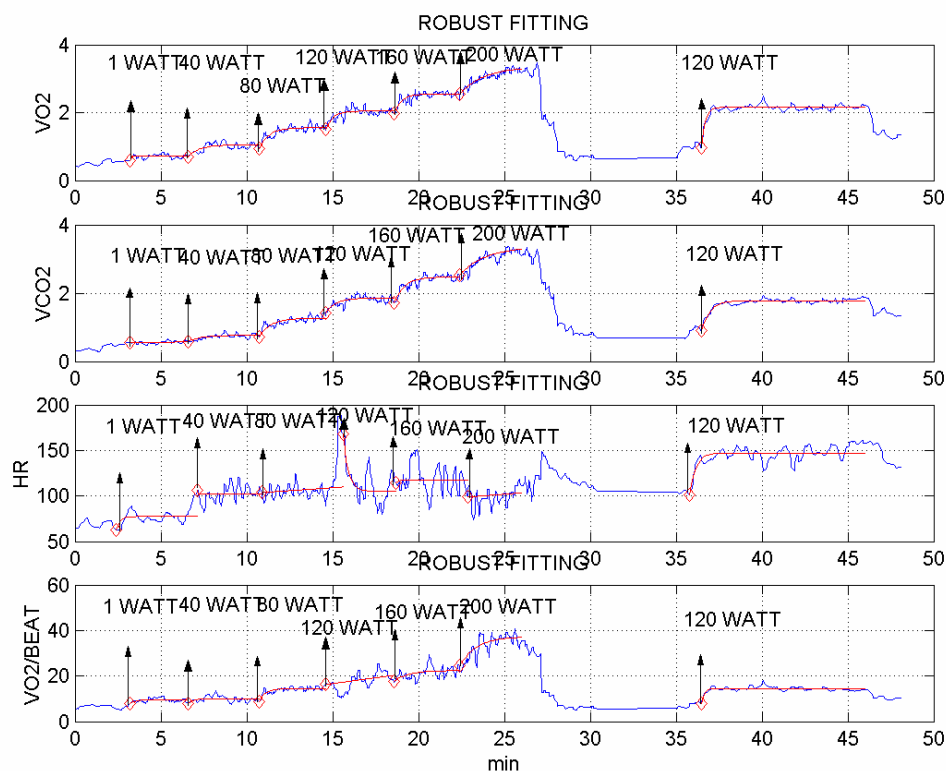
vii) Από άσκηση εντάσεως ίση με 1 Watt σε άσκηση με ένταση ίση με 120 Watt

α)ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

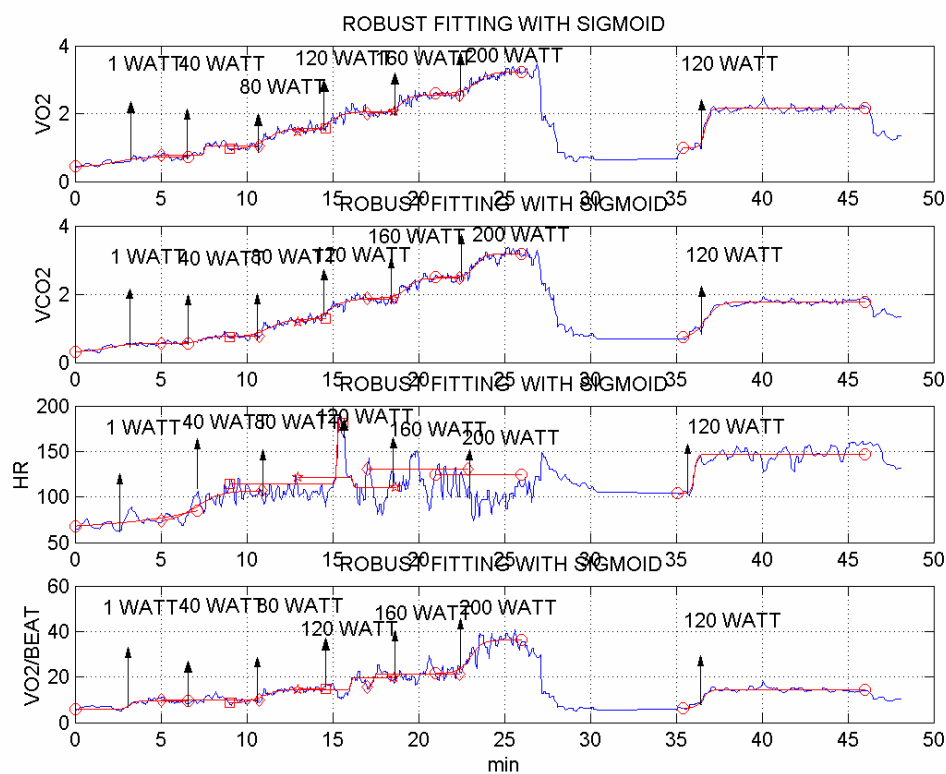
EXP		R	τ	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0080	0.1939	1.1831	0.2293	120
	VCO ₂	0.0069	0.4839	0.8716		120
	HR	0.7123	0.3577	45.7377		120
	VO ₂ /HR	0.1246	0.1575	6.6222		120

β)ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

SIG		R	τ_{equal}	ΔA	DEF O ₂	WATT
	VO ₂	0.0071	0.3845	1.1486	0.3211	120
	VCO ₂	0.0059	0.5221	0.8798		120
	HR	0.6330	0.3214	40.8437		120
	VO ₂ /HR	0.0816	0.5420	7.4210		120



1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΙΓΜΟΕΙΔΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πρώτο από τα συμπεράσματα που μπορούμε να καταλήξουμε είναι ότι η σιγμοειδής προσέγγιση σε γενικές γραμμές έχει μικρότερο απόλυτο σφάλμα μέσης τιμής (R) από την εκθετική προσέγγιση. Αυτό σημαίνει ότι η χαρακτηριστική πορεία μια σιγμοειδούς συνάρτησης ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα μας σε σχέση με την εκθετική συνάρτηση.

Αυτό μπορούμε να το δείξουμε ως εξής: Αρχικά θα βρούμε το μέσο όρο των τιμών του R τόσο για την εκθετική όσο και για την σιγμοειδή προσέγγιση. Δηλαδή

$$m = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{N}, \text{ όπου } N \text{ ο αριθμός των προσεγγίσεων (και ο αριθμός των } R)$$

όπου έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

$$m_{exp} = 0.3346$$

$$m_{sig} = 0.2096$$

Αφού λοιπόν υπολογίσουμε το m για την εκθετική και για την σιγμοειδή υπολογίζουμε και το τετράγωνο της τυπικής της απόκλισης που είναι:

$$\sigma^2 = (1/N) * \sum_{i=1}^N (R_i - m)^2$$

Υπολογίζοντας αυτά τα μεγέθη έχουμε:

$$\sigma_{exp}^2 = 0.4411$$

$$\sigma_{sig}^2 = 0.1400$$

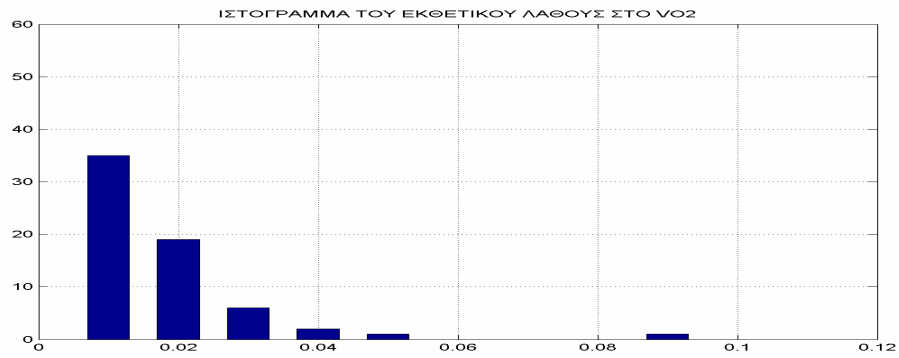
Όποτε είναι φανερό ότι η σιγμοειδή συνάρτηση κάνει καλύτερη προσέγγιση από την εκθετική.

Επίσης άλλος ένας τρόπος για να δούμε το σφάλμα γραφικά είναι με τα ιστογράμματα. Θα δούμε λοιπόν τα ιστογράμματα για κάθε είδους μέτρηση (VO_2 , VCO_2 , HR , VO_2/HR) τόσο για την εκθετική όσο και για την σιγμοειδή προσέγγιση.

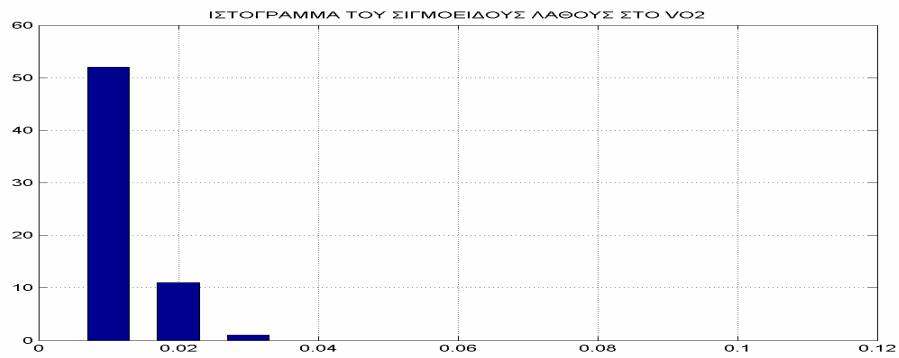
Να πούμε ότι στα ιστογράμματα ουσιαστικά στρογγυλοποιούμε τις τιμές R (των σφαλμάτων) και φαίνεται σε αυτά πόσο μεγάλο είναι το σφάλμα μας από το πόσο κοντά στο μηδέν είναι οι περισσότερες στρογγυλοποιήσεις.

$$\text{round}(R), \text{ για κάθε } R$$

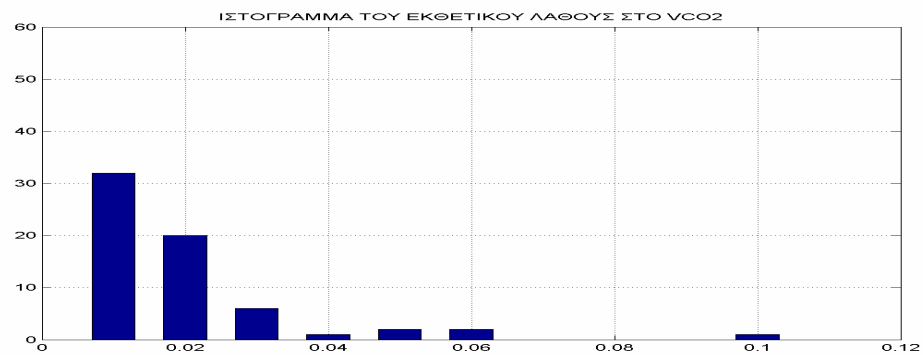
Ακολουθούν τα ιστογράμματα.



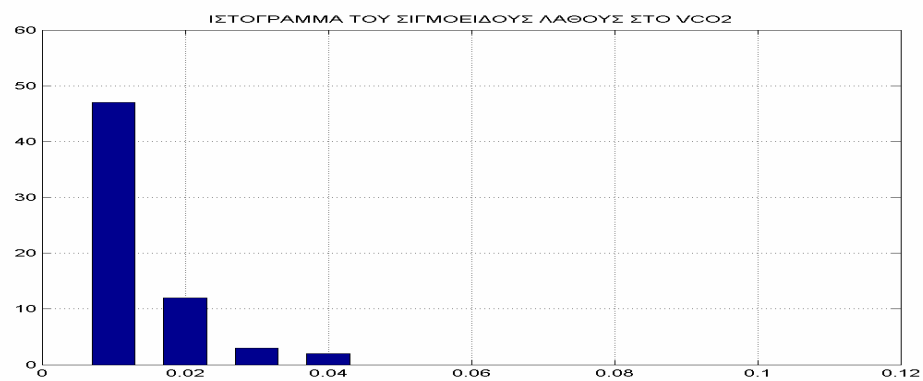
Σχήμα 4.1 Ιστόγραμμα του σφάλματος της εκθετικής προσέγγισης στο VO_2



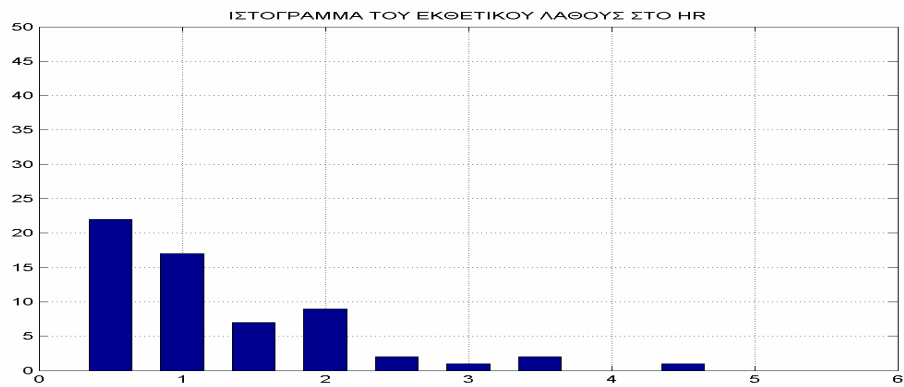
Σχήμα 4.2 Ιστόγραμμα του σφάλματος της σιγμοειδούς προσέγγισης στο VO_2



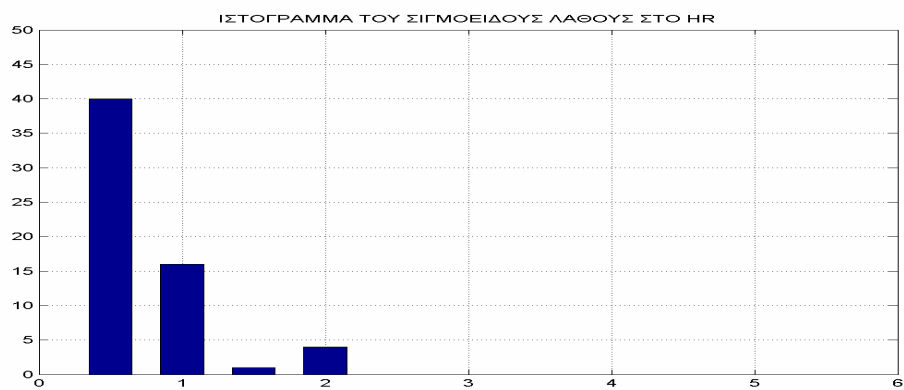
Σχήμα 4.3 Ιστόγραμμα του σφάλματος της εκθετικής προσέγγισης στο VCO_2



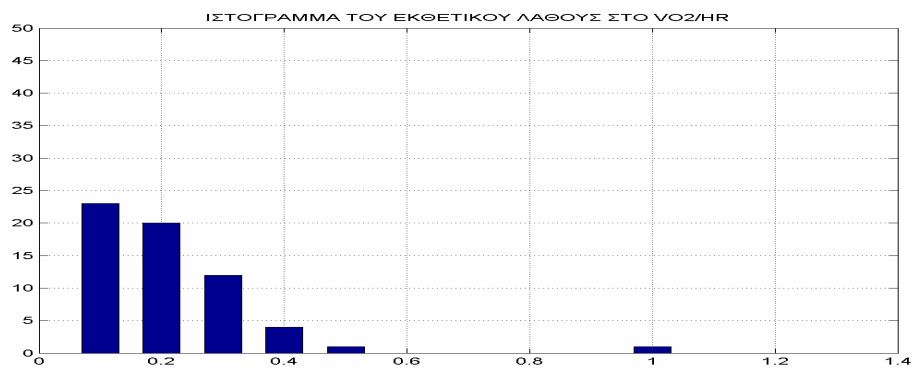
Σχήμα 4.4 Ιστόγραμμα του σφάλματος της σιγμοειδούς προσέγγισης στο VCO_2



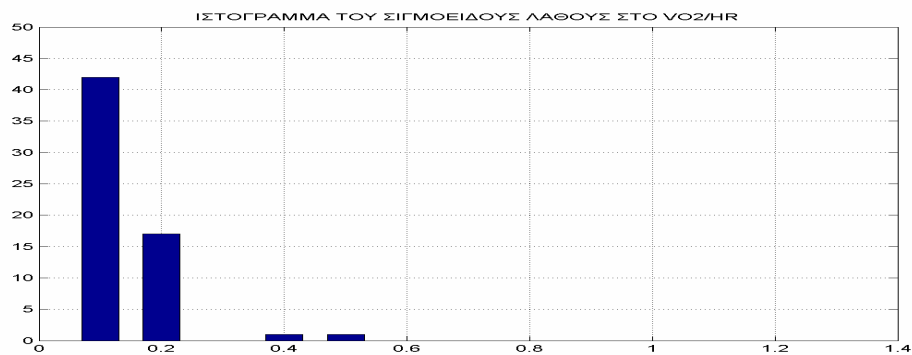
Σχήμα 4.5 Ιστόγραμμα του σφάλματος της εκθετικής προσέγγισης στο HR



Σχήμα 4.6 Ιστόγραμμα του σφάλματος της σιγμοειδής προσέγγισης στο HR



Σχήμα 4.7 Ιστόγραμμα του σφάλματος της εκθετικής προσέγγισης στο VO_2/HR



Σχήμα 4.8 Ιστόγραμμα του σφάλματος της σιγμοειδής προσέγγισης στο VO_2/HR

Παρατηρώντας τα ιστογράμματα είναι ολοφάνερη η διαφορά της σιγμοειδής συνάρτησης με την εκθετική .Σε όλα τα είδη μετρήσεων η σιγμοειδή παρουσιάζει μικρότερο σφάλμα .

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των τιμών εκείνων που μας δείχνουν την αναπνευστική κατάσταση , δηλαδή το χρόνο σταθεροποίησης (τ) και την διάφορα της τιμής σταθεροποίησης μείον την αρχική τιμή (ΔA) είναι προτιμότερο να βρούμε το λόγο $\lambda = \Delta A / \tau$ ο οποίος εάν είναι μεγάλος (δηλαδή μεγάλο ΔA και μικρό τ) σημαίνει καλύτερη αναπνευστική υγεία ενώ εάν είναι μικρός (μικρό ΔA και μεγάλο τ) σημαίνει χειρότερη αναπνευστική υγεία. Ο λόγος αυτός μπορεί να φανεί και γραφικά εάν ορίσουμε ως σημεία $F(\Delta A, \tau)$).

Άρα λοιπόν έχοντας υπολογίσει τους ποσοτικούς υπολογισμούς($\Delta A, \tau, \lambda$) που ψάχναμε και γνωρίζοντας διάφορα χαρακτηριστικά των εξεταζομένων (φύλο , ηλικία ,το ιατρικό ιστορικό του εξεταζόμενου καθώς και την καταγωγή του) μπορούμε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των εξεταζόμενων να καταλήξουμε σε συγκεκριμένα συμπεράσματα που θα αφορούν την αναπνευστική κατάσταση και υγεία των εξεταζομένων.

Οι τιμές ΔA και τ και ο λόγος λ για τις δυο εντάσεις (1 και 200 Watt) και για τους 8 εξεταζόμενους στην πρώτη άσκηση φαίνεται στους πίνακες (με την εκθετική και την σιγμοειδή προσέγγιση) .

EXP

ΔA	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
1 Watt	0.3447	0.2805	0.2515	0.2007	0.2121	0.2772	0.1150	-
120 Watt	1.0220	0.8450	1.2047	0.6246	0.6659	1.4139	0.8632	1.2277

τ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
1 Watt	0.1150	1.0492	0.2802	0.2800	0.5535	0.1493	0.0210	-
120 Watt	0.1127	1.2491	0.9302	0.5048	0.7630	0.9743	0.2599	0.6330

λ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
1 Watt	2.9844	0.2673	0.8976	0.7167	0.3831	1.8566	5.4761	-
120 Watt	9.0683	0.6765	1.2951	1.2373	0.8727	1.4512	3.3213	1.9395

SIG

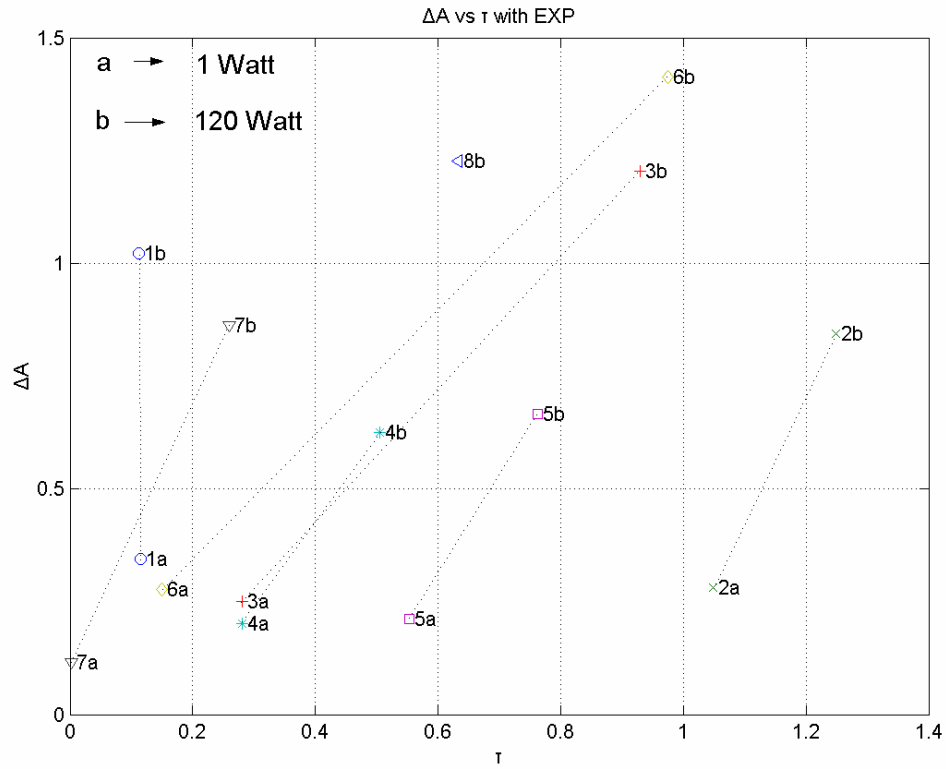
ΔA	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
1 Watt	0.3858	0.3202	0.1944	0.1694	0.1770	0.1983	0.0921	-
120 Watt	0.9897	0.9209	1.1873	0.4665	0.6058	1.3119	0.7837	1.2462

τ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
1 Watt	0.1986	0.9064	0.4176	0.3840	0.6227	0.1825	0.0131	-
120 Watt	0.0938	1.0756	0.7616	0.4660	0.7474	0.9976	0.2920	0.5568

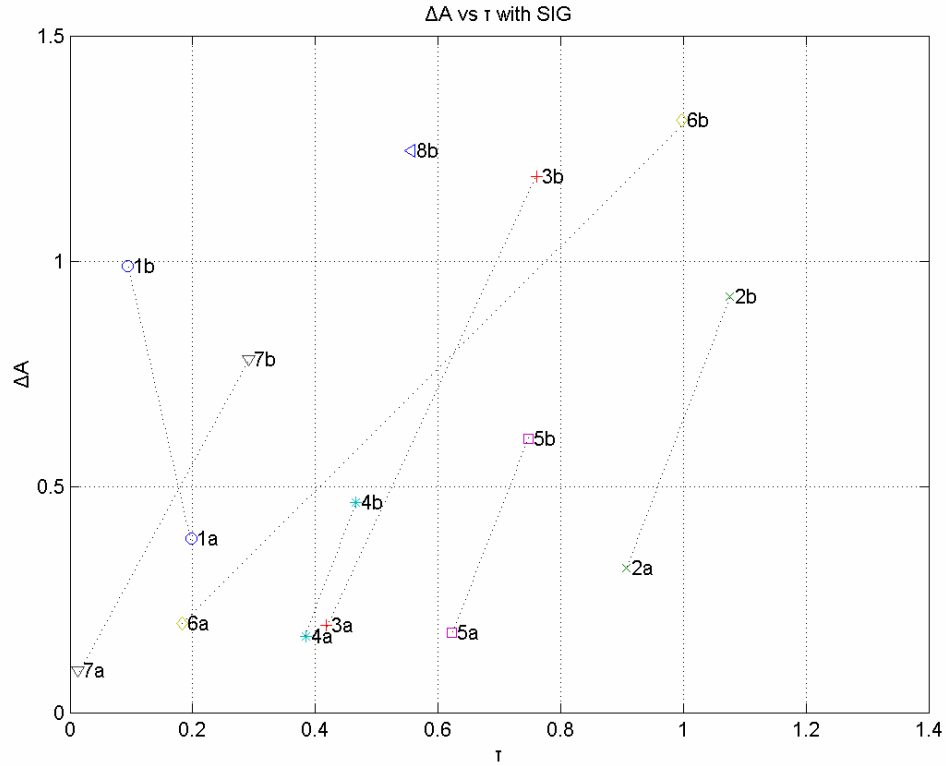
λ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
1 Watt	1.9426	0.3533	0.4655	0.4411	0.2842	1.0866	7.0305	-
120 Watt	10.5512	0.8562	1.5590	1.0010	0.8105	1.3151	2.6839	2.2381

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι ο 1^{ος} εξεταζόμενος και εν συνεχεία ο 7^{ος} εξεταζόμενος παρουσιάζουν την καλύτερη αναπνευστική υγεία ενώ ο 2^{ος} και ο 5^{ος} την χειρότερη.

Στη συνέχεια ακολουθεί η γραφική παράσταση των σημείων $F(\tau_i, \Delta A_i)$ για την άσκηση A (σχήμα 4.9), όπου ο αριθμός σε κάθε σημείο δείχνει τον αριθμό του εξεταζόμενου, ενώ η ένδειξη a αντιστοιχεί στην πρώτη αύξηση (από ηρεμία σε άσκηση 1 Watt) και η ένδειξη b στην δεύτερη αύξηση (από ένταση 1 Wattt σε ένταση 120 Watt).



Σχήμα 4.9 Τα σημεία $F(\tau_i, \Delta A_i)$ με εκθετικό υπολογισμό για τους 8 εξεταζομένους και για τις δυο αλλαγές στην ένταση της άσκησης ($a=1$ Watt και $b=120$ Watt)



Σχήμα 4.10 Τα σημεία $F(\tau_i, \Delta A_i)$ με σιγμοειδή υπολογισμό για τους 8 εξεταζομένους και για τις δυο αλλαγές στην ένταση της άσκησης ($a=1$ Watt και $b=120$ Watt)

Για την δεύτερη άσκηση οι πίνακες των τιμών του ΔA , του τ και του λ είναι :

EXP

ΔA	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
40 Watt	0.2193	0.2972	0.2369	0.4076	0.2471	0.4266	0.2899	0.3565
80 Watt	0.4678	0.4802	0.4477	0.5147	0.3360	0.5021	0.4637	0.6281
120 Watt	0.1736	0.6427	0.5899	0.3659	0.3842	0.5012	0.4570	0.5344
160 Watt	0.4002	0.6899	0.8240	-	0.4891	0.6755	0.3970	0.5721
200 Watt	0.5906	-	1.3456	-	0.6654	0.9436	0.8455	0.5928

τ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
40 Watt	0.2132	0.6921	1.5672	0.7975	0.8503	1.7187	0.6706	0.6012
80 Watt	1.3047	0.1241	0.4668	0.6838	0.8972	0.5292	0.2292	0.5878
120 Watt	0.2479	2.0603	0.1255	0.6833	1.4217	0.6609	0.2292	0.4259
160 Watt	1.3428	0.7368	1.1492	-	0.7054	1.1529	0.9468	0.4013
200 Watt	0.9984	-	1.8917	-	1.8078	1.3308	1.8373	1.4766

λ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
40 Watt	1.0286	0.4294	0.1512	0.5111	0.2906	0.2482	0.4323	0.5930
80 Watt	0.3585	3.8695	0.9591	0.7527	0.3745	0.9488	2.0231	1.0686
120 Watt	0.7003	0.3119	4.7004	0.5355	0.2702	0.7584	1.9939	1.2548
160 Watt	0.2980	0.9363	0.7170	-	0.6934	0.5859	0.4193	1.4256
200 Watt	0.5915	-	0.7173	-	0.3681	0.7090	0.4602	0.4015

SIG

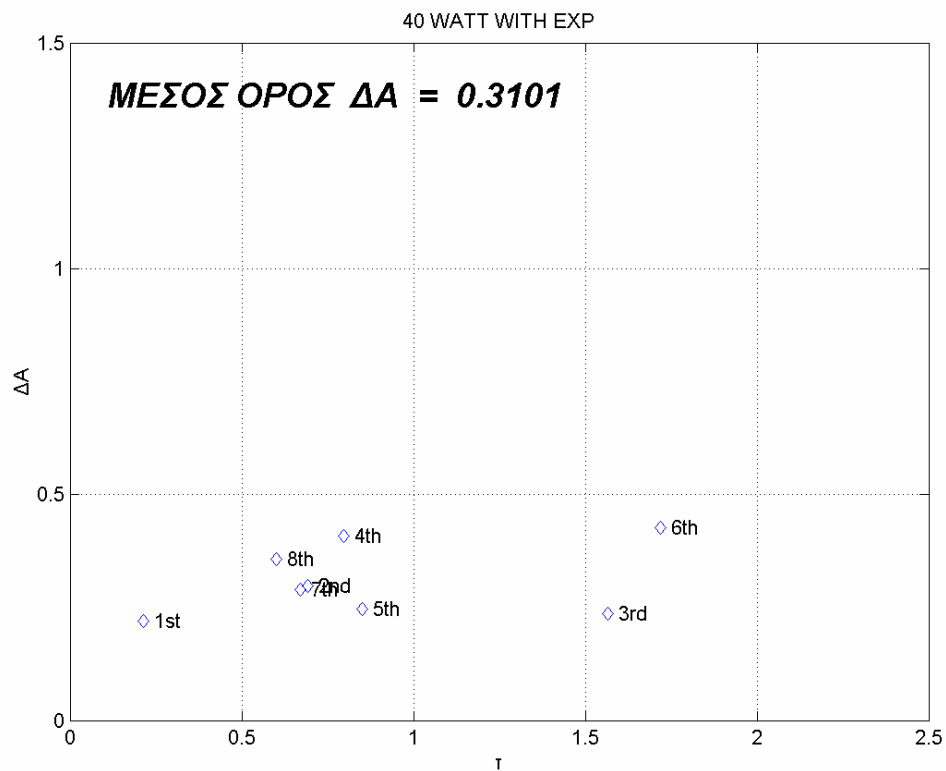
ΔA	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
40 Watt	0.1946	0.2791	0.2101	0.4126	0.2338	0.4065	0.2558	0.2610
80 Watt	0.3948	0.4609	0.4225	0.5017	0.3519	0.4729	0.3485	0.6057
120 Watt	0.1826	0.6009	0.5135	0.3707	0.3406	0.3832	0.3310	0.4102
160 Watt	0.3593	0.3016	0.6894	-	0.4042	0.5940	0.4938	0.5322
200 Watt	0.6000	-	1.3340	-	0.6285	0.9130	0.5271	0.5928

τ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
40 Watt	0.1908	1.1519	1.1697	0.8017	1.0710	1.5469	0.8204	0.9039
80 Watt	1.0584	0.1387	0.3749	0.7032	0.7588	0.5163	0.2896	0.5038
120 Watt	0.4528	1.2005	0.1777	0.6315	1.0009	0.7234	0.3386	0.4863
160 Watt	1.1549	0.6254	1.2627	-	0.5042	1.0882	0.9912	0.3633
200 Watt	1.0483	-	2.1434	-	1.6285	0.9346	1.9001	0.9887

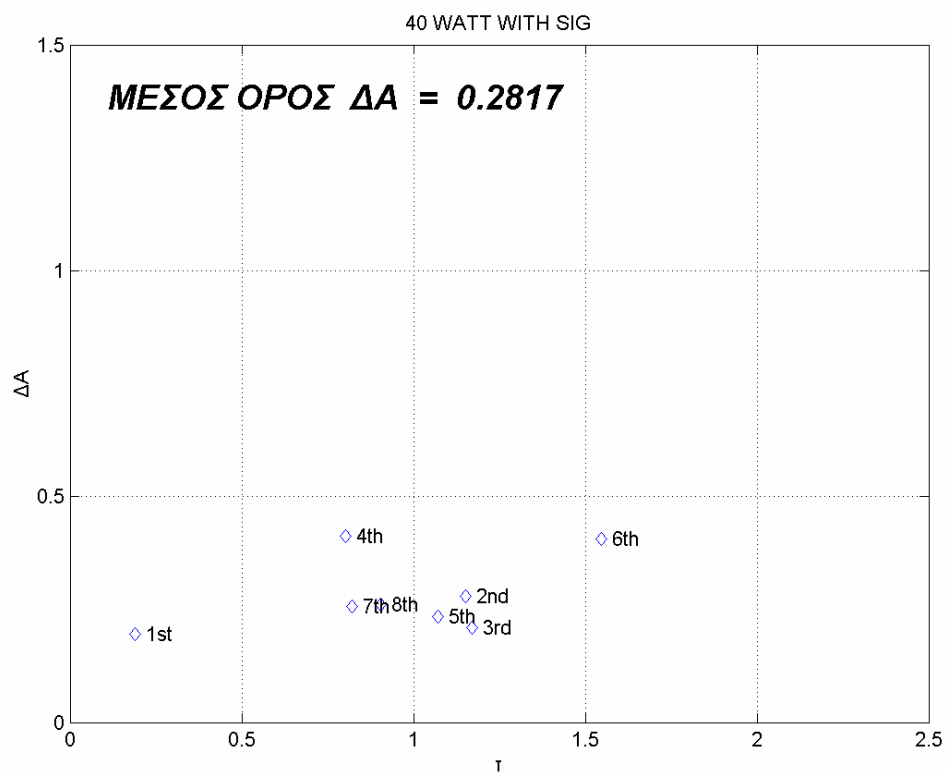
λ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}
40 Watt	1.0199	0.2423	0.1796	0.5147	0.2183	0.2628	0.3118	0.2887
80 Watt	0.3730	3.3230	1.1270	0.7135	0.4638	0.9159	1.2034	1.2023
120 Watt	0.4033	0.5005	2.8897	0.5870	0.3403	0.5297	0.9776	0.8612
160 Watt	0.3111	0.9615	0.5460	-	0.8017	0.5459	0.4982	1.4649
200 Watt	0.5724	-	0.6224	-	0.3859	0.9740	0.2774	0.5996

Συνολικά μπορούμε να πούμε ότι αναπνευστικά προηγούνται ο 2^{ος} και 3^{ος} εξεταζόμενος ενώ υστερείτε ο 5^{ος} εξεταζόμενος .

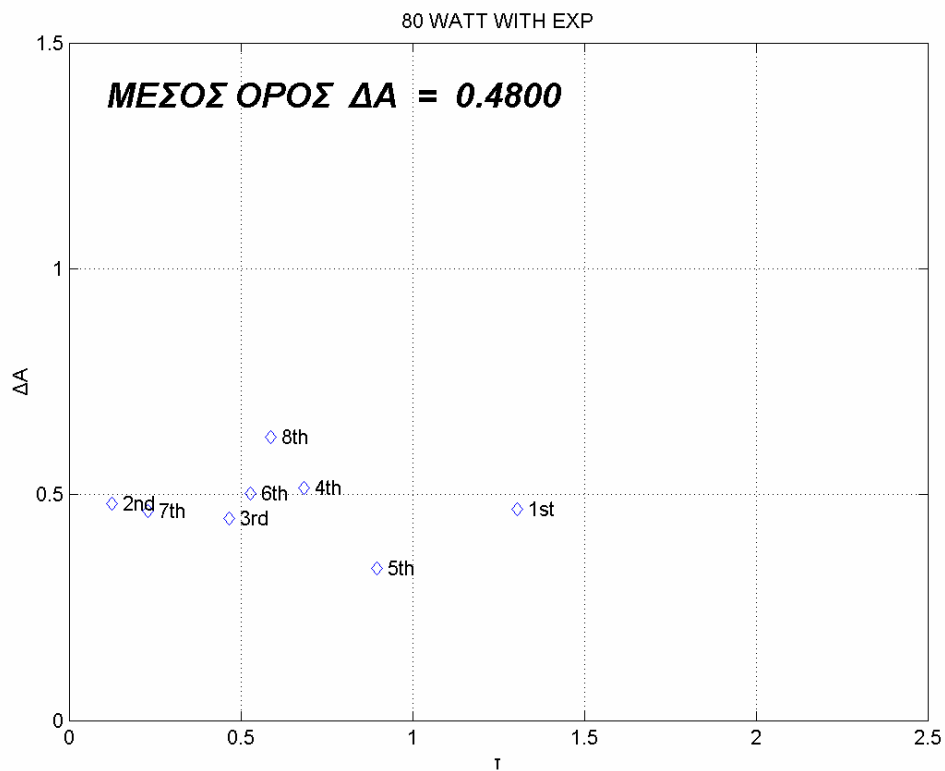
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των σημείων $F(\tau_i, \Delta A_i)$ για κάθε ένταση με εκθετική και σιγμοειδή προσέγγιση.



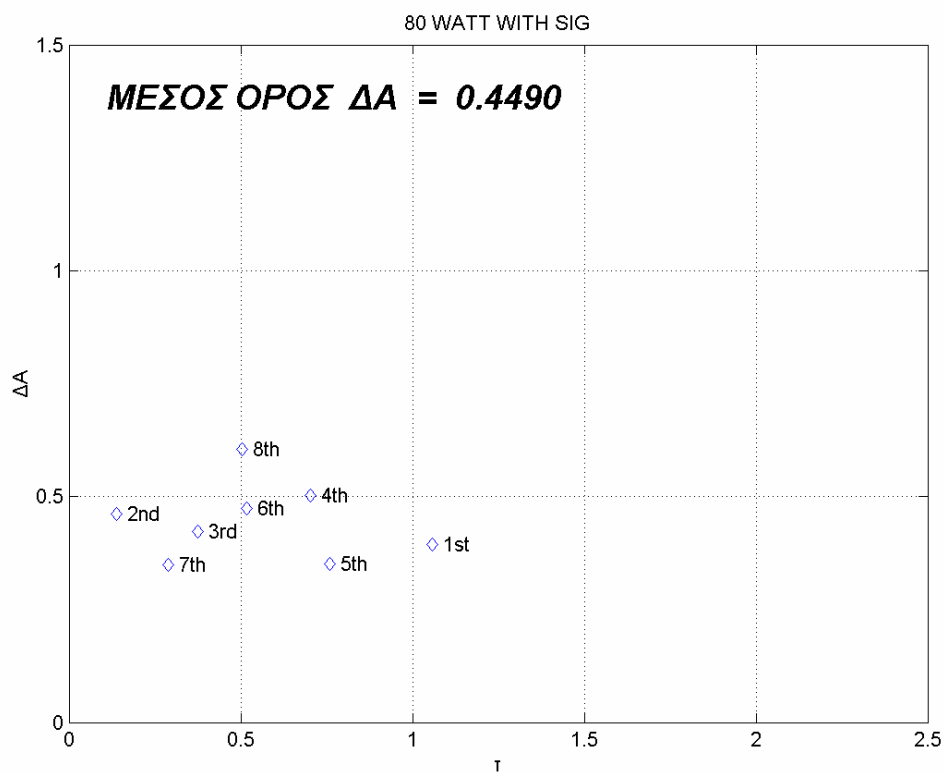
4.11 Οι οκτώ εξεταζόμενοι στα 40 Watt με εκθετική προσέγγιση .



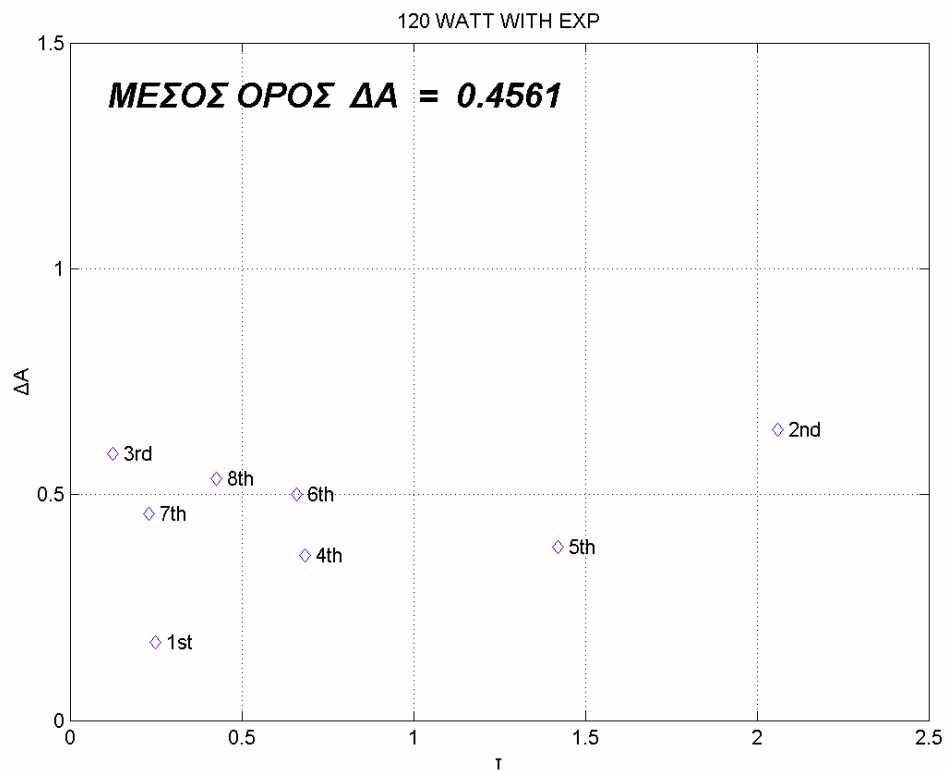
4.12 Οι οκτώ εξεταζόμενοι στα 40 Watt με σιγμοειδή προσέγγιση .



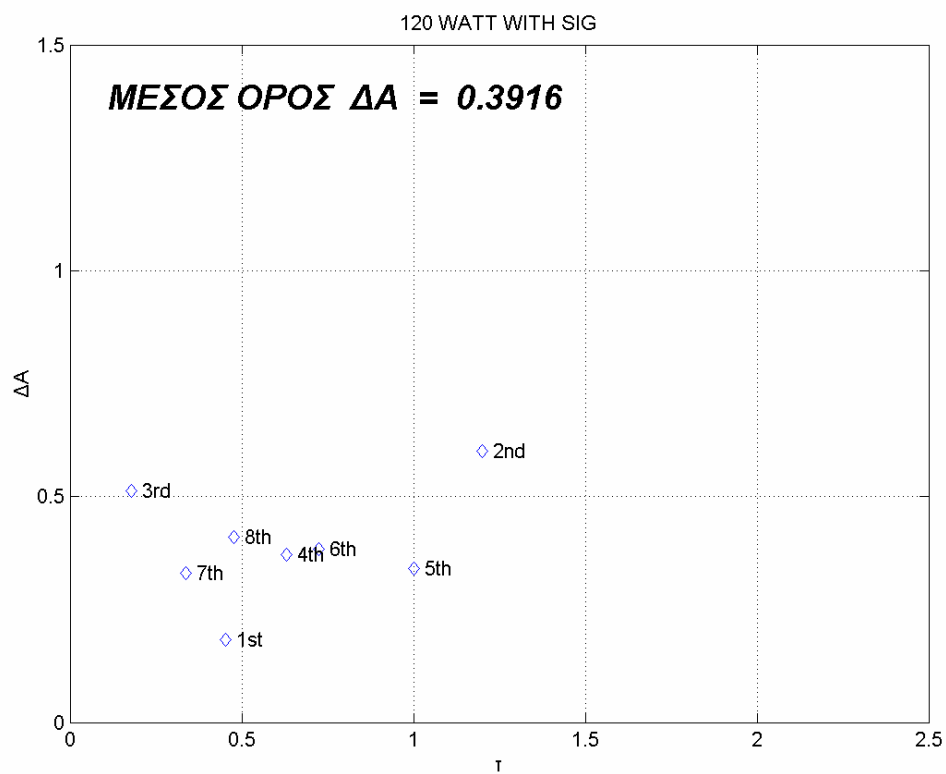
4.13 Οι οκτώ εξεταζόμενοι στα 80 Watt με εκθετική προσέγγιση .



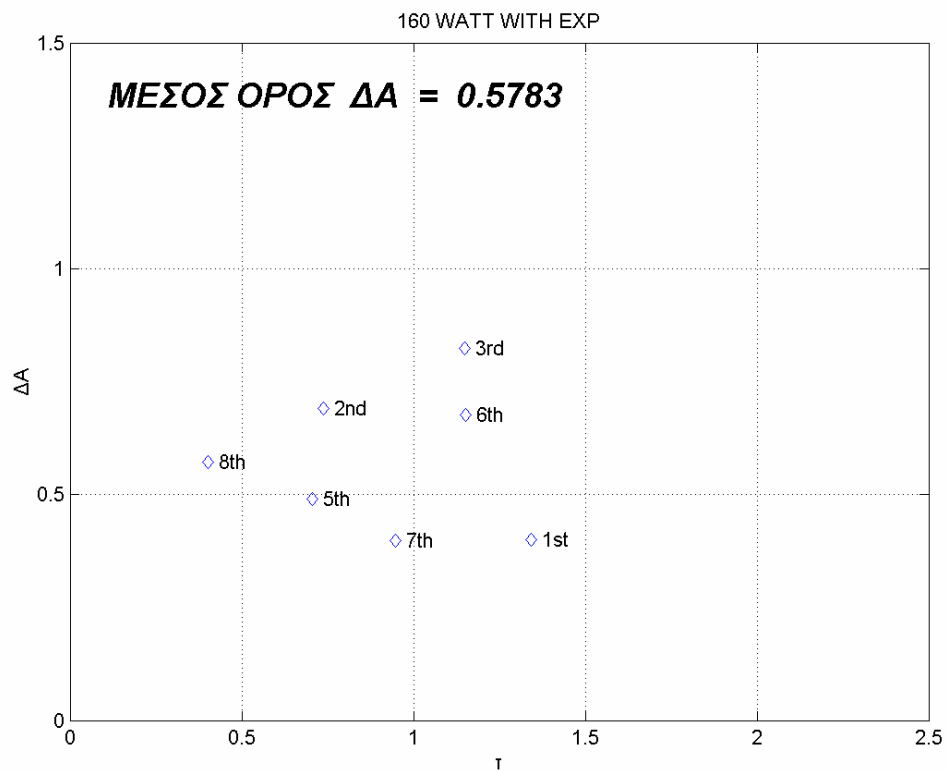
4.14 Οι οκτώ εξεταζόμενοι στα 80 Watt με σιγμοειδή προσέγγιση .



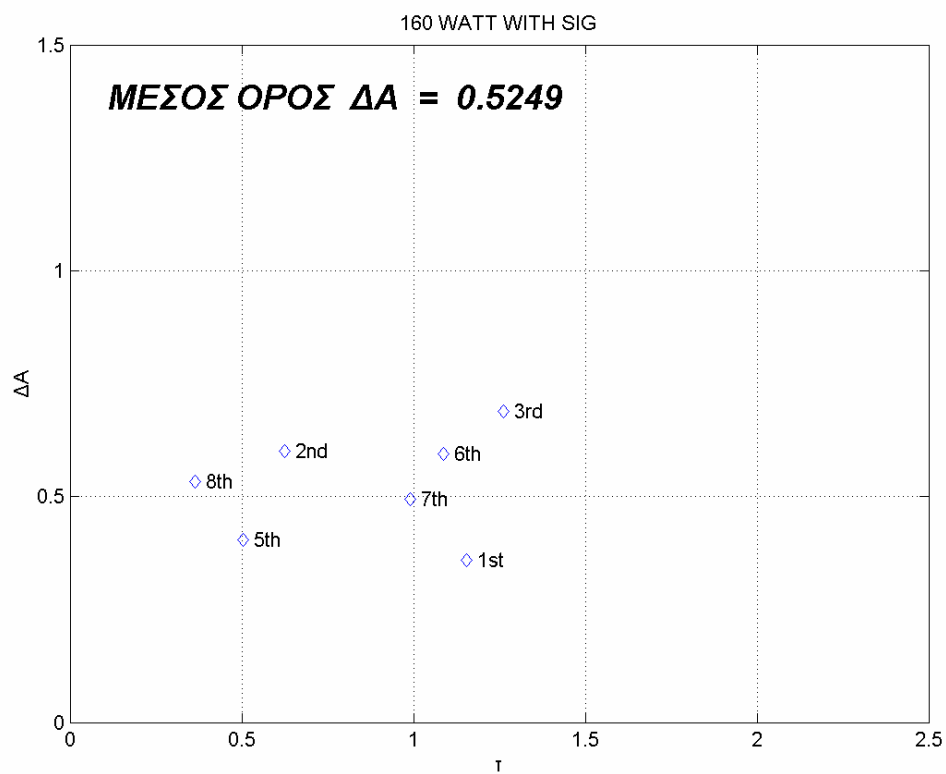
4.15 Οι οκτώ εξεταζόμενοι στα 120 Watt με εκθετική προσέγγιση .



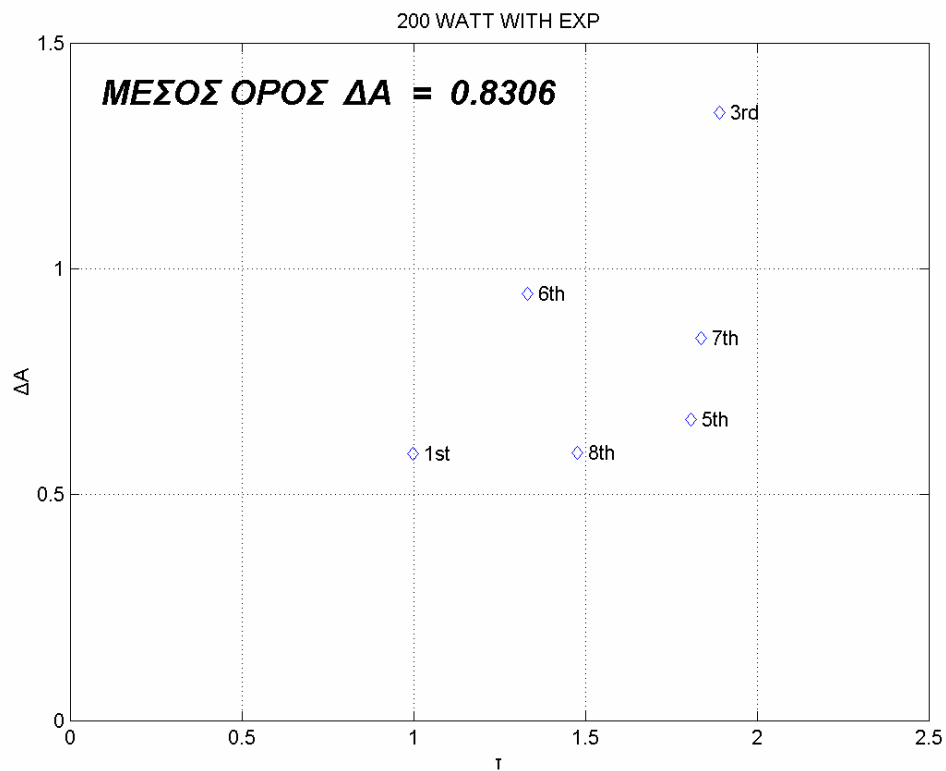
4.16 Οι οκτώ εξεταζόμενοι στα 120 Watt με σιγμοειδή προσέγγιση .



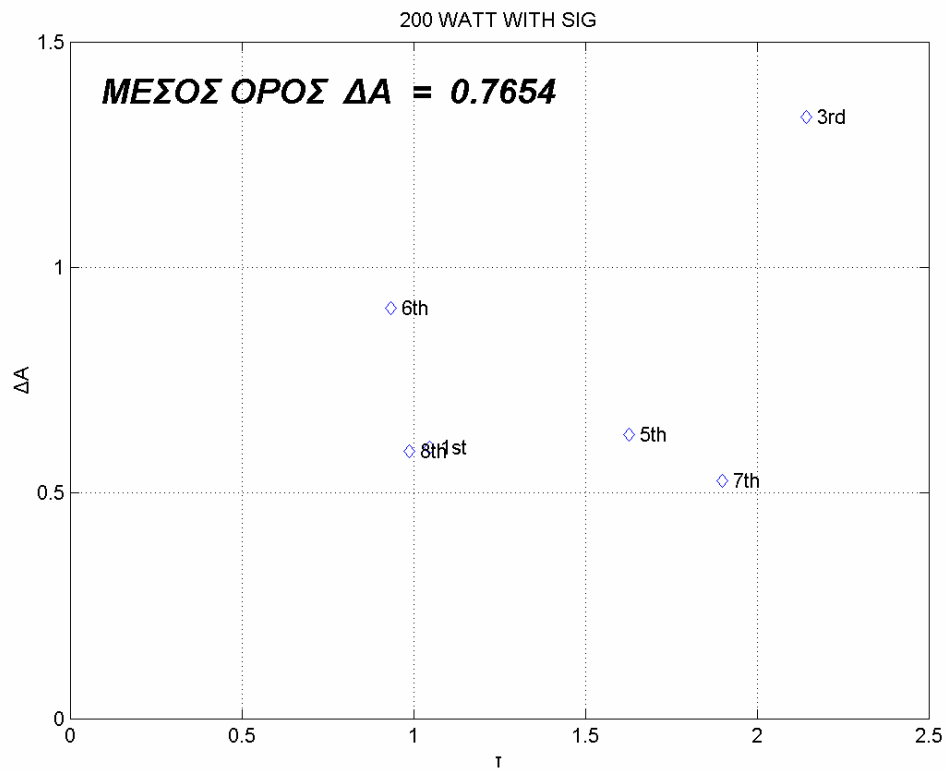
4.17 Οι επτά εξεταζόμενοι (πλην τον 4^ο) στα 160 Watt με εκθετική προσέγγιση .



4.18 Οι επτά εξεταζόμενοι (πλην τον 4^ο) στα 160 Watt με σιγμοειδή προσέγγιση .

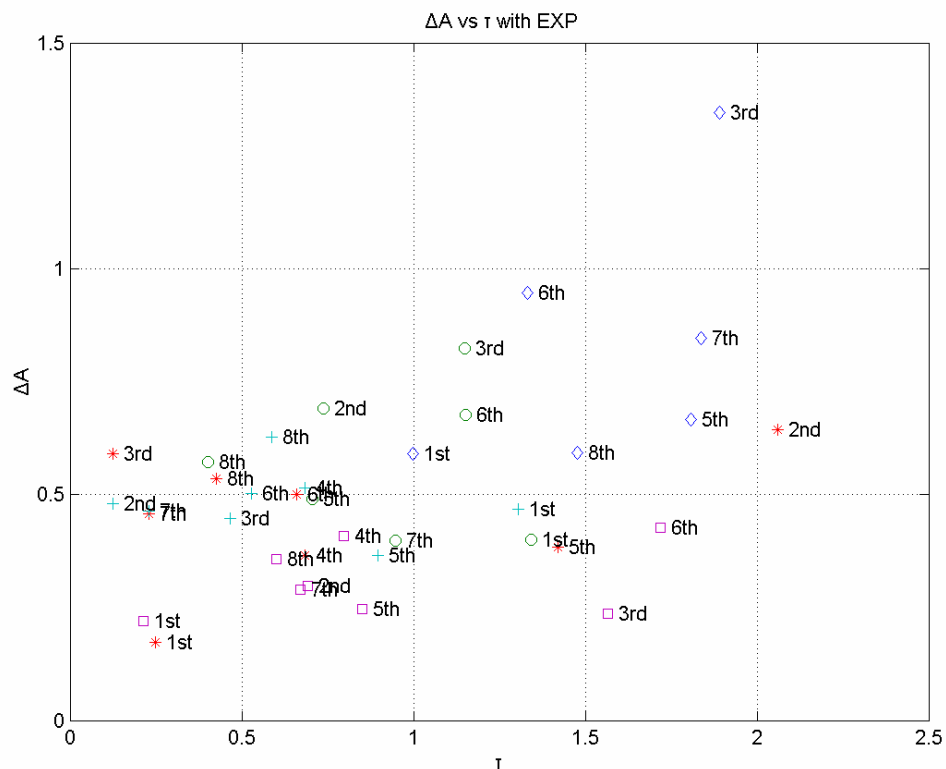


4.19 Οι έξι εξεταζόμενοι (πλην τους 4^0 και 2^0) στα 200 Watt με εκθετική προσέγγιση .

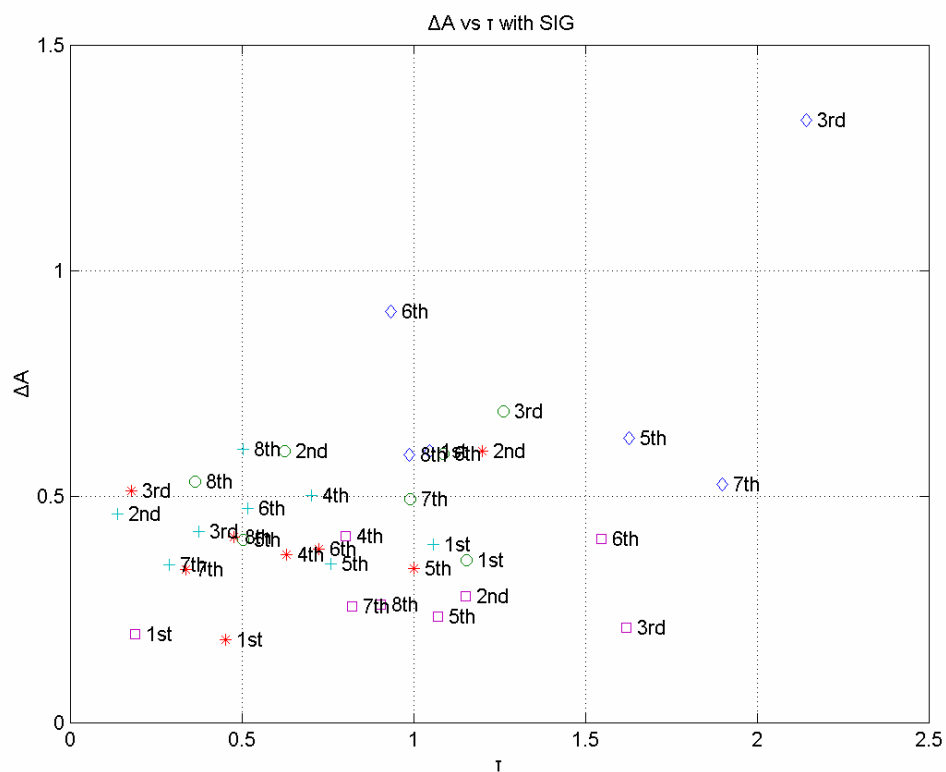


4.20 Οι έξι εξεταζόμενοι (πλην τους 4^0 και 2^0) στα 200 Watt με σιγμοειδή προσέγγιση .

Εάν τοποθετήσουμε τα σημεία από όλες τις εντάσεις της άσκησης έχουμε τις εξής γραφικές παραστάσεις .



4.21 Εκθετική προσέγγιση για όλες τις εντάσεις .



4.22 Σιγμοειδής προσέγγιση για όλες τις εντάσεις .

Τα σύμβολα αντιστοιχούν στις εξής εντάσεις άσκησης :

μπλε διαμάντι : 200 Watt

πράσινος κύκλος (ο) : 160 Watt

κόκκινο αστεράκι (*) : 120 Watt

γκρι σύμβολο πρόσθεσης (+) : 80 Watt

μοβ τετράγωνο : 40 Watt

Να σημειωθεί ότι ο εξεταζόμενος 2 δεν έχει 200 Watt , ενώ ο εξεταζόμενος 4 δεν έχει 200 και 160 Watt.

4.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1) Γενικά η σιγμοειδής συνάρτηση παρουσιάζει καλύτερη προσέγγιση σήματος αλλά ο τρόπος συσχέτισης του τ_{EQUAL} και οι επιπτώσεις του χρειάζεται και κλινική επιβεβαίωση εξαιτίας του ότι οι πρόσφατες βιβλιογραφίες και αναφορές πάνω σε αυτό το θέμα δεν χρησιμοποιούν την σιγμοειδή συνάρτηση ως συνάρτηση μοντελοποίησης παρά μόνο την εκθετική.

2) Το ΔA για διάφορες αυξήσεις στα επίπεδα της άσκησης παρουσιάζει μια μη γραμμική αύξουσα συμπεριφορά .(Αν και στα 120 Watt στη δεύτερη άσκηση το ΔA δεν είναι μεγαλύτερο από το ΔA στα 80 Watt)

3) Το τ δεν είναι πολύ χαρακτηριστικό καθώς υπάρχει μεγάλη διασπορά τιμών για όλα τα επίπεδα άσκησης .

4) Ο λόγος λ που υποδηλώνει αύξηση όγκου οξυγόνου ανά μονάδα χρόνου θα μπορούσε να μας δώσει σοβαρές ενδείξεις για την κατάσταση της αναπνευστικής υγείας του εξεταζόμενου πάντα όμως με συνδυασμό άλλων χαρακτηριστικών (ηλικία , ιατρικό ιστορικό , καταγωγή , φύλο).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ν.Γ. Κουλούρης , Σ. Διμιτρούλης , ‘Δομή και λειτουργία των αναπνευστικών μυών’. Πνεύμων , τεύχος δεύτερο, τόμος 14 , Μάιος –Αύγουστος 2001.
2. Ι.Θ. Πολιτης . ‘Χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια’ . Πνεύμων , τεύχος πρώτο τόμος 13 , Ιανουάριος –Απρίλιος 2001.
3. B.G. Cooper, F. Madsen . ‘Spirometry’
4. American Thoracic Society . ‘ Standardization of Spirometry’ ,1994.
5. Peter J. Huber ‘Robust Statistics’
6. G.A.F. Seber , C.J. Wild ‘Nonlinear Regression’
7. C.Woodford , C.Phillips ‘Numerical methods’
8. Vic Barnett ,Toby Lewis ‘Outliers in statistical data’
9. Russell T.Hepple , Peter P.LIU , Michael J.Plyley, Jack M.Goodman ‘Oxygen uptake kinetics during exercise in chronic heart failure : influence of peripheral vascular reserve’.
10. B .J.Whipp , F .Ozyener ‘The kinetics of exertional oxygen uptake :assumptions and inferences’ .
11. Brian J.Whipp, Susan A.Ward ,Norman Lamarra , James A.Davis ,Karlman Wasserman ‘Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics’.
12. Brian J.Whipp, Susan A.Ward ‘Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise’.
13. Brian J.Whipp, Susan A.Ward ,Norman Lamarra , Karlman Wasserman ‘Effect of interbreath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics’.
14. Brian J.Whipp ‘The slow component of O₂ uptake kinetics during heavy exercise’.
- 15.Ι.Vogiatzis ,S.Nanas , C .Rousos ‘Interval training as an alternative modality to continuous exercise in patients with COPD’
- 16.Katherina Meyer , Matthias Schaibold ,Ramiz Hajric ,Samuel Westbrook , Dieter Ebbfeld ,Dieter Leyek , Helmut Rockamm ‘Delayed VO₂ kinetics during ramp exercise : a criterion for cardiopulmonary exercise capacity in chronic heart failure’
- 17.P.T. Macklem ‘The act of breathing’