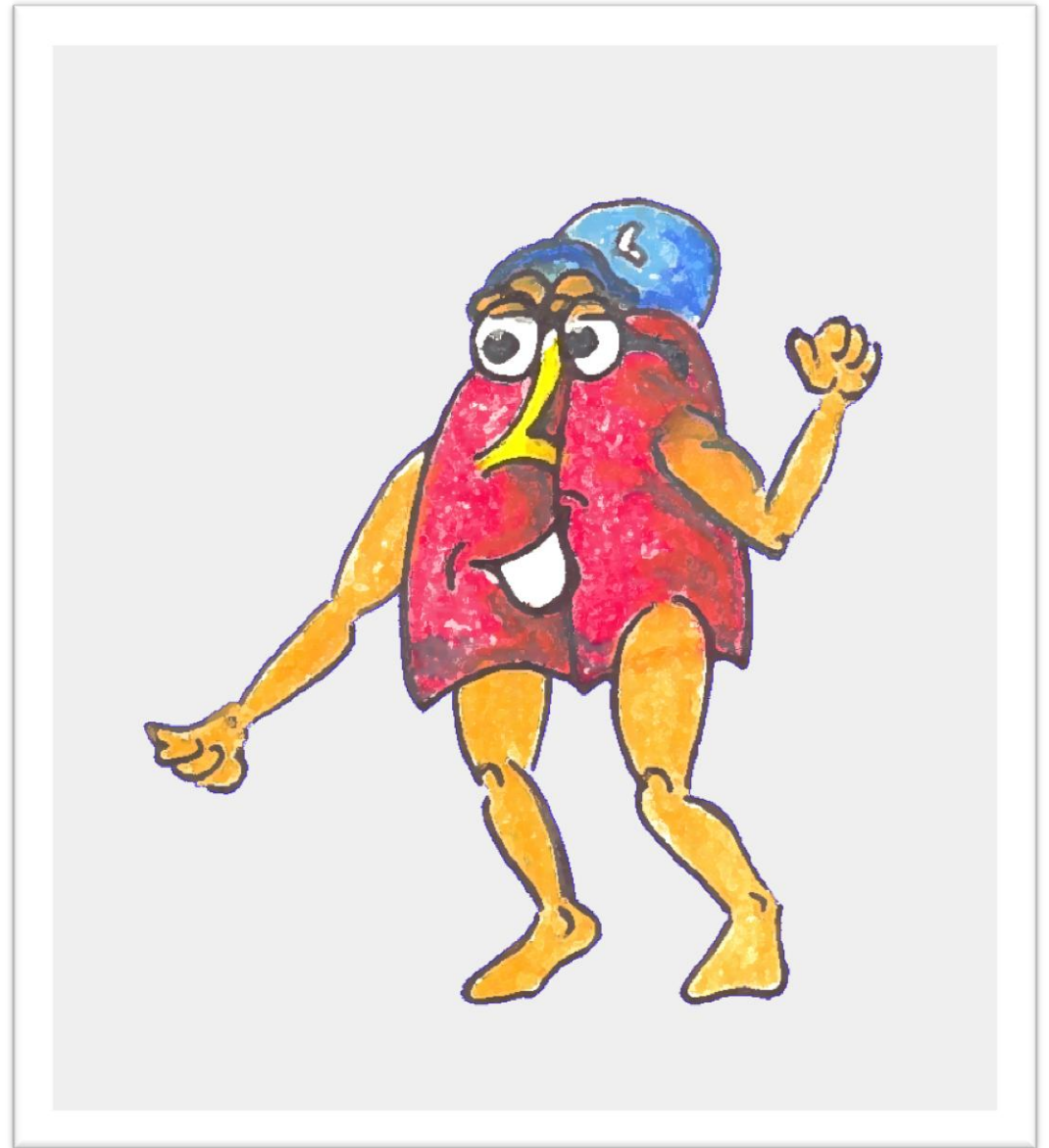


# Το αναπνευστικό σύστημα

Γεώργιος Αρεάλης  
Μιχαήλ Λούκας  
Νικόλαος Τριπόδης



# Το αναπνευστικό σύστημα

## Συγγραφείς:

Γεώργιος Αρεάλης, Ορθοπαιδικός

Μιχαήλ Λούκας, Ορθοπαιδικός

Νικόλαος Τριπόδης, Σχολικός Σύμβουλος,

[www.tripodis.gr](http://www.tripodis.gr)

## Συνεργασία:

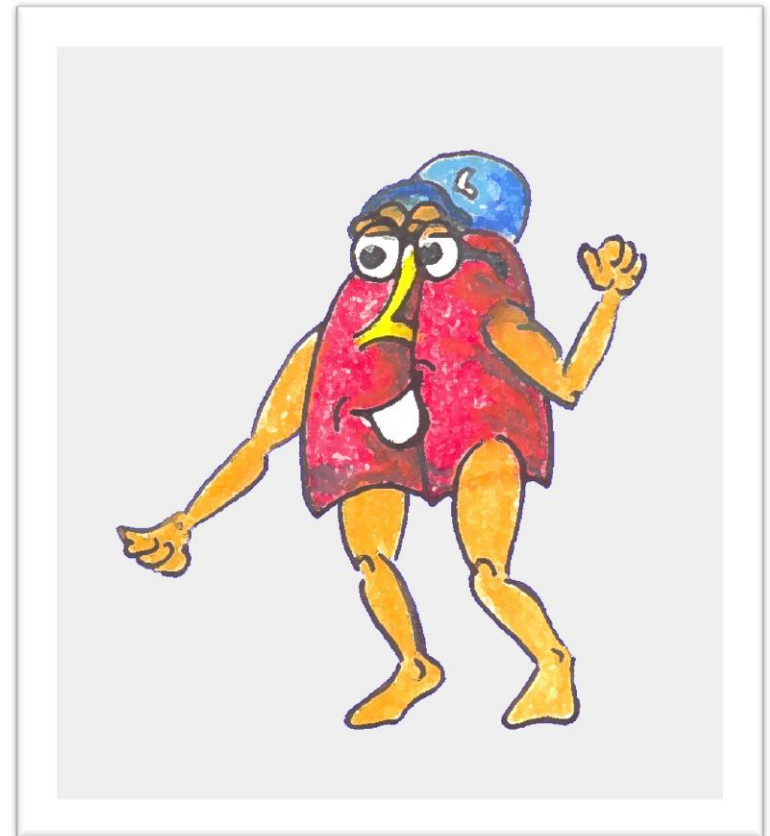
Γεωργία Νικολαΐδου, Αναισθησιολόγος

## Επιμέλεια κειμένου:

Άννα Αρεάλη, Φιλολόγος- Αρχαιολόγος

## Εικονογράφηση, επεξεργασία εικόνας:

Γεώργιος Αρεάλης, Ορθοπαιδικός



Ανάρτηση στην ιστοσελίδα του 2ου Π.Ε.Κ. Αθηνών στις 2.3.2010. Η δημοσίευση φωτογραφιών, η μερική ή ολική ανατύπωση από το βιβλίο απαγορεύονται χωρίς την έγγραφη άδεια των συγγραφέων.

# Περιεχόμενα

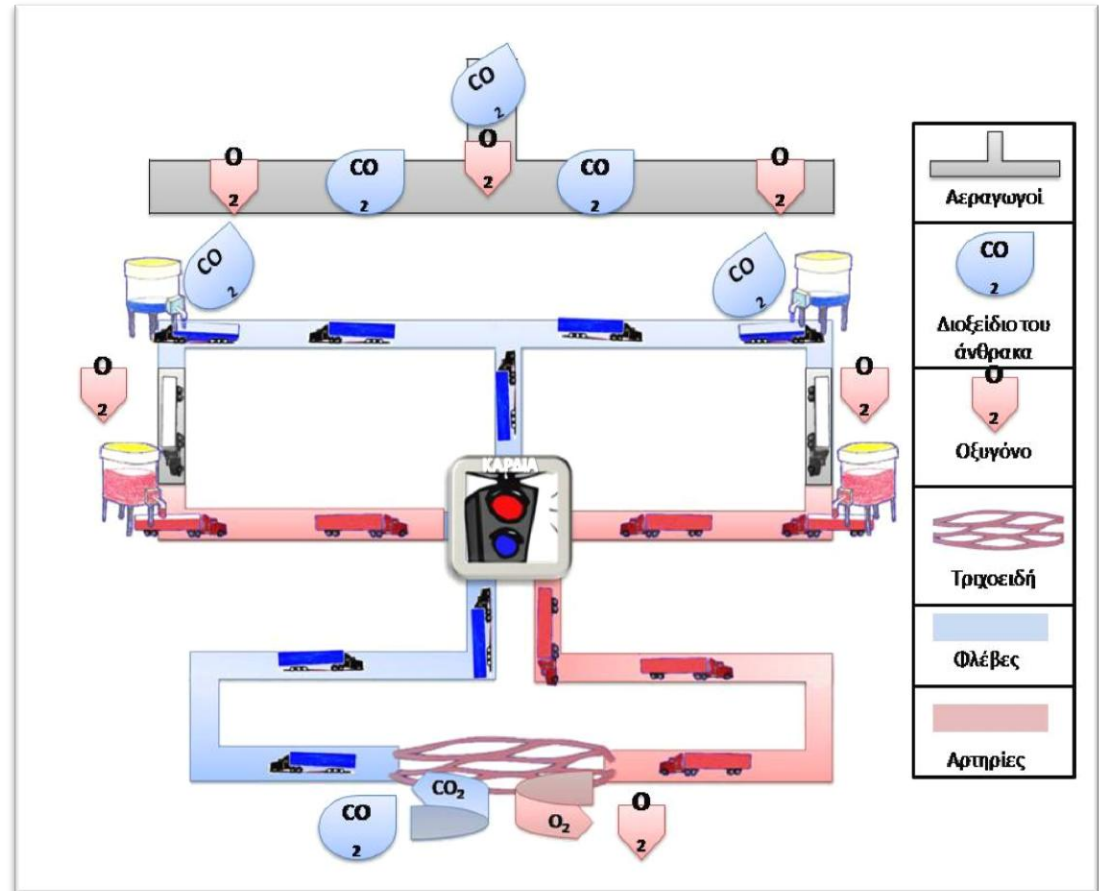
Εισαγωγή	3
Ανατομία του αναπνευστικού συστήματος	4
Οι είσοδοι του αέρα στο ανθρώπινο σώμα	5
Ρινικός βλεννογόνος	6
Ο ρόλος των αεραγωγών	7
Φάρυγγας, λάρυγγας και φωνητικές χορδές	8
Η τραχεία και οι κυψελίδες	9
Πνεύμονες	10
Αναπνευστικοί όγκοι και χωρητικότητες	11
Πνευμονική κυκλοφορία	14
Η ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων	15
Μεταφορά οξυγόνου στο αίμα	16
Μεταφορά διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα	17
Φάσεις της αναπνοής	18
Είδη αναπνοής	19
Ήρεμη και έντονη αναπνοή σχηματικά	20
Αναπνευστικοί μύες	21
Βασικές αρχές σωστής αναπνοής	22
Δοκιμασίες εκτίμησης του αναπνευστικού συστήματος- Σπυρομέτρηση	23
Δοκιμασίες εκτίμησης του αναπνευστικού συστήματος- VO2 max	24
Εκτίμηση του VO2 max	27
Χαρακτηριστικές τιμές VO2max	28
VO2 max και υγεία	29
Αναμενόμενες αποστάσεις δοκιμασίας Cooper	30
Αναμενόμενες τιμές VO2max για άνδρες σε ml/kg/min	31
Αναμενόμενες τιμές VO2max για γυναίκες σε ml/kg/min	32
Αναφορές	33

# Εισαγωγή

Ο βασικός ρόλος του αναπνευστικού συστήματος είναι η παροχή οξυγόνου ( $O_2$ ) στο ανθρώπινο σώμα. Ταυτόχρονα δια των πνευμόνων αποβάλλεται και το μεγαλύτερο ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ).

Οι βασικές λειτουργίες του αναπνευστικού συστήματος είναι οι εξής :

- ❖ Η αναπνοή, δηλαδή η εισπνοή και η εκπνοή (πνευμονικός αερισμός).
- ❖ Η ανταλλαγή, με διάχυση, των αναπνευστικών αερίων ( $O_2$ ,  $CO_2$ ), τα οποία μεταφέρονται δια του αίματος στους πνεύμονες.
- ❖ Η παροχή οξυγόνου στους ιστούς του ανθρώπινου σώματος.
- ❖ Η απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα από το αίμα.



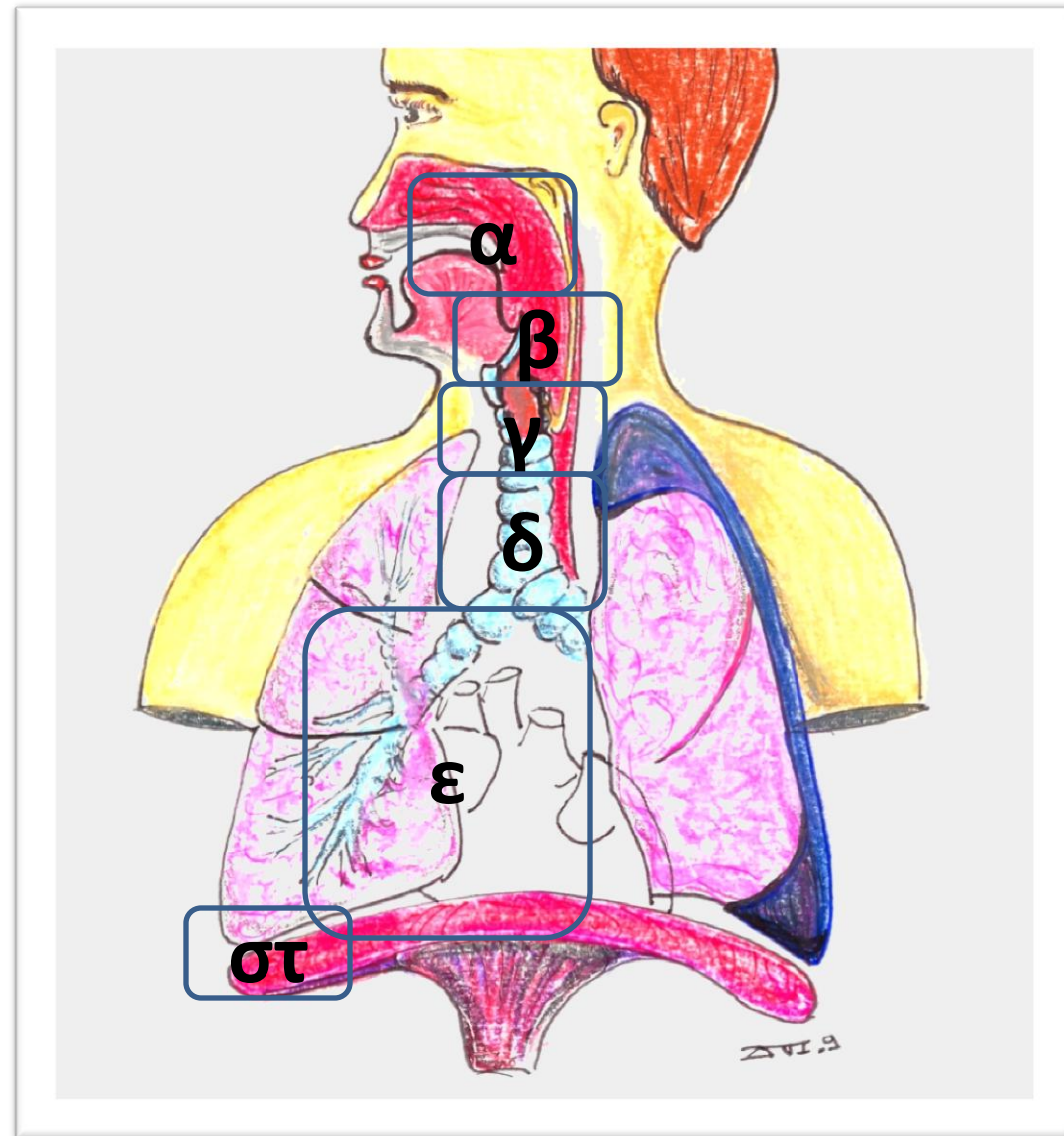
# Ανατομία του αναπνευστικού συστήματος

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος, είναι αναγκαία η μελέτη της ανατομίας και της λειτουργίας των οργάνων που το αποτελούν.

Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από τους αεραγωγούς και από το πνευμονικό παρέγχυμα.

Οι αναπνευστικοί αεραγωγοί, δηλαδή οι οδοί μέσω των οποίων περνάει ο αέρας κατά τη διάρκεια της αναπνοής, είναι :

- ❖ Η μύτη και η στοματική κοιλότητα (α)
- ❖ Ο φάρυγγας (β)
- ❖ Ο λάρυγγας (γ)
- ❖ Η τραχεία (δ)
- ❖ Οι κύριοι βρόγχοι και τα βρογχιόλια (ε)
- ❖ Οι κυψελίδες των πνευμόνων (στ)



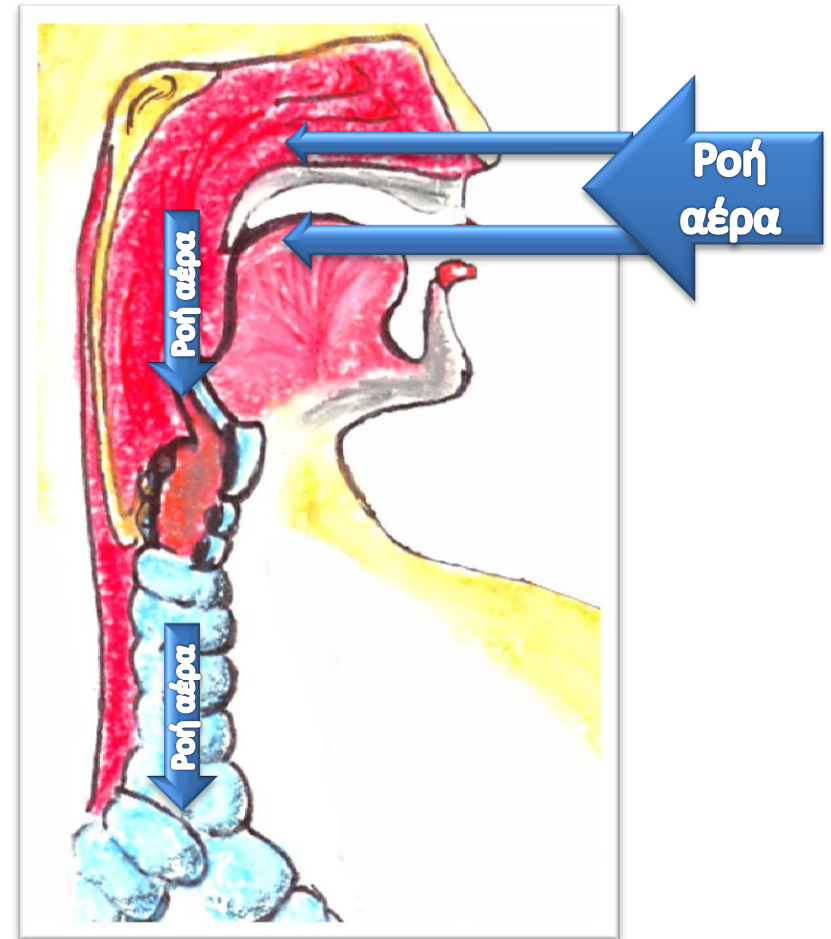
# Οι είσοδοι του αέρα στο ανθρώπινο σώμα

Οι είσοδοι του αέρα στο ανθρώπινο σώμα είναι η μύτη και το στόμα.

Ο αθλητής πρέπει να είναι συνηθισμένος ακόμη και στη διάρκεια της εξάσκησης του αθλήματός του, να αναπνέει όσο το δυνατόν περισσότερο από τη μύτη. Ο προπονητής του πρέπει να επιμείνει σε αυτό το σημείο, γιατί ο αθλούμενος πρέπει να συνηθίσει από την αρχή να αναπνέει σωστά.

Βέβαια, όπως είναι φυσικό, ο αέρας που εισέρχεται από τη μύτη μπορεί να μην επαρκεί σε στιγμές έντονης άσκησης. Τότε το σώμα περνάει αυτόματα στη στοματική αναπνοή.

Η σπουδαιότητα της αναπνοής από τη μύτη οφείλεται στην κατασκευή της που, όπως θα δούμε στη συνέχεια, βελτιώνει τον εισπνεόμενο αέρα. Ακόμη για τους αθλητές είναι σημαντικό το ότι η στενότητα του ρινικού περάσματος προκαλεί μεγαλύτερη αντίσταση κατά την εισπνοή και την εκπνοή γεγονός που δυναμώνει τους αναπνευστικούς μυς.





## Ρινικός βλεννογόνος

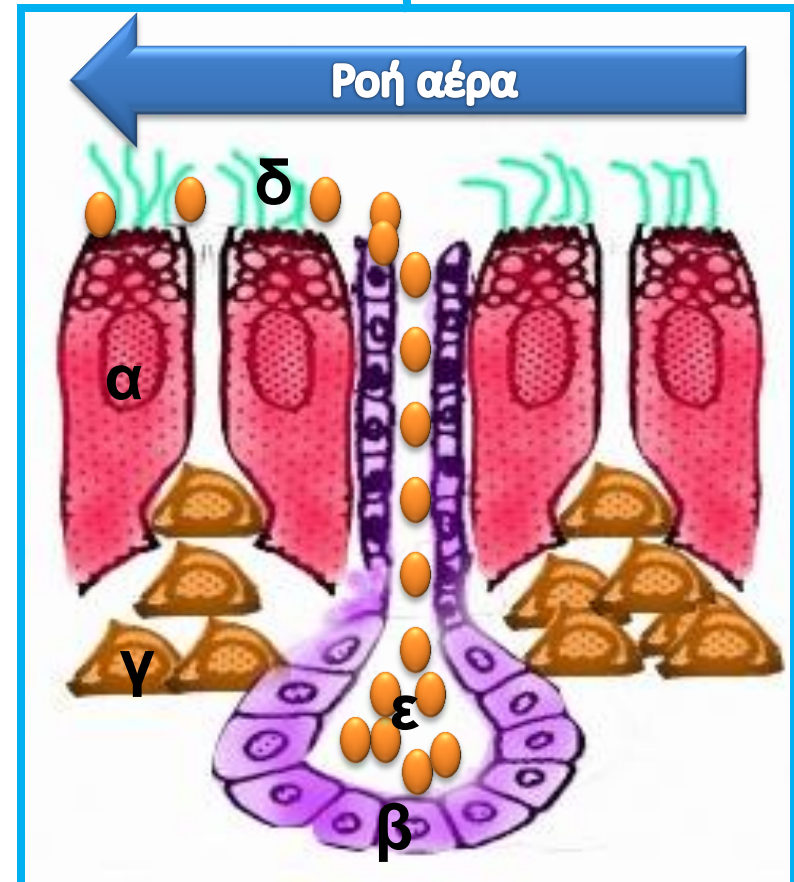
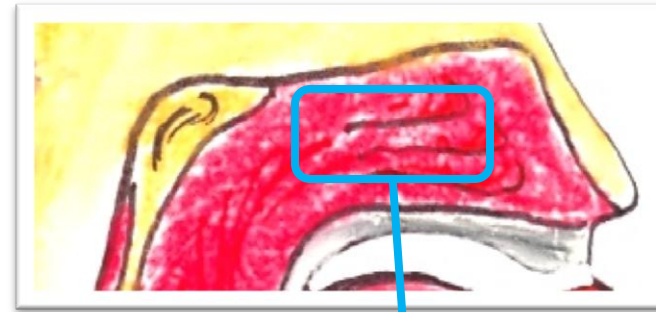
Ο αναπνευστικός βλεννογόνος έχει ροδόχροη εμφάνιση και καλύπτει το τοίχωμα των ρινικών θαλάμων. Αποτελείται από ψευδοπολύστιβο κυλινδρικό κροσσωτό επιθήλιο, χόριο και αδένες.

Το επιθήλιο σχηματίζεται από τρία είδη κυττάρων: τα κροσσωτά (α), τα καλυκοειδή (β) και τα βασικά (γ).

Τα κροσσωτά είναι ψηλά κυλινδρικά κύτταρα με χαρακτηριστική στενή βάση και ελεύθερη επιφάνεια, καλυπτόμενη από τους κροσσούς. Οι κροσσοί (δ) είναι δακτυλοειδείς προσεκβολές του κυτταροπλάσματος.

Ανάμεσά τους παρεμβάλλονται σποραδικά βλεννογόνα καλυκοειδή κύτταρα, με σύσταση παρόμοια των βρογχικών αδένων. Η βλένη (ε) που παράγουν μεταφέρεται προς την επιφάνεια και τους κροσσούς με εκφορητικούς πόρους.

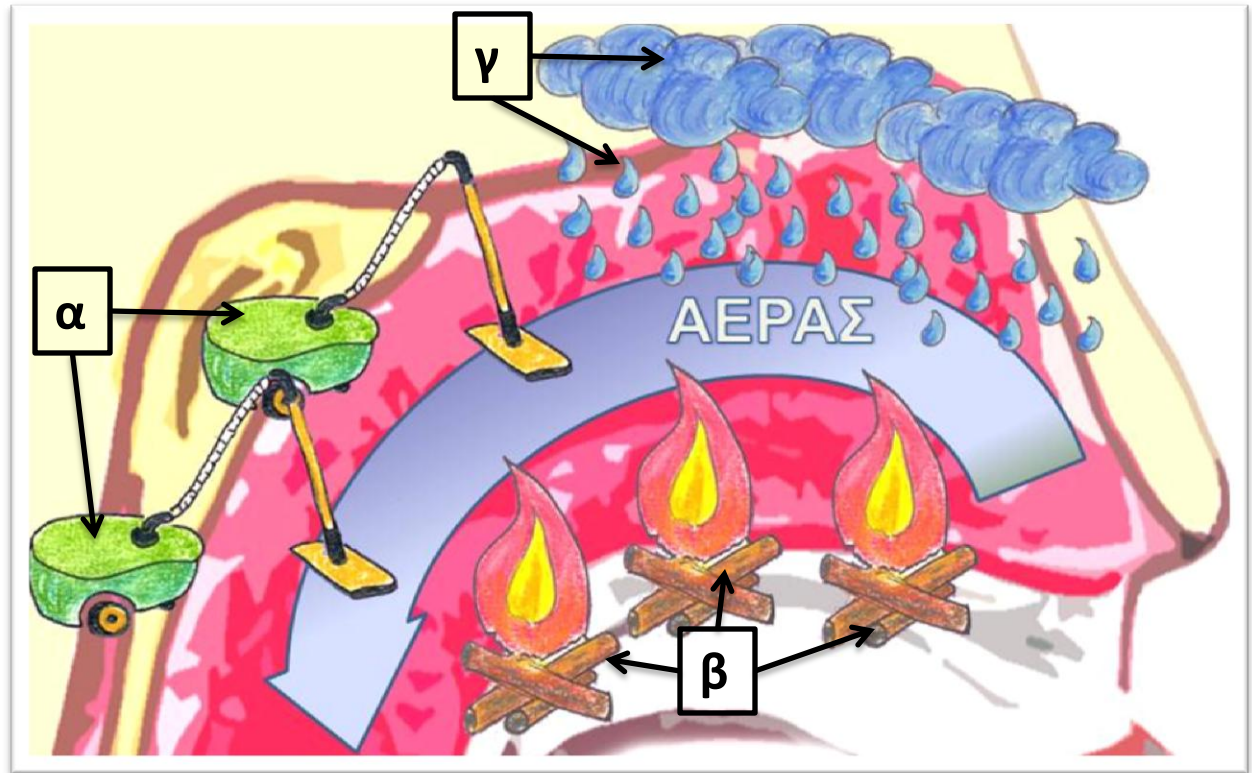
Τα βασικά κύτταρα είναι σφαιρικά μικρά κύτταρα με βαθυχρωματικό πυρήνα, που βρίσκονται ανάμεσα στις βάσεις των κροσσωτών και καλυκοειδών κυττάρων. Αποτελούν μητρικές μορφές όλων των κυτταρικών στοιχείων του επιθηλίου.



# Ο ρόλος των αεραγωγών

Από πρακτικής άποψης όλες αυτές οι ανατομικές ιδιαιτερότητες του ρινικού βλεννογόνου αλλά και γενικότερα του επιθηλίου, που καλύπτει το σύνολο των αεραγωγών του αναπνευστικού συστήματος, έχουν ως αποτέλεσμα ο εισπνεόμενος αέρας:

- ❖ Να καθαρίζεται, διότι ο ρινικός βλεννογόνος με το κροσσωτό επιθήλιο και τη βλέννη που παράγει λειτουργεί σαν φίλτρο (α).
- ❖ Να θερμαίνεται, χάρη στο μεγάλο αριθμό των τριχοειδών αγγείων που έρχονται σε επαφή με τον βλεννογόνο (β).
- ❖ Να υγραίνεται από τη βλέννη, με αποτέλεσμα την προστασία των ευαίσθητων ιστών του αναπνευστικού συστήματος (γ).



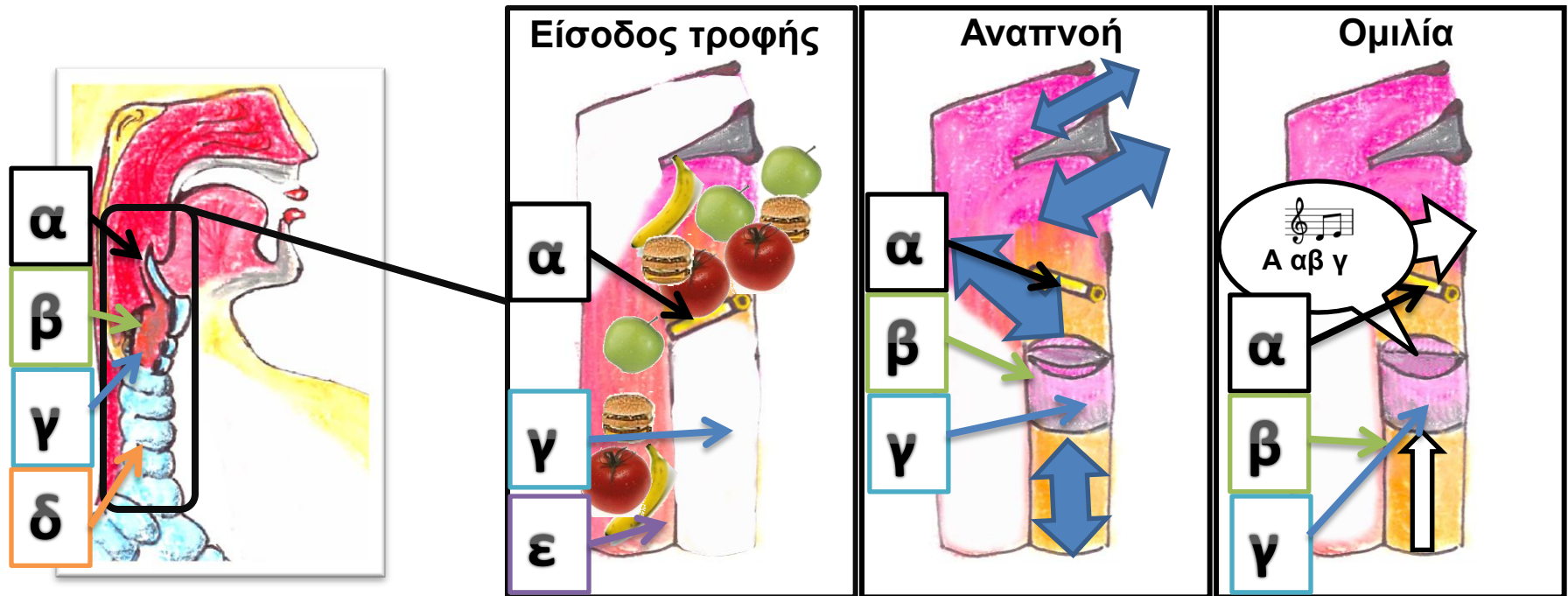


# Φάρυγγας, λάρυγγας και φωνητικές χορδές

Συνεχίζοντας το ταξίδι μέσω των αναπνευστικών οδών φτάνουμε στο φάρυγγα, που έχει μήκος περίπου 14 εκατοστά. Αποτελείται από τρεις μέρη τη ρινική, τη στοματική τη λαρυγγική. Στην τελευταία διασταυρώνονται η αναπνευστική και η πεπτική οδός.

Από το φάρυγγα ο αέρας περνάει στο λάρυγγα (β) που έχει μήκος περίπου 5-7 εκατοστά. Ο λάρυγγας περιέχει τις φωνητικές χορδές (γ) που, όταν πάλλονται παράγουν ήχους και την επιγλωττίδα (α), που εμποδίζει το φαγητό, που κατευθύνεται προς τον οισοφάγο (ε) να περάσει στις αναπνευστικές οδούς.

Από εκεί ο αέρας πηγαίνει στην τραχεία (δ).



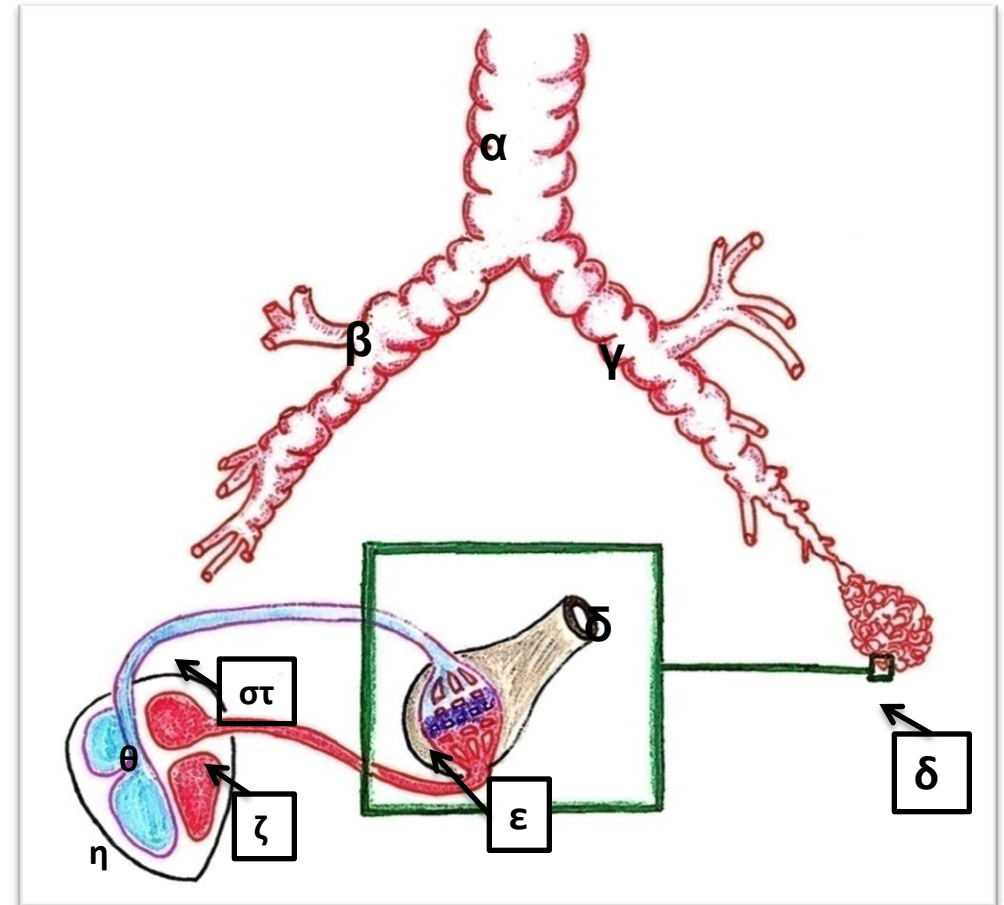
# Η τραχεία και οι κυψελίδες

Η τραχεία έχει μήκος 12 εκατοστά και σχήμα κυλινδρικό, ενισχυμένο με χόνδρους σε σχήμα δακτυλίου. Καλύπτεται από κροσσωτό επιθήλιο παρόμοιο με του ρινικού βλεννογόνου

Η τραχεία (α) χωρίζεται πίσω από το κατώτερο τμήμα του στέρνου στους δύο κυρίως βρόγχους (δεξιό-β, αριστερό-γ). Από εκεί συνεχίζουν περαιτέρω υποδιαίρεσεις που καταλήγουν στις πνευμονικές κυψελίδες, εκεί όπου ο αέρας σταματάει. (δ)

Οι κυψελίδες είναι η λειτουργική μονάδα των πνευμόνων και αποτελούν την κύρια μάζα τους. Η ιδιαιτερότητά τους βρίσκεται στο γεγονός ότι είναι κατασκευασμένες από μία λεπτή μεμβράνη, διαπερατή στο οξυγόνο ( $O_2$ ) και το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) που περιβάλλεται από ένα πλούσιο δίκτυο τριχοειδών αγγείων (ε).

Τα κυψελιδικά τριχοειδή σχηματίζονται από τη συμβολή των απολήξεων της πνευμονικής αρτηρίας (στ) με την πνευμονική φλέβα (ζ). Η πνευμονική αρτηρία ξεκινά από την αριστερή κοιλία (η) και μεταφέρει αίμα πλούσιο σε  $CO_2$ . Η πνευμονική φλέβα καταλήγει στον αριστερό κόλπο (θ) και μεταφέρει αίμα πλούσιο σε  $O_2$ .

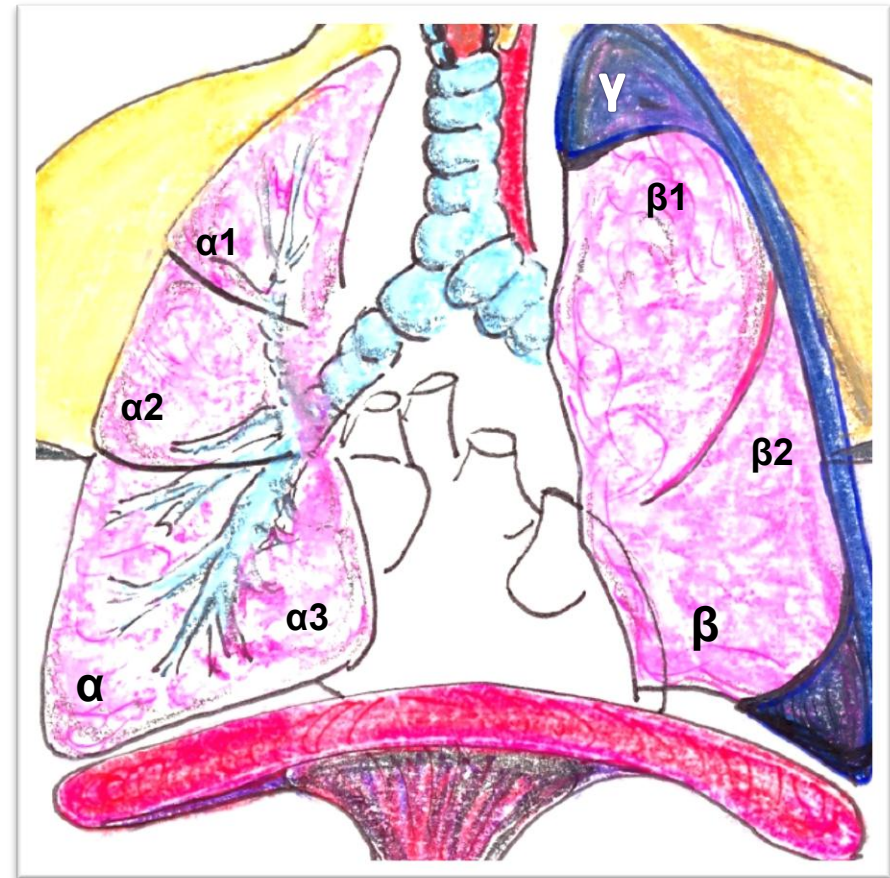


# Πνεύμονες

Οι πνεύμονες είναι δύο, ο δεξιός (α) και ο αριστερός (β). Βρίσκονται μέσα στο θωρακικό κλωβό και περιβάλλονται από τον υπεζωκότα (γ).

Ο υπεζωκότας έχει δύο μοίρες μία σπλαχνική που βρίσκεται σε άμεση επαφή με τον πνεύμονα και μια τοιχωματική που προσφύεται στο θωρακικό τοίχωμα. Μεταξύ τους υπάρχει το υπεζωκοτικό υγρό.

Κάθε πνεύμονας χωρίζεται σε λειτουργικά τμήματα που ονομάζονται λοβοί. Ο δεξιός έχει τρεις λοβούς (α 1,2,3) και ο αριστερός δύο (β 1,2).

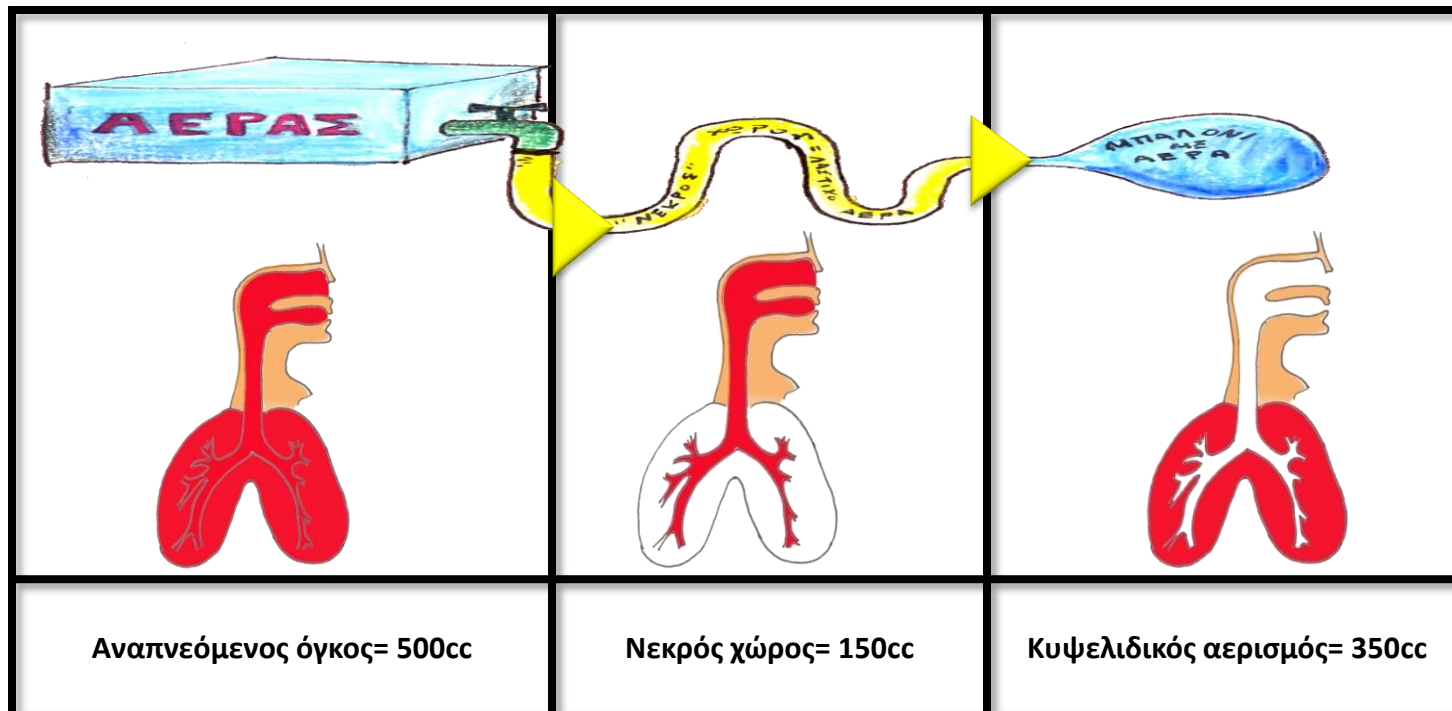


# Αναπνευστικοί όγκοι και χωρητικότητες

Σ' ένα φυσιολογικό άνθρωπο, ο αναπνεόμενος όγκος, δηλαδή ο όγκος κάθε ήρεμης αναπνοής, είναι γύρω στα 500cc. Αν ο άνθρωπος αναπνέει φυσιολογικά, δηλαδή με συχνότητα 16 αναπνοών ανά λεπτό, ο συνολικός όγκος του αέρα που διακινείται στους πνεύμονες ανά λεπτό είναι περίπου 8000cc (550 ml επί 16 αναπνοές).

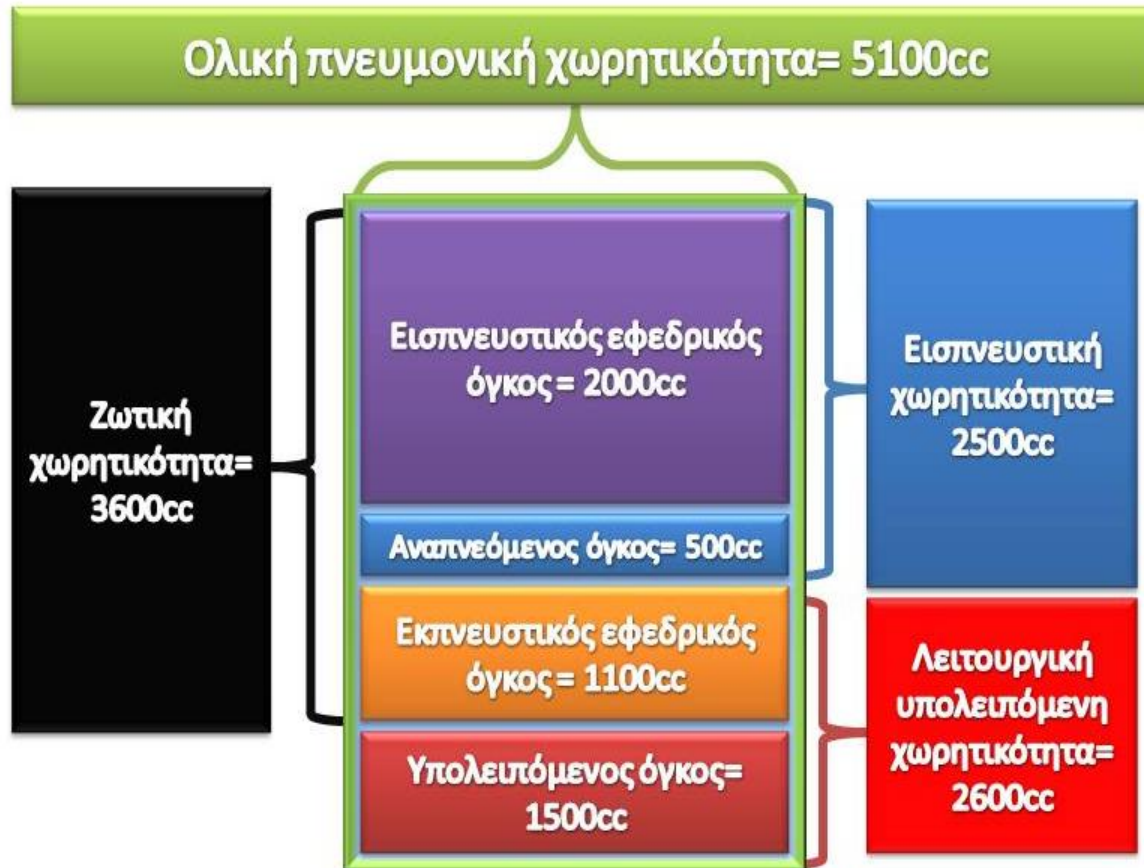
Από 500cc κάθε εισπνοής ένα μέρος του αέρα γεμίζει το νεκρό χώρο (μύτη, φάρυγγα, λάρυγγα, τραχεία, βρόγχους) που δε συμμετέχει στην ανταλλαγή των αερίων. Ο νεκρός χώρος είναι περίπου 150 cc.

Αν αφαιρέσουμε από τα 500cc του αναπνεόμενου όγκου τα 150cc του νεκρού αναπνευστικού χώρου και με συχνότητα 16 αναπνοών ανά λεπτό, θα έχουμε  $(500-150) \times 16 = 5600\text{cc}$ . Δηλαδή, από τα 8 λίτρα που εισέρχονται στους πνεύμονες ανά λεπτό, στις κυψελίδες φτάνουν περίπου 5,5 λίτρα και αυτά συμμετέχουν στην ανταλλαγή των αερίων.





# Αναπνευστικοί όγκοι και χωρητικότητες



Στην εκτίμηση της αναπνευστικής λειτουργίας των αθλητών, εκτός από τον αναπνεόμενο που ήδη αναφέραμε, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το σύνολο των όγκων και χωρητικοτήτων του αναπνευστικού συστήματος.

Συνολικά, υπάρχουν 4 όγκοι οι οποίοι συνδυαζόμενοι μεταξύ τους σχηματίζουν 4 χωρητικότητες.

Ο εισπνευστικός εφεδρικός όγκος είναι ο αέρας που εισέρχεται στους πνεύμονες μετά από μια βαθιά εισπνοή. Αντίστοιχα, ο εκπνευστικός εφεδρικός όγκος είναι ο αέρας που εκπνέεται μετά από μια βαθιά εκπνοή. Ο υπολειπόμενος όγκος είναι η ποσότητα του αέρα που μένει μέσα στους πνεύμονες μετά το τέλος μιας βαθιάς εκπνοής.

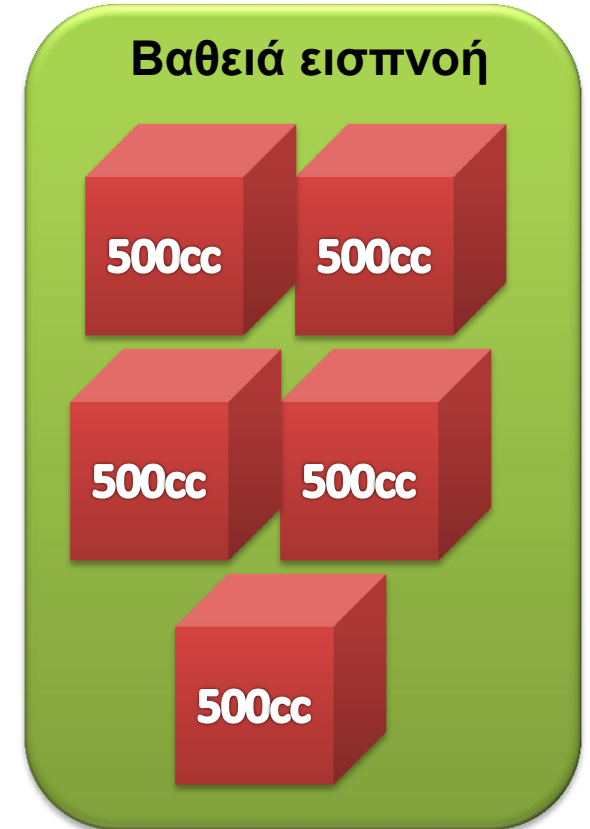
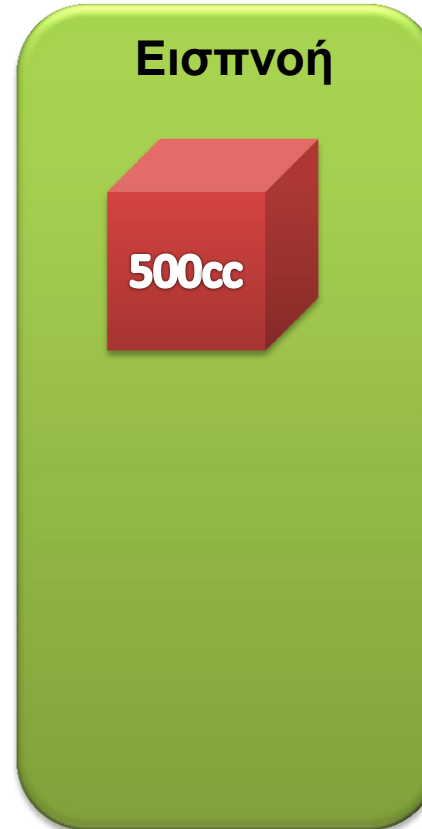
Ζωτική χωρητικότητα είναι το σύνολο του αέρα που διέρχεται από τους πνεύμονες από την αρχή μιας βαθιάς εισπνοής μέχρι το τέλος μιας βαθιάς εκπνοής. Εισπνευστική χωρητικότητα είναι το σύνολο του αέρα μιας βαθιάς εισπνοής. Τέλος, λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα είναι ο αέρας που μένει στους πνεύμονες μετά από μια κανονική εκπνοή.



# Αναπνευστικοί όγκοι και χωρητικότητες

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι μια βαθιά εισπνοή μπορεί να αυξήσει κατά 5 φορές τον όγκο του αέρα που εισέρχεται στους πνεύμονες, με συνέπεια να αυξήσει και την παροχή οξυγόνου προς τους ιστούς.

Ακόμη, σε βαθιά αναπνοή ο εισπνεόμενος όγκος είναι μεγαλύτερος από τον εκπνεόμενο, με αποτέλεσμα να υπάρχει περίσσειμα οξυγονωμένου αέρα και να αυξάνεται και πάλι η παροχή του οξυγόνου προς τους ιστούς.



# Πνευμονική κυκλοφορία

Το αίμα, όταν επιστρέφει στην καρδιά, έχει ολοκληρώσει το έργο του, δηλαδή:

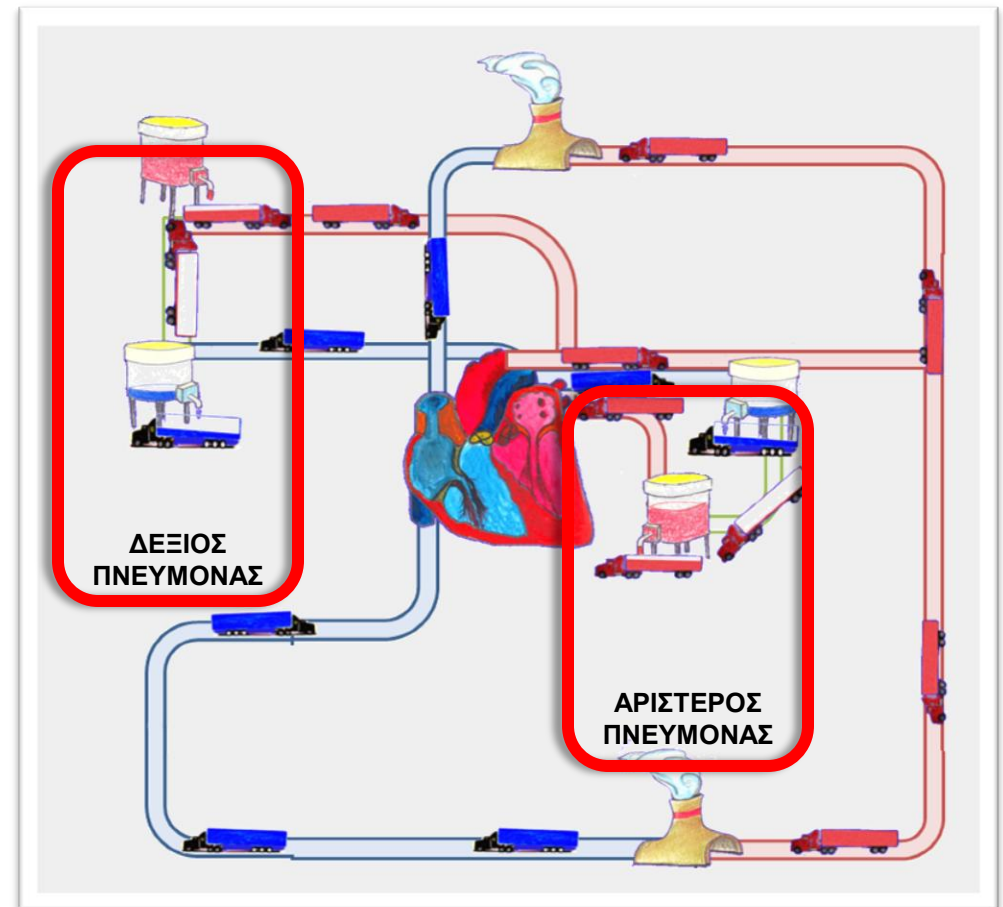
- ❖ Έχει προσφέρει οξυγόνο στα κύτταρα για να επιτελέσουν τις λειτουργίες τους, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του οξυγόνου σε αυτό να είναι πολύ χαμηλή.
- ❖ Είναι φορτωμένο με διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από το κυτταρικό έργο.

Δηλαδή, οι αρτηρίες μεταφέρουν :

- ❖ Οξυγόνο προς στους ιστούς και τα κύτταρα (αορτή και κλάδοι αυτής).
- ❖ Διοξείδιο του άνθρακα προς τους πνεύμονες για την ολοκλήρωση της αναπνευστικής λειτουργίας (πνευμονική αρτηρία).

Αντίθετα, οι φλέβες μεταφέρουν:

- ❖ Οξυγόνο προς την καρδιά και τους ιστούς (πνευμονική φλέβα).
- ❖ Διοξείδιο του άνθρακα από τους ιστούς προς την καρδιά.



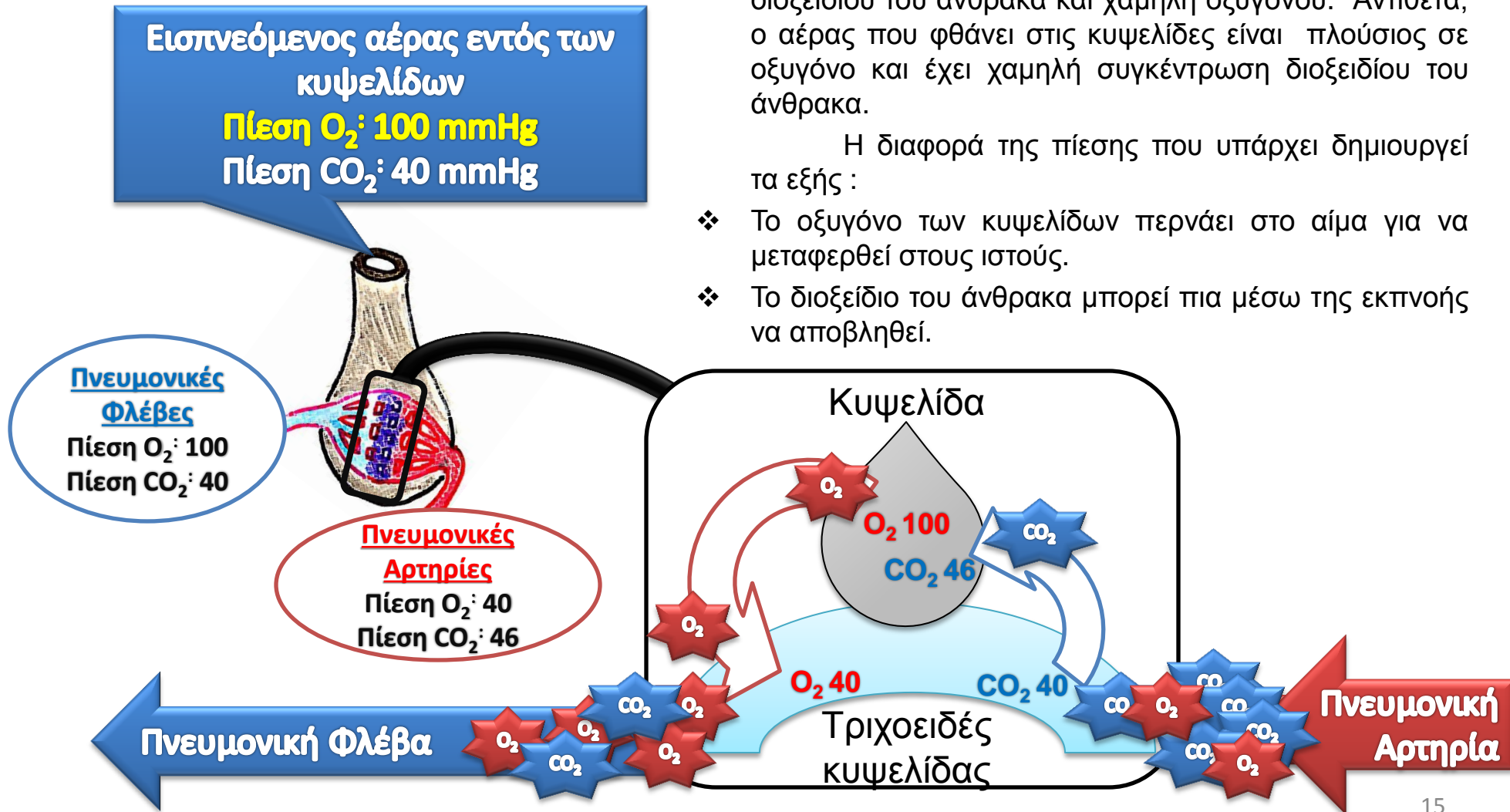
			
Φλέβα	Αρτηρία	Ερυθρό με O <sub>2</sub>	Ερυθρό με CO <sub>2</sub>

# Η ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων

Όπως αναφέρθηκε, το αίμα που φθάνει στα κυψελιδικά τριχοειδή έχει υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και χαμηλή οξυγόνου. Αντίθετα, ο αέρας που φθάνει στις κυψελίδες είναι πλούσιος σε οξυγόνο και έχει χαμηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα.

Η διαφορά της πίεσης που υπάρχει δημιουργεί τα εξής :

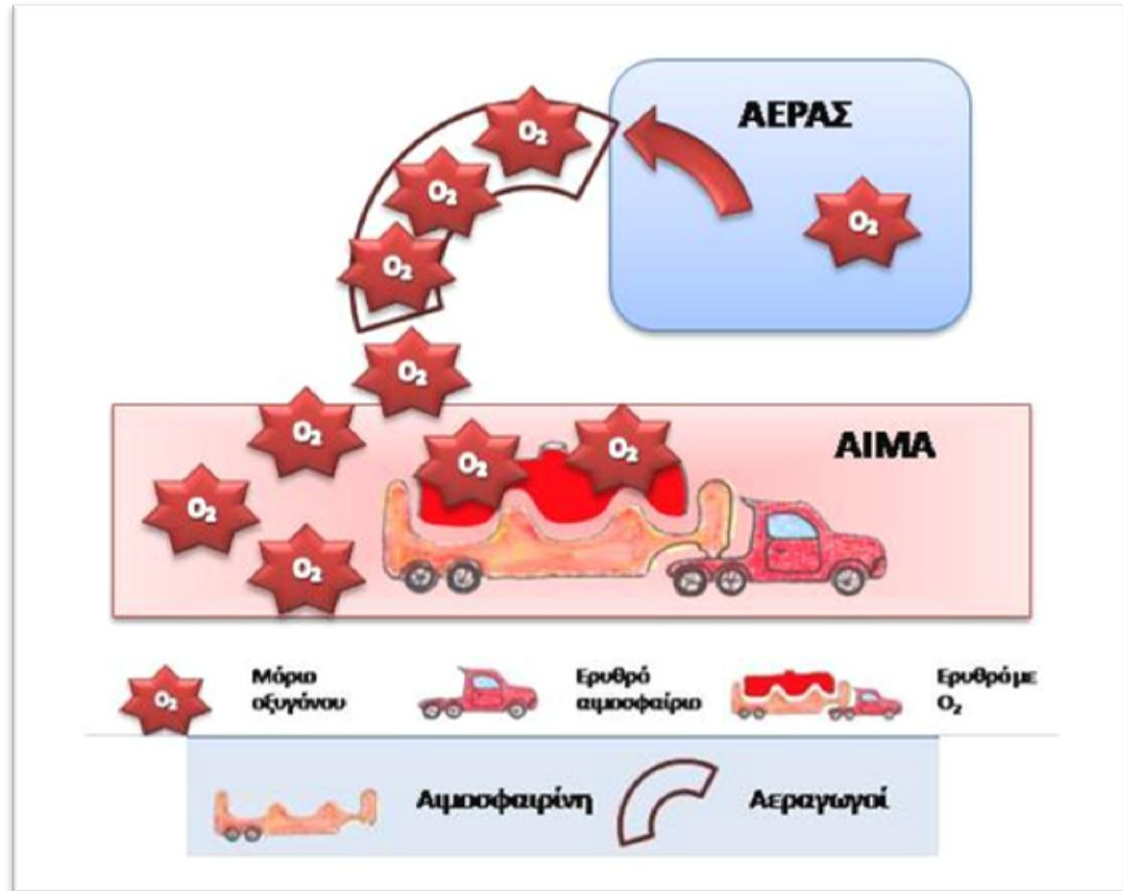
- ❖ Το οξυγόνο των κυψελίδων περνάει στο αίμα για να μεταφερθεί στους ιστούς.
- ❖ Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί πια μέσω της εκπνοής να αποβληθεί.



# Μεταφορά οξυγόνου στο αίμα

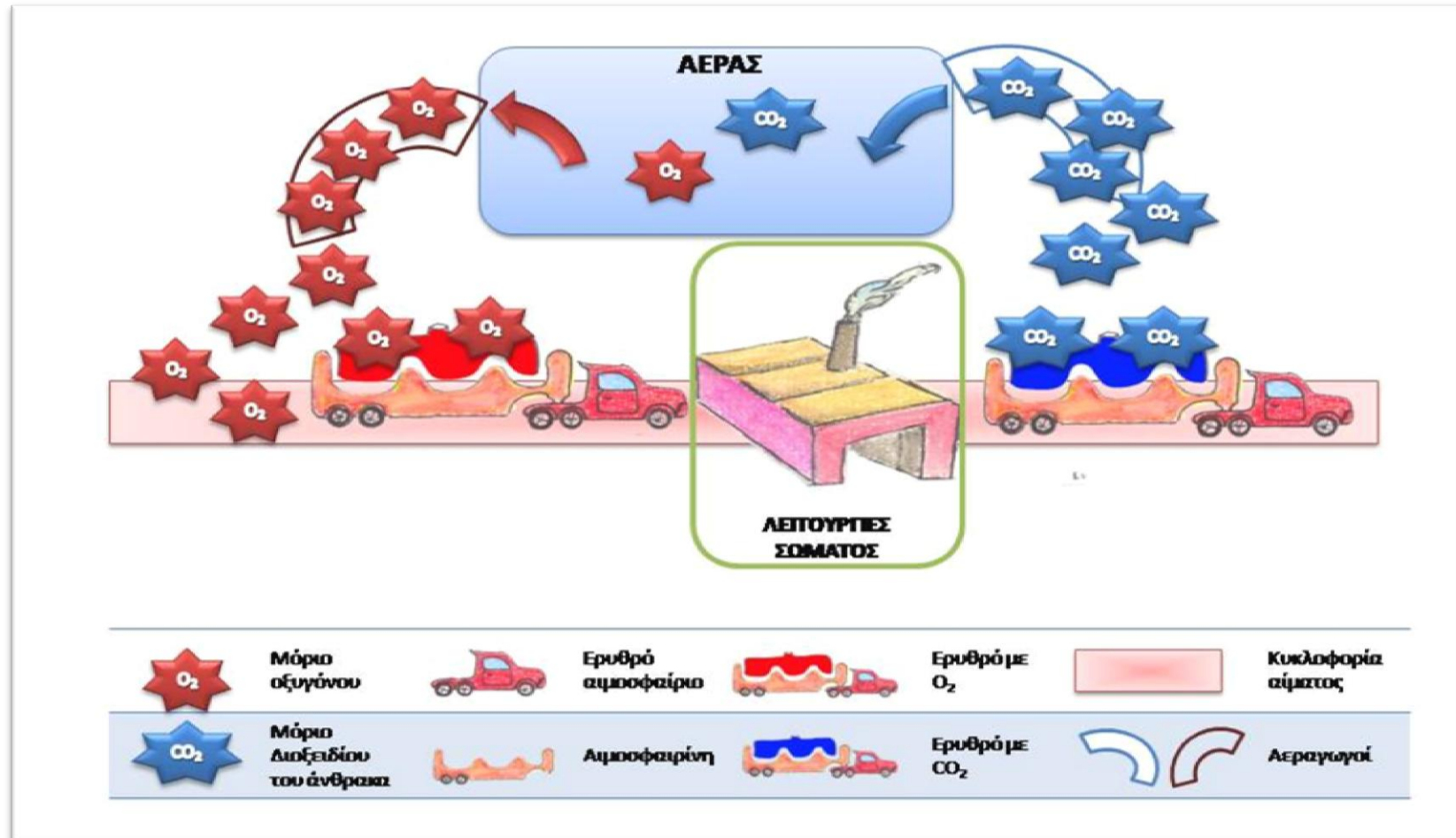
Το οξυγόνο που φθάνει στα κυψελιδικά τριχοειδή διαλύεται μέσα στο αίμα και στο μεγαλύτερο μέρος του δεσμεύεται από την αιμοσφαιρίνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων.

Με όχημα τα ερυθρά αιμοσφαίρια, μέσα στα οποία βρίσκεται η αιμοσφαιρίνη, το οξυγόνο μεταφέρεται στους ιστούς.



# Μεταφορά διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα

Το αίμα, όπως αναφέραμε, μεταφέρει το αναγκαίο για το μυϊκό έργο οξυγόνο σε όλους τους ιστούς του σώματος. Συγχρόνως, όμως, μεταφέρει και το διοξείδιο του άνθρακα, που παράγεται από τις καύσεις των ιστών, στην καρδιά και από εκεί στους πνεύμονες για να αποβληθεί. Όχημα μεταφοράς είναι και πάλι το ερυθρό αιμοσφαίριο με την αιμοσφαιρίνη.

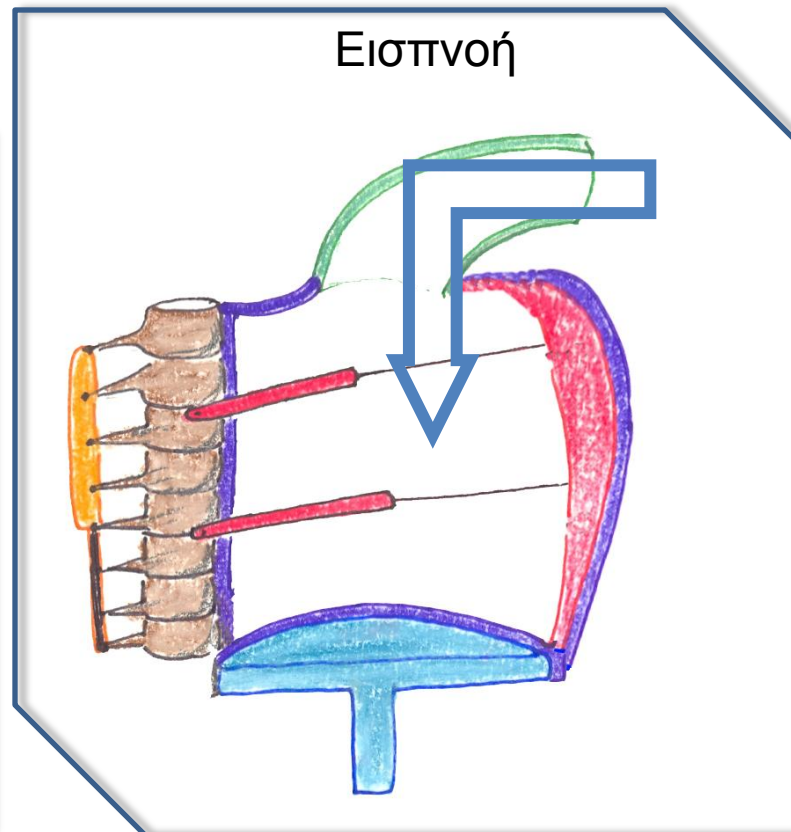
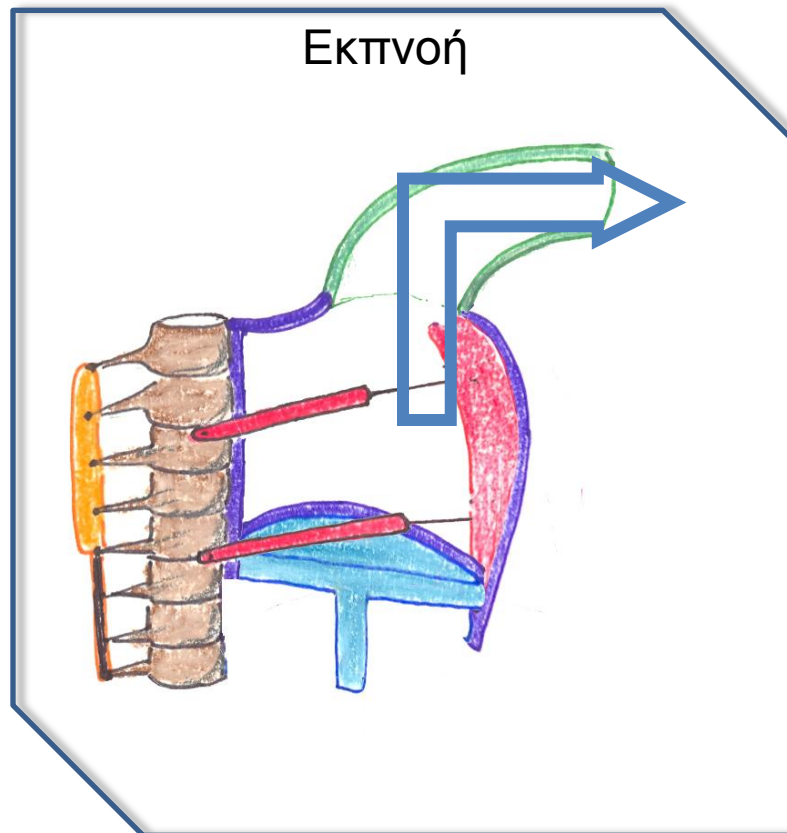




# Φάσεις της αναπνοής

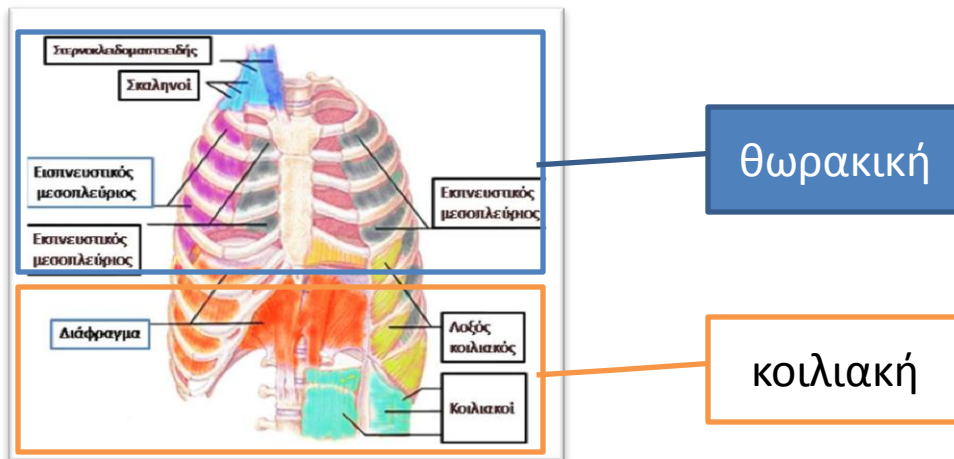
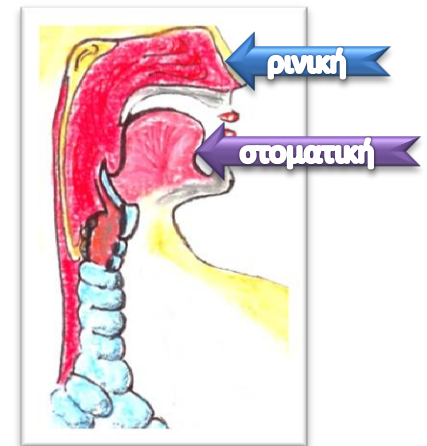
Η αναπνοή χωρίζεται σε δύο φάσεις:

- ❖ Εκπνοή : εξαγωγή του αέρα από τις κυψελίδες προς το περιβάλλον.
- ❖ Εισπνοή : η μεταφορά του αέρα από το περιβάλλον ως τις κυψελίδες.



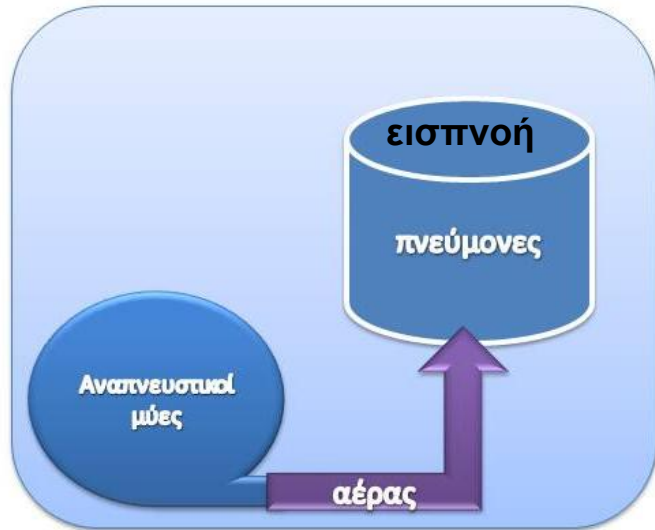
# Είδη αναπνοής

- ❖ **Ήρεμη και έντονη:** Ανάλογα με την έντασή της η αναπνοή διακρίνεται σε ήρεμη και σε βαθιά- έντονη. Στην ήρεμη αναπνοή η εισπνοή γίνεται ενεργά, ενώ κατά την εκπνοή τα πλευρά επιστρέφουν στην αρχική τους θέση παθητικά λόγω της ελαστικότητας του θώρακα. Συγχρόνως επιστρέφει και το διάφραγμα. Αντίθετα, στη βαθιά- έντονη αναπνοή οι αναπνευστικοί μύες μεταβάλλουν ενεργά τη διάμετρο του θώρακα, τόσο κατά την εκπνοή όσο και κατά την εισπνοή.
- ❖ **Ρινική και στοματική:** Ανάλογα με την είσοδο του αέρα η αναπνοή διακρίνεται σε ρινική και στοματική.
- ❖ **Θωρακική και κοιλιακή:** Ανάλογα με τις μυϊκές ομάδες που χρησιμοποιούνται, η αναπνοή χωρίζεται σε θωρακική και κοιλιακή. Στη θωρακική εργάζονται περισσότερο οι μεσοπλεύριοι μύες και στην κοιλιακή το διάφραγμα και οι κοιλιακοί.

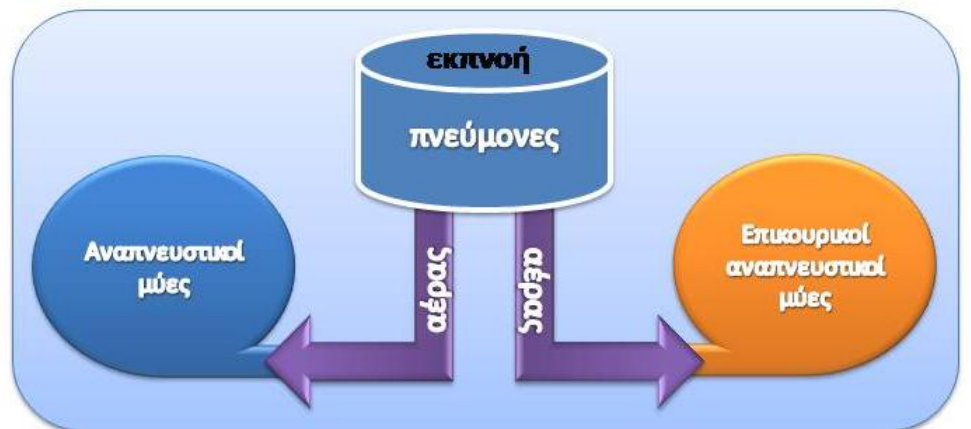
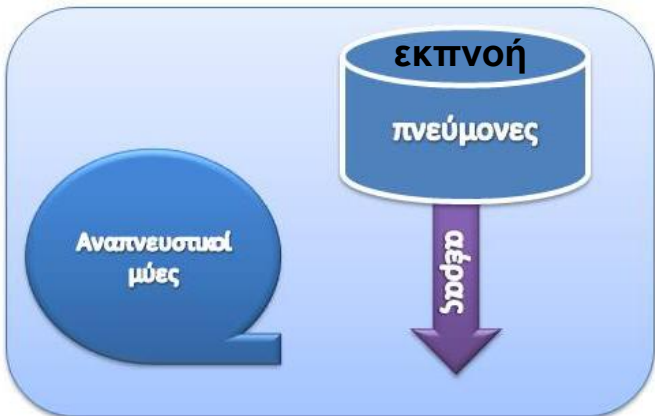
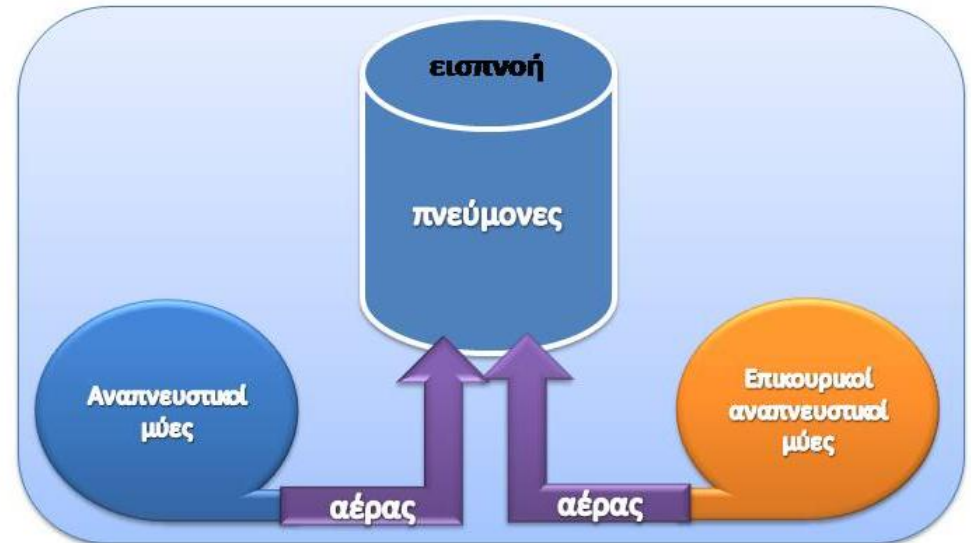


# Ήρεμη και έντονη αναπνοή σχηματικά

## Ήρεμη αναπνοή



## Έντονη αναπνοή



# Αναπνευστικοί μύες

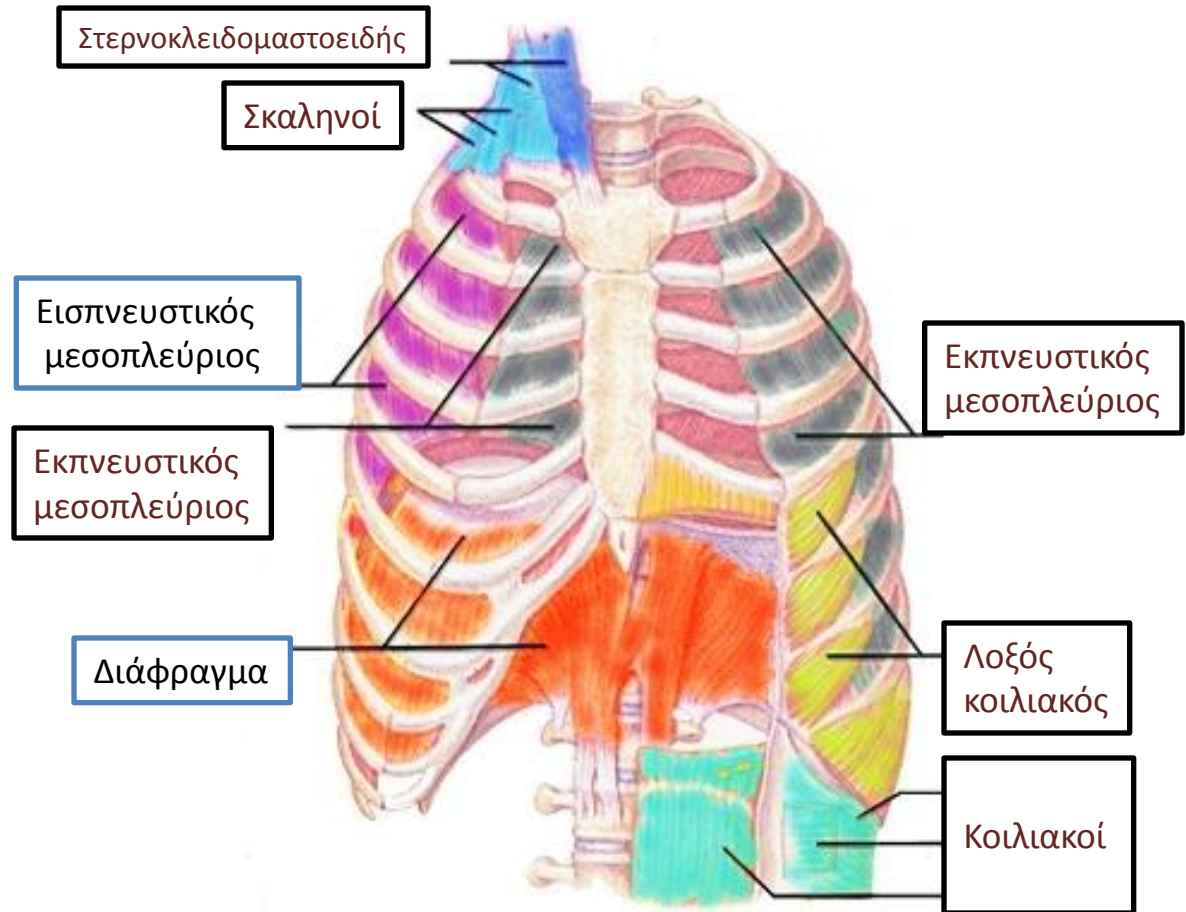
Οι μύες που μετέχουν στην αναπνοή μπορούν να χωριστούν σε δυο ομάδες.

## ❖ Αναπνευστικοί μύες είναι οι μύες της ήρεμης αναπνοής :

- οι εισπνευστικοί - εξωτερικοί μεσοπλεύριοι
- το διάφραγμα

## ❖ Επικουρικοί αναπνευστικοί είναι οι μύες της έντονης- βαθειάς αναπνοής που γίνεται κάτω από φυσική ένταση. Σε αυτήν εκτός από τους μύες της ήρεμης αναπνοής συμμετέχουν και:

- ο στερνοκλειδομαστοειδής
- οι σκαληνοί
- οι εκπνευστικοί μεσοπλεύριοι
- οι κοιλιακοί



# Βασικές αρχές σωστής αναπνοής

Είναι σημαντικό ο αθλητής να αποκτήσει σωστή αναπνευστική τεχνική , γιατί μόνο έτσι θα είναι δυνατή η σωστή ανταλλαγή αερίων μέσα στους πνεύμονές του και κατά συνέπεια θα βελτιωθεί η απόδοσή του στο άθλημα που εξασκεί. Οι αρχές της σωστής αναπνοής είναι:

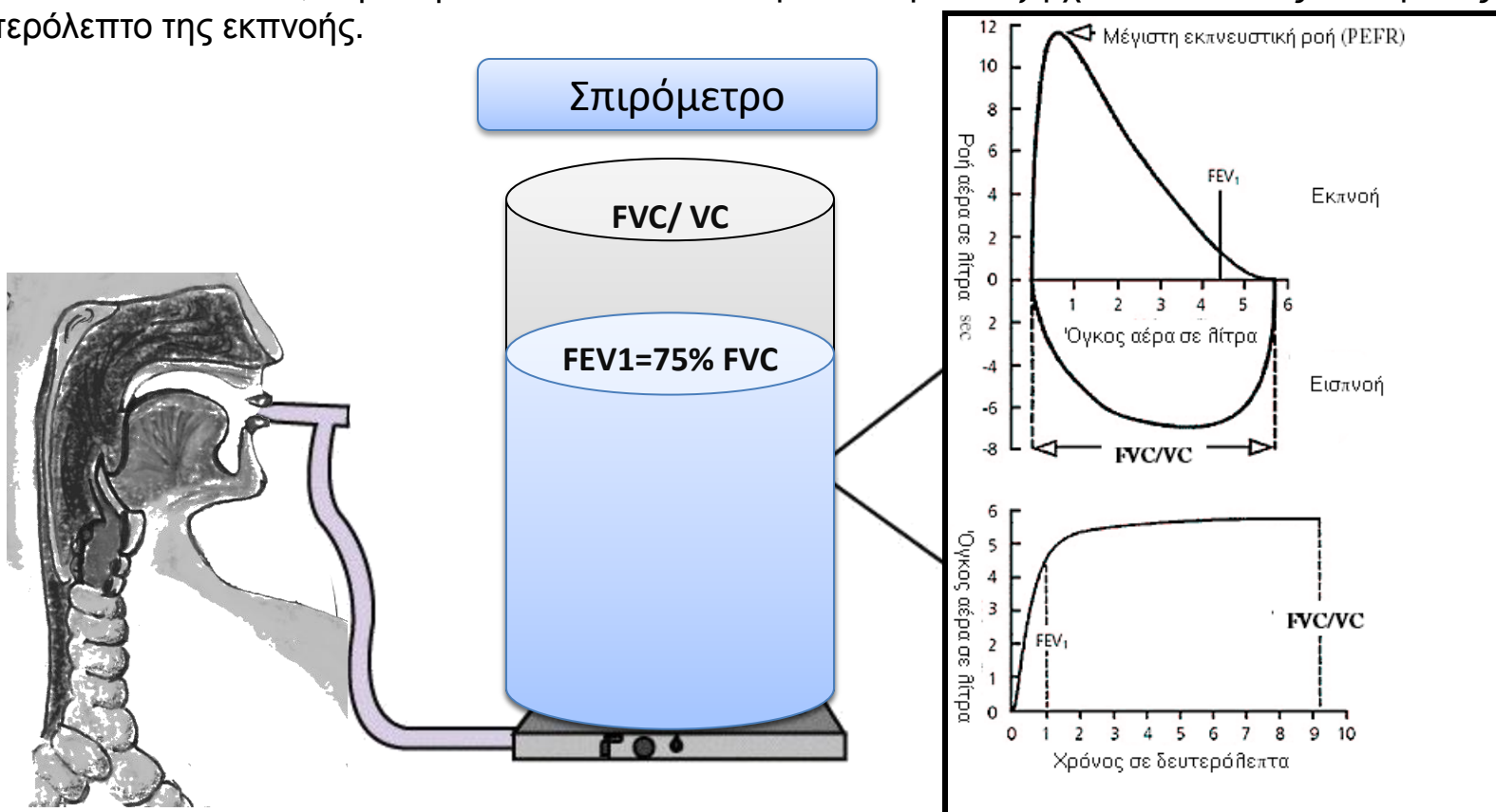
- ❖ Η **ρινική αναπνοή** βελτιώνει τον εισπνεόμενο αέρα καθώς, όπως ξέρουμε, τον καθαρίζει, τον υγραίνει και τον θερμαίνει κοντά στη θερμοκρασία του σώματος.
- ❖ Η **βαθιά αναπνοή**, αργή και επιμηκυμένη, σημαίνει και πιο μεγάλη παραμονή του αέρα στις κυψελίδες των πνευμόνων. Όλα τα επίπεδα των πνευμόνων γεμίζουν από αέρα και έτσι γίνεται καλύτερα η ανταλλαγή αερίων και αποβάλλεται μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα..
- ❖ Ο **ρυθμός της αναπνοής** και η αναλογία εισπνοής και εκπνοής πρέπει να είναι σταθερά. Συνήθως η καλύτερη αναλογία εισπνοής προς εκπνοή είναι τρία προς τέσσερα. Σε μερικά αθλήματα, όπως η κωπηλασία, το κολύμπι, το κανό, ένας καλός αναπνευστικός ρυθμός είναι αυτός που βρίσκεται σε αρμονία με τις κινήσεις.
- ❖ Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνουμε και στη σωστή **αναλογία της θωρακικής και κοιλιακής αναπνοής**, έτσι ώστε όλοι οι αναπνευστικοί μύες να μπαίνουν σε λειτουργία. Κάθε περιορισμός, που οφείλεται σε λάθος τεχνική ή εξωτερική πίεση, περιορίζει την παροχή οξυγόνου με όλες τις συνέπειες. Η αναπνευστική γυμναστική είναι απαραίτητη για τους αθλητές που χρειάζονται τη μέγιστη αναπνευστική ικανότητα.
- ❖ Η αναπνευστική λειτουργία από μόνη της δεν επαρκεί για την παροχή του οξυγόνου στους ιστούς, αφού το όχημα για τη μεταφορά του είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια που μεταφέρονται με το αίμα. Συνεπώς, η **συνεργασία μεταξύ αναπνευστικού και κυκλοφορικού** συστήματος είναι σημαντική και το πιο αδύναμο από αυτά λειτουργεί σαν περιοριστικός παράγων.



# Δοκιμασίες εκτίμησης του αναπνευστικού συστήματος- Σπιρομέτρηση

Η λειτουργική εκτίμηση του αναπνευστικού συστήματος γίνεται με τη σπιρομέτρηση. Ο εξεταζόμενος εκπνέει μέσα από ένα στόμιο σε μια ειδική συσκευή που ονομάζεται σπιρόμετρο. Με αυτήν μπορούν να μετρηθούν δύο βασικές παράμετροι της αναπνοής η ταχέως εκπνεόμενη ζωτική χωρητικότητα (FVC) και ο ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα στο πρώτο δευτερόλεπτο (FEV<sub>1</sub>).

Η FEV είναι ο όγκος αέρος που εκπνέεται από τους πνεύμονες μετά από τη μέγιστη εισπνοή με βίαια μέγιστη εκπνοή. Ο FEV<sub>1</sub> είναι ο όγκος αέρος που εκπνέεται από τους πνεύμονες μετά από τη μέγιστη εισπνοή με βίαια μέγιστη εκπνοή στο πρώτο δευτερόλεπτο της εκπνοής. Φυσιολογικά ο FEV<sub>1</sub> είναι το 75% του FVC, δηλαδή το 75% του εκπνεόμενου όγκου εξέρχεται από τους πνεύμονες στο 1<sup>ο</sup> δευτερόλεπτο της εκπνοής.

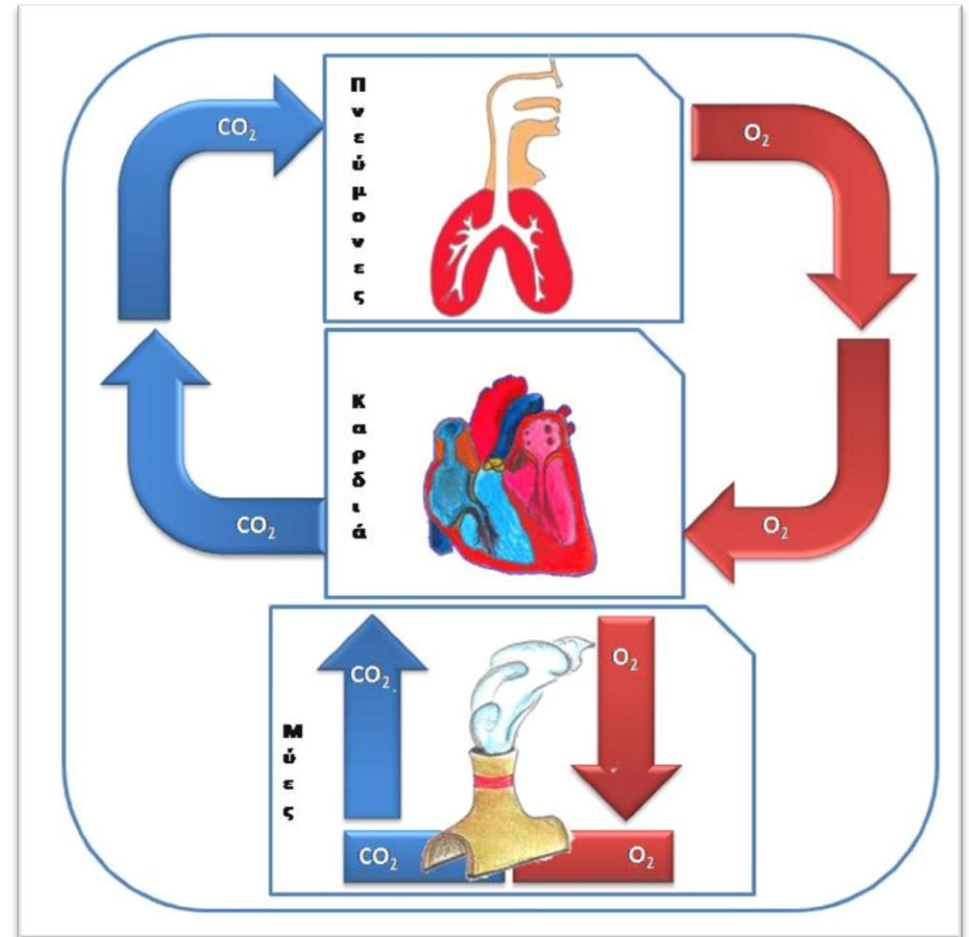


# Δοκιμασίες εκτίμησης του αναπνευστικού συστήματος- VO2 max

Η σπιρομέτρηση είναι πολύ χρήσιμη για τη μέτρηση της λειτουργίας του αναπνευστικού και για τη διάγνωση παθήσεων αυτού. Όταν, όμως, αναφερόμαστε σε αθλητές, τότε δεν επαρκεί για να εκτιμήσουμε την απόδοσή τους και την αποτελεσματικότητα της προπόνησής τους.

Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε η μέτρηση της VO2 max. Η μέτρηση αυτή μπορεί να μας δείξει την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας, όχι μόνο του αναπνευστικού αλλά όλων των συστημάτων που σχετίζονται με την απόδοση του μυοσκελετικού συστήματος. Δηλαδή, του κυκλοφορικού που μεταφέρει το οξυγόνο και των μυών που χρησιμοποιούν το οξυγόνο για την παραγωγή ενέργειας.

Το VO<sub>2</sub> max είναι ο μεγαλύτερος όγκος οξυγόνου που μπορεί να καταναλώσει το ανθρώπινο σώμα σε μέγιστη ένταση άσκησης, όταν αναπνέει αέρα στο επίπεδο της θάλασσας. Μετριέται σε λίτρα το λεπτό ανά κιλό βάρους σώματος (L/min\*Kg)



# Δοκιμασίες εκτίμησης του αναπνευστικού συστήματος- VO2 max

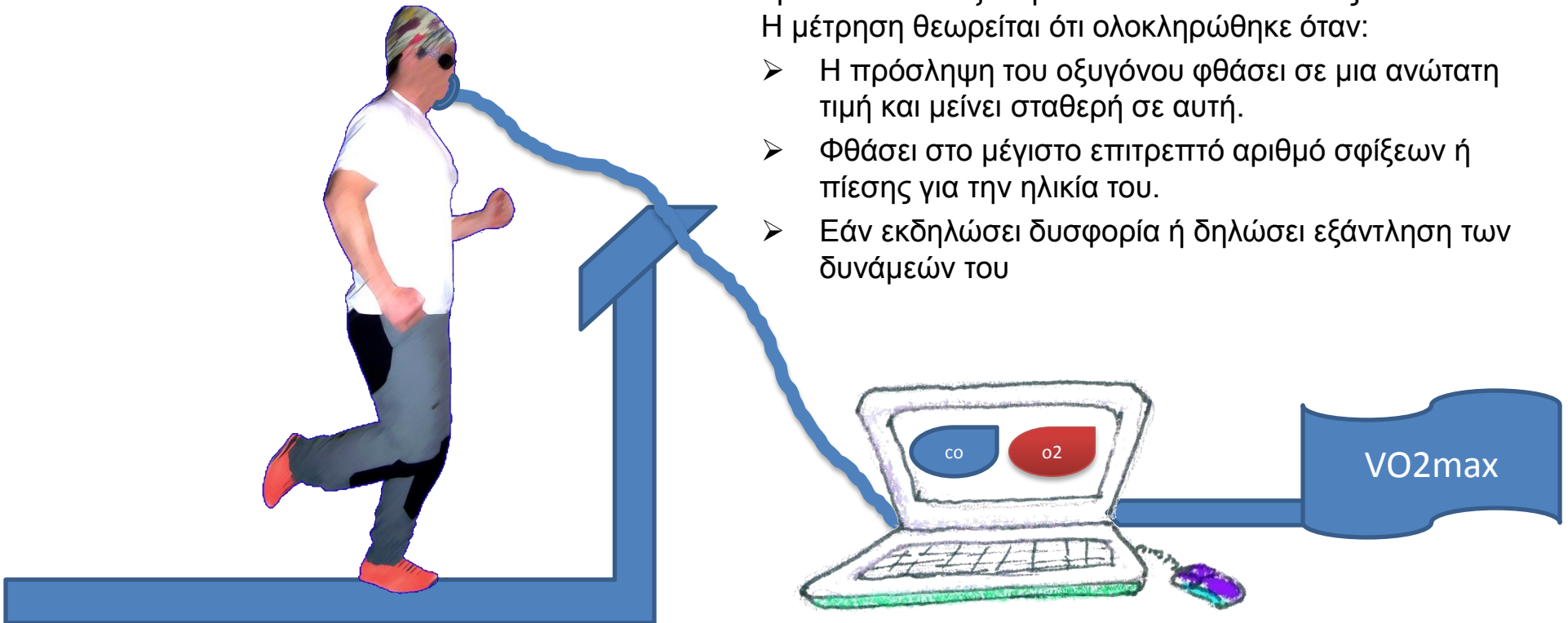
Για τη μέτρηση της VO2max χρειάζεται ειδικός εξοπλισμός. Πιο συγκεκριμένα:

1. Ειδικό σπιρόμετρο με αισθητήρα οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα.
2. Εργόμετρο, το οποίο είναι διάδρομος παρόμοιος με αυτό των γυμναστηρίων ή στατικό ποδήλατο.

Ο αθλητής φορώντας το ειδικό σπιρόμετρο ανεβαίνει στο διάδρομο ή το ποδήλατο και ασκείται ακολουθώντας ένα ειδικό πρωτόκολλο με προοδευτικά αυξανόμενο επίπεδο δυσκολίας.

Η μέτρηση θεωρείται ότι ολοκληρώθηκε όταν:

- Η πρόσληψη του οξυγόνου φθάσει σε μια ανώτατη τιμή και μείνει σταθερή σε αυτή.
- Φθάσει στο μέγιστο επιτρεπτό αριθμό σφίξεων ή πίεσης για την ηλικία του.
- Εάν εκδηλώσει δυσφορία ή δηλώσει εξάντληση των δυνάμεών του

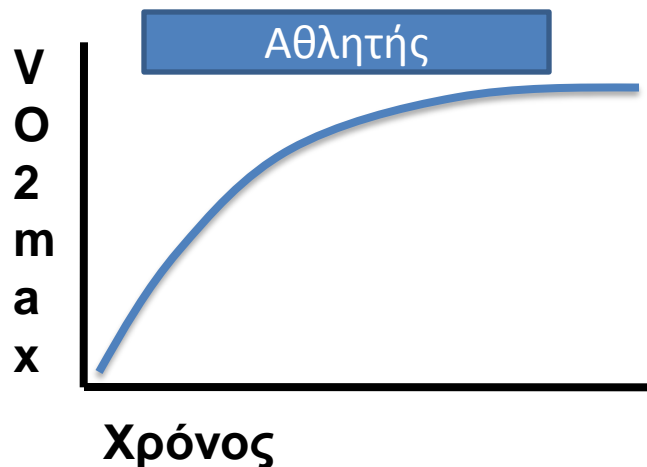


# Δοκιμασίες εκτίμησης του αναπνευστικού συστήματος- VO2 max

Η **VO2 ηρεμίας** είναι η ενέργεια που καταναλώνει το ανθρώπινο σώμα σε ηρεμία, 3 με 4 ώρες μετά από λήψη ελαφράς τροφής και χωρίς να έχει γίνει κανενός είδους άσκηση ή κόπωση. Θεωρούμε ότι για το μέσο άνθρωπο είναι 3,5 ml/Kg\*min

Η **VO2 max** που μετρούμε κατά τη διάρκεια της εργομέτρησης είναι το άθροισμα του VO2 ηρεμίας με το VO2 της άσκησης στο εργόμετρο. Συχνά εκφράζεται και σε MET που είναι πολλαπλάσια του VO2 ηρεμίας. Δηλαδή, αν το VO2 max είναι 35 3,5 ml/Kg\*min μπορούμε να πούμε ότι είναι 10 MET.

Η τιμή της **VO2 max** εξαρτάται από την απόδοση και των τριών συστημάτων πρόσληψης, μεταφοράς και χρησιμοποίησης του οξυγόνου. Βασικά, όμως, σε μη προπονημένους αθλητές εξαρτάται από την απόδοση των μυών τους. Δηλαδή, οι πνεύμονες παρέχουν αρκετό οξυγόνο στην κυκλοφορία και η καρδιά το μεταφέρει στους μύες. Οι τελευταίοι, όμως, δεν μπορούν να το χρησιμοποιήσουν. Αντίθετα, σε ένα καλά προπονημένο αθλητή η καρδιά θέτει τον περιορισμό. Δηλαδή, οι προπονημένοι μύες μπορούν να καταναλώσουν περισσότερο οξυγόνο από αυτό που τους προσφέρει το αναπνευστικό και το κυκλοφορικό σύστημα. Έτσι ερμηνεύεται και το ότι κατά τη μέτρηση στο εργόμετρο οι προπονημένοι αθλητές φθάνουν σε ένα επίπεδο VO2 max και μετά αυτό μένει σταθερό.



## Εκτίμηση του VO<sub>2</sub> max

Η μέτρηση του VO<sub>2</sub> max με τη βοήθεια σπιρομέτρησης και εργόμετρου γίνεται με την εξίσωση του Fick :

$$VO_2 \max = Q(CaO_2 - CvO_2)$$

Όπου Q είναι καρδιακή παροχή, CaO<sub>2</sub> η συγκέντρωση οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα, CvO<sub>2</sub> η συγκέντρωση οξυγόνου στο φλεβικό αίμα. Όπως καταλαβαίνουμε οι μετρήσεις αυτές είναι πολύπλοκες και για το λόγο αυτό έχουν περιγραφεί διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό της τιμής του VO<sub>2</sub> max κατά προσέγγιση χωρίς τη χρήση πολύπλοκων μηχανημάτων. Μία από τις πιο αξιόπιστες είναι το Cooper test.

Ο Dr. Kenneth H. Cooper έκανε μια μελέτη αθλητικής απόδοσης για την πολεμική αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής στα τέλη του 1960. Στη μελέτη αυτή πρότεινε τη μέτρηση της απόστασης που μπορεί ο εξεταζόμενος να διανύσει σε 12 λεπτά ως μέτρο της φυσικής αντοχής του.

Μεταγενέστερες μελέτες συσχέτισαν την απόσταση αυτή με τιμές VO<sub>2</sub> max διαφόρων αθλητών. Έτσι προέκυψε ο τύ

$$VO_2 \max = \frac{d_{12} - 505}{45}$$

Όπου d<sub>12</sub> είναι η απόσταση που διανύθηκε σε 12 λεπτά. Η εξίσωση αυτή μάς δίνει μια εκτίμηση του VO<sub>2</sub> max (σε ml/min/kg).

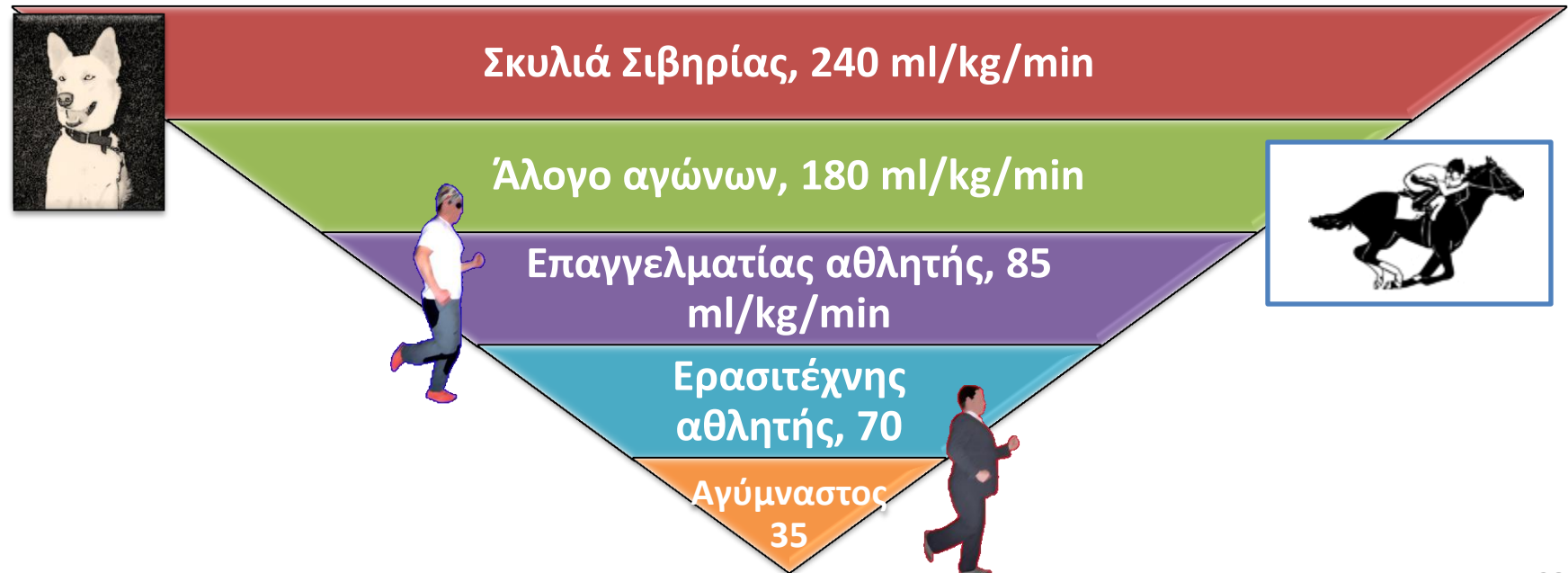


# Χαρακτηριστικές τιμές VO<sub>2</sub>max

Αθλητές υψηλού επιπέδου έχουν VO<sub>2</sub>max που ξεπερνά τα 75 ml/kg/min και λίγοι μπορούν να ξεπεράσουν τα 85 ml/kg/min για άνδρες και 70 ml/kg/min για γυναίκες. Οι νικητές του ποδηλατικού γύρου της Γαλλίας (Tour de France) Greg LeMond και Lance Armstrong είχαν τιμές VO<sub>2</sub> max of 92.5 και 84 ml/kg/min αντίστοιχα. Ο μεγάλος αθλητής του cross-country ski Bjørn Dæhlie είχε τιμή 96 ml/kg/min. Μάλιστα ο φυσιολόγος Erlend Hem ισχυρίζεται ότι, επειδή ο Dæhlie μετρήθηκε σε περίοδο εκτός προπόνησης, θα μπορούσε, αν η μέτρηση γίνονταν σε περίοδο μέγιστης απόδοσης, να ξεπεράσει τα 100 ml/kg/min.

Ένας απλός άνθρωπος που προπονείται για βελτίωση της φυσικής του κατάστασης συνήθως έχει τιμή VO<sub>2</sub>max κοντά στα 70 ml/kg/min.

Για να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης άλογα αγώνων έχουν VO<sub>2</sub> max 180 ml/kg/min και σκυλιά Σιβηρίας που τραβούν έλκηθρα στον αγώνα Iditarod, που γίνεται στην Αλάσκα, φθάνουν τα 240 ml/kg/min.



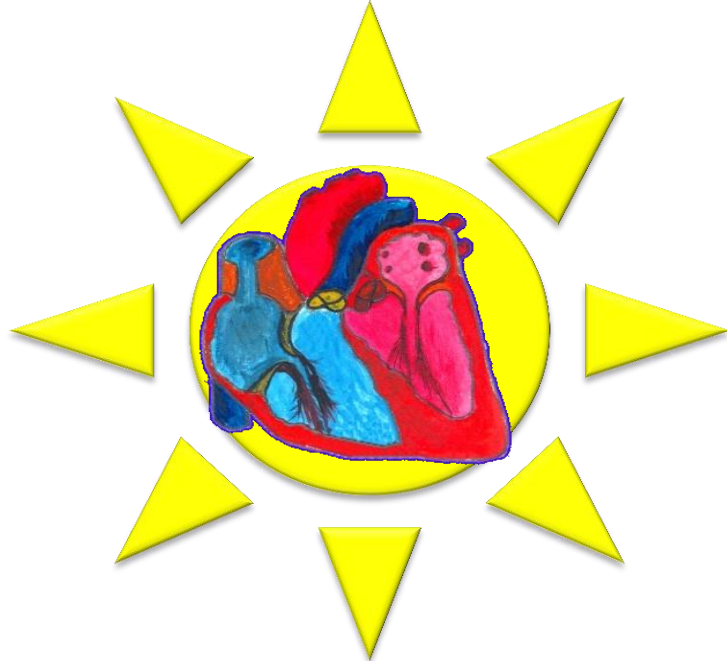
## VO2 max και υγεία

Σημαντική, όμως, είναι η γνώση της VO2 max σαν προγνωστικό σημείο σε καρδιοπαθείς αλλά και απλούς ανθρώπους. Σε μια μελέτη βρέθηκε ότι 100 % των καρδιοπαθών με O2 max μεγαλύτερη από 32 ml/kg/min επιβίωναν μετά από τρία έτη, ενώ το 70% αυτών με VO2 max κάτω από 22 ml/kg/min αποβίωσαν στην τριετία. Ο Kavanaugh σε μια μελέτη που έγινε στο Toronto βρήκε παρόμοια αποτελέσματα ανάμεσα σε 12,000 καρδιοπαθείς.

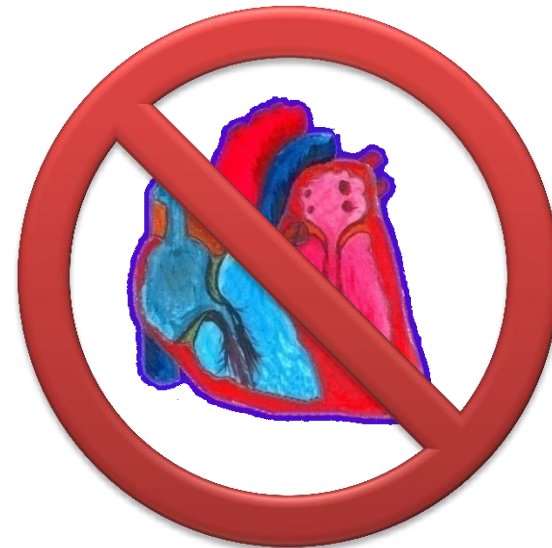
Τιμές VO2 max κάτω από το 85% για την ηλικία, φύλο, ύψος και βάρος μπορεί να υποδηλώνουν καρδιολογικά προβλήματα.

Ακόμη η VO2 max είναι καλός προγνωστικός δείκτης για το αποτέλεσμα χειρουργικών επεμβάσεων και μεταμοσχεύσεων.

VO2 max πάνω από 85%



VO2 max κάτω από 85%



# Αναμενόμενες αποστάσεις δοκιμασίας Cooper

## Αθλητές και μικρά παιδιά

Ηλικία	Φύλο	Πολύ καλό	Καλό	Μέτριο	Κακό	Πολύ κακό
13-14	Άρρεν	2700+ m	2400 - 2700 m	2200 - 2399 m	2100 - 2199 m	2100- m
	Θήλυ	2000+ m	1900 - 2000 m	1600 - 1899 m	1500 - 1599 m	1500- m
15-16	Άρρεν	2800+ m	2500 - 2800 m	2300 - 2499 m	2200 - 2299 m	2200- m
	Θήλυ	2100+ m	2000 - 2100 m	1700 - 1999 m	1600 - 1699 m	1600- m
17-20	Άρρεν	3000+ m	2700 - 3000 m	2500 - 2699 m	2300 - 2499 m	2300- m
	Θήλυ	2300+ m	2100 - 2300 m	1800 - 2099 m	1700 - 1799 m	1700- m
20-29	Άρρεν	2800+ m	2400 - 2800 m	2200 - 2399 m	1600 - 2199 m	1600- m
	Θήλυ	2700+ m	2200 - 2700 m	1800 - 2199 m	1500 - 1799 m	1500- m
30-39	Άρρεν	2700+ m	2300 - 2700 m	1900 - 2299 m	1500 - 1899 m	1500- m
	Θήλυ	2500+ m	2000 - 2500 m	1700 - 1999 m	1400 - 1699 m	1400- m
40-49	Άρρεν	2500+ m	2100 - 2500 m	1700 - 2099 m	1400 - 1699 m	1400- m
	Θήλυ	2300+ m	1900 - 2300 m	1500 - 1899 m	1200 - 1499 m	1200- m
50+	Άρρεν	2400+ m	2000 - 2400 m	1600 - 1999 m	1300 - 1599 m	1300- m
	Θήλυ	2200+ m	1700 - 2200 m	1400 - 1699 m	1100 - 1399 m	1100- m

## Αθλητές υψηλού επιπέδου

	Πολύ καλό	Καλό	Μέτριο	Κακό	Πολύ κακό
Άρρεν	3700+ m	3400 - 3700 m	3100 - 3399 m	2800 - 3099 m	2800- m
Θήλυ	3000+ m	2700 - 3000 m	2400 - 2699 m	2100 - 2399 m	2100- m

## Αναμενόμενες τιμές VO<sub>2</sub>max για άνδρες σε ml/kg/min

Ηλικία	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Άριστο	>60	>56	>51	>45	>41	>37
Καλό	52-60	49-56	43-51	39-45	36-41	33-37
Πάνω μετρίου	47-51	43-48	39-42	35-38	32-35	29-32
Μέτριο	42-46	40-42	35-38	32-35	30-31	26-28
Κάτω μετρίου	37-41	35-39	31-34	29-31	26-29	22-25
Μέτριο	30-36	30-34	26-30	25-28	22-25	20-21
Πολύ κακό	<30	<30	<26	<25	<22	<20

## Αναμενόμενες τιμές VO<sub>2</sub>max για γυναίκες σε ml/kg/min

Ηλικία	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Άριστο	56	52	45	40	37	32
Καλό	47-56	45-52	38-45	34-40	32-37	28-32
Πάνω μετρίου	42-46	39-44	34-37	31-33	28-31	25-27
Μέτριο	38-41	35-38	31-33	28-30	25-27	22-24
Κάτω μετρίου	33-37	31-34	27-30	25-27	22-24	19-22
Μέτριο	28-32	26-30	22-26	20-24	18-21	17-18
Πολύ κακό	<28	<26	<22	<20	<18	<17



# Βιβλιογραφία

- Respir Physiol Neurobiol. 2008 Nov 30;163(1-3):82-9. Epub 2008 May 15. Mechanics of respiratory muscles. Ratnovsky A, Elad D, Halpern P.
- Respiration. 2009;77(1):3-17. Epub 2009 Jan 14. Links Cardiopulmonary exercise testing in the functional and prognostic evaluation of patients with pulmonary diseases. Ferrazza AM, Martolini D, Valli G, Palange P.
- Effect of Short-Term High-Intensity Interval Training versus Continuous Training on O<sub>2</sub> Uptake Kinetics, Muscle Deoxygenation and Exercise Performance. McKay BR, Paterson DH, Kowalchuk JM. J Appl Physiol. 2009 May 14.
- Spirometric reference values in healthy, non-smoking, urban Pakistani population. Memon MA, Sandila MP, Ahmed ST. J Pak Med Assoc. 2007 Apr;57(4):193-5.
- Miller, M.R. et al (2005a) ATS/ERS task force: standardisation of lung function testing: standardisation of spirometry. European Respiratory Journal; 26: 2, 319–338.
- Miller, M.R. et al (2005b) ATS/ERS task force: standardisation of lung function testing: general considerations for lung function testing. European Respiratory Journal; 26: 1, 153–161.
- Global Strategy for the diagnosis, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. GOLD Workshop summary: updated 2003. Available from <http://www.goldcopd.com>
- Global Strategy for Asthma Management and Prevention GINA Workshop Report: updated November 2003. Available on <http://ginasthma.com/>
- Exercise Physiology: Basis of Human Movement in Health and Disease, S.P. Brown, W.C. Miller, J.M. Eason, Lippincott Williams & Wilkins, 2006, ISBN 0781777305, 9780781777308
- Advanced fitness assessment and exercise prescription, V.H. Heyward, Human Kinetics, 2006, ISBN 0736057323, 9780736057325
- International encyclopedia of ergonomics and human factors, W. Karwowski, Έκδοση: 2, CRC Press, 2006 ISBN 041530430X, 9780415304306

- American College of Sports Medicine (1995) Principles of Exercise Prescription, William & Wilkins, **5**.
- American College of Sports Medicine (2000) ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, **6**; 145.
- Gaskill SE, et. al. (2004) %heart rate reserve is better related to %VO<sub>2</sub>max than to VO<sub>2</sub> Reserve: The Heritage Family Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5) S3.
- Peterson, PA, Bryant, CX (1995) The StairMaster Fitness Handbook, **2**; 5-7.
- Pollock ML (1973) The quantification of endurance training programs. In *Exercise and Sports Sciences Reviews*, ed. JH Wilmore, 1: 155-188, New York; Academic Press.
- Skinner JS, et. al. (2004) Evaluation on ACSM guidelines on prescribing exercise intensity for "quite unfit": The Heritage Family Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5) S3.
- White, C. R., and R. S. Seymour. 2005. Allometric scaling of mammalian metabolism. *Journal of Experimental Biology* 208(9):1611-1619.
- Blaxter, K. 1989. *Energy metabolism in animals and man*. Cambridge University Press. ISBN 0521369312
- Weibel, E. R., and H. Hoppeler. 2005. Exercise-induced maximal metabolic rate scales with muscle aerobic capacity. *Journal of Experimental Biology* 208(9):1635-1644.
- Nagy, K. A. 2005. Field metabolic rate and body size. *Journal of Experimental Biology* 208(9):1621-1625.
- Frappell, P. B., H. A. Blevin, and R. V. Baudinette. 1989. Understanding respirometry chambers: what goes in must come out. *Journal of Theoretical Biology* 138(4):479-494. PMID: 2593683
- Sobotta, Άτλας ανατομικής του ανθρώπου 3<sup>η</sup> ελληνική έκδοση, Παρισιάνος 1990, τόμος 2<sup>ος</sup> σελ. 91- 117
- Guyton, *Textbook of medical physiology* 11th edition, 2006, p 96 -106

- Withers, P. C. 2001. Design, calibration and calculation for flow-through respirometry systems. *Australian Journal of Zoology*49:445-461.
- Lighton, J. R. B. 2008. *Measuring metabolic rates: A manual for scientists*. Oxford University Press. ISBN 0195310616.
- Bartholomew, G. A., D. Vleck, and C. M. Vleck. 1981. Instantaneous measurements of oxygen consumption during pre-flight warm-up and post-flight cooling in Spingid moths and Saturniid moths. *Journal of Experimental Biology*90(1):17-32.
- Levy, A. 1964. The accuracy of the bubble meter method for gas flow measurements. *Journal of Scientific Instruments* 41(7):449-453.
- Stevens, E. D. 1992. Use of plastic materials in oxygen-measuring systems. *Journal of Applied Physiology* 72:801-804
- Thomas E. Hyde and Marianne S. Gengenbach, *Conservative Management of Sports Injuries* (2nd ed; Sudbury, Mass.: Jones & Bartlett, 2007), 845.
- A B Geddes, Linda (2007-07-28). "Superhuman". *New Scientist*. pp. 35-41.
- Bouchard, Claude; Ping An, Treva Rice, James S. Skinner, Jack H. Wilmore, Jacques Gagnon, Louis Perusse, Arthus S. Leon, D. C. Rao (01 September 1999). "Familial aggregation of VO<sub>2</sub>(max) response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study". *Journal of Applied Physiology* 87 (3): 1003–1008. PMID 10484570.
- Kolata, Gina (February 12, 2002). "Why Some People Won't Be Fit Despite Exercise". *The New York Times*.
- Thieme atlas of anatomy, Thieme, 2006, p 44- 45, 49
- Thibodeau G., *Anatomy and physiology* 5<sup>th</sup> edition, Mosby, 2003, p. 558-571, 595- 600
- Costanzo L.S., *Board Review Series, Physiology* 2<sup>nd</sup> edition, Williams & Wilkins, 1998 , p 72-98