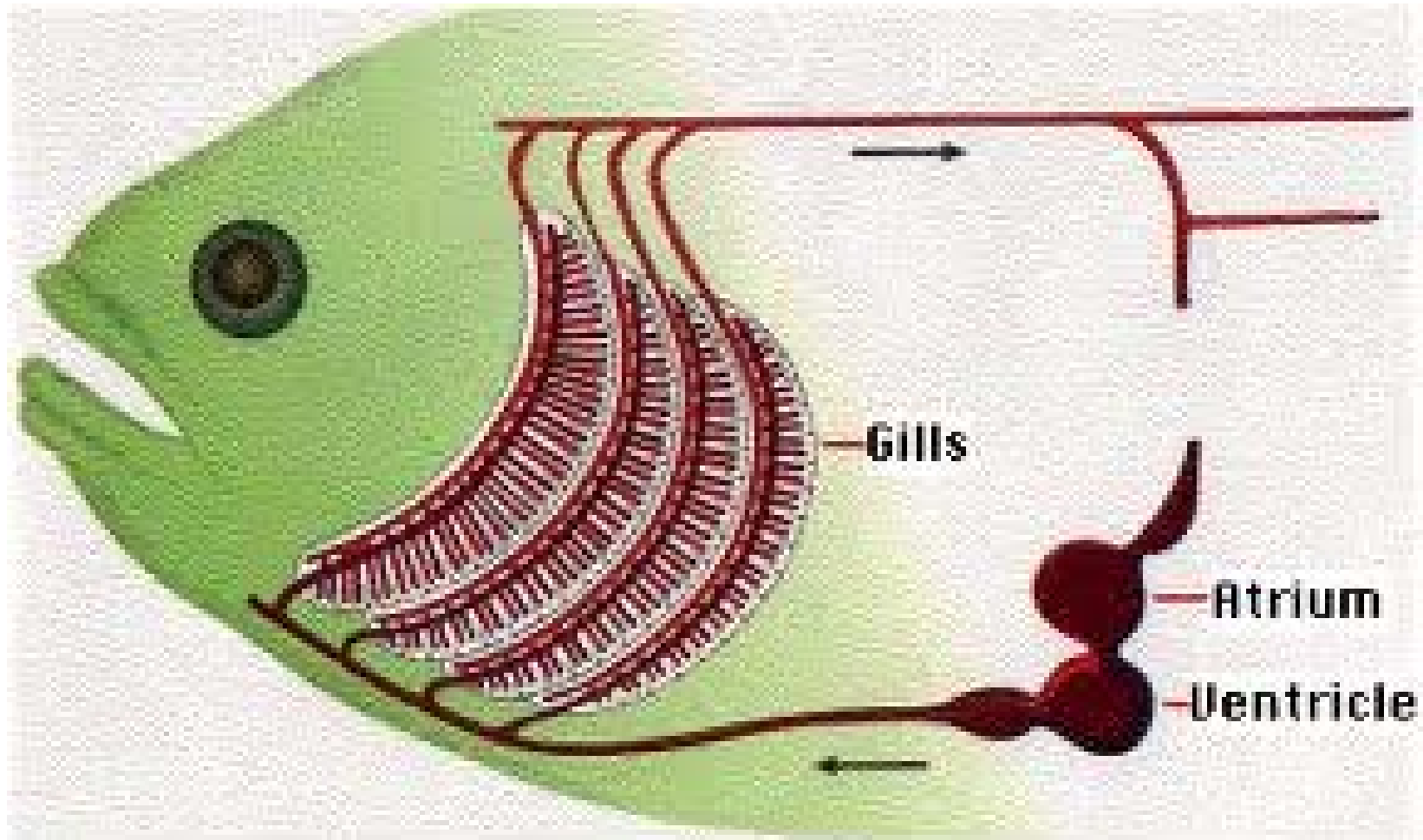
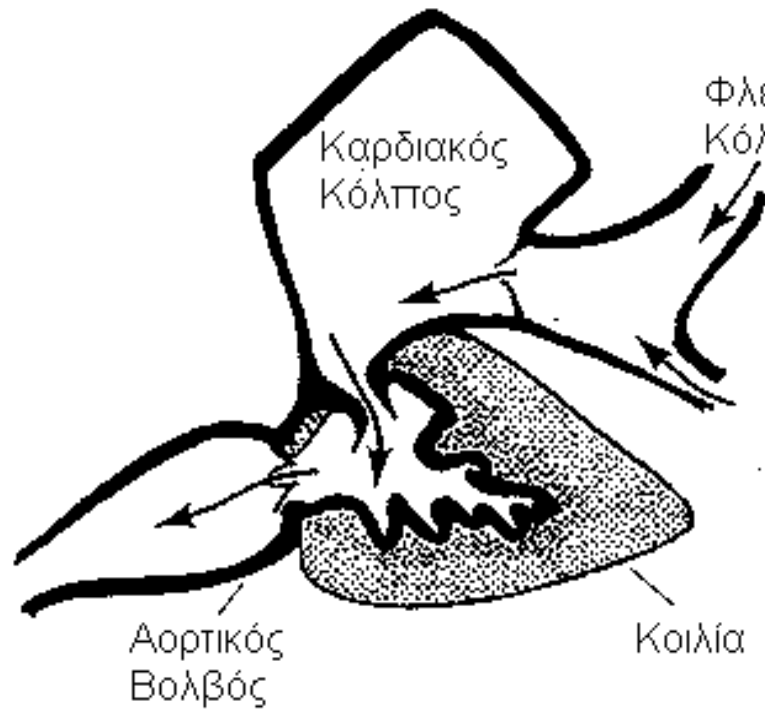


# Το αναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα των ψαριών



# Η καρδιά των ψαριών



A

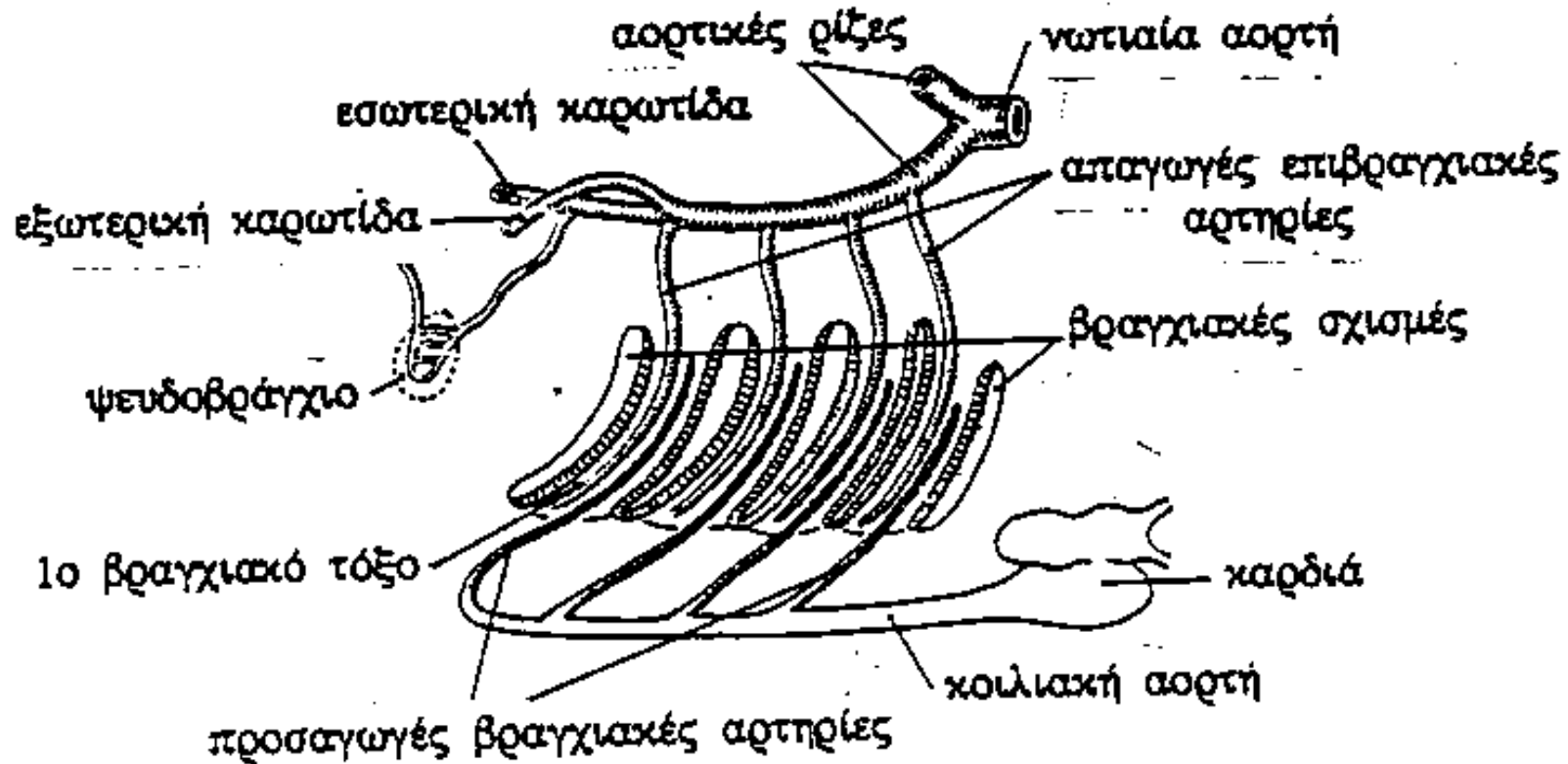
**Πέστροφα**



B

**Καρχαρίας**

# Τα μεγάλα αγγεία των ψαριών



# Η αιμοποίηση στα ψάρια

## ***Ελασμοβράγχιοι:***

- όργανο του Leydig στον οισοφάγο,
- ο σπλήνας,
- ο ιστός που περιβάλλει τις γονάδες.

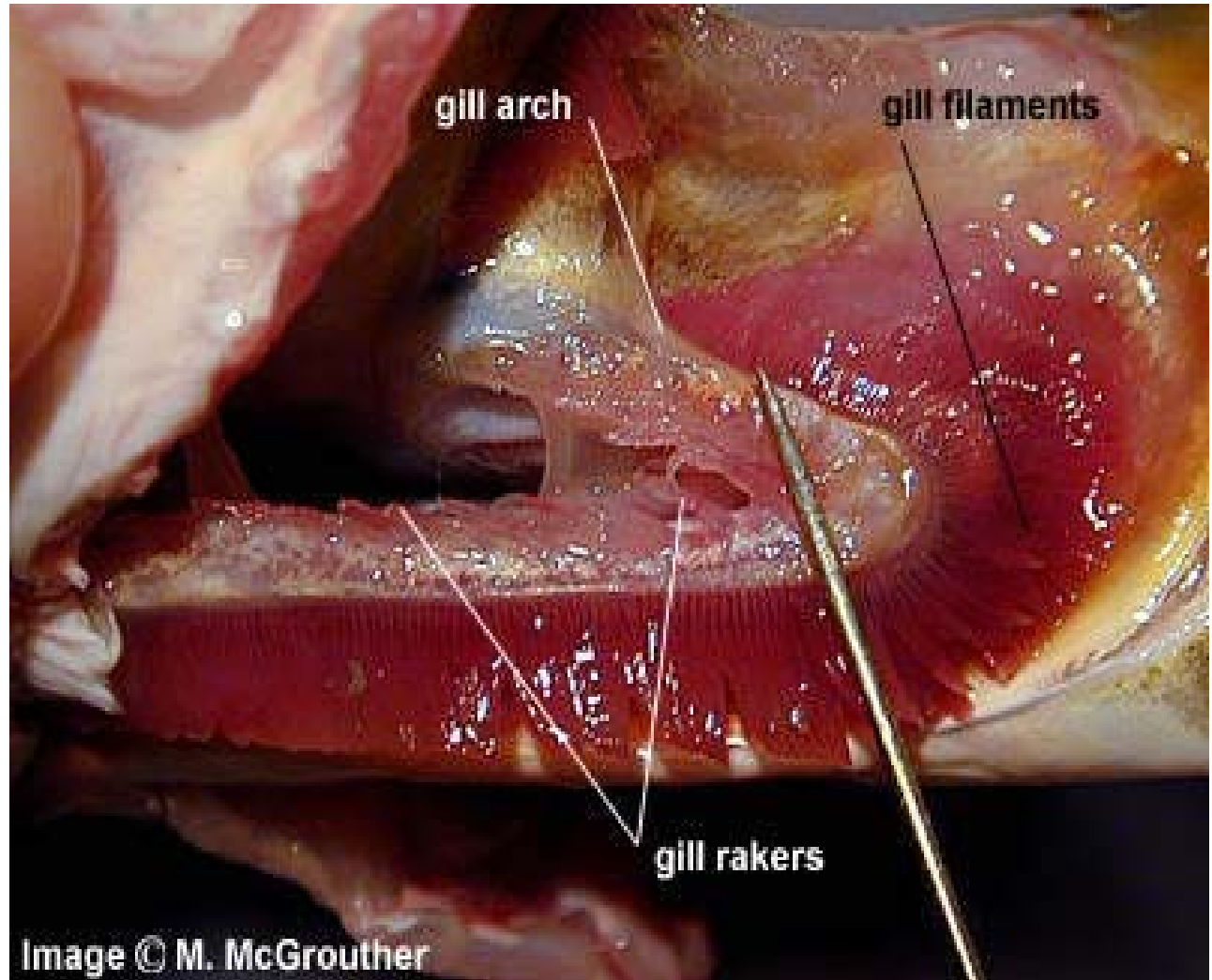
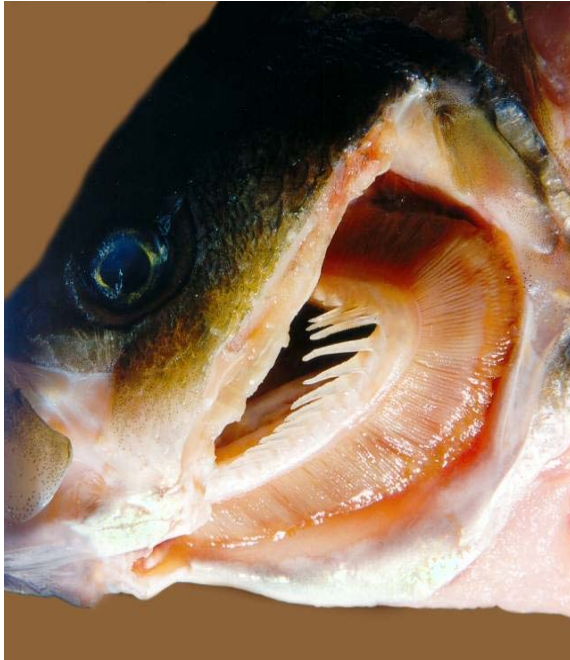
Τα ερυθρά αιμοσφαίρια παράγονται από τον ερυθρό πολφό του σπλήνα ενώ τα λευκά από τον λευκό πολφό και όλα τα υπόλοιπα αιμοποιητικά όργανα.

## ***Τελεόστεοι:***

- ο σπλήνας
- ο νεφρός

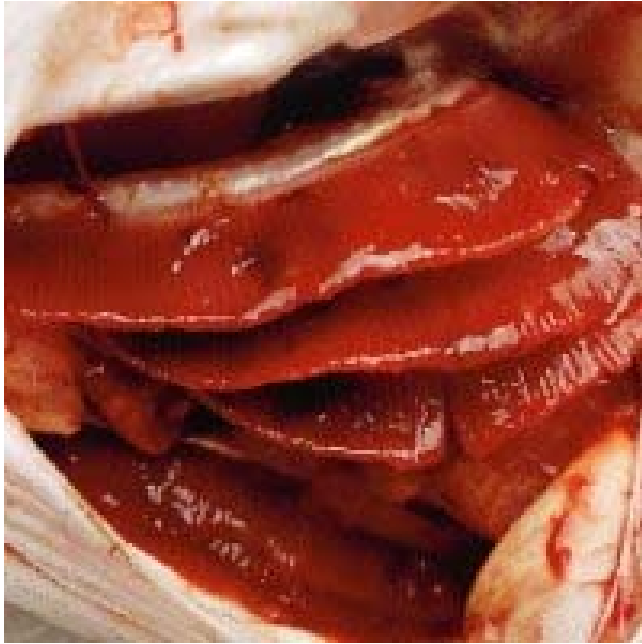
*Ο θύμος αδένας έχει επίσης αιμοποιητικό ρόλο στα νερά ιχθύδια.  
Η δραστηριότητα του όμως σταματά στα ώριμα άτομα.*

# Τα βράγχια



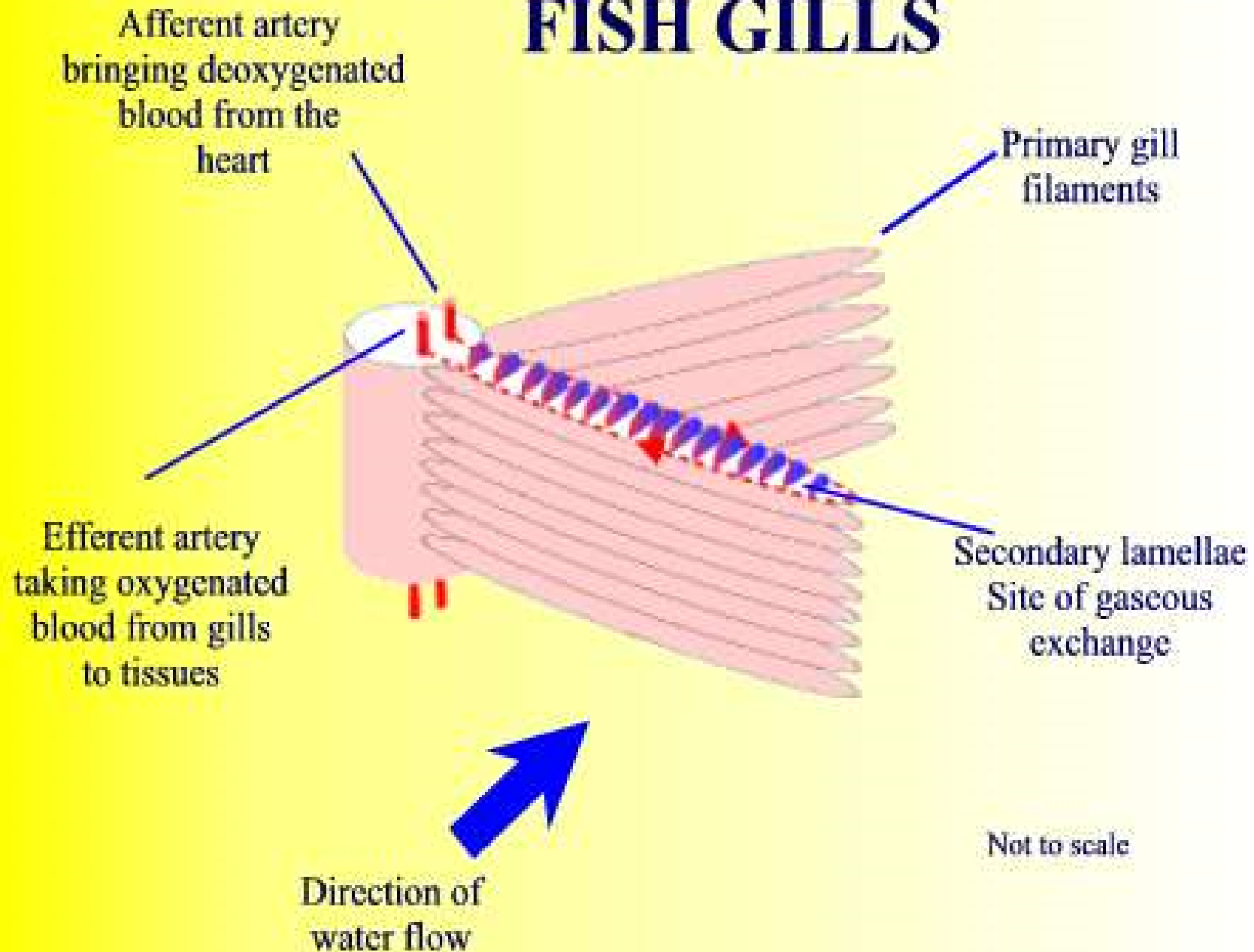
Τα βράγχια αποτελούνται από άκαμπτα οστέινα ή χόνδρινα βραγχιακά τόξα, που φέρουν ζεύγη πρωτογενών βραγχιακών νηματίων

# Τα βράγχια



Πολλαπλά δευτερογενή βραγχιακά νημάτια προεκβάλλουν από τα πρωτογενή και αποτελούν τη βασική συσκευή ανταλλαγής των αερίων

# FISH GILLS



Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό είναι χαμηλή και εξαρτάται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία

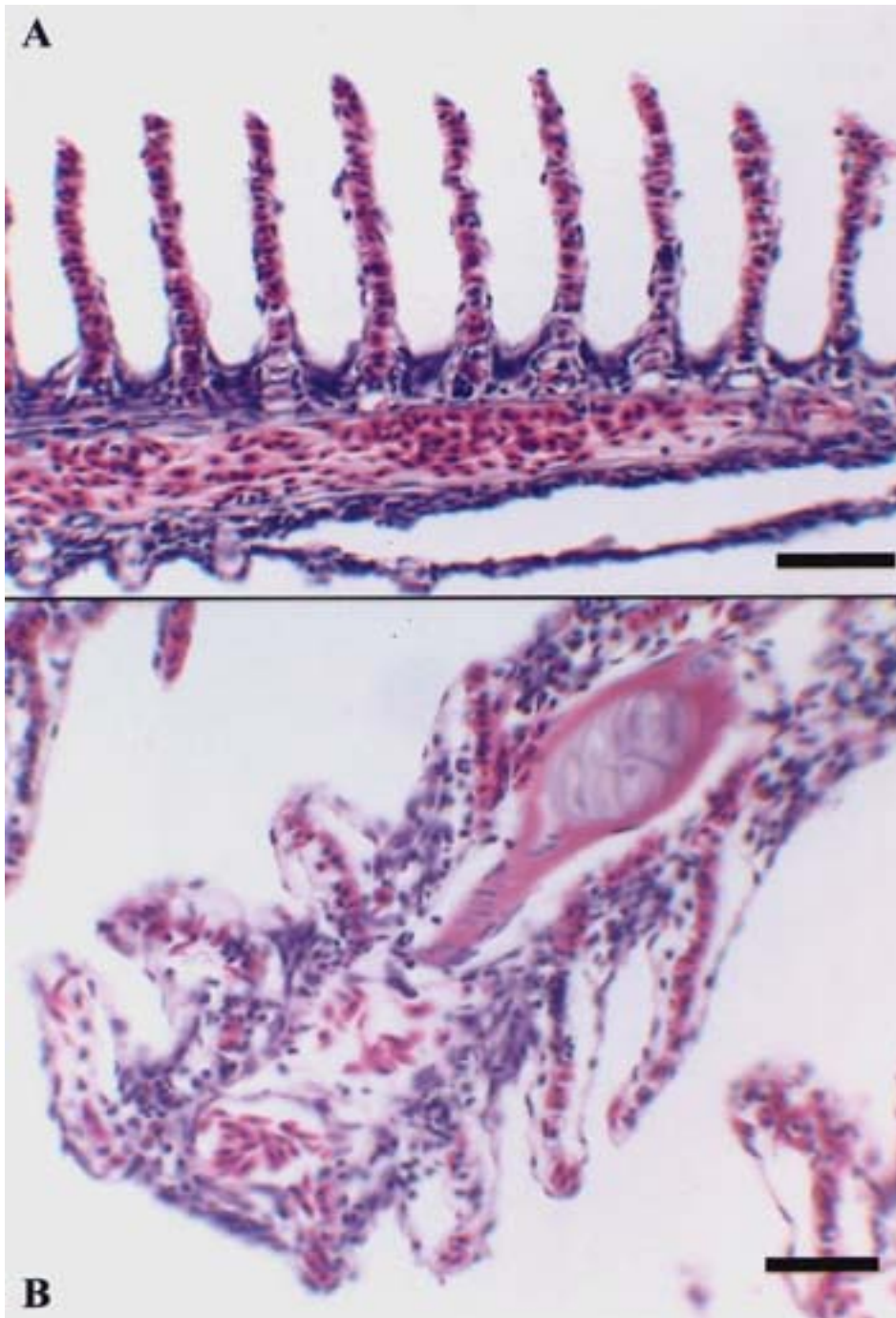
Temp (°C)	O <sub>2</sub> con. at sat. (mg/l) – Fresh	O <sub>2</sub> con. at sat. (mg/l) – Salt
0	10.3	8.0
10	8.0	6.3
20	6.5	5.3
30	5.6	4.6



Πως τα ψάρια απορροφούν 80 - 90% του οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό;

- 1) Μικρή απόσταση διάχυσης στο βραγχιακό επιθήλιο
- 2) Μεγάλη επιφάνεια διάχυσης στα βράγχια
- 3) Αντίθετη κατεύθυνση ροής και διάχυσης
- 4) Μεγάλος όγκος νερού περνάει από τα βράγχια





Τα βράγχια στο μικροσκόπιο:  
πρωτογενή και δευτερογενή  
βραγχιακά νημάτια γεμάτα  
ερυθροκύτταρα

## Οι αριθμοί.....

4 βραγχιακά τόξα σε κάθε πλευρά Χ2

2 σειρές πρωτογενή βραγχιακά νημάτια σε κάθε τόξο

Εκατοντάδες πρωτογενή βραγχιακά νημάτια σε κάθε πλευρά

Χιλιάδες δευτερογενή νημάτια σε κάθε πρωτογενές νημάτιο

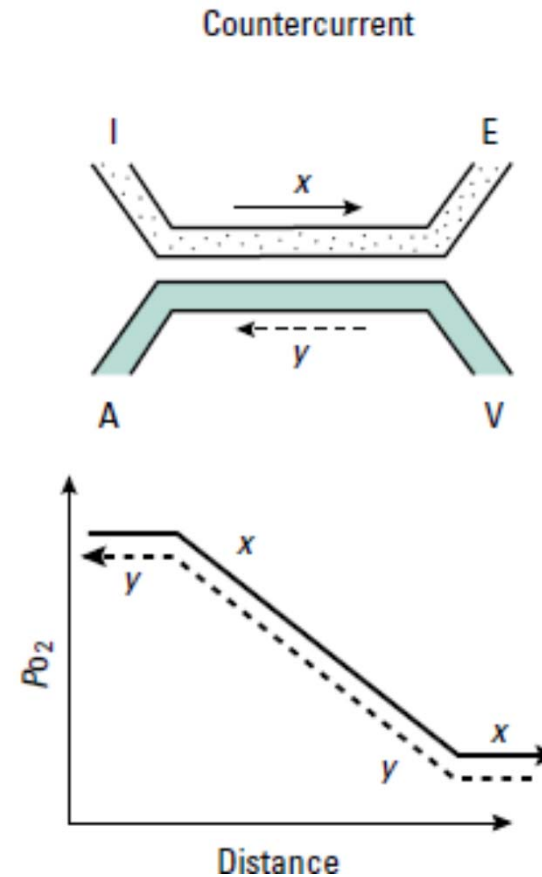
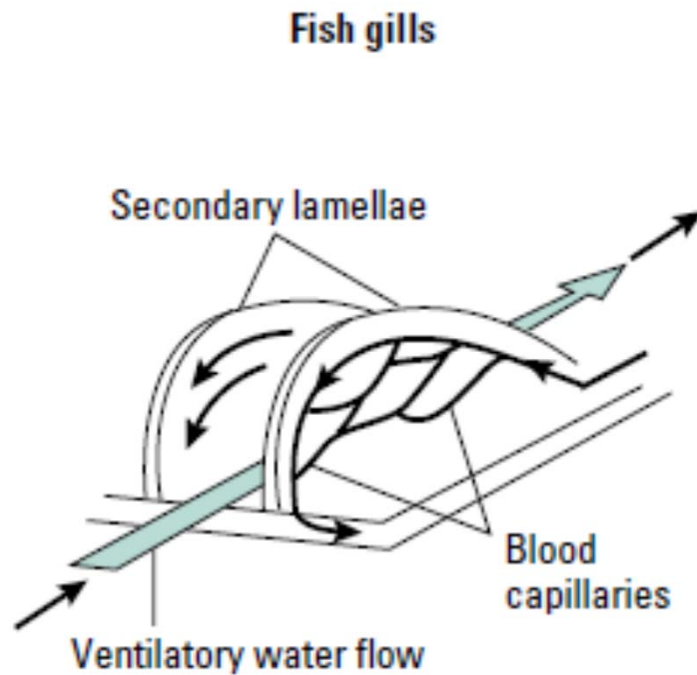
**Βραγχιακή επιφάνεια= 10 - 60 φορές η επιφάνεια του σώματος!**

## Οι αριθμοί.....

Genus	Body mass (g)	Activity	No. of filaments	No. of lamellae (mm <sup>-1</sup> )	Gill area (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
<b>Crustaceans</b>					
<i>Callinectes</i>		High			14
<i>Uca</i> *		High			6
<i>Ocypode</i> *		High			3
<i>Panopeus</i>		Moderate			9
<i>Libinia</i>		Low			6
<b>Fish</b>					
<i>Lucioperca</i>	70	High	1811	15	18
<i>Salmo</i> (salmon)	390	High	1606	19	2
<i>Katsuwonus</i> (tuna)	3258	High	6066	32	14
<i>Thunnus</i> (tuna)	26.660	High	6480	24	9
<i>Pleuronectes</i> (plaice)		Moderate			4
<i>Callionymus</i> (dragonet)	3	Low	478	16	2
<i>Saccobranchus</i> *	42	Low	658	23	1
<i>Anabas</i> * (climbing perch)	54	Low	567	21	1
<i>Ictalurus</i> (catfish)	239	Low	–	10	1
<i>Opsanus</i> (toadfish)	251	Low	660	11	2
<i>Tinca</i> (tench)	268	Low	1764	22	2

\*Indicates fully or partially air-breathing species.

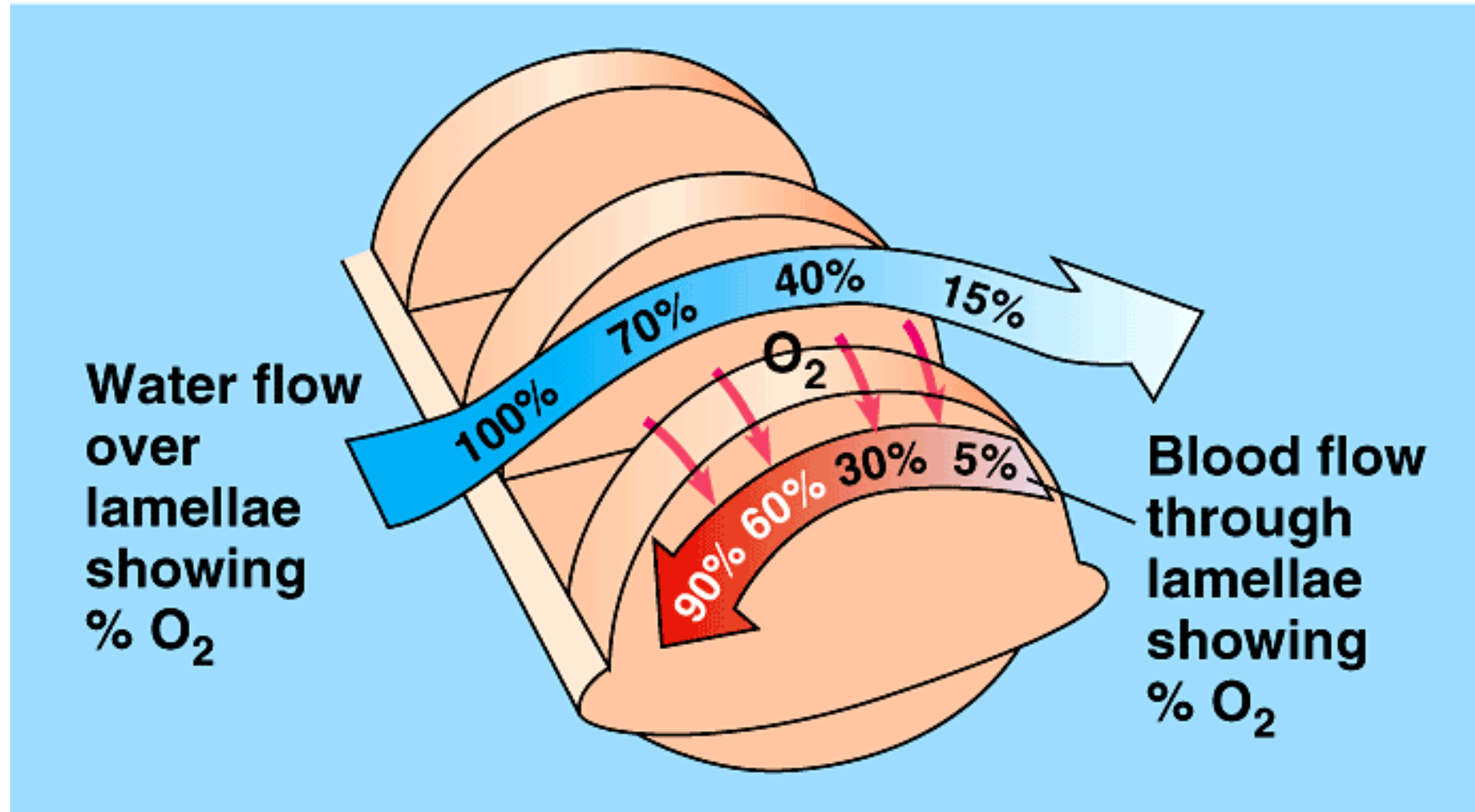
# Ανταλλαγή αερίων στα ψάρια



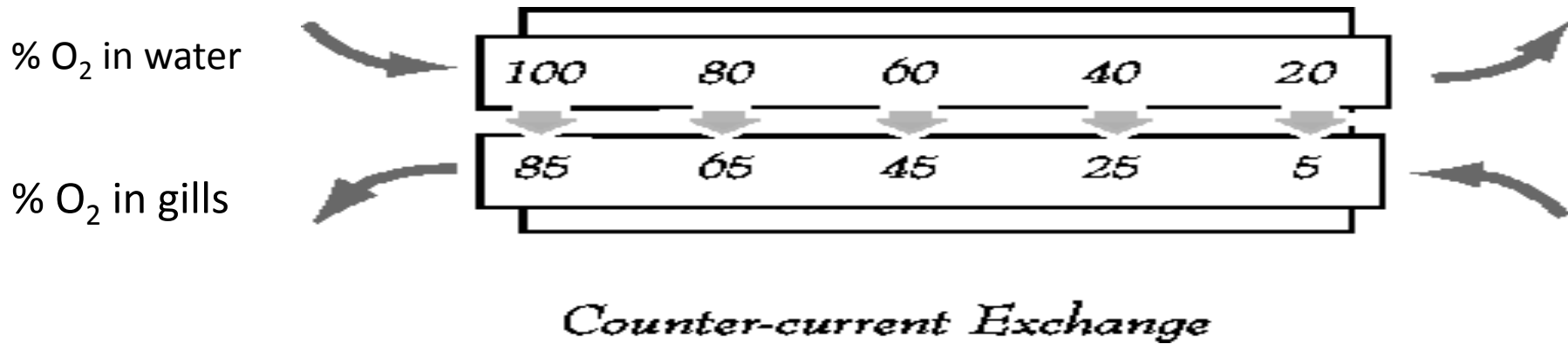
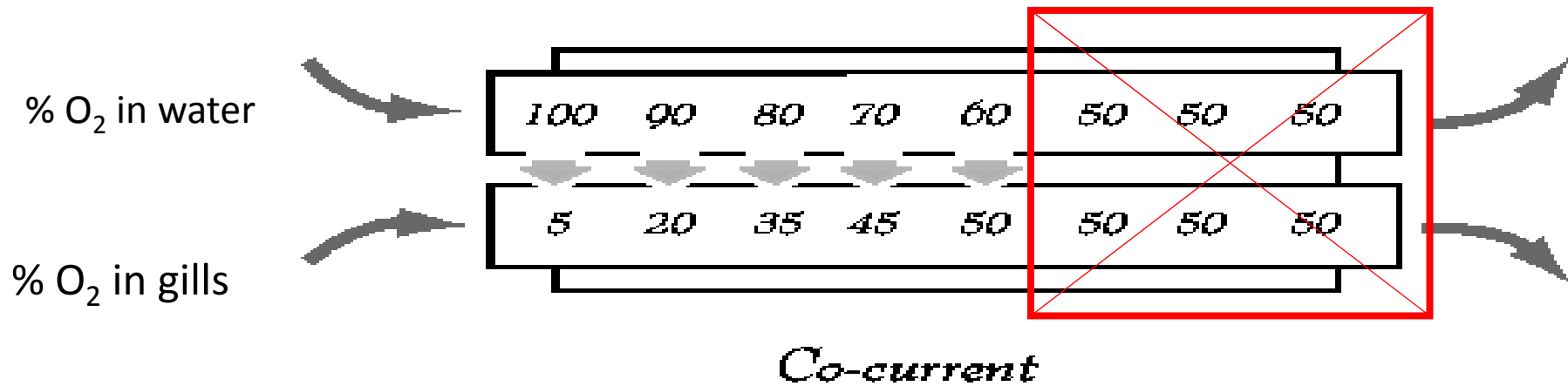
- Τα ψάρια χρησιμοποιούν ένα **αντίρροπο σύστημα** για να απορροφούν  $O_2$  από το νερό
- Αυτό το σύστημα προκαλεί την κίνηση του νερού σε αντίθετη κατεύθυνση από τη ροή του αίματος για να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση στην ανταλλαγή των αερίων.

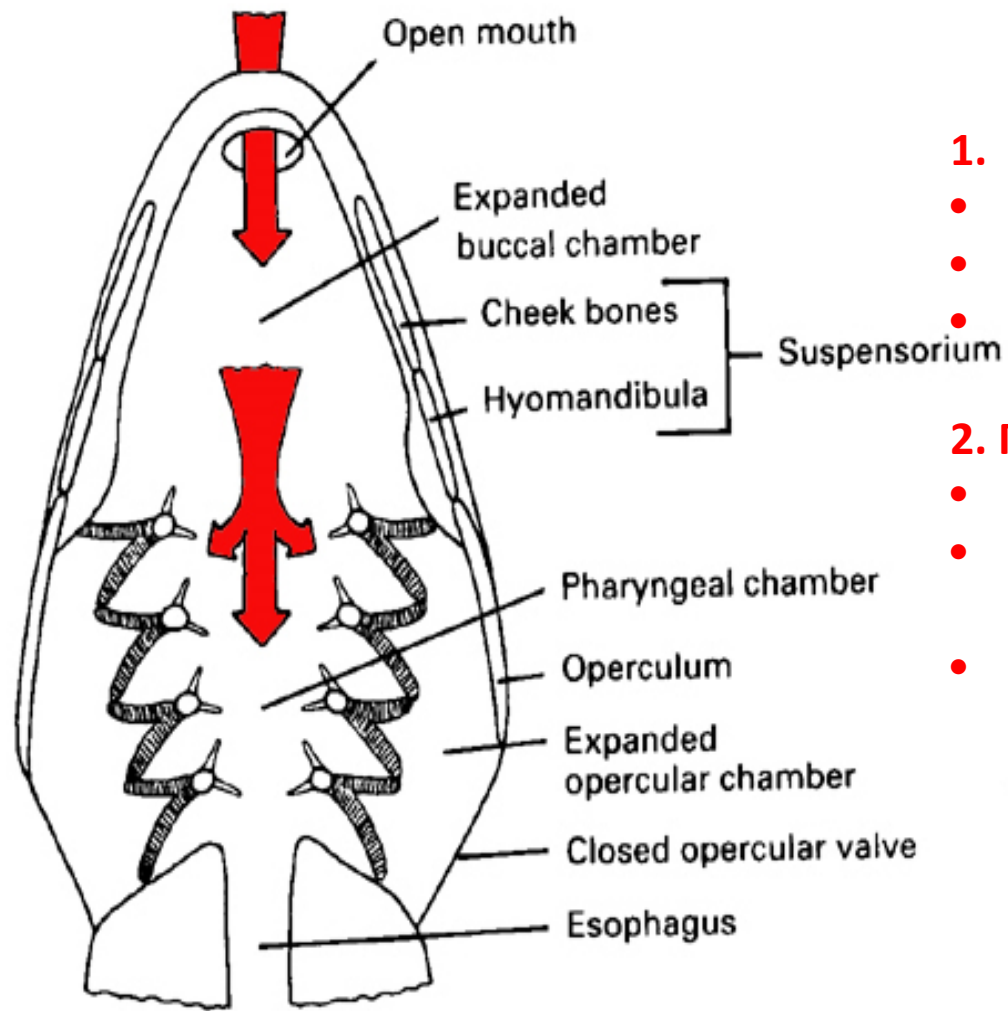
# Αντίρροπη ροή

- Το αίμα στα βραγχιακά νημάτια ρέει από πίσω μπρός τα εμπρός
- Το νερό πάνω στα βραγχιακά νημάτια ρέει από μπροστά προς τα πίσω



# Αντίρροπη ροή





A. Inspiration

**1. Γέμισμα στοματικής κοιλότητας**

- Άνοιγμα στόματος
- Διάσταση στόματος
- Κλειστό βραγχιακό επικάλυμμα

**2. Γέμισμα βραγχιακής κοιλότητας**

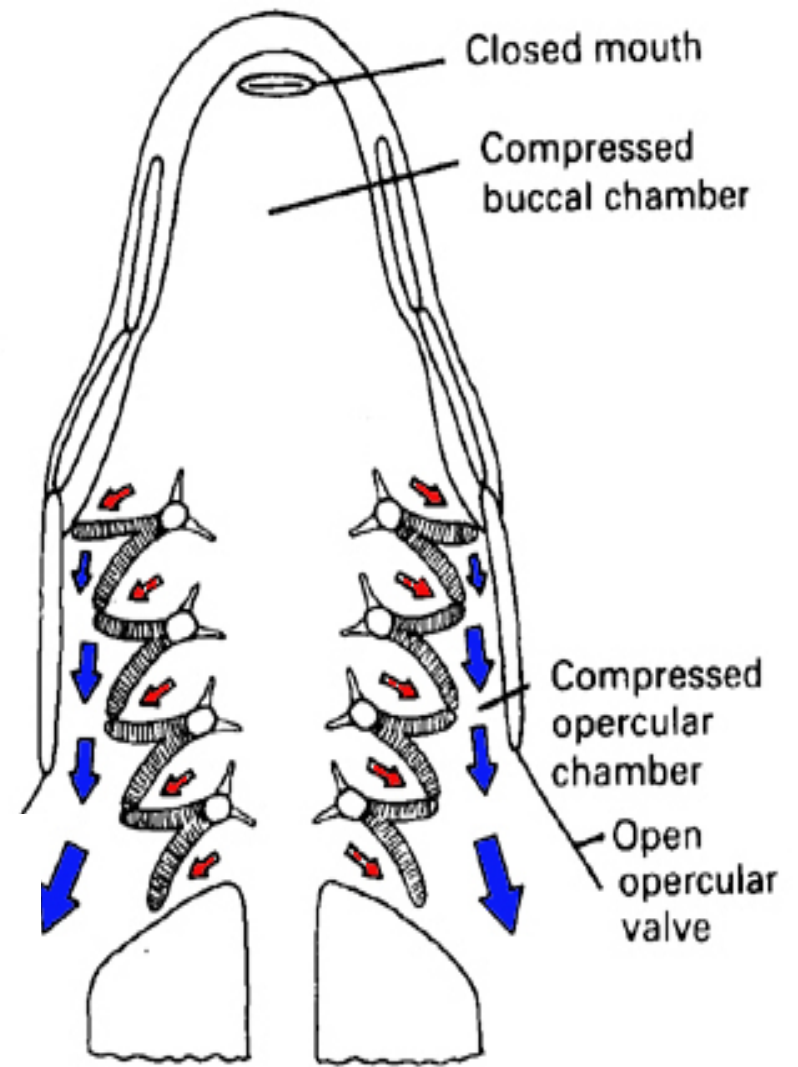
- Κλείσιμο στόματος
- Σφίξιμο της στοματικής κοιλότητας
- Διάσταση βραγχιακής κοιλότητας με κλειστό βραγχιακό επικάλυμμα



### 3. Αποβολή νερού από τη βραγχιακή κοιλότητα

- Σφίξιμο στόματος
- Σφίξιμο βραγχιακής κοιλότητας
- Άνοιγμα βραγχιακού καλύμματος

### 4. Έναρξη επόμενου κύκλου



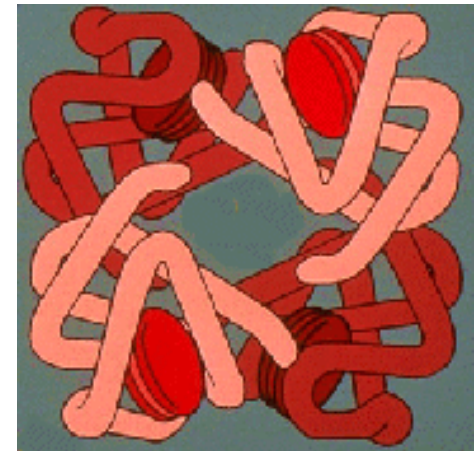
B . Expiration

# Βοηθητικές αναπνευστικές δομές

- Δέρμα – διάχυση του οξυγόνου από το νερό σε ένα πυκνό δίκτυο τριχοειδών στο δέρμα π.χ. στις προνύμφες παρέχει 50% του απαιτούμενου  $O_2$
- Νηκτική κύστη- έντονη αγγείωση σε φυσόστομη νηκτική κύστη (gars)
- Πνεύμονες – τροποποιημένη νηκτική κύστη (δίπνευστοι)
- Στόμα - έντονη αγγείωση σε μια περιοχή στην οροφή της στοματικής κοιλότητας (ηλεκτρικά χέλια)
- Έντερο - έντονη αγγείωση στο στομάχι ή στο έντερο

## Η αιμοσφαιρίνη (Hb) των ψαριών

- Το βασικό μόριο μεταφοράς οξυγόνου
  - Σε κάποια ψάρια μέχρι 15% της Hb μπορεί να βρίσκεται διαλυμένο στο πλάσμα εκτός ερυθροκυττάρων
- Μερικά ψάρια δεν έχουν καθόλου Hb (π.χ. Ανταρκτική)
  - Υψηλά επίπεδα οξυγόνου στο νερό
  - Χαμηλές μεταβολικές απαιτήσεις
  - Καρδιαγγειακές προσαρμογές



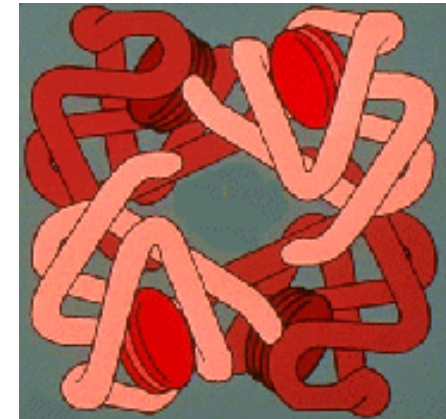
## Η αιμοσφαιρίνη (Hb) των ψαριών

Η δομή του μορίου διαφέρει από είδος σε είδος

- Μονομερής
- Μία πεπτιδική αλυσίδα
- Απαντά στα Άγναθα

Τετραμερής

- Τέσσερις πεπτιδικές αλυσίδες



Διαφέρουν ως προς

- Την αμινοξική σύνθεση
- Τη συγγένεια στο οξυγόνο

Πολλοί διαφορετικοί τύποι στο ίδιο είδος, π.χ. κάποια σολωμοειδή έχουν μέχρι 18 διαφορετικές Hbs

# Η αιμοσφαιρίνη (Hb) των ψαριών

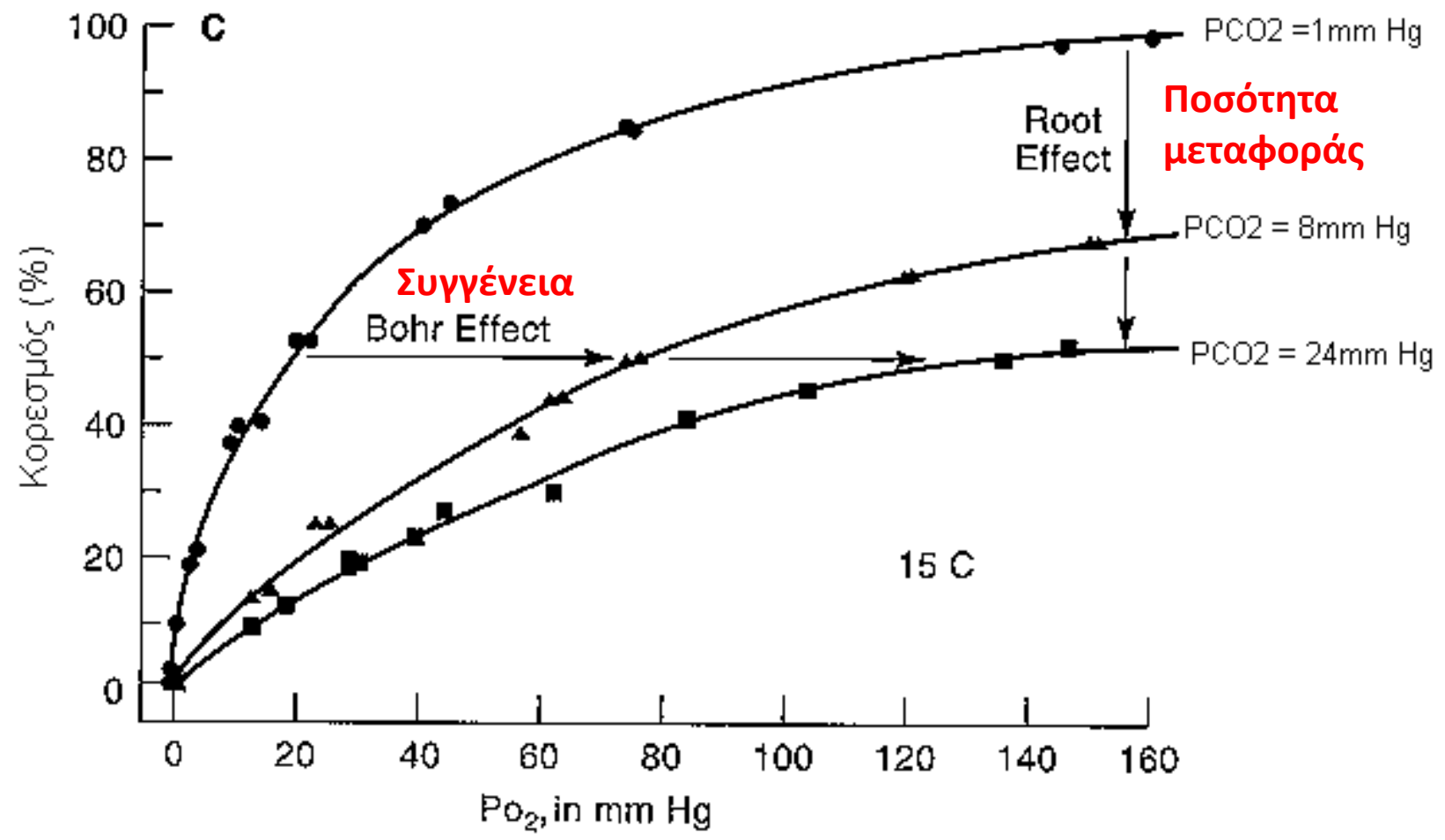
Οι διαφορετικές Hbs...

- επιδεικνύουν διαφορετική απόκριση στη:
  - θερμοκρασία
  - δέσμευση οξυγόνου
- επιτρέπουν στο ψάρι να προσαρμοστεί σε μεταβαλλόμενες συνθήκες περιβάλλοντος
  - πολύ σημαντικό για μεταναστευτικά είδη
- Παρουσιάζουν χαρακτηριστικό οντογενετικό πρότυπο

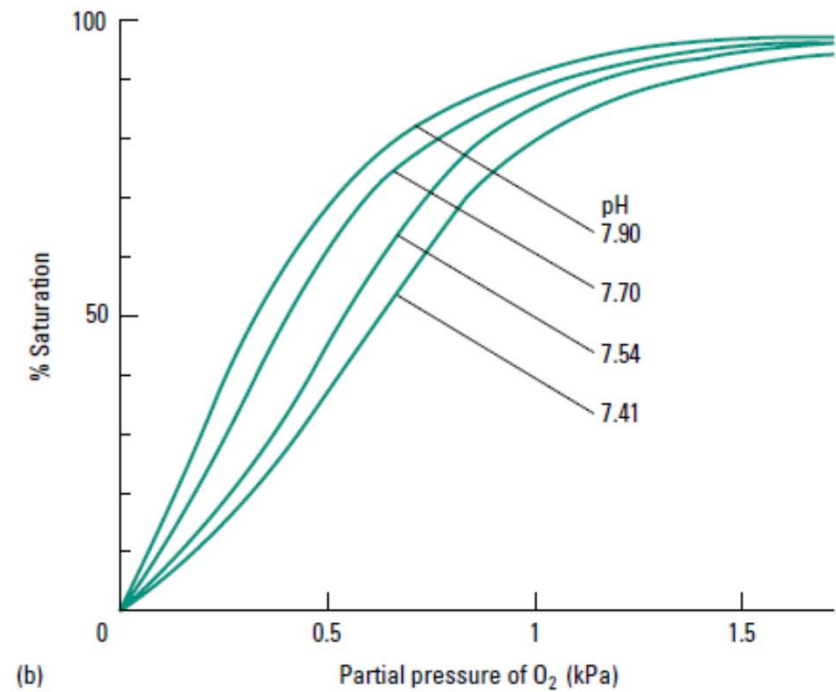
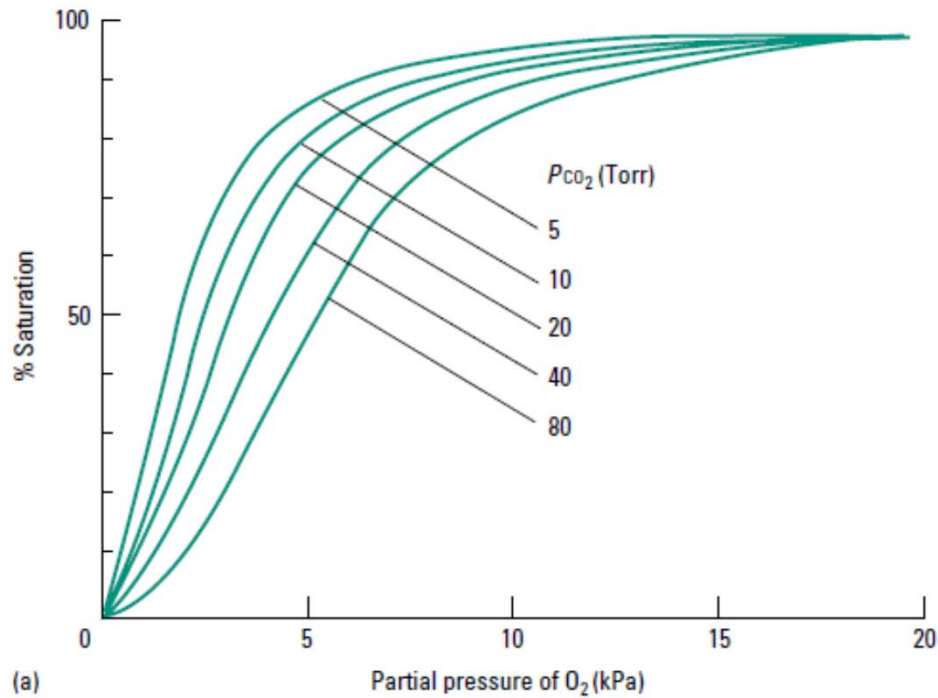
# Άντληση $O_2$ από την αιμοσφαιρίνη (Hb)

- Η αλλαγή του pH στο αίμα προκαλεί αλλαγές στη δέσμευση του  $O_2$  από την Hb
- **Φαινόμενο Bohr** – μείωση της συγγένειας της Hb για το  $O_2$  εξαιτίας της μείωσης του pH ή της αύξησης του  $pCO_2$
- **Φαινόμενο Root** – μείωση της ποσότητας  $O_2$  που μεταφέρει η Hb εξαιτίας της μείωσης του pH ή της αύξησης του  $pCO_2$
- Τα πιο δραστήρια είδη ψαριών έχουν συνήθως πιο έντομα φαινόμενα Bohr & Root

Η καμπύλη κορεσμού της αιμοσφαιρίνης και η συγγένεια προς το οξυγόνο επηρεάζεται σημαντικά από τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> και το pH



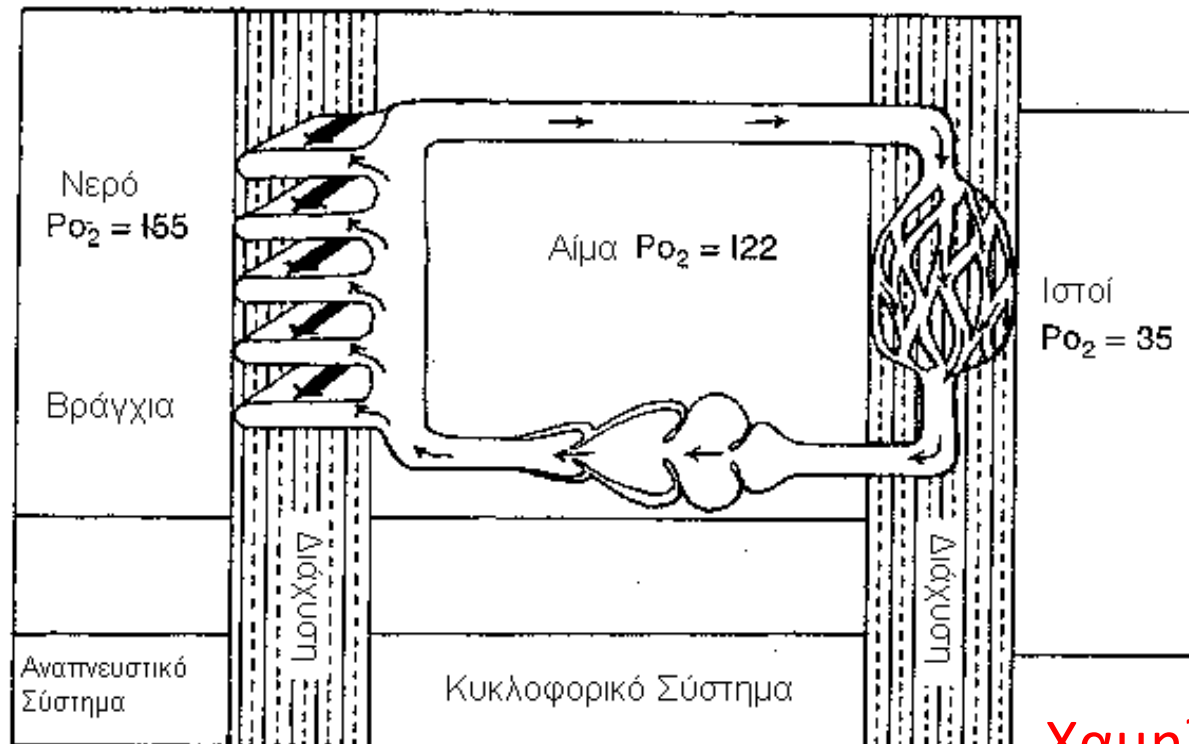
**Φαινόμενο Bohr:** Η καμπύλη κορεσμού της αιμοσφαιρίνης και η συγγένεια προς το οξυγόνο επηρεάζεται σημαντικά από τη συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  και το pH





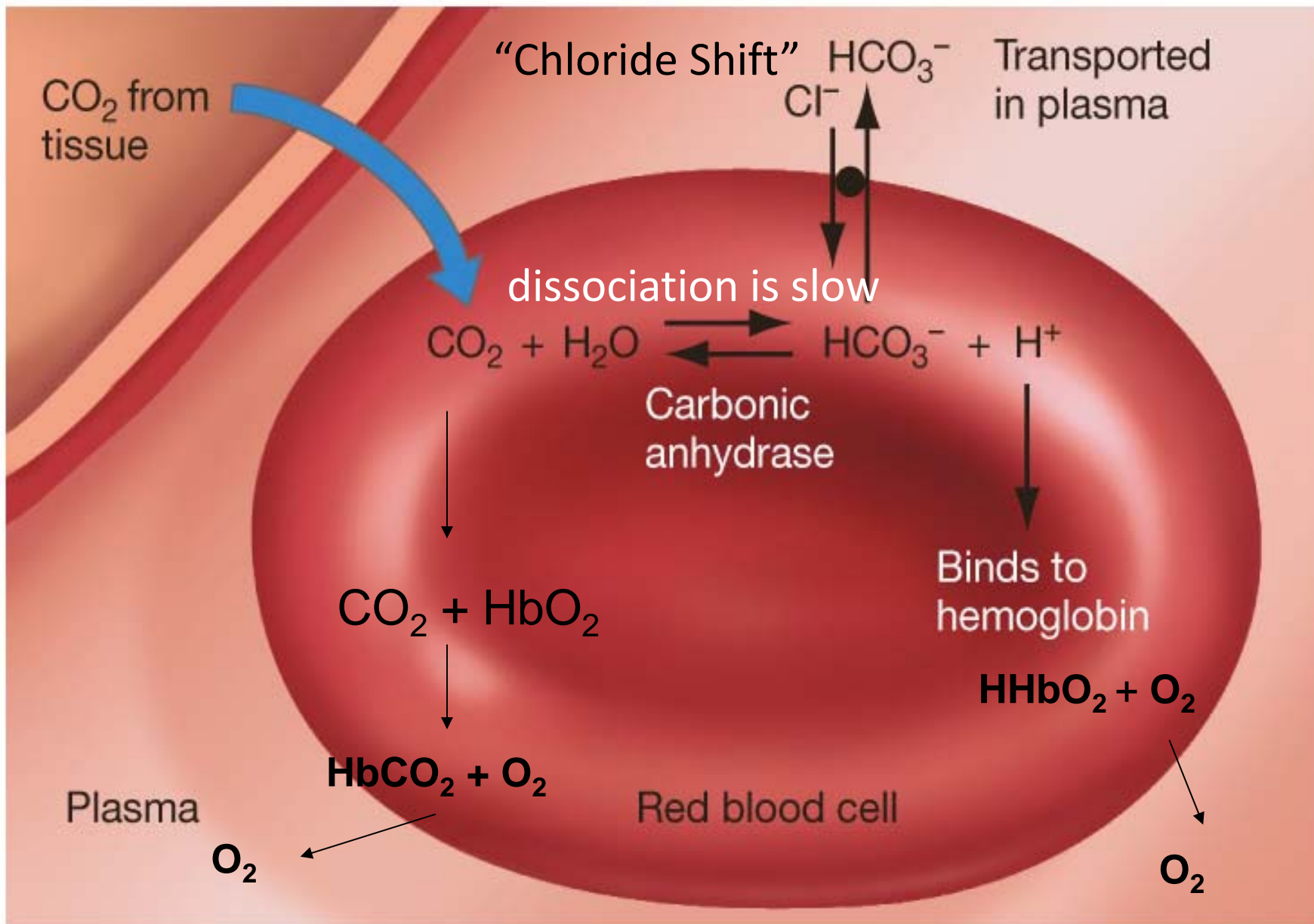
## Το πλεονέκτημα του φαινομένου Bohr....

Υψηλό pH  
Χαμηλή  $p\text{CO}_2$



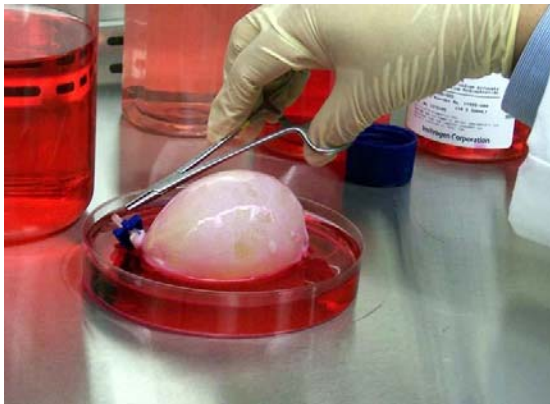
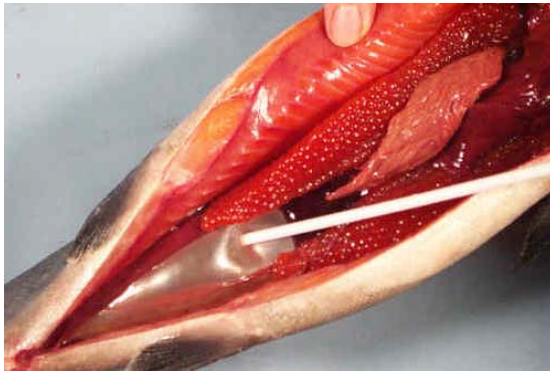
Χαμηλό pH  
Υψηλή  $p\text{CO}_2$

# Το γίνεται το CO<sub>2</sub>?



# Πλευστότητα

1. Συστατικά χαμηλού ειδικού βάρους
2. Άνωση λόγω κολύμβησης
3. Νηκτική κύστη

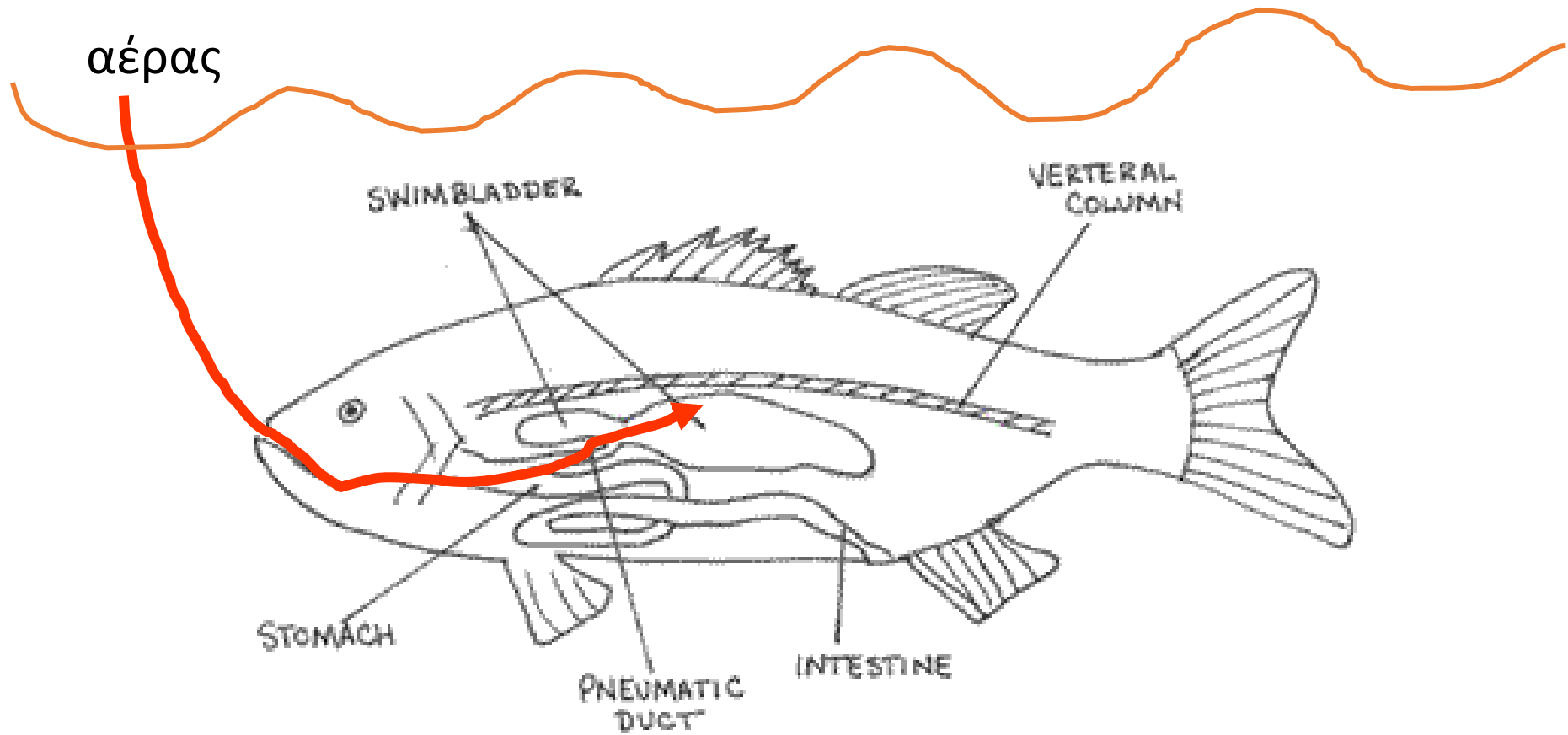


## Δεν έχουν Νηκτική Κύστη

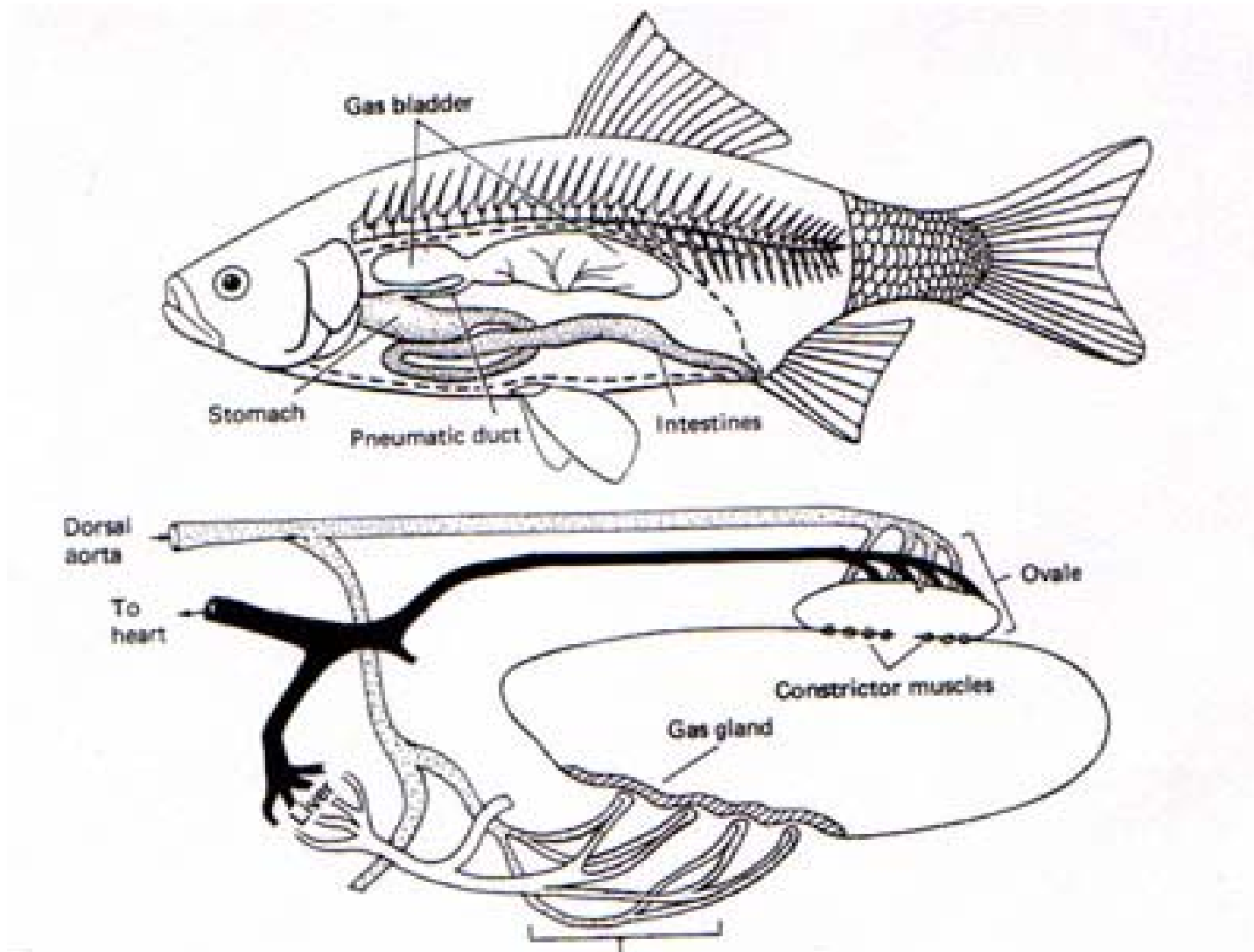
- Ψάρια με γρήγορη κολύμβηση
- Βενθικά ψάρια
- Χονδριχθύες
- Ψάρια που ζουν σε μεγάλα βάθη



# Η Φυσόστομη Νηκτική Κύστη



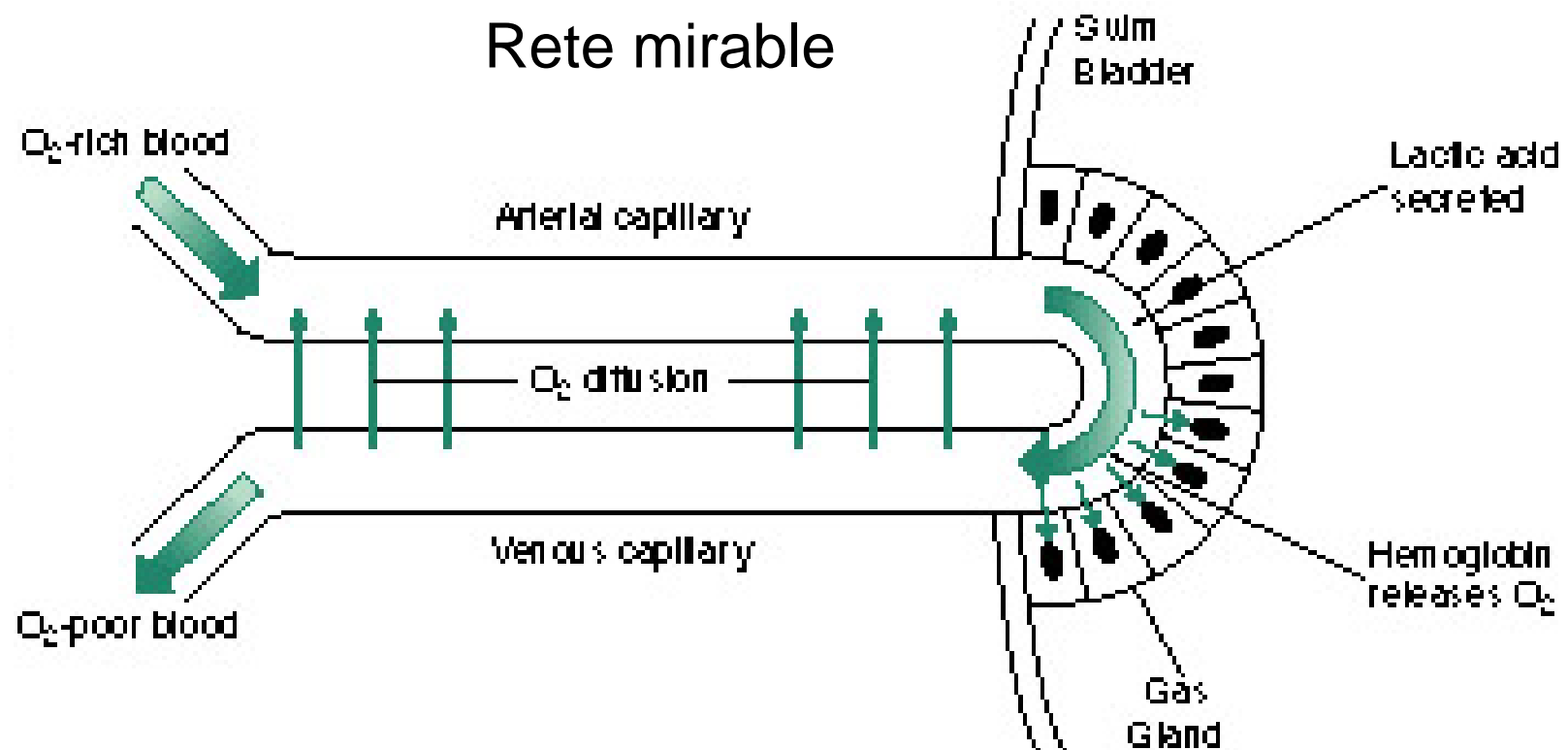
# Η Φυσόκλειστη Νηκτική Κύστη



## Πως γεμίζει η φυσόκλειστη νηκτική κύστη;

- Το rete mirabile αναλαμβάνει δράση
- Αντλεί  $O_2$  από την αιμοσφαιρίνη και το διοχετεύει στον αδένα αερίων
- Συσσωρεύει αρκετό  $O_2$  ( $>pO_2$ ) διαλυμένο στο πλάσμα και δημιουργεί μια διαβάθμιση συγκέντρωσης που υποστηρίζει τη διάχυση από το πίσω άκρο του rete mirabile στον αυλό της νηκτικής κύστης

# Πως γεμίζει η φυσόκλειστη νηκτική κύστη;





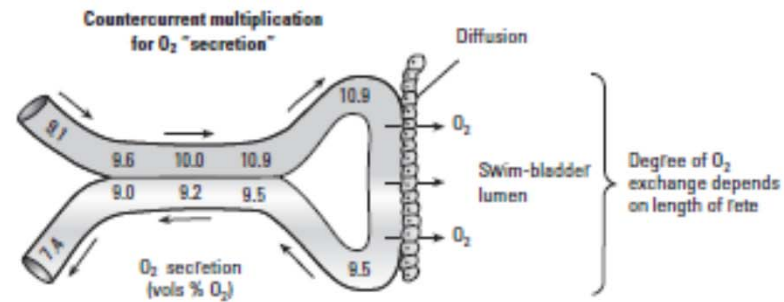
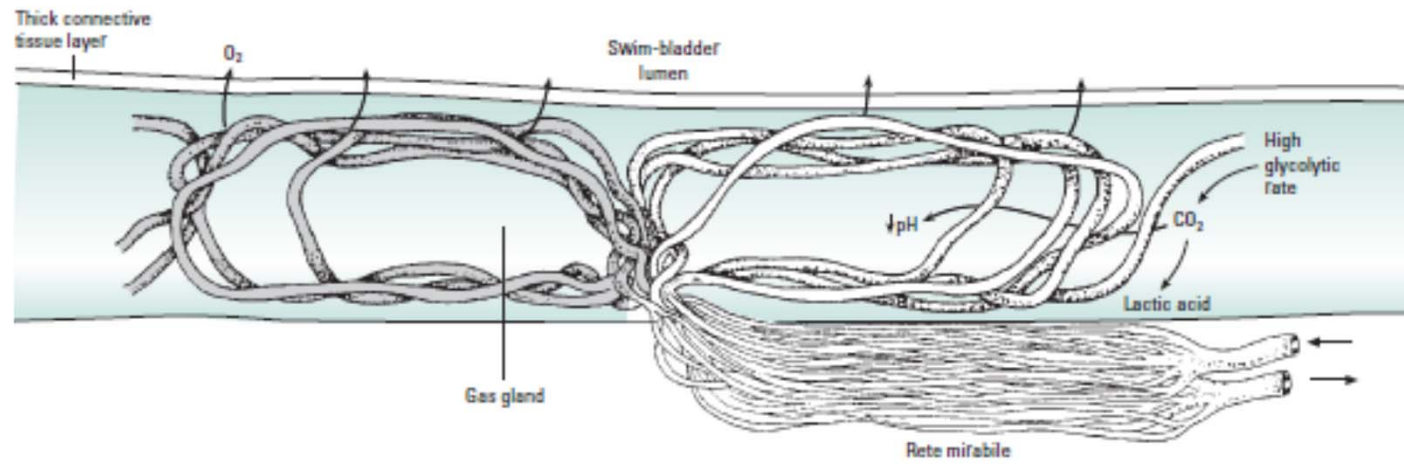
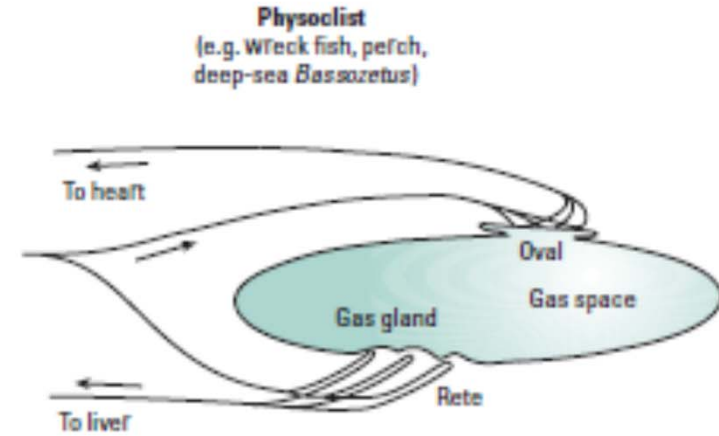
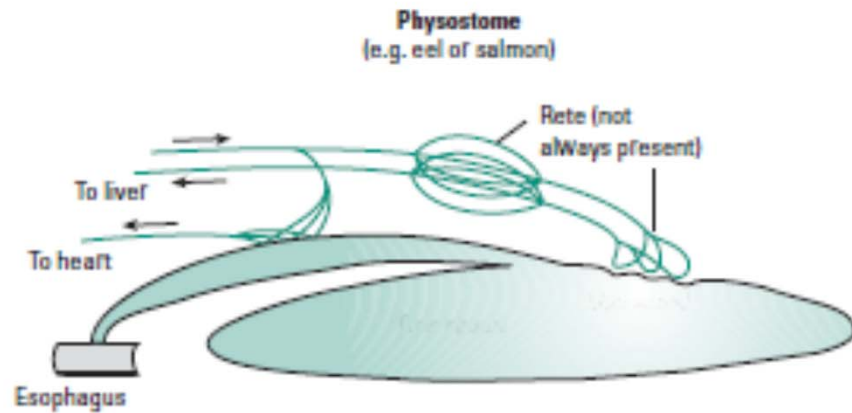
## Πως λειτουργεί ο αδένας αερίων και το rete mirabile;

- Οι πάγιες μεταβολικές διεργασίες των κυττάρων του αδένου οδηγούν στην παραγωγή και την απελευθέρωση  $H^+$ , είτε μέσω της γλυκόλυσης και της παραγωγής γαλακτικού οξέος, είτε μέσω του αερόβιου μεταβολισμού
- Άρα, η αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα των κυττάρων του αδένου οδηγεί σε πτώση του pH και ευνοϊκές συνθήκες απελευθέρωσης  $O_2$  από την Hb προς τη νηκτική κύστη
- Επιπλέον, το φαινόμενο ενισχύεται καθώς οξυγόνο συνεχίζεται να διαχέεται προς το προσαγωγό τριχοειδές από το απαγωγό τριχοειδές. Αν και το δεύτερο είναι φτωχό σε οξυγόνο, το χαμηλό pH συνεχίζει να επιτρέπει τη διάχυση του οξυγόνου.

# Η Φυσόκλειστη Νηκτική Κύστη

- Στη νηκτική κύστη επιτυγχάνονται πιέσεις αερίων μέχρι και 300 ATM σε κάποια βαθυπελαγικά ψάρια
- Κρύσταλλοι γουανίνης στα τοιχώματα της νηκτικής κύστης μειώνουν τη διαπερατότητα των τοιχωμάτων σε αέρια
- Αποσυμπίεση επέρχεται μέσω του **οβάλ τρήματος**, ένα πυκνό δίκτυο τριχοειδών στο τοίχωμα της νηκτικής κύστης που διοχετεύει αέρια πίσω στην κυκλοφορία του αίματος. Ένα στρώμα βλέννης καλύπτει το τρήμα κατά το φούσκωμα της κύστης

# Η Νηκτική Κύστη



## Η επίδραση του βάθους στη νηκτική κύστη

- Η υδροστατική πίεση αυξάνει κατά 1 ATM/10m
- Η νηκτική κύστη πρέπει να προσαρμόζεται στις αλλαγές της πίεσης
- Τα φυσόστομα ψάρια προσαρμόζουν τον όγκο της νηκτικής κύστης καταπίνοντας ή αποβάλλοντας αέρα. Είναι ψάρια που ζουν σε μικρά βάθη και φτάνουν μέχρι την επιφάνεια για να καταπιούν αέρα.
- Τα φυσόκλειστα ψάρια απαιτούν συγκεκριμένο χρόνο για να ρυθμίσουν τον όγκο της νηκτικής κύστης μεταβολικά

Pro Series PV-1

# PRE-VENT

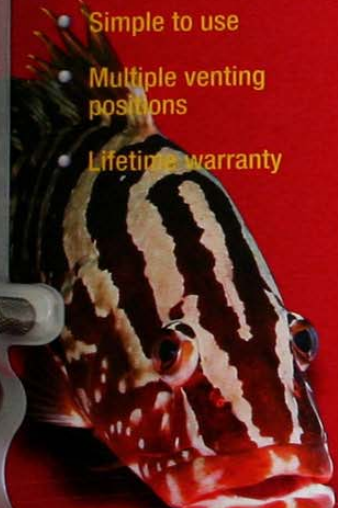
Safely deflate  
the abdominal  
cavities of all  
reef fish!

- The safest, best built venting tool available
- Much safer than a hypodermic needle
- Greatly increases the survival of reef fish
- Comfortable ergonomic design
- Simple to use
- Multiple venting positions
- Lifetime warranty

Made with pride in Tampa Bay, USA



Patent Pending



Gina the grouper says,  
"Vent Now or Pay Later!"



Team Marine USA thanks these fine organizations for their efforts in marine conservation & education.

