

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ψάρια είναι η πολυπληθέστερη και πλέον ποικιλόμορφη ομάδα σπονδυλωτών. Με τις εντυπωσιακές μορφολογικές και φυσιολογικές προσαρμογές τους έχουν εισβάλλει σε κάθε πτυχή του υδάτινου περιβάλλοντος, αν και δεν λείπουν τα είδη ψαριών που περνούν ένα σημαντικό μέρος του χρόνου τους και εκτός νερού.

Τα ψάρια αποτελούν το 60% όλων των σπονδυλωτών. Ο αριθμός των ζωντανών ειδών έχει ήδη ξεπεράσει τα 25.000 και περίπου 100 νέα είδη προσθέτονται στον κατάλογο κάθε χρόνο. Οι Νεοπτερύγιοι (σύγχρονοι οστεϊχθύες) εκπροσωπούνται με πάνω από 23.000 είδη, οι χονδριχθύες με περίπου 830 είδη και οι αρχέγονες ομάδες με περιορισμένο αριθμό ειδών: οι μυξίνοι με 40+ είδη, οι κυκλόστομοι με 40+ είδη, οι δίπνευστοι με 6 είδη και οι κοιλάκανθοι με μόλις 1 είδος.

Η θάλασσα καλύπτει πάνω από το 70% της επιφάνειας της γης και αποτελεί το 97% του υδάτινου όγκου έναντι των εσωτερικών νερών που καλύπτουν μόνο το 1% της επιφάνειας και αποτελούν μόνο το 0,0093% του νερού (το υπόλοιπο βρίσκεται σε μορφή πάγου και ατμοσφαιρικής υγρασίας). Θα περίμενε λοιπόν κανείς ότι κατά αντιστοιχία η μεγαλύτερη ποικιλομορφία θα εμφανιζόταν στα θαλάσσια είδη ψαριών. Αντίθετα, μόνο το 58% των ειδών των ψαριών είναι θαλάσσια, ενώ 41% ζουν σε γλυκά νερά και 1% κινούνται διαρκώς μεταξύ ακραίων αλατοτήτων.

Ο μεγάλος αριθμός ειδών που συναντάται στα γλυκά νερά αντικατοπτρίζει την αυξημένη συχνότητα γεωγραφικής απομόνωσης πληθυσμών στους εσωτερικούς υδάτινους όγκους και εμφάνιση νέων ειδών, σε σχέση με τον ενιαίο χαρακτήρα του ωκεανού. Ούτε όμως οι περιοχές του ωκεάνιου περιβάλλοντος κατοικούνται με την ίδια πυκνότητα ψαριών: το 78% των θαλάσσιων ειδών ψαριών ζούνε μέχρι 200m βάθος, στη νηριτική περιοχή, και μόνο το 12% σχετίζεται με την ωκεάνια περιοχή. Από αυτά, 1% ζει κοντά στην επιφάνεια (επιπελαγικά είδη), 5% στην αφωτική στήλη του νερού (βαθυπελαγικά) και 6% στο βυθό (βενθικά).

Διατήρηση χαρακτηριστικών δομών

Παρόλες τις μορφολογικές και φυσιολογικές προσαρμογές για την κατάκτηση των διαφόρων ενδιαιτημάτων, τα περισσότερα ψάρια συνεχίζουν να διατηρούν μια σειρά

χαρακτηριστικών δομών που ουσιαστικά έχουν επιβληθεί από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού.

Το νερό είναι 800 φορές πιο πυκνό από τον αέρα. Η πυκνότητα του μειώνει αισθητά το φαινόμενο της βαρύτητας με αποτέλεσμα τα ψάρια να μπορούν να επιπλέουν με ελάχιστη προσπάθεια συγκρινόμενη με αυτή των πουλιών στον αέρα. Τα περισσότερα ψάρια παρουσιάζουν ουδέτερη πλευστότητα με αποτέλεσμα η κύρια μυική λειτουργία να είναι η προώθηση και πλεύση.

Η αυξημένη πυκνότητα του νερού, ωστόσο, έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη αντίσταση κατά την κίνηση. Η λύση σ' αυτό το πρόβλημα είναι το ατρακτοειδές τους σχήμα, ο αυξημένος μυικός όγκος, και η ανάπτυξη των πτερυγίων για ελιγμούς και ακρίβεια στην κίνηση.

Η αντίσταση που παρουσιάζει το νερό δεν είναι μόνο αποτέλεσμα της μεγάλης του πυκνότητας αλλά και της αδυναμίας του να συμπιεστεί. Η κίνηση στον αέρα είναι ευκολότερη γιατί κινείται αργά γύρω από τα κινούμενα σώματα και σε ένα βαθμό συμπιέζεται χωρίς να εκτοπίζεται πλήρως. Η αδυναμία συμπίεσης του νερού μπορεί να δημιουργεί προβλήματα στα ψάρια κατά την κίνηση αλλά έχει και πλεονεκτήματα. Τα ψάρια διαθέτουν ένα εξαιρετικά ευαίσθητο αισθητήριο όργανο, την πλευρική γραμμή, ικανή να ανιχνεύσει την παραμικρή κίνηση και αναταραχή στο ασυμπίεστο νερό, ιδιαίτερα χρήσιμη για επιβίωση σε βάθη με περιορισμένη ορατότητα. Οι αναπνευστικοί και τροφοληπτικοί μηχανισμοί των ψαριών εκμεταλλεύονται επίσης την αδυναμία συμπίεσης του νερού. Ένα γρήγορο άνοιγμα του στόματος και των βραγχιακών σχισμών επιτρέπουν τη διέλευση του νερού και συγχρόνως της τροφής και του οξυγόνου.

Τα ψάρια έχουν ιδιαίτερα αναπτυγμένη την αίσθηση της ακοής αν και δεν έχουν εξωτερικούς σχηματισμούς όπως τα αυτιά των ανώτερων σπονδυλωτών. Τα κύρια όργανα ακοής είναι οι ωτόλιθοι και η νηκτική κύστη. Το νερό, όντας πυκνότερο από τον αέρα, επιτρέπει και την ταχύτερη διάδοση του ήχου. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα μια φοβερή παραγωγή ήχων στον υποθαλάσσιο κόσμο της σιωπής. Για παράδειγμα, μια πεσκαντρίτσα στη διάρκεια του ζευγαρώματος μπορεί να παράγει ήχους που φτάνουν μέχρι και τα 100db σε ένταση!!

Βέβαια, η κυριότερη ιδιότητα του νερού είναι η ιδιότητα του ως διαλύτης. Περιέχει ένα σύνθετο μείγμα διαλυμένων αερίων, αλάτων, ιόντων και οργανικών ενώσεων απαραίτητων για τη διατήρηση της ζωής, που τα ψάρια προσλαμβάνουν άμεσα με τα βράγχια ή έμμεσα

από την κατανάλωση μικροοργανισμών. Φυσικά, το κυριότερο των αερίων είναι το οξυγόνο, του οποίου η συγκέντρωση στο νερό είναι απειροελάχιστη σε σχέση με τον αέρα. Αν και τα βράγχια είναι πάρα πολύ αποτελεσματικά στο φιλτράρισμα και κατακράτηση οξυγόνου από το νερό, η έλλειψη οξυγόνου μπορεί να αποδειχθεί περιοριστικός παράγοντας για τη μεταβολική δραστηριότητα του ψαριού. Και φυσικά έχουμε και την περίπτωση που κάποια από τα ψάρια των γλυκών νερών έχουν αναπτύξει την ικανότητα να αναπνέουν αέρα για σύντομες χρονικές περιόδους. Τα βράγχια εκτός από είσοδος οξυγόνου είναι και είσοδος επιβλαβών ουσιών καθώς και όργανο έκκρισης μεταβολιτών. Τέλος, το νερό χαρακτηρίζεται από μειωμένη διαπερατότητα στο φως. Ακόμα και στο καθαρότερο νερό το φως δεν μπορεί να διεισδύσει βαθύτερα από τα 1000m και στις περισσότερες υδάτινες μάζες η διείσδυση είναι πολύ μικρότερη. Ο μεγαλύτερος αριθμός ψαριών είναι συγκεντρωμένος στην ευφωτική ζώνη, όπου βρίσκεται συγκεντρωμένη και η πρωτογενής παραγωγή, και η ανεύρεση τροφής βασίζεται κυρίως στην όραση. Ωστόσο, πολλά είδη έχουν αναπτύξει δευτερεύοντα αισθητήρια όργανα που τους επιτρέπουν την κίνηση και ανεύρεση λείας σε συνθήκες περιορισμένης ορατότητας, όπως επίσης και την ανάπτυξη φωτοπαραγωγικών μηχανισμών για την προσέλκυση της λείας τους.

ΠΛΕΥΣΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΗ

(Εξωτερική μορφολογία, μυικό και σκελετικό σύστημα)

Η ευρεία οικολογική διαφοροποίηση των ψαριών αντικατοπτρίζεται στην ποικιλία του σχήματος του σώματος και των μέσων κίνησης που διαθέτουν. Πράγματι, κάποιος μπορεί να μάθει πάρα πολλά για την οικολογία των ψαριών μελετώντας απλά την εξωτερική ανατομία τους ή παρακολουθώντας την κίνηση τους στο νερό.

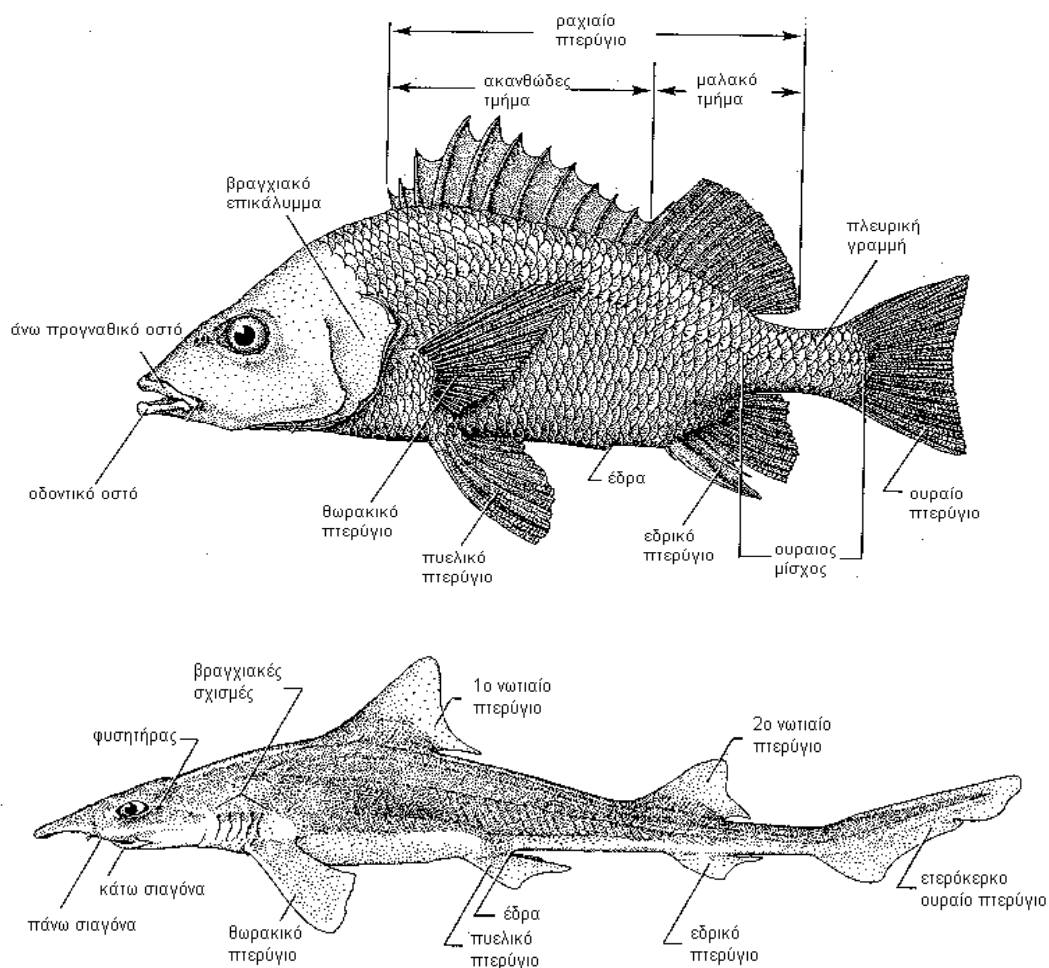
Εξωτερική ανατομία

Τόσο οι χονδριχθύες όσο και οι οστεϊχθύες εμφανίζουν κάποια κοινά εξωτερικά μορφολογικά χαρακτηριστικά: α) τα πτερύγια, β) τα λέπια, γ) το στόμα, δ) τα βραγχιακά ανοίγματα ή το βραγχιακό επικάλυμμα και ε) τα μάτια (Εικ.1). Επίπροσθετα, στους χονδριχθύες διακρίνεται ο φυσητήρας, τοποθετημένος νωτιαία στους καρχαρίες και κοιλιακά στα σελάχια, και στους οστεϊχθύες η πλευρική γραμμή, μια γραμμή από μικροσκοπικούς πόρους κατά μήκος του σώματος που ανιχνεύει τις κινήσεις του νερού.

Πτερύγια

Τα πτερύγια διακρίνονται σε μονά και ζυγά. Μονά είναι το ραχιαίο ή νωτιαίο (D), το εδρικό (A) και το ουραίο (C), και ζυγά, τα θωρακικά ή πλευρικά (P) και τα πυελικά ή κοιλιακά (V). Τα πτερύγια εξελίχθηκαν ανεξάρτητα στους χονδριχθύες και στους οστεϊχθύες. Οι διάφοροι συνδυασμοί μεγέθους, σχήματος και θέσης πτερυγίων σχετίζονται άμεσα με το γενικότερο σχήμα του σώματος και την κίνηση. Και στις δύο ομάδες, τα πτερύγια υποστηρίζονται εσωτερικά με ισχυρές ακτίνες. Στους χονδριχθύες οι ακτίνες ονομάζονται κερατοτρίχια και είναι σκληρά και αδιακλάδιστα. Στους οστεϊχθύες ονομάζονται λεπιδοτρίχια και είναι ιδιαίτερα ευέλικτα και πολυδιακλαδιζόμενα. Ο αριθμός και ο βαθμός σκληρότητας των λεπιδοτριχίων είναι σημαντικά για τη συστηματική των ψαριών. Οι σκληρές ακτίνες συμβολίζονται με ρωμαϊκούς αριθμούς ενώ οι μαλακές με αραβικούς. Επίσης γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των διακλαδισμένων και μη διακλαδισμένων. Για παράδειγμα:

AIII/4 = Εδρικό πτερύγιο με τρεις σκληρές ακτίνες και 4 μαλακές μη διακλαδισμένες.

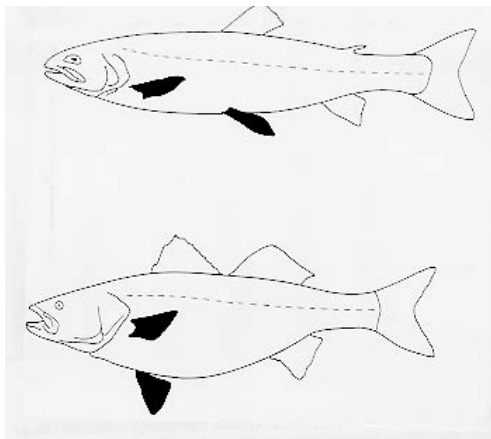


Εικόνα 1. Εξωτερικά μορφολογικά χαρακτηριστικά ενός οστεϊχθύος και ενός χονδριχθύος.

Τα πτελικά ή κοιλιακά πτερύγια βρίσκονται σε διάφορες θέσεις. Στις πιο αρχέγονες ομάδες ψαριών βρίσκονται τοποθετημένα κοιλιακά στο πίσω μέρος του σώματος (κοιλιακή τοποθέτηση). Στις πιο σύγχρονες ομάδες βρίσκονται ακριβώς κάτω από τα θωρακικά ή ακόμα και πιο μπροστά από τα θωρακικά (Εικ.2). Στα χελοειδή ψάρια έχουν ατροφήσει σημαντικά ή και εκλείψει τελείως, ενώ στους βενθικούς προσκολλητές έχουν μετατραπεί σε όργανα προσκόλλησης.

Τα θωρακικά ή πλευρικά πτερύγια συμβάλλουν ιδιαίτερα στην ακρίβεια των κινήσεων. Στα πλευρικά πεπλατυσμένα ψάρια βρίσκονται ψηλά στο σώμα ενώ στους ενεργούς θηρευτές τείνουν να είναι κοντά στην πλευρική γραμμή ή ακόμα και χαμηλότερα. Στα ψάρια που χρειάζονται σταθερότητα είναι συνήθως στρογγυλά. Σε άλλα είναι ιδιαίτερα μεγενθυμένα και τροποποιημένα για πτήση ή εφοδιασμένα με άκανθες για εκφοβισμό θηρευτών.

Αντίθετα, τα θωρακικά πτερύγια των χονδριχθύων είναι πιο άκαμπτες κατασκευές που χρησιμοποιούνται κυρίως σαν σταθεροποιητές.



Σχήμα 2. Σχετική τοποθέτηση θωρακικών και πυελικών πτερυγίων στους τελεόστεους

Το ραχιαίο και εδρικό πτερύγιο είναι γενικώς επιμηκυσμένα σε δραστήρια ψάρια που χρειάζονται σταθερότητα και ευελιξία. Σε γρήγορους πελαγικούς κολυμβητές όπως ο τόνος, το πίσω μέρος και των δύο πτερυγίων είναι συχνά χωρισμένο σε μικρά πτερυγίδια, και το μπροστινό κομμάτι του ραχιαίου πτερυγίου διπλώνει μέσα σε μια σχισμή για να βελτιώνεται ακόμα περισσότερο η υδροδυναμική του σώματος. Αντίστοιχα τα θωρακικά πτερύγια διπλώνουν μέσα σε μικρές τσέπες. Μια άλλη ομάδα ψαριών με επιμηκυσμένο ραχιαίο πτερύγιο είναι τα χελουειδή, στα οποία το ραχιαίο πτερύγιο διατρέχει το σώμα σε όλο του το μήκος και πολλές φορές ενώνεται με το ουραίο.

Το σχήμα του ουραίου πτερυγίου είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ταχύτητα κολύμβησης. Οι γρήγοροι κολυμβητές έχουν ημισεληνοειδές ουραίο πτερύγιο και στενό ουραίο μίσχο. Ανάλογα με το σχήμα των λοβών το ουραίο πτερύγιο μπορεί να είναι ομόλοβο (στρογγυλό σχήμα που δεν διακρίνεται σε λοβούς), ισόλοβο (ίσοι λοβοί) ή ετερόλοβο (άνισοι λοβοί). Οι οστεϊχθύες χαρακτηρίζονται από ομόλοβα ή ισόλοβα ουραία πτερύγια σε αντίθεση με τους χονδριχθύες, των οποίων το ουραίο πτερύγιο είναι ετερόλοβο με τον άνω λοβό μεγαλύτερο από τον κάτω. Στα ετερόλοβα ουραία πτερύγια των χονδριχθύων η σπονδυλική στήλη εκτείνεται και μέσα στον άνω λοβό, ενώ στους οστεϊχθύες σταματά στον ουραίο μίσχο.

Το λιπώδες πτερύγιο, τέλος, είναι ένα σαρκώδες ραχιαίο εξάρτημα που χαρακτηρίζει κάποιες αρχέγονες οικογένειες ψαριών π.χ. Salmonidae, Osmeridae, Myctophidae. Η λειτουργία του συνεχίζει να αποτελεί ένα μυστήριο και η πιο βάσιμη εξήγηση που έχει προταθεί μέχρι τώρα είναι ότι έχει σημαντικό ρόλο στην πλεύση στα προνυμφικά στάδια ανάπτυξης αυτών των ψαριών όταν τα άλλα πτερύγια δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα.

Άκανθες. Η σημασία της παρουσίας των ακάνθων στα πτερύγια των ψαριών μπορεί να εκτιμηθεί από το γεγονός ότι έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα σε διάφορες ομάδες ψαριών. "Πραγματικές άκανθες" έχουν μόνο οι πιο σύγχρονοι τελεόστεοι, οι ακανθοπτερύγιοι. Πρόκειται για συμπαγείς οστέινες δομές, που εμφανίζονται στρογγυλές σε εγκάρσια διατομή. Αντίθετα, οι "άκανθες" των πιο αρχέγονων τελεόστεων, όπως ο κυπρίνος, το χρυσόψαρο ή το γατόψαρο, δεν είναι παρά σκληρές ακτίνες που έχουν συμπτηχθεί, έχουν κωδωνοειδές σχήμα σε εγκάρσια διατομή και συχνά διακλαδίζονται. Κατ' εξαίρεση, οι άκανθες μπροστά από το νωτιαίο πτερύγιο κάποιων καρχαριών είναι τροποποιημένα πλακοειδή λέπια. Ανεξάρτητα από τη δομή ή την προέλευσή τους, όλων των ειδών οι άκανθες αποτελούν μια αποτελεσματική και ελαφριά θωράκιση ενάντια στους θηρευτές. Σε πολλά είδη, όπως οι σκορπιοί, κάποιες ράγιες ή γατόψαρα, οι άκανθες είναι εφοδιασμένες με δηλητηριώδεις αδένες, ενώ σε μικρόσωμα ψάρια χρησιμοποιούνται για να αυξάνουν το φαινομενικό μέγεθος του ψαριού και να αποθαρρύνουν τους θηρευτές. Αυτός είναι και ο λόγος που πολύ καλά ανεπτυγμένες άκανθες συναντώνται σε μικρά ή μεσαίου μεγέθους ψάρια που βρίσκονται σε συνεχή κίνηση και είναι μονίμως εκτεθειμένα στους επίδοξους θηρευτές.

Λέπια

Ο τύπος, το μέγεθος και ο αριθμός των λεπιών μπορούν να μας πουν πολλά σχετικά με την οικολογία των ψαριών. Τα λέπια των οστεϊχθύων μπορεί να κυμαίνονται από οστέινες πλάκες που προσφέρουν ισχυρή θωράκιση μέχρι μερικές μόνο πλάκες στη ράχη, και από πυκνή κάλυψη από μικρά και ελαστικά λέπια μέχρι καθόλου λέπια. Οι οστέινες πλάκες είναι μεγάλα τροποποιημένα λέπια που θωρακίζουν κάποιους βενθικούς κατοίκους όπως τα αμερικάνικα γατόψαρα, οι οξύρυγχοι και οι υπόκαμποι. Τα περισσότερα από αυτά τα ψάρια είναι αργοί κολυμβητές. Αντιθέτως, κανονικά λέπια καλύπτουν τα γρήγορα και ελεύθερα κινούμενα ψάρια, προσφέροντας προστασία χωρίς όμως ιδιαίτερο βάρος.

Χαρακτηριστικό είναι ότι οι πιο γρήγοροι κολυμβητές έχουν πολλά και μικρά ευέλικτα λέπια ενώ όσα ψάρια δεν κινούνται συνεχώς με μεγάλες ταχύτητες έχουν πιο αδρά λέπια.

Τα λέπια εξελίχθηκαν ανεξάρτητα στους οστεϊχθύες και στους χονδριχθύες, όπως καταδεικνύεται από την διαφορετική δομή τους (Εικ.3).

Τα πλακοειδή λέπια των χονδριχθύων είναι οδόντινες κατασκευές ενώ τα λέπια των οστεϊχθύων είναι στρωματώδεις κατασκευές, όπου ένα από τα στρώματα αποτελείται από οστό. Τα πιο αρχέγονα λέπια των οστεϊχθύων είναι τα βαριά και μεγάλα γανοειδή λέπια των λεπισόστεων ενώ τα πιο σύγχρονα είναι τα ελασμοειδή. Τα ελασμοειδή λέπια με τη σειρά τους διακρίνονται στα κυκλοειδή και τα κτενοειδή. Τα κυκλοειδή είναι λεπτά, επίπεδα, κυκλικά λέπια και απαντώνται σε ψάρια όπως η ρέγγα και η πέστροφα. Τα κτενοειδή λέπια χαρακτηρίζουν τους ακανθοπτερύγιους και είναι ίδια με τα κυκλοειδή με μοναδική διαφορά τις κτενοειδείς απολήξεις στο εκτεθειμένο άκρο του λεπιού. Η ακριβής λειτουργία των κτενιών παραμένει άγνωστη αλλά εικάζεται ότι προσφέρουν βελτιωμένη υδροδυναμική και κίνηση.

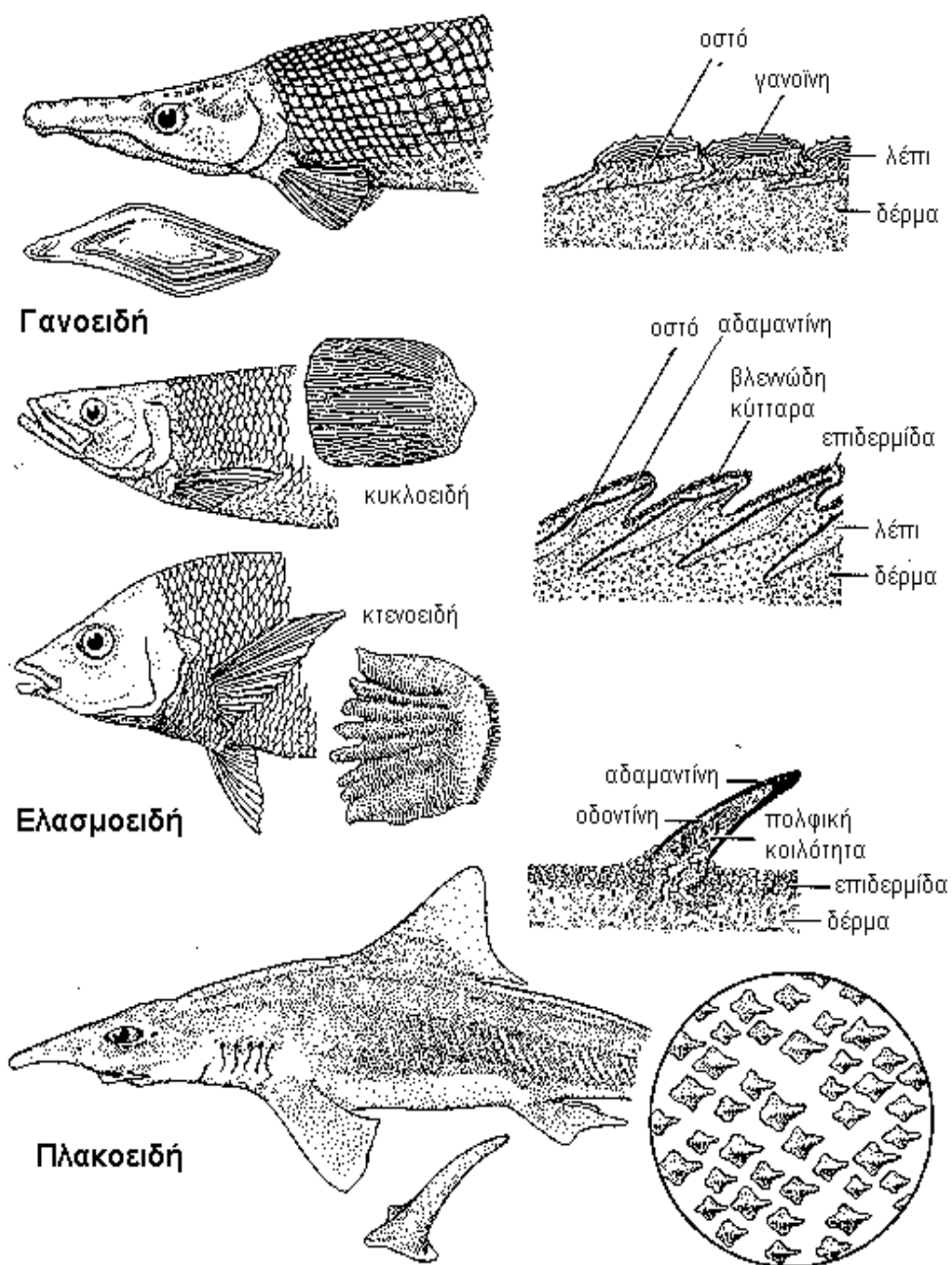
Αν και τα λέπια αποτελούν ένα αναπόσπαστο στοιχείο της εξωτερικής μορφολογίας των ψαριών, υπάρχουν και ψάρια που δεν έχουν καθόλου λέπια ή διατηρούν μόνο ελάχιστα με τροποποιημένες λειτουργίες. Από την άλλη, ψάρια που φαινομενικά δεν έχουν λέπια, μπορεί να έχουν μια πυκνή επικάλυψη από λέπια βαθιά θαμμένα μέσα στο δέρμα, όπως συμβαίνει με τους τόνους και τα χέλια. Ανάλογες διακυμάνσεις συναντάμε και στους χονδριχθύες: πολλές βενθικές ράγιες και σελάχια δεν καλύπτονται από πλακοειδή λέπια και μόνο κάποιες περιοχές του σώματος καλύπτονται από άκανθες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Είναι φανερό ότι η υδρόβια διαβίωση θέτει πολλούς περιορισμούς στο σχήμα του σώματος των ψαριών, με αποτέλεσμα τα περισσότερα από τα ψάρια να εμφανίζουν ένα χαρακτηριστικό σχήμα, αν και δεν λείπουν και μεμονωμένες εξαιρέσεις π.χ. ιπποκάμπος. Με βάση τα εξωτερικά μορφολογικά χαρακτηριστικά (σχήμα σώματος, λέπια, πτερύγια, βραγχιακά ανοίγματα, αισθητήρια όργανα κ.λ.π.) η πλειονότητα των ψαριών μπορεί να καταταγεί σε 6 κατηγορίες:

1. ενεργοί θηρευτές
2. ενεδρεύοντες θηρευτές

3. πλευστονικοί κάτοικοι
4. βενθικοί κάτοικοι
5. πλευρικά πεπλατυσμένοι
6. χελοειδείς



Εικόνα 3. Τύποι λεπιών

Οι ενεργοί θηρευτές εμφανίζουν το πλέον ατρακτοειδές σχήμα, με στενό ουραίο μίσχο, ημισεληνοειδές ουραίο πτερύγιο και οξύληκτο κεφάλι. Τα πτερύγια είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στο σώμα παρέχοντας ευελιξία και σταθερότητα. Βρίσκονται σε συνεχή κίνηση για ανεύρεση λείας, την οποία και πιάνουν μετά από καταδίωξη. Χαρακτηριστικοί ενεργοί θηρευτές είναι ο τόνος και ο ξιφίας καθώς και τα σαλμονοειδή.

Ενεδρεύοντες θηρευτές είναι κυρίως ψαροφάγα είδη με μορφολογικές προσαρμογές για τον αιφνιδιασμό γρήγορων ψαριών. Χαρακτηρίζονται από έντονα επιμηκυμένο σώμα σαν τορπίλη με πεπλατυσμένο κεφάλι και μεγάλο στόμα εφοδιασμένο με ισχυρά δόντια. Συνήθως έχουν μεγάλο ουραίο πτερύγιο και το ραχιαίο και εδρικό πτερύγιο είναι τοποθετημένα στο πίσω μέρος του σώματος και συχνά στο ίδιο ύψος. Αυτή η διάταξη των πτερυγίων τους προσδίδει τη δυνατότητα επιτάχυνσης και εκτόξευσης προς τη διερχόμενη λεία. Οι περισσότεροι από τους ενεδρεύοντες θηρευτές εμφανίζουν και χρωματικό κρυπτισμό ή άλλες κρυπτικές προσαρμογές για να μην γίνονται ορατοί από τη λεία τους. Χαρακτηριστικοί ενεδρεύοντες θηρευτές είναι η τούρνα των γλυκών νερών, οι λεπισόστειοι, τα μπαρακούντα καθώς και οι ζαργάνες.

Οι πλευστονικοί κάτοικοι είναι συνήθως μικρού μεγέθους ψάρια με στοματικό άνοιγμα προς τα πάνω, πεπλατυσμένο κεφάλι με μεγάλα μάτια, ατρακτοειδές σώμα και ραχιαίο πτερύγιο τοποθετημένο προς τα πίσω. Τρέφονται κυρίως με πλαγκτόν και μικρούς οργανισμούς της πλευστονικής συνεύρεσης όπως έντομα. Τα περισσότερα συναντώνται σε υφάλμυρα ή στάσιμα νερά.

Οι βενθικοί κάτοικοι χαρακτηρίζονται από μορφολογικές προσαρμογές που τους επιτρέπουν να είναι σε συνεχή επαφή με το υπόστρωμα: πολύ μικρή ή απύσα νηκτική κύστη, έντονα πεπλατυσμένο σώμα. Διακρίνουμε πέντε αλληλοεπικαλυπτόμενους τύπους: θηρευτές, προσκολλητές, κρυπτιστές, πλατύψαρα και ποντικόψαρα.

Οι θηρευτές έχουν το χαρακτηριστικό σώμα των ενεργών θηρευτών με τη διαφορά ότι το κεφάλι είναι πεπλατυσμένο και τα θωρακικά πτερύγια μεγενθυσμένα. Το στοματικό άνοιγμα βρίσκεται συνήθως κοιλιακά τοποθετημένο και πολλές φορές φέρει προεκβάλλοντα εξαρτήματα (μουστάκια) εφοδιασμένα με γευστικούς κάλυκες για την ανεύρεση τροφής σε σκοτεινά ή θολά νερά. Χαρακτηριστικοί βενθικοί θηρευτές είναι τα γατόψαρα και τα μπαρμπούνια καθώς και κάποιοι από τους καρχαρίες που βρίσκονται σε συνεχή κίνηση κοντά στο βυθό.

Οι προσκολλητές είναι κυρίως μικρόσωμα ψάρια με πεπλατυσμένο κεφάλι, μεγάλα θωρακικά πτερύγια και δομές (συνήθως τροποποιημένα κοιλιακά πτερύγια) που τους επιτρέπουν να προσκολλώνται σταθερά στο υπόστρωμα. Είναι κάτοικοι της μεσοπαραλιακής ζώνης και γενικότερα περιοχών με ισχυρά ρεύματα. Παραδείγματα συναντώνται στις οικογένειες των Cottidae, Gobiidae και Gobiesocidae.

Οι κρυπτιστές μοιάζουν σε πολλά με τους προσκολλητές, αν και δεν φέρουν προσκολλητικές δομές, έχουν πιο επιμηκυσμένο σώμα και μικρότερο κεφάλι. Ζούνε κρυμμένοι κάτω από πέτρες ή ανάμεσα στα βράχια ή ακινητοποιημένοι στο βυθό ήρεμων νερών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι γοβιοί, οι πέρκες.

Τα πλατύψαρα από την άλλη είναι οι πιο ακραία περίπτωση βενθικών κατοίκων με έντονα πεπλατυσμένο σώμα που η μία πλευρά βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το υπόστρωμα. Πολύ νωρίς κατά την ανάπτυξη το ένα μάτι μεταναστεύει στην επάνω πλευρά και το στόμα στρέφεται για να προσαρμοστεί σε βενθική τροφοληψία.

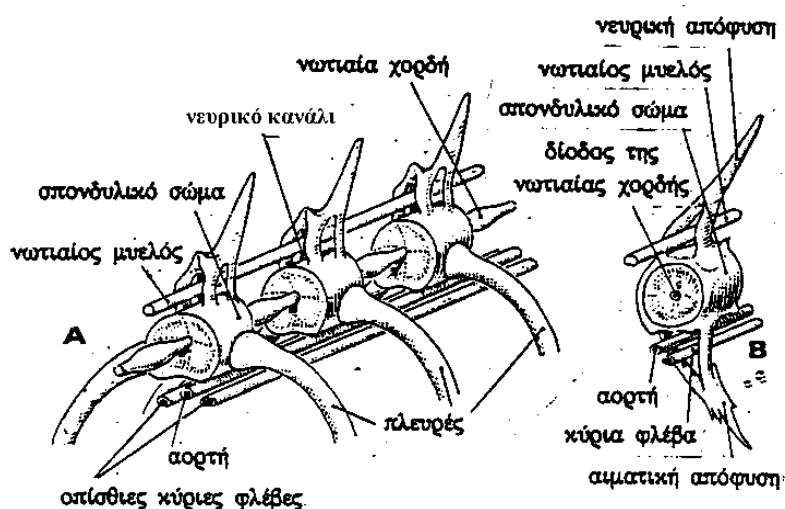
Το χαρακτηριστικό σχήμα των ποντικόψαρων εξελίχθηκε ανεξάρτητα στους οστεϊχθύες και στους χονδριχθύες. Πρόκειται για ψάρια με μεγάλο οξύληκτο κεφάλι και μεγάλα θωρακικά πτερύγια και για στενή και μακριά ουρά. Είναι βαθυπελαγικοί οργανισμοί που τρέφονται κυρίως με ασπόνδυλα. Χαρακτηριστικά είναι οι χίμαιρες (Holocerhali) από τους χονδριχθύες και οι γρεναδιέροι (Macrouridae) από τους οστεϊχθύες.

Οι πλευρικά πεπλατυσμένοι ιχθύες χαρακτηρίζονται από σωματική διάμετρο μικρότερη από το 1/3 του σταθερού μήκους τους. Το ραχιαίο και εδρικό πτερύγιο είναι συνήθως επιμηκυσμένα και τα θωρακικά πτερύγια είναι ψηλά τοποθετημένα στο σώμα με τα κοιλιακά πτερύγια αμέσως από κάτω, έχουν μεγάλα μάτια και μικρό προεξέχον στόμα. Είναι προσαρμοσμένα σε ευέλικτη κίνηση ανάμεσα σε στενούς χώρους όπως οι κοραλιογενείς ύφαλοι, οι λειμώνες φυκών ή ακόμα και πυκνά κοπάδια του είδους τους. Τα περισσότερα είναι εφοδιασμένα με διάφορες άκανθες, πιθανόν για προστασία από τους θηρευτές, μιας και έχουν θησιάσει την ταχύτητα κίνησης προς χάριν της ευελιξίας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα η ρέγγα και το χριστόψαρο.

Οι χελουειδείς έχουν επιμηκυσμένα σωματα με στρογγυλεμένες ουρές. Τα ζυγά πτερύγια έχουν συνήθως εξαφανιστεί ή ατροφήσει ενώ το ραχιαίο και το εδρικό έχουν επιμηκυνθεί. Τα λέπια όποτε υπάρχουν, είναι μικρά και χωμένα πολύ βαθιά στο δέρμα. Το σώμα μπορεί να είναι πεπλατυσμένο ή τελείως στρογγυλό για να γλυστράει ανάμεσα σε τρύπες βράχων

αιματικό κανάλι, το οποίο διατρέχεται από τα κύρια αιμοφόρα αγγεία, υπεύθυνα για την αιμάτωση της ουριαίας περιοχής.

Παρόλη τη φαινομενική απλότητα του σε σχέση με το σκελετό των χερσαίων σπονδυλωτών, ο αξονικός σκελετός των ψαριών εμφανίζει επίσης λειτουργική διαφοροποίηση. Οι δύο μπροστινοί σπόνδυλοι, ο άτλας και ο άξονας, είναι διαφοροποιημένοι για την πρόσφυση του κεφαλιού. Στο άλλο άκρο της σπονδυλικής στήλης, οι τελευταίοι σπόνδυλοι (υπόουροι, επίουροι και ουρόστηλο) φέρουν ειδικά πεπλατυσμένα τόξα που προσφύονται συμμετρικά με τις ακτίνες του ουραίου περυγίου. Ανάμεσα σε αυτούς τους τροποποιημένους σπόνδυλους βρίσκονται οι σπόνδυλοι του κορμού, που φέρουν πλευρά στο μπροστινό κομμάτι του σώματος πάνω στα οποία προσφύονται οι μύες που σχηματίζουν τη σπλαχνική κοιλότητα, και τους σπόνδυλους που σχηματίζουν το αιματικό κανάλι στο πίσω μέρος του σώματος.



Εικόνα 5. Οργάνωση του αξονικού σκελετού ενός τελεόστεου.

A. Περιοχή του κορμού. B. Σπόνδυλος από την ουραία περιοχή

Ο κρανιακός σκελετός εμφανίζει μια θαυμαστή πολυπλοκότητα που αντικατοπτρίζει και τις πολλές λειτουργίες του κρανίου: α) αποτελεί το σημείο εισόδου φαγητού και νερού, β) συγκεντρώνει τα περισσότερα αισθητήρια όργανα, γ) σχηματίζει προστατευτικές κοιλότητες για τον εγκέφαλο και τα βράγχια, δ) σημεία πρόσφυσης μιας σειράς λεπτών μυών και ε) διατήρηση υδροδυναμικού σχήματος.

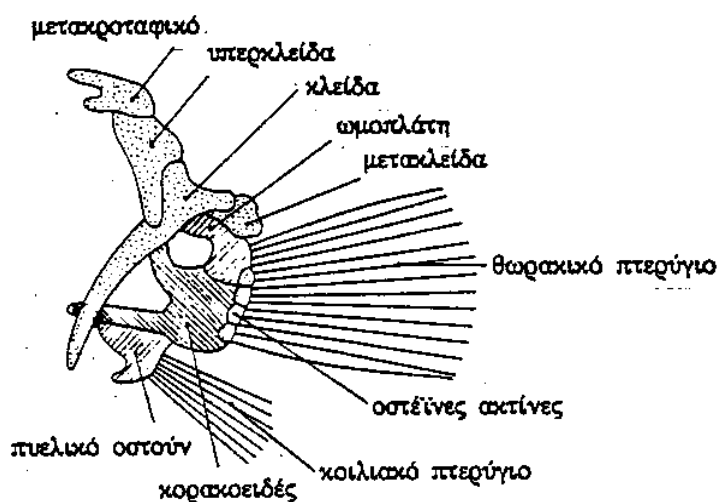
Στους μυζίνους και τα πετρόμυζον, ο κρανιακός σκελετός δεν είναι παρά ένα χόνδρινο δοχείο που περιέχει το εγκέφαλο από όπου προεκβάλλουν χόνδρινες αποφύσεις για τη στήριξη των βραγχίων. Ο κρανιακός σκελετός των χονδριχθύων είναι επίσης απλός: αποτελείται από α) το χονδροκρανίο που περιβάλλει τον εγκέφαλο και φιλοξενεί τα περισσότερα αισθητήρια όργανα, β) τις σιαγόνες και γ) τους βραγχιακούς χόνδρους.

Ο κρανιακός σκελετός των οστειχθύων από την άλλη, είναι μια πολύπλοκη σύνθεση οστών και διακρίνεται σε 5 περιοχές: α) το νευροκρανίο, β) τις σιαγόνες, γ) τα βραγχιούοειδή σκελετό, δ) το σκελετό ανάρτησης και ε) το σπλαγνοκρανίο.

Το νευροκρανίο σχηματίζεται από την σύμφυση 40-50 οστών και περιβάλλει τον εγκέφαλο. Το νευροκρανίο συνδέεται με τις σιαγόνες μέσω του σκελετού της ανάρτησης. Η ισχυροποίηση και η οδόντωση οστών των σιαγόνων είναι προσαρμοσμένη στις τροφοληπτικές συνήθειες των οστειχθύων: αρπαγή και μάσηση της τροφής έως αναρρόφηση και αποκόλληση από σταθερό υπόστρωμα. Το σπλαγνοκρανίο περιλαμβάνει κυρίως τα οστά του βραγχιακού επικαλύμματος δομημένα έτσι που να σχηματίζουν μια αποτελεσματική αντλία αναρρόφησης. Ο βραγχιούοειδής σκελετός, τέλος, σχηματίζει το πάτωμα της στοματικής κοιλότητας και τους βραγχιοστεγίτες. Οι βραγχιοστεγίτες είναι σειρές οστών σε σχήμα βεντάλιας που σχηματίζουν το πάτωμα της βραγχιακής κοιλότητας με δυνατότητα έκτασης κατά την είσοδο του νερού, καθώς και τα βραγχιακά τόξα για τη στήριξη των βραγχίων.

Ο ζωνικός σκελετός είναι περιορισμένος μέσα στα πτερύγια με κύρια λειτουργία την υποστήριξη και κίνηση των πτερυγίων.

Ο σκελετός των θωρακικών πτερυγίων (ωμοπλατιαία ζώνη, Εικ.6) αποτελείται από δύο ανεξάρτητα μόρια σε κάθε πλευρά και περιλαμβάνει: την ωμοπλάτη, το κορακοειδές και μεσοκορακοειδές οστό, την κλείδα, τη μετακλείδα και την υπερκλείδα. Πάνω στη ζώνη βρίσκεται και ένας μικρός αριθμός οστέινων ακτίνων για την προσάρτηση των λεπιδοτρίχιων. Όλη η ζώνη αρθρώνεται με το κρανίο με το μετακροταφικό οστό.



Εικόνα 6. Ένωση του σκελετού του πυελικού πτερυγίου με την ωμοπλατιαία ζώνη

Η πυελική ζώνη είναι πολύ περιορισμένη και αποτελείται μόνο από ένα βασικό οστό σε πλευρά, το βασιπτερύγιο, και τις οστέινες ακτίνες με τα λεπιδοτρίχια. Στις περιπτώσεις που τα πυελικά πτερύγια βρίσκονται στο ίδιο ύψος με τα θωρακικά ενώνονται με αυτά με ειδικούς συνδέσμους (Εικ.6).

Ο σκελετός του ραχιαίου και εδρικού πτερυγίου από την άλλη αποτελείται από μια σειρά μικρών οστών που ονομάζονται πτερυγιοφόρα, τα οποία αρθρώνονται πάνω στις νευρικές άκανθες των σπονδύλων.

Μυικό σύστημα

Το μυϊκό σύστημα των ψαριών αποτελείται κυρίως από τους μύες του κορμού και της ουράς που χρησιμοποιούνται κατά την κίνηση, και δευτερευόντως από μικρούς μύες που σχετίζονται με την κίνηση του κεφαλιού και των πτερυγίων. Οι μύες του κορμού χωρίζονται κάθετα σε τμήματα σχήματος W που ονομάζονται μυστόμοι με συνδετικό ιστό, το μυοδιάφραγμα. Τα μυομερή χωρίζονται κάθετα σε αριστερά και δεξιά, και οριζόντια σε ραχιαία και κοιλιακά με μια κάθετη και οριζόντια διαχωριστική μεμβράνη αντίστοιχα. Επιπλέον, υπάρχει συνήθως και μια πλευρική μυϊκή γραμμή κατά μήκος του κορμού.

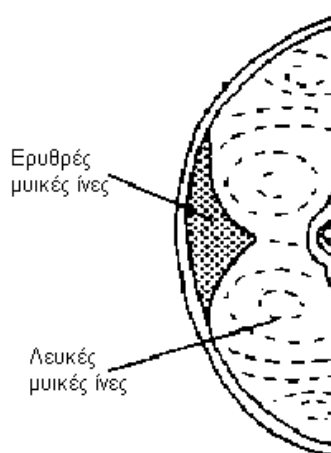
Οι μυϊκές ίνες των ψαριών διακρίνονται σε λευκές (γρήγορες), ερυθρές (αργές) και ροζ (ενδιάμεσες) σύμφωνα με τα βιοχημικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τους. Σε εγκάρσια τομή του κορμού (Εικ.7), οι λευκές ίνες εμφανίζονται τοποθετημένες στα βαθύτερα στρώματα ενώ οι ερυθρές στα επιφανειακά με ροζ ίνες διάσπαρτες στις μεταβατικές ζώνες.

Τα χαρακτηριστικά των ερυθρών και λευκών μυϊκών ινών συνοψίζονται στον Πίνακα 1. Οι ροζ μυϊκές ίνες εμφανίζουν ενδιάμεσα χαρακτηριστικά.

Είναι φανερό ότι ψάρια σε συνεχή κίνηση θα έχουν μεγάλο ποσοστό ερυθρών μυϊκών ινών ενώ ψάρια με ενδιάμεση δραστηριότητα έχουν πολύ καλά ανεπτυγμένη την πλευρική γραμμή των ερυθρών μυϊκών ινών και επιπρόσθετες μυϊκές ίνες διεσπαρμένες ανάμεσα στις λευκές. Η αναλογία ερυθρών μυϊκών ινών αυξάνει στους ουραίους μυοτόμους για να υποστηρίξει την αυξημένη κίνηση της ουράς κατά την πλεύση. Αντίθετα η αναλογία λευκών μυϊκών ινών είναι αυξημένη σε αργούς κολυμβητές και σκνά ψάρια, όπου χρησιμοποιούνται για ταχύτατες αλλά σύντομες κινήσεις. Κατά τις κινήσεις αυτές, το γλυκογόνο μετατρέπεται αναερόβια σε γαλακτικό οξύ, το οποίο αργότερα μετατρέπεται αερόβια σε γλυκογόνο και γλυκόζη στις ερυθρές και καρδιακές ίνες, καθώς και το ήπαρ.

Παρόλες τις βασικές διαφορές ανάμεσα στις λευκές και ερυθρές ίνες, έχει βρεθεί ότι τα ψάρια συχνά τροποποιούν τις λειτουργίες των ινών ανάλογα με την ταχύτητα πλεύσης μέσω ρυθμίσεων του ενδομυϊκού pH, της παροχής οξυγόνου, της θερμοκρασίας και των μυϊκών ενζυμικών συστημάτων. Έτσι, μπορούν να επιτυγχάνουν και επιβράδυνση των λευκών ινών αλλά και επιτάχυνση των ερυθρών με σκοπό πάντα την αποτελεσματικότερη λειτουργία σε συνδυασμό με οικονομική χρήση των ενεργειακών πηγών.

Επιπλέον, τα ψάρια σε διαρκή κίνηση (Thunnidae) έχουν αναπτύξει ένα εκτεταμένο σύστημα αιμοφόρο αγγείων (*retia mirabilia*), τοποθετημένο κάτω ακριβώς από το δέρμα για θερμορύθμιση του μυϊκού όγκου και επίτευξη σταθερής μυϊκής επίδοσης.



Εικόνα 7. Εγκάρσια διατομή όπου φαίνεται η θέση των ερυθρών και λευκών μυϊκών ινών

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά ερυθρών και λευκών μυικών ινών

Ερυθρές	Λευκές
<p data-bbox="443 434 528 465">Αργές</p> <p data-bbox="240 495 730 526">Για κολύμβηση με σταθερή ταχύτητα</p> <p data-bbox="304 551 667 582">Συγκεντρωμένες στην ουρά</p> <p data-bbox="228 607 743 638">Πλούσια παροχή αίματος και οξυγόνου</p> <p data-bbox="244 663 727 694">Πλούσιες σε μυογλοβίνη στην οποία</p> <p data-bbox="276 719 695 750">οφείλεται και το κόκκινο χρώμα</p> <p data-bbox="217 775 754 806">Αποθηκεύουν και καταναλώνουν λιπαρά</p> <p data-bbox="355 831 616 862">οξέα και γλυκογόνο</p> <p data-bbox="240 898 730 929">Αερόβιος, οξειδωτικός μεταβολισμός</p> <p data-bbox="280 954 691 985">Πολλά και μεγάλα μιτοχόνδρια</p> <p data-bbox="331 1010 639 1041">Διάμετρος: 100-200μm</p>	<p data-bbox="1042 434 1166 465">Γρήγορες</p> <p data-bbox="898 495 1318 526">Για επιταχυνόμενη κολήμβηση</p> <p data-bbox="863 607 1353 638">Φτωχή παροχή αίματος και οξυγόνου</p> <p data-bbox="887 775 1326 806">Αποθηκεύουν και καταναλώνουν</p> <p data-bbox="903 831 1310 862">φωσφοκρεατίνη και γλυκογόνο</p> <p data-bbox="930 898 1283 929">Αναερόβιος μεταβολισμός</p> <p data-bbox="919 954 1294 985">Παραγωγή γαλακτικού οξέος</p> <p data-bbox="954 1010 1259 1041">Διάμετρος: 300-400μm</p>

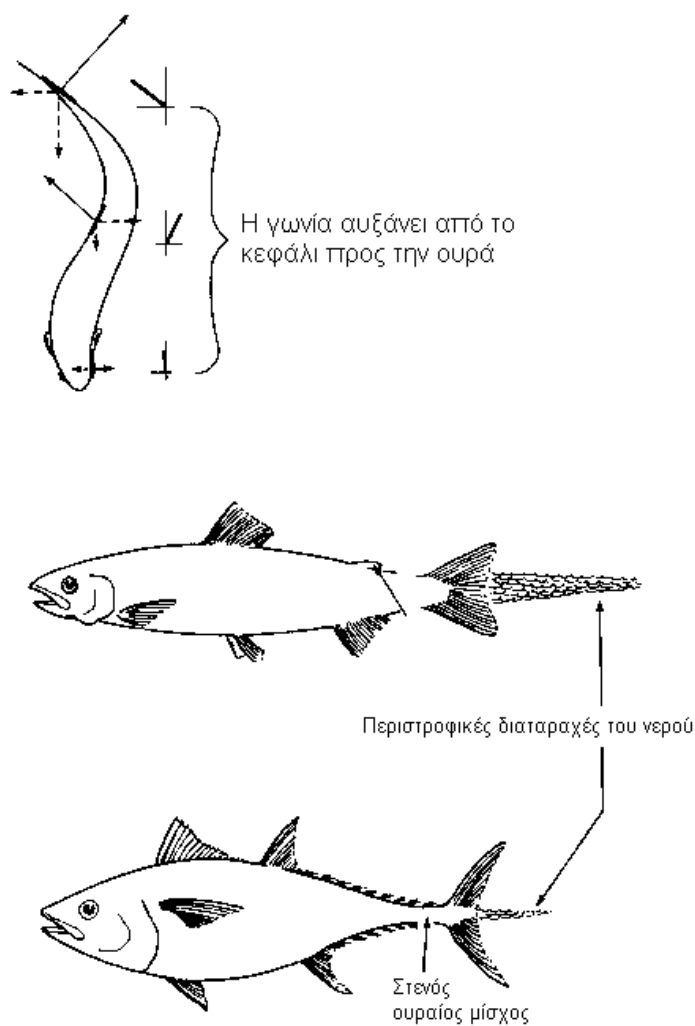
Κίνηση

Τα ψάρια κινούνται με διάφορους τρόπους. Ο απλούστερος τρόπος είναι η παθητική μετακίνηση των προνυμφών, όπως παρασύρονται από τα ρεύματα. Σύντομα όμως, αυτές οι προνύμφες θα μεταμορφωθούν σε ιχθύδια με δυνατότητα ενεργητικής μετακίνησης. Αν και πολλά ψάρια έχουν αναπτύξει τη δυνατότητα να περπατάνε, να έρπουν και να θάβονται μέσα στο υπόστρωμα ή ακόμα και να πετάνε, η κολύμβηση παραμένει ο πλέον κοινός τρόπος μετακίνησης των ψαριών.

Για πρόσθια ή και οπίσθια κίνηση, τα περισσότερα ψάρια χρησιμοποιούν ρυθμικές ταλαντώσεις του κορμού και των πτερυγίων. Με τη βοήθεια μυικών συσπάσεων οι πλευρές του σώματος και τα πτερύγια ασκούν δυνάμεις στο περιβάλλον νερό και συγχρόνως επιτυγχάνεται η πλευρική κύρτωση της σπονδυλικής στήλης. Στους καρχαρίες ειδικότερα, υπάρχει ένα εκτεταμένο δίκτυο υποδόριου ελικοειδούς κολλαγόνου, πάνω στο οποίο προσφύονται οι μύες, και λειτουργεί σαν ένας εξωτερικός τένοντας για την αποτελεσματικότερη διάδοση της μυικής σύσπασης στην ουρά.

Στην Εικόνα 8 απεικονίζονται οι κατά μήκος ταλαντώσεις του κορμού κατά την πρόσθια πλεύση. Τόσο το μήκος όσο και η συχνότητα των ταλαντώσεων αυξάνει καθώς μεταφέρονται προς το πίσω μέρος του σώματος. Κάθως αυτές οι προωθητικές ταλαντώσεις κινούνται προς τα πίσω, το νερό που περιβάλλει το ψάρι ωθείται επίσης προς τα πίσω μέχρι να φτάσει στο πίσω μέρος του ουραίου πτερυγίου και να δημιουργήσει ένα ωστικό κύμα ανάλογο με αυτό που δημιουργεί η προπέλα ενός πλοίου. Άρα, όσο πιο πολλές και μεγάλες ταλαντώσεις το σώμα ενός ψαριού μπορεί να παράγει, τόσο μεγαλύτερη προωθητική δύναμη μπορεί να παράγει. Το μέσο μήκος των ταλαντώσεων στην ιριδίζουσα πέστροφα βρέθηκε ότι είναι 0,76 φορές το μήκος του σώματος της για ταχύτητες μεγαλύτερες από 0,3 μήκη σώματος ανά δευτερόλεπτο (BL/sec). Για να αυξήσει την ταχύτητα κολύμβησης η πέστροφα αυξάνει και τη συχνότητα και το μήκος των ταλαντώσεων. Ένας περιοριστικός παράγοντας ωστόσο, είναι η μειωμένη υδροδυναμική στις μεγάλες ταχύτητες εξαιτίας της δημιουργίας περιστροφικής διαταραχής του νερού με την αυξημένη κίνηση της ουράς.

Με δεδομένες τις γενικές αρχές πλεύσης των ψαριών είναι φανερό ότι η μεγάλη ποικιλία στο σχήμα του σώματος στα ψάρια θα συνεπάγεται και μια μεγάλη διαφοροποίηση στο συνδυασμό της κίνησης του κορμού και των πτερυγίων και τον τρόπο παραγωγής προωθητικής δύναμης και πλεύσης.



Εικόνα 8. Κινήσεις του κορμού των ψαριών κατά την κολύμβηση.

Σε μια απόπειρα να ομαδοποιήσουμε τους τρόπους πλεύσης που παρατηρούμε στα ψάρια μπορούμε να διακρίνουμε 4 βασικούς τύπους:

- την χελοειδή κίνηση
- την καραγχοειδή κίνηση
- την οστρακοειδή κίνηση, και
- την κίνηση μόνο με πτερύγια.

Κατά τη χελοειδή κίνηση όλο το σώμα ταλαντώνεται και τα μονά πτερύγια ενώνονται για να σχηματίσουν ένα συνεχές ραχιαίο-ουραίο-εδρικό πτερύγιο που ταλαντώνεται μαζί με τον κορμό. Εκτός από τα χέλια και ψάρια με ανάλογη δομή όπως οι σμέρνες, οι δίπνευστοι και

τα πετρόμυζον, χελοειδή κίνηση συναντάμε και σε κάποιους ελασμοβράγχιους και τελεόστεους, όπως για παράδειγμα οι βακαλάοι (Gadidae), ιδιαίτερα όταν κινούνται αργά.

Η καραγοειδής κίνηση πήρε το όνομά της από την οικογένεια Carangidae. Οι ταλαντώσεις του κορμού είναι πολύ μικρότερες από ότι στην χελοειδή κίνηση και με αυξανόμενο μήκος από το κεφάλι προς την ουρά. Χαρακτηρίζονται από ατρακτοειδές σχήμα σώματος, στενό ουραίο μίσχο και πιρουνωτό ουραίο πτερύγιο. Είναι οι πιο γρήγοροι κολυμβητές. Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται και τα πιο γρήγορα ψάρια, τα τονοειδή, αν και πολλές φορές συναντώνται και σαν ξεχωριστή κατηγορία. Με έντονα ατρακτοειδές σώμα, πολύ στενό ουραίο μίσχο και μεγάλο ημισεληνοειδές ουραίο πτερύγιο, ελαχιστοποιούν τις περιστροφικές διαταραχές του νερού στην περιοχή της ουράς μεγιστοποιώντας την προωθητική δύναμη.

Η οστρακοειδής κίνηση οφείλει το όνομά της στην οικογένεια των Ostraciidae. Η ταλάντωση του κορμού περιορίζεται σε ταλαντώσεις του στενού ουραίου μίσχου, οι οποίες επιτυγχάνονται με τη συστολή όλων των μυών της μιας ή της άλλης πλευρά του σώματος. Χαρακτηρίζονται από μικρό και ομόκερκο ουραίο πτερύγιο και μικρές ταχύτητες. Τα ψάρια αυτής της κατηγορίας είναι συνήθως θωρακισμένα με άκανθες (πολλές φορές δηλητηριώδεις) για την προστασία από τους εχθρούς.

Η κολύμβηση μόνο με πτερύγια είναι αρκετά διαδεδομένη στους τελεόστεους, αν και οι περισσότεροι από αυτούς χρησιμοποιούν και μυική δύναμη για την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων. Κινώντας τις ακτίνες, μπορούν και ταλαντώνουν τα πτερύγια και επιτυγχάνουν ακριβείς και λεπτές κινήσεις ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη βλάστηση ή βράχια. Για παράδειγμα τα μέλη της οικογένειας των Labridae και Batoidae χρησιμοποιούν τα καλά αναπτυγμένα θωρακικά τους πτερύγια σαν κουπιά για πρόσθια κίνηση ενώ τα πλατύψαρα και τα Balistidae επιτυγχάνουν την ίδια κίνηση με τη σύγχρονη κίνηση του ραχιαίου και εδρικού πτερυγίου τους. Τέλος, τα Sygnathidae και η αρχέγονη Amia κινούνται ταλαντώνοντας απλά το ραχιαίο τους πτερύγιο σαν βεντάλια.

Παράμετροι της ενεργητικής κολύμβησης

Πολλές προσπάθειες έγιναν και γίνονται για τον ακριβή προσδιορισμό των ενεργειακών δαπανών κατά την κολύμβηση, των δυνάμεων αντίστασης που δημιουργούνται και το συσχετισμό τους με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και τις φυσιολογικές προσαρμογές

των ψαριών. Ένας γενικός τύπος που μας δίνει τις δυνάμεις αντίστασης που αναπτύσσονται κατά την επιταχυνόμενη κολύμβηση είναι:

$$\text{Αντίσταση} = M a + 0,5 d S (kC) U^2$$

όπου Ma η αδράνεια, d η πυκνότητα του νερού, S η επιφάνεια του σώματος, kC σταθερά αντίστασης που εξαρτάται από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του ψαριού και U η ταχύτητα κολύμβησης. Οι μέχρι τώρα παρατηρήσεις δείχνουν ότι η βλεννώδης επικάλυψη της επιφάνειας του σώματος που παρατηρείται στους γρήγορους κολυμβητές (Thunnidae) μειώνει σημαντικά τις αντιστάσεις για είδη που μεταναστεύουν και καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις.

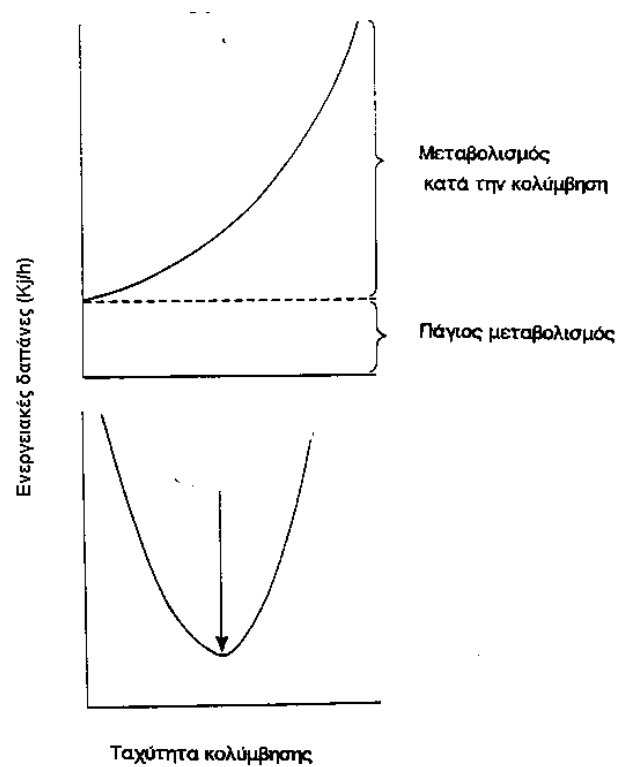
Σαν ένα γενικό κανόνα μπορούμε να πούμε ότι διπλασιασμός του μήκους του σώματος αντιστοιχεί σε αύξηση της ταχύτητας κολύμβησης κατά 150%. Ο τύπος που περιγράφει αυτή τη σχέση για μικρόσωμα ψάρια είναι: $U = k L^b$, όπου U η ταχύτητα κολύμβησης, k σταθερά κολύμβησης, L το μήκος του σώματος και b σταθερά επιτάχυνσης που καθορίζεται πειραματικά και συνήθως είναι μεταξύ 0,5 και 0,6 και αυξάνει σε περίπου 0,8 για ταχύτερες εκτοξεύσεις όλου του σώματος.

Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας των χαρακτηριστικών κολύμβησης. Μια αύξηση των 10οC (από τους 13ο στους 23οC) συνοδεύεται από 22% μείωση της πυκνότητας του νερού και αντίστοιχη μείωση της υδροδυναμικής αντίστασης. Επιπλέον, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι τα ψάρια είναι ποικιλόθερμοι οργανισμοί και αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος συνοδεύεται από αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, θέρμανση των μυών και αποτελεσματικότερη σύσπαση. Εγκλιματισμός σε χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες χαρακτηρίζεται από φυσιολογικές προσαρμογές. Για παράδειγμα, η ίδια ιριδίζουσα πέστροφα επιτυγχάνει την ίδια ταχύτητα με πολύ μικρότερες ταλαντώσεις της ουράς σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ το γραμμωτό λαβράκι (*Morone saxatilis*) εγκλιματισμένο σε χαμηλές θερμοκρασίες (5°C) αυξάνει τον αριθμό των μιτοχονδρίων και αποθηκών λίπους στον ερυθρό μυ, αυξάνοντας έτσι τη δυνατότητα αερόβιου μεταβολισμού. Η δυνατότητα αεροβίωσης και η κολυμβητική επίδοση αυξάνουν με την διαρκή και σταθερή άσκηση.

Τα ψάρια κατά την κολύμβηση δαπανούν ενέργεια για την λειτουργία του πάγιου μεταβολισμού και των ζωτικών λειτουργιών και ενέργεια για την κολύμβηση (Εικ.9). Είναι φανερό ότι η ενέργεια κολύμβησης αυξάνεται με την ταχύτητα κολύμβησης. Αν όμως η ενέργεια που δαπανάται από ένα ψάρι για να μετακινηθεί κατά μια ορισμένη απόσταση

υπολογισθεί και σχεδιαστεί σε συνάρτηση με την ταχύτητα κολύμβησης, τότε παρατηρούμε μια αρχική μείωση των ενεργειακών δαπανών μέχρις ότου το ψάρι αναπτύξει μια βέλτιστη ταχύτητα κολύμβησης (Εικ.9). Βέλτιστη ταχύτητα θεωρείται εκείνη που το ψάρι καταναλώνει τη μικρότερη ενέργεια για να διανύσει μια συγκεκριμένη απόσταση, και πρόκειται για μια αλληλεπίδραση της ταχύτητας κολύμβησης και του πάγιου μεταβολισμού. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ότι ένα ψάρι διανύει απόσταση 1km. Σε χαμηλές ταχύτητες κολύμβησης, η ενέργεια κολύμβησης θα είναι χαμηλότερη αλλά θα χρειαστεί μεγαλύτερο χρόνο να διανύσει την απόσταση, με αποτέλεσμα το σύνολο της ενέργειας του πάγιου μεταβολισμού να είναι υψηλό. Αντίθετα, σε μεγάλες ταχύτητες κολύμβησης, η ενέργεια για την κολύμβηση θα είναι μεγαλύτερη ενώ για τον πάγιο μεταβολισμό χαμηλότερη. Ο πάγιος μεταβολισμός ενός ψαριού εξαρτάται από το βάρος του και υπολογίζεται από τον τύπο: $BW^{0,85}$, όπου BW το βάρος του σώματος. Οι βέλτιστες ταχύτητες των διάφορων ψαριών από την άλλη κυμαίνονται μεταξύ 1-3 BL/sec, και είναι ιδιαίτερης σημασίας για τα μεταναστευτικά είδη που διανύουν μεγάλες αποστάσεις.

Οι φυσιολογικές προσαρμογές κατά την κολύμβηση βρίσκονται κάτω από τον έλεγχο των κατεχολαμινών. Έτσι, αυξημένη έκκριση των κατεχολαμινών οδηγεί σε α) αύξηση του καρδιακού ρυθμού κατά 20-40%, β) αύξηση του όγκου του αίματος που αντλείται ανά παλμό κατά 50-250%, γ) αύξηση του αναπνευστικού ρυθμού με αύξηση του όγκου νερού που φιλτράρεται από τα βράγχια και αύξηση της διαπερατότητας της βραγχιακής μεμβράνης και ανταλλαγής αερίων, δ) καταβολισμός του υπερπαραγόμενου γαλακτικού οξέος και αποφυγή καταστροφής των ερυθροκυττάρων και μειωμένης πρόσληψης αιμοσφαιρίνης και ε) αυξημένη απελευθέρωση νέων ερυθροκυττάρων από το σπλήνα.



Εικόνα 9. Συσχετισμός των ενεργειακών δαπανών με την ταχύτητα κολύμβησης.

Μηχανισμοί πλευστότητας

Η ουδέτερη πλευστότητα επιτρέπει στα ψάρια να ελαχιστοποιούν τις ενεργειακές δαπάνες προκειμένου να μένουν ακίνητα ή να μετακινούνται κάθετα στη στήλη του νερού. Έτσι, έχουν αναπτύξει μια ποικιλία μηχανισμών για την επίτευξη ουδέτερης πλευστότητας. Τέσσερις βασικές στρατηγικές αναγνωρίζονται:

1. συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων συστατικών με ειδικό βάρος μικρότερο από το νερό
2. δημιουργία ανωστικών δυνάμεων με κατάλληλα σχηματισμένα πτερύγια και σωματικές επιφάνειες γενικότερα
3. μείωση όσο το δυνατόν περισσότερο των βαρέων ιστών όπως οι μύες και τα οστά, και
4. ανάπτυξη νηκτικής κύστης, ενός χώρου ρυθμιζόμενης ποσότητας αερίων ελαφρύτερο από το νερό.

Η παρουσία ελαφρών συστατικών που μειώνουν το μέσο ειδικό βάρος του σώματος χαρακτηρίζει τόσο τους χονδριχθούς όσο και τους οστεϊχθούς. Πολλοί καρχαρίες συσσωρεύουν τεράστιες ποσότητες λιπών (ε.β.=0,9) και σκουαλίνης (υδρογονάνθρακας με ε.β. 0,86) στο υπερμεγέθες ήπαρ τους φέρνουν το μέσο ε.β. του σώματος σε ουδέτερη πλευστότητα (ε.β. θαλασσινού νερού = 1,026). Επιπλέον, το χαρακτηριστικό ετερόκερκο ουραίο πτερύγιο τους σε συνδυασμό με την ανωστική επιφάνεια των θωρακικών πτερυγίων και τη συσσώρευση λίπων στο κεφάλι παρέχουν επιπρόσθετη άνωση κατά την άνοδο.

Βαθυπελαγικά είδη (>1000m) έχουν μειώσει κατά πολύ τη μυϊκή και οστική τους μάζα για τον ίδιο λόγο. Το ε.β. των μυών και των οστών είναι 1,1 και 2,0 αντίστοιχα. Η τροφή σε αυτά τα περιβάλλοντα είναι σπάνια και ιστοί σε υψηλές ενεργειακές δαπάνες για συντήρηση (μύες, οστά, νηκτική κύστη) τείνουν να μειώνονται.

Ο μόνος όμως τρόπος που προσφέρει ρύθμιση του ειδικού βάρους του σώματος σε διάφορα βάθη και επίπεδα υδροστατικής πίεσης είναι η **νηκτική κύστη**. Η νηκτική κύστη είναι προνόμιο μόνο των οστεϊχθών. Διακρίνουμε δύο τύπους: τις φυσόστομες και τις φυσόκλειστες.

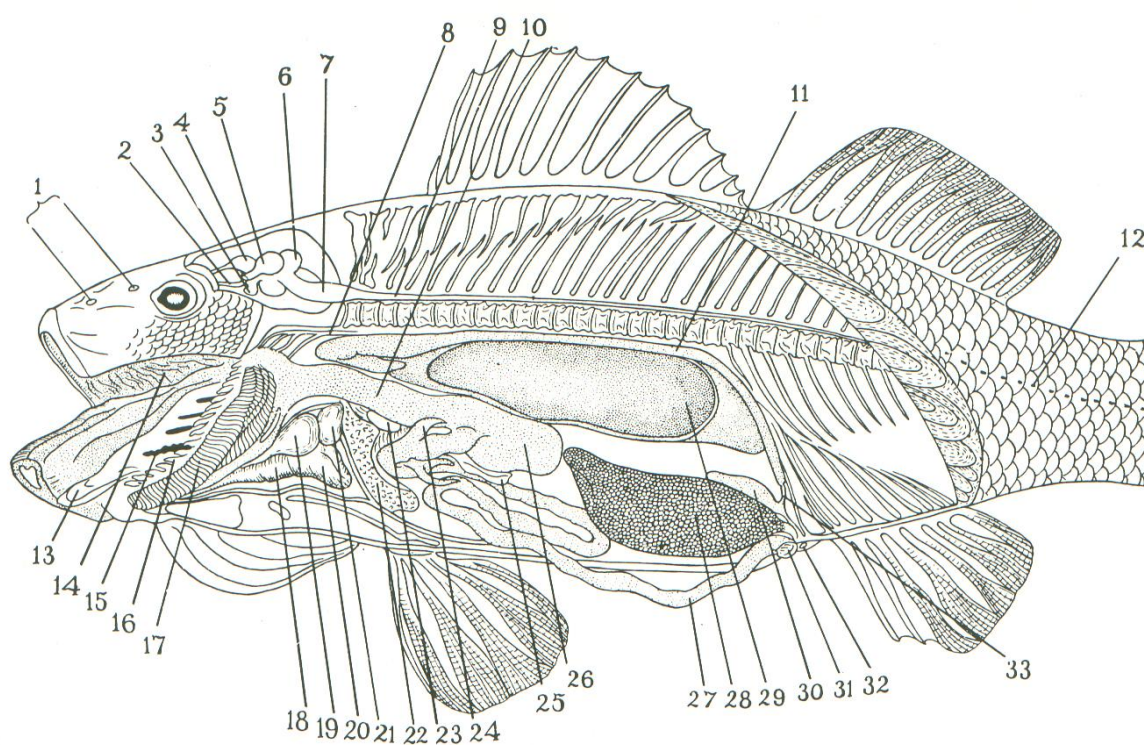
Στις φυσόστομες υπάρχει μια δίοδος που ενώνει τη νηκτική κύστη με το έντερο. Στις φυσόκλειστες δεν υπάρχει αυτή η σύνδεση. Φυσόστομες νηκτικές κύστες συναντάται στις αρχέγονες οικογένειες ψαριών όπως είναι οι ρέγγες, τα σαλμονοειδή, οι τούρνες, οι κυπρίνοι, τα γατόψαρα και τα χέλια. Τα φυσόστομα ψάρια διοχετεύουν ατμοσφαιρικό αέρα στη νηκτική κύστη με την ανάδυση στην επιφάνεια. Αυτός είναι και ένας λόγος που τα φυσόστομα είδη ζούνε κοντά στην επιφάνεια. Με την κάθοδο τους σε μεγαλύτερα βάθη,

μέρος αυτού του αέρα αναγκάζεται να εξέλθει από τη νηκτική κύστη μέσα στον οισοφάγο μέσω ενός μηχανισμού που ενεργοποιείται με την πτώση της υδροστατικής πίεσης και ελέγχει την κίνηση των μυών του τοιχώματος της νηκτικής κύστης.

Αντίθετα, στα φυσόκλειστα είδη έχουν αναπτυχθεί ειδικοί μηχανισμοί για τη διοχέτευση και παροχέτευση αερίων στη νηκτική κύστη. Η φυσόκλειστη νηκτική κύστη παρέχει μεγαλύτερη ευκαιρία μετακινήσεων στη στήλη του νερού με αποτέλεσμα τα 2/3 των τελεόστων να είναι φυσόκλειστοι. Ένας αδένας αερίων και το *rete mirabile* (ένα εκτεταμένο σύστημα αιμοφόρων αγγείων) εξασφαλίζουν τη διοχέτευση αερίων στη νηκτική κύστη. Ο αδένας αερίων παράγει κυρίως CO₂ μέσω του κύκλου των φωσφορικών πεντοζών και της γλυκόλυσης, το οποίο και διοχετεύει στη νηκτική κύστη. Επιπρόσθετα, O₂ και N₂ μεταφέρονται με διάχυση από το *rete mirabile*. Η συσσώρευση αερίων μπορεί να φτάσει τις 300 atm σε μερικά βαθυπελαγικά είδη. Το συνολικό μήκος του *rete mirabile* είναι πολύ σημαντικό για το ρυθμό ανταλλαγής αερίων και τη ρύθμιση της νηκτικής κύστης. Τα τριχοειδή του *rete* ειδών που ζουν μεταξύ 1500 και 3500m βάθος είναι μέχρι και 25 φορές μακρύτερα από αυτά ειδών μεταξύ 150 και 500m. Το πώς το μέγεθος της νηκτικής κύστης ποικίλει σε διάφορα ενδιαιτήματα φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Πόσο μεγάλη πρέπει να είναι η νηκτική κύστη για να παρέχει ουδέτερη πλευστότητα στο ψάρι;

Είδος	Ενδιαιτήμα	Όγκος νηκτικής κύστης (% όγκου σώματος)
<i>Carassius auratus</i>	Γλυκού νερού	7,5-8,0
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Γλυκού νερού, επιφάνειας	8,5-90
<i>Ictalurus nebulosus</i>	Γλυκού νερού, βενθικό	5,5-6,0
<i>Ctenolabrus rupestris</i>	Θαλάσσιο, ρηχά νερά	4,5-5,0
<i>Zeus faber</i>	Θαλάσσιο	4,0-4,5
<i>Pleuroneuctes platessa</i>	Θαλάσσιο, βενθικό	Ανύπαρκτη
<i>Callionymus lyra</i>	Θαλάσσιο, βενθικό	Ανύπαρκτη
<i>Scomber scombrus</i>	Θαλάσσιο, πελαγικό	Ανύπαρκτη



- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. Ρώθωνες | 18. Αορτικός βολβός |
| 2. Οπτικό νεύρο | 19. Καρδιακός κόλπος |
| 3. Υπόφυση | 20. Κοιλία |
| 4. Οσφρητικός λοβός | 21. Φλεβώδης κόλπος |
| 5. Οπτικός λοβός | 22. Ήπαρ |
| 6. Παρεγκεφαλίδα | 23. Χοληδόχος κύστη |
| 7. Προμήκης μυελός | 24. Πυλωρικά τυφλά |
| 8. Νωτιαία αορτή | 25. Σπλήνας |
| 9. Νευρική χορδή | 26. Στομάχι |
| 10. Οισοφάγος | 27. Έντερο |
| 11. Νεφρός | 28. Ωθήκη |
| 12. Πλευρική γραμμή | 29. Νηκτική κύστη |
| 13. Γλώσσα | 30. Ουροδόχος κύστη |
| 14. Φάρυγγας | 31. Έδρα |
| 15. Βραγχιακή σχισμή | 32. Ουρογεννητική οπή |
| 16. Βραγχιακές άκανθες | 33. Ουρητήρας |