



Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ (Σ.ΤΕ.Γ.)

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ & ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΙΧΘΥΩΝ ΚΑΙ
ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ



ΓΚΟΥΜΑΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2016

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΖΩΪΚΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ	5
1.1 Γενικά στοιχεία για τα ψάρια.....	5
1.2. Συγκριτικές Μελέτες.....	5
1.3. Γενικές αρχές και Ορισμοί Συγκριτικών Μελετών	5
1.3.1. Αναγνώριση και χαρακτηρισμός της ποικιλότητας.....	7
1.3.2. Εξέλιξη και προσαρμογή	8
1.3.3. Μορφή και Λειτουργία.....	10
1.4. Χαρακτηριστικά, καταγωγή και ταξινόμηση των σπονδυλωτών.....	11
1.5. Προέλευση των χορδωτών.....	13
1.6. Σπονδυλωτά.	17
1.7. Ομοιόσταση.....	21
1.7.1. Ομοιοστατικοί μηχανισμοί.....	21
1.7.2. Προσαρμοστικοί μηχανισμοί	21
1.7.3. Οσμωτική ρύθμιση.....	22
1.7.4. Υδρόβια σπονδυλωτά.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΤΤΑΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	25
2.1. Εισαγωγή.....	25
2.2. Το μέγεθος των κυττάρων	26
2.3. Γιατί τα κύτταρα είναι τόσο μικρά.....	26
2.4. Η ποικιλομορφία των κυττάρων.....	27
2.5. Μονοκύτταροι-πολυκύτταροι οργανισμοί. Κυτταρική διαφοροποίηση. Επίπεδα οργάνωσης των οργανισμών.	29
2.6. Εγκατάσταση χημικών συνθηκών στο εσωτερικό ζωντανών κυττάρων.....	33
2.7. Κυτταρική αναγνώριση.	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Η ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΖΩΩΝ	36
3.1. Πρωτοπλασμικό επίπεδο οργάνωσης.....	36
3.2. Κυτταρικό επίπεδο οργάνωσης.....	36
3.3. Επίπεδο οργάνωσης ιστού.....	37
3.4. Επίπεδο οργάνωσης ιστού - οργάνου.....	37
3.5. Επίπεδο οργάνωσης συστήματος οργάνων.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΖΩΩΝ.....	39
4.1. Τι είναι ο ιστός	39
4.2. Είδη ιστών.	39
4.2.1 Επιθηλιακός ιστός	39

4.2.1.1	Απλό πλακώδες επιθήλιο.....	39
4.2.1.2	Απλό κυβοειδές.....	39
4.2.1.3	Απλό στηλοειδές.....	40
4.2.1.4	Στρωματώδες.....	40
4.2.1.5	Ψευδοστρωματώδες.....	40
4.2.2.	Συνδετικός ιστός.....	40
4.2.2.1.	Διάκριση συνδετικών ιστών βάσει της λειτουργίας και της υφής τους.....	40
4.2.2.1.1.	Χαλαρός συνδετικός ιστός.....	40
4.2.2.1.2.	Ελαστικός συνδετικός ιστός.....	41
4.2.2.1.3.	Δικτυωτός συνδετικός ιστός.....	41
4.2.2.1.4.	Αποθετικός ιστός.....	41
4.2.2.1.5.	Πυκνός ή ινώδης συνδετικός ιστός.....	41
4.2.2.1.6.	Χόνδρος.....	41
4.2.2.1.7.	Οστίτης ιστός.....	42
4.2.2.1.8.	Αίμα.....	42
4.2.3.	Μυϊκός ιστός.....	44
4.2.4.	Νευρικός ιστός.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΨΑΡΙΩΝ.....		46
5.1.	Γενικά.....	46
5.2.	Εξωτερική ανατομία ψαριού.....	46
5.2.1.	Τα πτερύγια.....	47
5.2.2.	Η βλέννα το δέρμα και τα λέπια.....	48
5.2.3.	Το χρώμα.....	48
5.2.4.	Το κεφάλι.....	49
5.2.6.	Τα μουστάκια.....	49
5.2.7.	Τα ρουθούνια.....	49
5.2.8.	Επιπλωμάτιο.....	50
5.2.9.	Η πλευρική γραμμή.....	50
5.3.	Εσωτερική ανατομία ψαριού.....	50
5.3.1.	Ο εγκέφαλος.....	50
5.3.3.	Το αναπνευστικό και κυκλοφοριακό σύστημα του ψαριού.....	50
5.3.4.	Το πεπτικό σύστημα των ψαριών.....	51
5.3.7.	Τα αναπαραγωγικά όργανα του ψαριού.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : ΤΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΤΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ (ΤΕΛΕΟΣΤΕΩΝ).....		53
6.1.	Η κυκλοφορία του αίματος των ψαριών.....	53

6.2. Η είσοδος νερού στο ψάρι και η σύνδεση της κυκλοφορίας νερού και αίματος	55
6.3. Η ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς	56
6.3.1. Δυναμικό ενέργειας ταχείας απόκρισης	56
6.3.2. Δυναμικό ενέργειας βραδείας απόκρισης	58
6.4. Φυσική διέγερση της καρδιάς	59
6.5. Διάδοση της διέγερσης σε όλη την καρδιά	59
6.6. Μηχανισμοί ελέγχου καρδιακής λειτουργίας	60
6.6.1. Παρασυμπαθητική νεύρωση	60
6.6.2. Συμπαθητική νεύρωση	61
6.7. Βηματοδοτικά κύτταρα	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο : ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΑΡΙΩΝ	64
7.1. Γενικά	64
7.2. Λειτουργίες αίματος	64
7.3. Ποιοτική σύσταση αίματος	65
7.4. Αιμοποιητικά όργανα	65
7.5. Πήξη αίματος	65
7.6. Ομάδες αίματος - Μεταγγίσεις	66
7.7. Κυκλοφορία αίματος	67
7.7.1. Η μεγάλη και η μικρή κυκλοφορία	67
7.7.2. Η πίεση του αίματος	69
7.8. Τα Ερυθροκύτταρα	69
7.8.1. Γενικά	69
7.8.2. Ιστορικά στοιχεία	70
7.8.3. Ερυθροκύτταρα σπονδυλωτών	70
7.8.4. Ερυθροκύτταρα θηλαστικών	72
7.8.5. Ερυθροκύτταρα ανθρώπου	74
7.8.6. Διαγονιδιακά ψάρια	82
7.9. Ασθένειες ψαριών	82
7.9.1. Ασθένειες ψαριών που οφείλονται σε βακτήρια	82
7.9.1.1. Φυματίωση των ψαριών	83
7.9.1.2. Βακτηριακή Ασθένεια Βραγχίων	83
7.9.1.3. Δονακίωση	84
7.9.1.4. Columnaris	84
7.9.1.5. Furunculosis	85
7.9.1.6. Σηψαιμία που προκαλείται από Αερομονάδες	85
7.9.2. Ασθένειες που οφείλονται σε μύκητες	86

7.9.2.1. Σαπρολεγνίαση.....	86
7.9.2.2. Κόκκινες πληγές	86
7.9.2.3. Ασθένεια των βραγχίων	87
7.9.2.4. Σάπισμα των πτερυγίων και της ουράς.....	87
7.9.2.5. Ichthyosporidium	88
7.9.2.6. Μύκητες στο στόμα.....	88
7.9.2.8. Άσπρες τούφες	89
7.9.2.9.Υδρωπικία ή Οίδημα	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΑΡΙΩΝ..	90
8.1. Γενικά συμπεράσματα	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΖΩΪΚΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

1.1 Γενικά στοιχεία για τα ψάρια

Τα ψάρια αποτελούν την πολυπληθέστερη ομάδα σπονδυλωτών με περισσότερα από 30600 καταγεγραμμένα είδη (Frozen & Pauly, 2008). Το μακροχρόνιο και συνεχές ενδιαφέρον των επιστημόνων για τα ψάρια οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελούν το συνδετικό κρίκο ανάμεσα στα ασπόνδυλα και σπονδυλωτά, αλλά και τους εξειδικευμένους κατοίκους ενός συναρπαστικού και σχετικά άγνωστου κόσμου, του υδάτινου περιβάλλοντος. Η ανάπτυξη γνώσης που αφορά στα ψάρια προήλθε πέρα από τη διαρκή περιέργεια του ανθρώπου για το περιβάλλον και ιδιαίτερα για τους οργανισμούς που απαντώνται σε αυτό, επίσης και από την ανάγκη για τη λήψη πληροφοριών που αφορούν τα είδη με εμπορικό ενδιαφέρον λόγω των δραστηριοτήτων της αλιείας και των ιχθυοκαλλιεργειών. Τα ψάρια σήμερα μελετώνται διεξοδικά από διεθνείς οργανισμούς, κυβερνητικές αντιπροσωπείες, πανεπιστήμια, μουσεία και βιομηχανίες.

1.2. Συγκριτικές Μελέτες

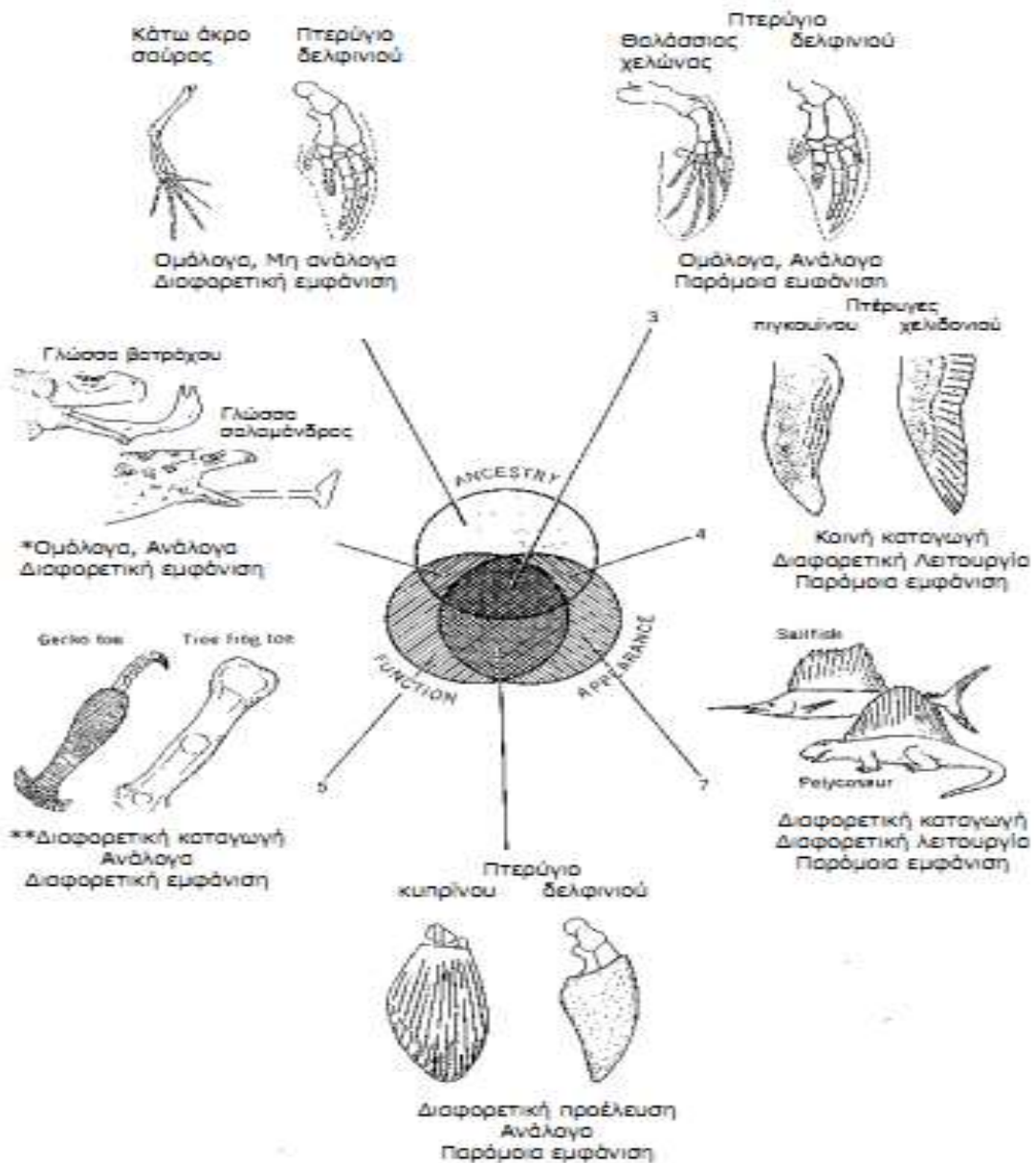
Η Συγκριτική Μορφολογία Σπονδυλωτών ασχολείται με την περιγραφή και την λειτουργική ερμηνεία των χαρακτηριστικών δομών που έχουν αναπτύξει κατά τη διάρκεια της εξέλιξης τα σπονδυλωτά. Η ανάλυση και ερμηνεία της δομής γίνεται σε συνάρτηση τόσο με τις φυλογενετικές σχέσεις (εξέλιξη) όσο και με τις λειτουργικές διαφοροποιήσεις που έχουν αναπτυχθεί ως αποτέλεσμα περιβαλλοντικών, φυσιολογικών και ηθολογικών προσαρμογών. Για την μελέτη της Λειτουργικής Μορφολογίας είναι κατά συνέπεια απαραίτητη η γνώση της Γενικής Ζωολογίας και της Συγκριτικής Ανατομίας, καθώς επίσης και ειδικές γνώσεις εξελικτικής βιολογίας, εμβιομηχανικής, φυσιολογίας, οικολογίας και ηθολογίας. Δίδεται έμφαση στις γενικές αρχές (οντογένεση και φυλογένεση) και στις προσαρμοστικές εξειδικεύσεις που εμφανίζουν τα σπονδυλωτά σε συνάρτηση με λειτουργίες όπως, η ομοιόσταση, η αναπαραγωγή, η διατροφή και η κίνηση (εμβιομηχανική, κινήσιολογία).

1.3. Γενικές αρχές και Ορισμοί Συγκριτικών Μελετών

Τα χαρακτηριστικά δύο ή περισσότερων οργανισμών λέγονται ομόλογα (homologous) όταν έχουν κοινή καταγωγή. Η κοινή καταγωγή αποδεικνύεται από τα παλαιοντολογικά ευρήματα, αλλά συνήθως η κοινή εμβρυϊκή προέλευση είναι αρκετή για τον χαρακτηρισμό δύο δομών ως ομόλογων. Τα ομόλογα όργανα δηλαδή, προέρχονται από το ίδιο τμήμα του εμβρύου, έχουν κοινά βασικά ανατομικά χαρακτηριστικά, αλλά μπορεί να μην έχουν την ίδια λειτουργία.

Παραδείγματα ομόλογων δομών είναι (α) τα πόδια της σαύρας και τα πτερύγια του δελφινιού ή (β) τα φτερά των πουλιών, τα πτερύγια της φώκιας και τα χέρια του ανθρώπου (Εικ. 1.1).

Τα χαρακτηριστικά δύο ή περισσότερων οργανισμών είναι ανάλογα (analogous) όταν εκτελούν την ίδια λειτουργία. Η αναλογία προκύπτει από την εξέταση της δομής, αλλά επιβεβαιώνεται κυρίως με μελέτες συμπεριφοράς, εμβιομηχανικής και κινήσιολογίας. Τα ανάλογα όργανα μπορεί να είναι και ομόλογα ή να μην έχουν καμιά κοινή προέλευση (Εικ. 1.1). Για παράδειγμα (α) τα φτερά των εντόμων και των πουλιών ή (β) τα πτερύγια των ψαριών και του δελφινιού αποτελούν ανάλογα όργανα.

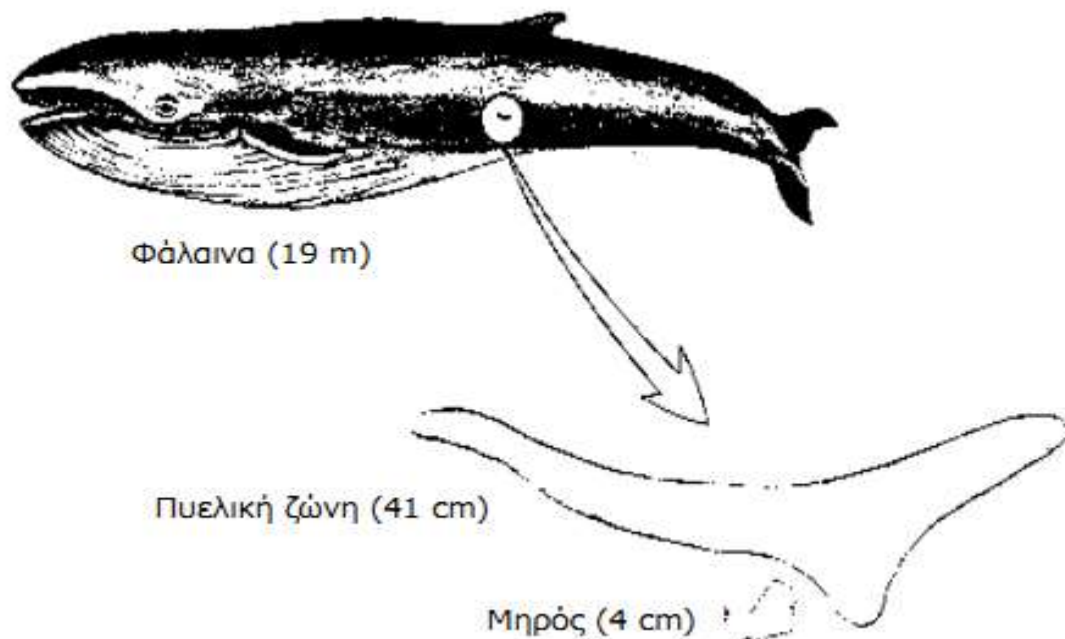


Εικ. 1.1. Παραδείγματα δομών σπονδυλωτών που έχουν κοινή καταγωγή (ομολογία), λειτουργία (αναλογία) και εμφάνιση (gecko: *Rtychozoon*, tree frog: *Hyla*, *οι γλώσσες είναι ομόλογες, αλλά όχι και οι μηχανισμοί εκτίναξης, **και οι δύο προέρχονται από το δέρμα, αλλά από διαφορετικά τμήματα)(από Hildebrand, 1995).

Υπολειμματικά ή εκφυλισμένα (vestigial or degenerate) όργανα θεωρούνται αυτά που δεν φαίνεται να έχουν καμιά λειτουργικότητα, σε αντίθεση με άλλα ομόλογά τους που βρίσκονται σε λειτουργία. Είναι δηλαδή, η δομή εκείνη ενός ζώου, που το μέγεθος, η πολυπλοκότητα και η λειτουργικότητα της ελαττώθηκαν σημαντικά σε σύγκριση με την αντίστοιχη δομή κάποιου προγονικού είδους. Παράδειγμα η υποτυπώδης πυελική ζώνη σε μερικά φίδια (όπως βόες και τύθωνες) ή στην φάλαινα (Εικ. 2).

Τα χαρακτηριστικά δύο ή περισσότερων οργανισμών μπορούν να συσχετιστούν και με βάση την ομοιότητα στην εμφάνιση. Συνήθως τα χαρακτηριστικά που έχουν παρόμοια εμφάνιση είναι και ανάλογα, και αρκετά συχνά και ομόλογα (Εικ. 1). Αν δύο δομές έχουν παρόμοια εμφάνιση και είναι και ομόλογες, αλλά όχι ανάλογες, τότε μία από αυτές έχει υποστεί εξελικτική μετατόπιση της λειτουργίας της. Για παράδειγμα τα άκρα του πιγκουίνου έχουν

κοινή προέλευση (ομόλογα) και παρόμοια εμφάνιση με τα άκρα των άλλων πτηνών, αλλά διαφορετική λειτουργία (κολύμβηση αντί για πτήση). Αυτές οι δομές λέμε ότι έχουν υποστεί προπροσαρμογή (preadaptation).



Εικ. 1.2. Παράδειγμα υπολειμματικής δομής: πυελική ζώνη και οστό φάλαινας (από Hildebrand, 1995).

Η σχέση μεταξύ επαναλαμβανόμενων, συχνά διαφοροποιημένων, δομών ενός μεμονωμένου οργανισμού, η οποία καθορίζεται από την ομοιότητα της αναπτυξιακής τους προέλευσης ονομάζεται σειριακή ομολογία (serial homology). Για παράδειγμα, οι σπόνδυλοι στην σπονδυλική στήλη, τα δόντια σε μια οδοντοστοιχία, τα βραγχιακά τόξα στα βράγχια, και οι σωληνίσκοι στα νεφρά των κατώτερων σπονδυλωτών είναι σειριακά ομόλογες δομές. Τέτοιου είδους δομές εμφανίζουν συνήθως διαβάθμιση: οι σπόνδυλοι γίνονται μεγαλύτεροι προς την λεκάνη, τα δόντια γίνονται πιο πολύπλοκα προς το πίσω μέρος του στόματος, τα βράγχια μπορεί να μικραίνουν προς το πίσω τμήμα της σειράς. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτών των δομών είναι ότι εμφανίζουν παρόμοια δυναμική για αλλαγή: αν ένας εμβρυϊκός σπόνδυλος που βρίσκεται πίσω από τα πλευρά τοποθετηθεί πειραματικά κοντά στην λεκάνη έχει την δυνατότητα να σχηματίσει άρθρωση μαζί της. Επίσης, μια οποιαδήποτε αλλαγή σε ένα οποιοδήποτε σημείο της δομής, επηρεάζει συνήθως περισσότερα από ένα στοιχεία της σειράς π.χ. αν ένα δόντι γίνει μεγαλύτερο ή πιο σύνθετο, τα γειτονικά έχουν την ίδια τάση.

Η φυλετική ομολογία (sexual homology), αναφέρεται σε δομές που αν και έχουν προέλθει από τις ίδιες εμβρυϊκά αρχέγονες δομές, εμφανίζουν φυλετικό διμορφισμό. Για παράδειγμα η ωοθήκη είναι το φυλετικό ομόλογο των όρχεων και η κλειτορίδα του πέους.

1.3.1. Αναγνώριση και χαρακτηρισμός της ποικιλότητας

Η μορφολογία στην προσπάθεια της να χαρακτηρίσει τα ομόλογα και ανάλογα χαρακτηριστικά και να κατανοήσει την σχέση μορφής-λειτουργίας, χρειάζεται να μελετήσει και τους παράγοντες εκείνους (οικολογικούς, δομικούς, ηθολογικούς, γενετικούς) που συντελούν στην ποικιλότητα των δομών. Οι περισσότεροι χαρακτήρες ποικίλλουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Υπάρχουν όμως και χαρακτήρες που συνδέονται μέσω της ποικιλότητας. Για παράδειγμα σε κάποια θηλαστικά, ένα άτομο που έχει εξαιρετικά υψηλή μύλη δοντιού είναι πολύ πιθανό να έχει και υπερμεγέθεις προγομφίους καθώς και

πολύ μακρύ σαγόνι. Οι δομές που εμφανίζουν σχετικά μεγάλη ποικιλότητα μεταξύ των ατόμων ενός είδους μπορεί να έχουν μικρή σημασία για την ερμηνεία της μορφής. Για παράδειγμα το στέρνο μπορεί να είναι πλατύτερο ή μακρύτερο μεταξύ των ατόμων ενός είδους χωρίς καμιά επίπτωση στη λειτουργία. Αντίθετα, δομές που δεν εμφανίζουν έντονη ποικιλότητα μπορούν να μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες τόσο για την λειτουργία τους όσο και τις συνήθειες του είδους, π.χ. οι γομφίοι ή η ποδοκνημική άρθρωση (αστράγαλος). Επίσης, η μελέτη πολύπλοκων δομών, αν και δυσκολότερη σε σχέση με απλούστερες, είναι πιθανό να μας δώσει σημαντικές πληροφορίες για το τρόπο ζωής και τις συνήθειες ενός οργανισμού (π.χ. τα πλευρά είναι πολύ απλές δομές για να κρύβουν μεγάλα μυστικά, ενώ το κρανίο έχει τόσες λειτουργίες και τόσα οστά που μας δίνει πολύτιμες πληροφορίες για την ιστορία και τις συνήθειες του οργανισμού).

Επίσης, είναι απαραίτητο να αναγνωρίζεται και να προσδιορίζεται η ποικιλότητα που παρουσιάζουν τα άτομα του πληθυσμού ενός είδους λόγω φύλου (φυλετικός διμορφισμός), σταδίου ανάπτυξης, ηλικίας ή μεγέθους έτσι ώστε να αποφεύγονται λανθασμένες ερμηνείες και συμπεράσματα (π.χ. διαφορετικό είδος ή διαφορετικό προσαρμοστικό χαρακτηριστικό).

Ο φυλετικός διμορφισμός σχετίζεται συνήθως με το γεννητικό σύστημα (γονάδες, γοναδικούς αγωγούς, εξωτερικά γεννητικά όργανα, σεξουαλικά εξαρτήματα). Οι διαφορές στα εξωτερικά γεννητικά όργανα μπορεί να είναι περισσότερο εμφανείς σε κάποιο συγκεκριμένο στάδιο του αναπαραγωγικού κύκλου, λόγω αλλαγών στο μέγεθος, τη θέση, τον χρωματισμό, τις εκκρίσεις ή την αγγειακή υπεραίμια. Υπάρχουν όμως και διακριτές διαφορές που δεν σχετίζονται με το γεννητικό σύστημα, αλλά με τον ρόλο των δύο φύλων και την συμπεριφορά. Για παράδειγμα διαφορές στον χρωματισμό, την ποσότητα και την κατανομή των λεπιών, τα φτερά ή το τρίχωμα, διαφορές στην αρχιτεκτονική της λεκάνης καθώς και στη παρουσία ή ανάπτυξη εξαρτημάτων όπως λοφία, κεντριά, κέρατα, χαυλιόδοντες, και οσμηγόνοι αδένες. Ο αυξητικός ρυθμός και το μέγεθος του σώματος εμφανίζουν συχνά φυλετικό διμορφισμό. Τα αρσενικά έχουν συνήθως τραχύτερο και βαρύτερο σκελετό. Επίσης, μπορεί να υπάρχουν διαφορές στο μυϊκό και αγγειακό σύστημα, στον εγκέφαλο και στην υπόφυση.

Πολλά χαρακτηριστικά εμφανίζουν έντονη ποικιλότητα που σχετίζεται με την ηλικία. Ο σχηματισμός διαδοχικών δακτυλίων σε σκληρούς ιστούς (λέπια και ωτόλιθοι στα ψάρια, οι μπαλένες και το ακουστικό έμβολο στις φάλαινες, η οδοντίνη και η οστέινη ουσία των δοντιών στα θηλαστικά) πολλές φορές ανταναικλά με μεγάλη ακρίβεια τις περιόδους βραδείας ή ταχείας αύξησης, δίνοντας σημαντικές πληροφορίες για τον οργανισμό. Οι σκληροί ιστοί σχετίζονται με την ηλικία και με άλλους τρόπους: π.χ. τα κέντρα οστεοποίησης του αναπτυσσόμενου οστού εμφανίζονται με τακτική διαδοχή, οι διάφοροι τύποι δοντιών των θηλαστικών αποπίπτουν και αναπληρώνονται από άλλα σε διαφορετική αλλά συγκεκριμένη ηλικία, οι επιφύσεις στα άκρα των μακρών οστών αρθρώνονται με τις διαφύσεις σε καθορισμένο χρόνο.

1.3.2. Εξέλιξη και προσαρμογή

Όλα τα ζώα δείχνουν κάποια σταθερότητα ως προς τη μορφή και κατά κάποιο τρόπο η μορφή τους είναι προσαρμοσμένη στις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος όπου ζουν. Κάθε οργανισμός προσαρμόζεται σε ή εξαρτάται από ένα συγκεκριμένο τρόπο ζωής σε ένα συγκεκριμένο ενδιάστημα. Σύμφωνα με την κλασική θεωρία της εξέλιξης η ποικιλομορφία και ο συνεχής ανταγωνισμός ανάμεσα στα άτομα του ίδιου είδους δημιουργούν ομάδες με ευνοϊκότερα ή δυσμενέστερα ως προς την επιβίωση χαρακτηριστικά. Τα άτομα με τα ευνοϊκότερα χαρακτηριστικά έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν μεταβιβάζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά τους, που γενιά με γενιά, επιλέγονται. Η επιλογή των ευνοϊκών χαρακτηριστικών (φυσική επιλογή) οφείλεται στις

φυσικές συνθήκες, στην διαθεσιμότητα της τροφής, στο ζωτικό χώρο, στους ανταγωνιστές, δηλαδή στο φυσικό και βιολογικό περιβάλλον. Έτσι, τα προσαρμοστικά γνωρίσματα είναι δομικά και ηθολογικά χαρακτηριστικά που συνεισφέρουν στην επιβίωση του είδους μέσω της φυσικής επιλογής. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι όλα τα χαρακτηριστικά είναι βέλτιστα προσαρμοσμένα ή ακόμη ότι όλα είναι άμεσα πλεονεκτικά. Ένα χαρακτηριστικό μπορεί να είναι έτσι, απλά λόγω συμβιβασμού μεταξύ ανταγωνιστικών επιλεκτικών πλεονεκτημάτων ή σαν αποτέλεσμα του μεγέθους του σώματος ή γιατί η αναπτυξιακή διαδικασία δεν μπόρεσε να δώσει μια καλύτερη λύση, ή από γενετικούς παράγοντες. Με άλλα λόγια, η ίδια επιλεκτική διαδικασία μπορεί να δώσει διαφορετικά χαρακτηριστικά σε διαφορετικούς πληθυσμούς (π.χ. γειτονικά νησιά) ή μπορεί να μην υφίσταται καμία επιλεκτική πίεση (π.χ. υπολειμματικά όργανα).

Η ερμηνεία της δομής μπορεί να ειπωθεί μόνο μέσα στα πλαίσια της εξελικτικής διαδικασίας. Εξειδικευμένες δομές είναι οι δομές αυτές που έχουν τροποποιηθεί για να εκτελέσουν περιορισμένες λειτουργίες με μεγάλη αποτελεσματικότητα, ενώ γενικευμένες δομές είναι αυτές που μπορούν να εκτελούν ευρύτερες λειτουργίες. Οι εξειδικευμένες δομές (π.χ. μπαλαίνες) είναι πολύ ικανοποιητικές για την εξυπηρέτηση της συγκεκριμένης λειτουργίας που εκτελούν (π.χ. όσο υπάρχει krill), αλλά είναι πολύ δύσκολο να προσαρμοστούν, όταν χρειαστεί, σε μια καινούργια λειτουργία. Οι γενικευμένες δομές αν και μπορεί να έχουν λιγότερη εξελικτική πίεση για αλλαγές (λόγω του ότι είναι κατάλληλες για πολλές λειτουργίες), έχουν και μεγαλύτερη ικανότητα για αλλαγή και με αυτό το τρόπο μπορούν να εξασφαλίσουν την επιβίωση όταν χρειαστεί. Για παράδειγμα, το αρχέγονο πενταδάκτυλο πόδι εξειδικεύτηκε σε όργανο κολύμβησης, εκτίναξης, πτήσης, σύλληψης κλπ.

Όταν ένα είδος χρειάζεται να προσαρμοστεί σε αλλαγές που συμβαίνουν πολύ γρήγορα, δεν έχει τον απαιτούμενο χρόνο για να αναπτύξει ένα πλήρες νέο χαρακτηριστικό γνώρισμα. Για να μπορέσει να επιβιώσει χρειάζεται να βασιστεί στην επέκταση ή τροποποίηση των ήδη υπαρχόντων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του. Έτσι η φυσική επιλογή μπορεί να «ανακαλύψει» ότι μια δομή που ήταν χρήσιμη για μια συγκεκριμένη λειτουργία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλο σκοπό. Τέτοιες δομές λέμε ότι έχουν υποστεί προπροσαρμογή. Για παράδειγμα, ήταν σχετικά πιο γρήγορο και απλό να χρησιμοποιηθούν οι φτερούγες κάποιων πτηνών ως όργανα κολύμβησης αντί πτήσης, από ότι η εξέλιξη των ποδιών (που χρησιμοποιούσαν οι πρόγονοι των πτηνών για βάρδιση) σε φτερούγες.

Δύο ή περισσότερες ομάδες ζώων μπορεί να διαθέτουν παρόμοιους ή ταυτόσημους μορφολογικούς χαρακτήρες (φαινοτυπικά χαρακτηριστικά), τους οποίους δεν έχουν κληρονομήσει από κοινό πρόγονο. Η κατάσταση αυτή καλείται ομοπλασία (homoplasy). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει: τη σύγκλιση, την παράλληλη εξέλιξη και την εξελικτική αντιστροφή. Η παράλληλη εξέλιξη (parallelism) είναι η ανεξάρτητη εξέλιξη σε συγγενικές γενεαλογικές γραμμές παρόμοιων ή ταυτόσημων χαρακτηριστικών. Η εμφάνιση ή διατήρηση των όμοιων χαρακτηριστικών αποδίδεται στην επιλεκτική δράση παρόμοιων αλλά απόμακρων περιβαλλόντων, πάνω στο κοινό γενετικό υπόβαθρο, και έχει σαν αποτέλεσμα παρόμοια ζώα που έχουν ίδιες λειτουργικές ανάγκες να εξελίσσουν παρόμοιες δομικές προσαρμογές. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα δύο ή περισσότερα είδη, που δημιουργήθηκαν στο παρελθόν από κοινό πρόγονο, να εξελίσσονται για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να αποκλίνουν ή να συγκλίνουν. Για παράδειγμα ο αρουραίος (kangaroo rat) της Ν.Α. Αμερικής (*Dipodomys*) και τα jerboas (*Dipus*) της Αφρικής και της Ασίας που ανήκουν σε διαφορετικές υποτάξεις, εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά, όπως τα μακρά πίσω και τα κοντά πρόσθια άκρα, η άτακτη μελαψή γούνα, η επιμήκης ουρά με άσπρο τελείωμα, οι ευμεγέθεις οφθαλμοί και οι συμπαγείς αυχενικοί σπόνδυλοι (Εικ. 3). Άλλο παράδειγμα παράλληλης εξέλιξης είναι οι χρυσομυγαλές (*Amblysomus*) της Ν. Αφρικής και τα μαρσιποφόρα της Αυστραλίας (*Notoryctes*) που μοιάζουν με ασπάλακες. Αν και ανήκουν

σε διαφορετικές τάξεις (χρυσομυγαλές: τάξη εντομοφάγα, οικογένεια Chrysochloridae, Notoryctes: τάξη μαρσιποσαρκοφάγα, οικογένεια Notoryctidae), έχουν κοινά χαρακτηριστικά όπως, υπολειπόμενους οφθαλμούς, απουσία του έξω ωτός, πρόσθια άκρα με ισχυρούς όνυχες κ.α.

Η συγκλίνουσα εξέλιξη (convergence) είναι η εξελικτική ανάπτυξη παρόμοιων φαινοτυπικών χαρακτηριστικών σε μη συγγενή τάξα συνήθως από διαφορετικά προηγούμενα χαρακτηριστικά ή μέσω διαφορετικών εξελικτικών οδών. Έτσι διάφορα ζώα, αν και έχουν πολύ μακρινούς φυλογενετικούς προγόνους και έντονα διαφορετικό γονότυπο εμφανίζουν πολλές μορφολογικές ομοιότητες επειδή ζουν σε παρόμοιους βιότοπους ή καταλαμβάνουν παρόμοια θέση στα οικοσυστήματα.

Κλασσικά παραδείγματα συγκλίνουσας εξέλιξης είναι (α) η χαρακτηριστική ομοιότητα μεταξύ του καρχαρία, του ιχθυοσαύρου και του δελφινιού (Εικ. 1.3) και (β) μεταξύ πτηνών και ιπτάμενων ερπετών.

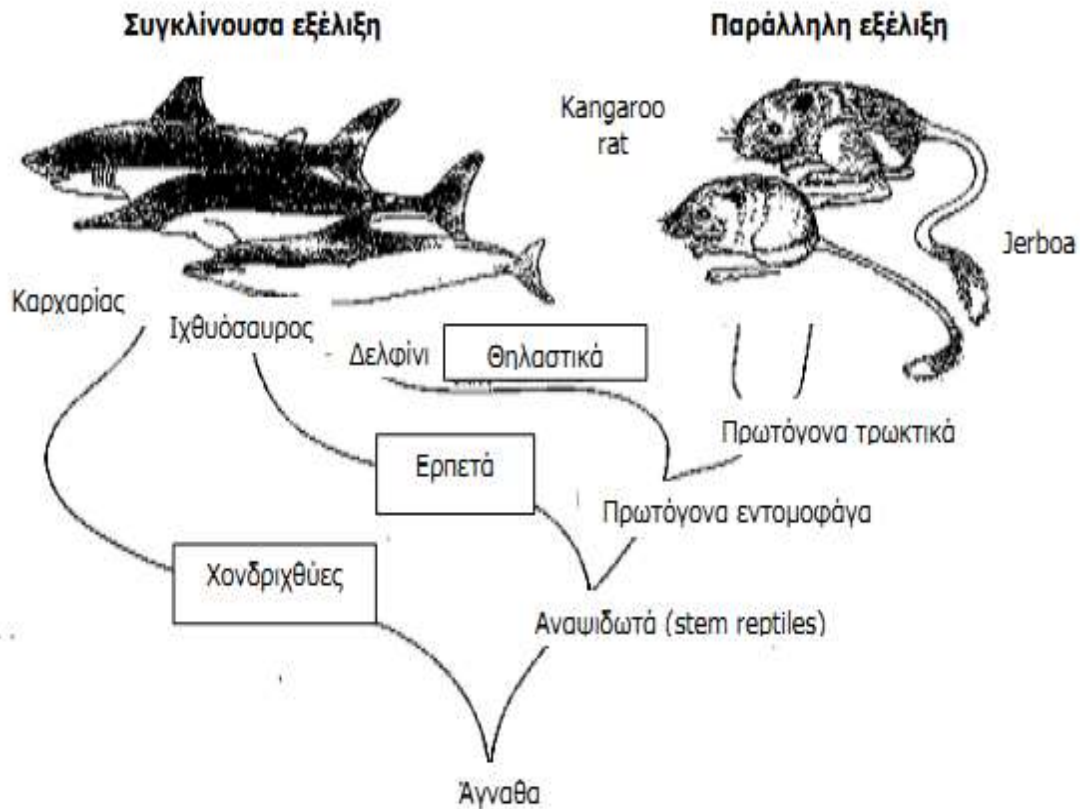
Η δημιουργία μεγάλου αριθμού νέων ειδών από μια κοινή προγονική μορφή, λόγω οικολογικής εξειδίκευσης καλείται προσαρμοστική διάσπαση (adaptive radiation). Το φαινόμενο αυτό θεωρείται μια από τις σημαντικότερες διεργασίες της εξέλιξης μια και σ' αυτή αποδίδεται η διαφοροποίηση πολλών μεγάλων ομάδων όπως π.χ. τα πλακουντοφόρα θηλαστικά, τα μαρσιποφόρα, τα αμφίβια κ.α.

1.3.3. Μορφή και Λειτουργία

Η μορφή και η λειτουργία είναι στενά συνδεδεμένες και σύμφωνα με την κλασσική θεωρία της εξέλιξης, η λειτουργία «προηγείται» της δομής και παρέχει το επιλεκτικό πλεονέκτημα που οδηγεί σε αλλαγές στην μορφή. Όμως, η μορφή μπορεί να προηγείται της λειτουργίας και τέτοια παραδείγματα υπάρχουν στην εμβρυολογία (π.χ. οι πνεύμονες σχηματίζονται πριν χρησιμοποιηθούν) και στην εξέλιξη (π.χ. η χρήση των φτερούγων διαφόρων πτηνών σαν όργανα κολύμβησης).

Γενικά, οι αρχές που σχετίζονται με την εξέλιξη και την μορφολογία είναι οι εξής (Λαζαρίδου-Δημητριάδου, 1985):

- **Αρχή της συνέχισης των δομών:** όλες οι δομές, όσο μοναδικές και αν εμφανίζονται σε απομονωμένα εξελικτικά στάδια, έχουν προέλθει από άλλες δομές μετά από αλλαγές.
- **Αρχή της χρήσης και αχρηστίας:** όταν ατονήσει η πρωταρχική λειτουργία που εξυπηρετεί μια δομή, τότε η δομή αυτή είτε εξαφανίζεται, είτε προσαρμόζεται και χρησιμοποιείται σε μια άλλη λειτουργία.
- **Κανόνας του Core:** σε μια εξελικτική σειρά παρατηρείται κατά τη μετάβαση από προγονικές σε πιο τελειοποιημένες μορφές, σταδιακή αύξηση του μεγέθους (και των αναλογιών) του σώματος.



Εικ. 1.3. Παράλληλη και συγκλίνουσα εξέλιξη. Δύο επιλεκτικοί μηχανισμοί που έχουν σαν αποτέλεσμα παρόμοια ζώα με τις ίδιες λειτουργικές ανάγκες να αναπτύξουν παρόμοιες δομικές προσαρμογές (από Hildebrand, 1995).

1.4. Χαρακτηριστικά, καταγωγή και ταξινόμηση των σπονδυλωτών

Το φύλο των χορδωτών στο οποίο ανήκουν τα ουροχορδωτά, τα κεφαλοχορδωτά και τα σπονδυλωτά, είναι το πολυπληθέστερο των δευτεροστομίων και το πιο πρόσφατο σε γεωλογικές διαπλάσεις. Ενώ για τα ασπόνδυλα υπάρχουν παλαιοντολογικά δεδομένα 1,600 εκατομμυρίων χρόνων, για τα σπονδυλωτά μόνο 500 εκατομμυρίων χρόνων. Τα χορδωτά είναι αμφιπλευροσυμμετρικά ζώα με πλήρη πεπτική συσκευή και με δευτερογενή εντεροκοιλιατική περισπλαχνική κοιλότητα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των χορδωτών είναι (Εικ. 1.4):

- 1. Η παρουσία νωτοχορδής,** τουλάχιστο στα πρώιμα αναπτυξιακά στάδια. Η νωτοχορδή είναι η πρώτη σκελετική δομή για τη στήριξη του σώματος και προέρχεται από το αρχέντερο. Στα έμβρυα έχει τη μορφή ενός λεπτού ραβδίου που αποτελείται από κύτταρα με χαρακτηριστική κοιλωματική δομή και περιβάλλεται από συνδετικό ιστό. Η δομή αυτή βρίσκεται κοιλιακά του νευρικού σωλήνα και ραχιαία του εντέρου, και στον αμφιοξύ και τους κυκλόστομους διατηρείται σε όλα τα στάδια της οντογένεσης, ως ο κύριος σκελετικός άξονας. Στους ιχθείς, τα αμφίβια, τα ερπετά, τα πτηνά και τα θηλαστικά, η νωτοχορδή αντικαθίσταται πλήρως ή μερικώς από την σπονδυλική στήλη.
- 2. Η παρουσία της νωτιαίας κοίλης νευρικής χορδής,** που προέρχεται από το εξώδερμα. Η δομή αυτή υπάρχει και στα ημιχορδωτά, αλλά σε αυτά η κεντρική κοιλότητα (νευρόκοιλο) δεν είναι συνεχής και το νευρικό σύστημα είναι διάχυτο. Ο νευρικός σωλήνας συνήθως διακρίνεται σε μια εκτεταμένη πρόσθια περιοχή

(εγκεφαλική φύσιγγα: αμφιοξύς, κεφαλοχορδωτά, εγκέφαλος: σπονδυλωτά) και στο νωτιαίο μυελό που εκτείνεται κατά μήκος του κορμού. Στα ενήλικα ουροχορδωτά (χιτωνόζωα) ο νωτιαίος μυελός και η εγκεφαλική φύσιγγα εκφυλίζεται και μένει ένα νευρικό γάγγλιο, ενώ στους κυκλόστομους και τα υπόλοιπα σπονδυλωτά ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός διατηρούνται και προστατεύονται από τα οστά του άνω τμήματος του κρανίου και τα νευρικά τόξα των σπονδύλων αντίστοιχα.

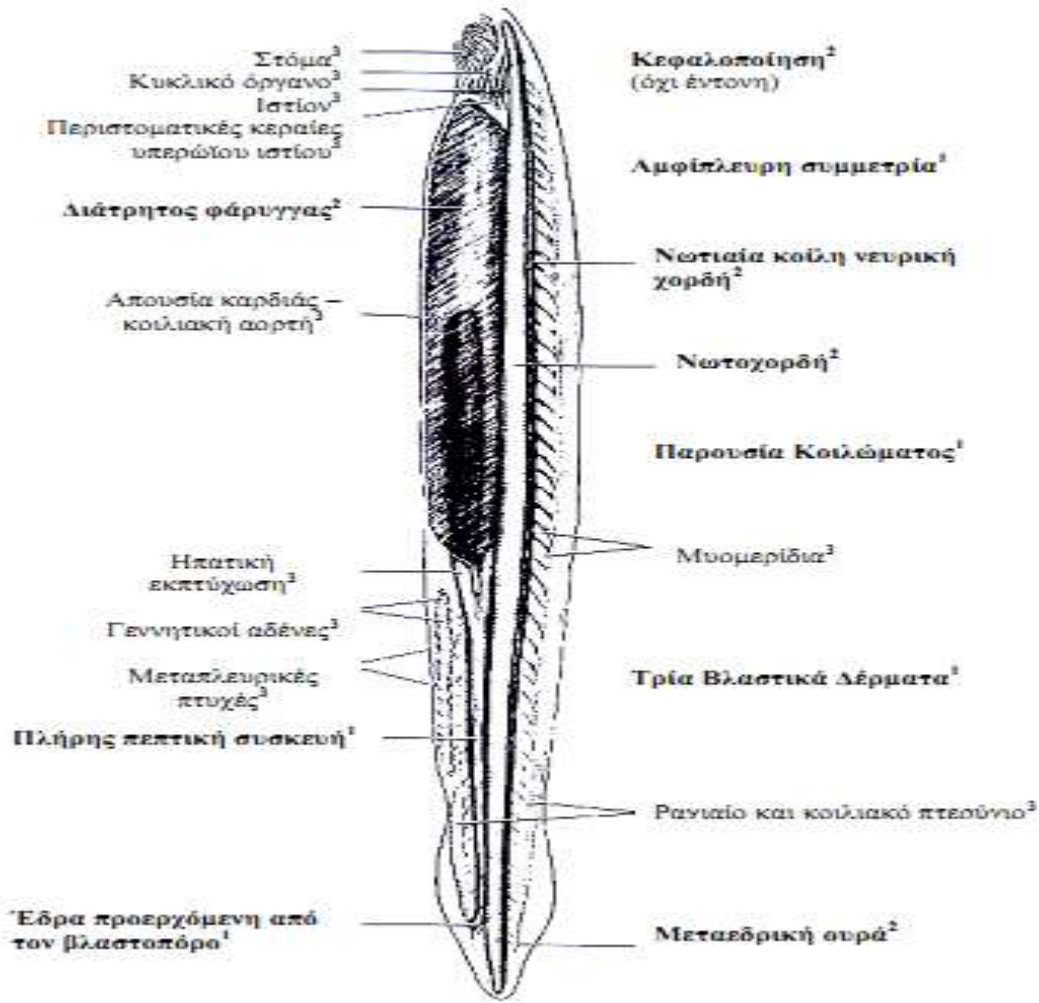
3. Η παρουσία φαρυγγικών ή βραγχιακών σχισμών. Οι σχισμές αυτές εμφανίζονται κατά την εμβρυϊκή ανάπτυξη στα ημιχορδωτά και τα χορδωτά και στη συνέχεια στα πιο πρωτόγονα υδρόβια χορδωτά αποτελούν τροφικές δομές ενώ στα πλέον ανεπτυγμένα αναπνευστικές δομές. Στην πλειονότητα των μη υδρόβιων ενήλικων ατόμων οι βραγχιακές σχισμές εξαφανίζονται. Στα τετράποδα από τους φαρυγγικούς σάκους σχηματίζονται διάφορες δομές όπως η Ευσταχιανή σάλπιγγα, η κοιλότητα του μέσου αυτιού, η αμυγδαλή, και οι παραθυροειδείς αδένες.

4. Η ύπαρξη μεταεδρικής ουράς (εκτός των ενήλικων ουροχορδωτών).

Άλλο χαρακτηριστικό των χορδωτών (εκτός των ουροχορδωτών) είναι η τάση να έχουν τα αισθητήρια τους όργανα συγκεντρωμένα στο κεφάλι (κεφαλοποίηση) και ο μεταμερισμός που παρατηρείται σε διάφορες σωματικές δομές.

Τα σπονδυλωτά είναι τριπλοβλαστικά ζώα, προέρχονται δηλαδή από έμβρυα που έχουν τρία βλαστικά στρώματα (εξώδερμα, μεσόδερμα και ενδόδερμα). Τα κύρια χαρακτηριστικά των σπονδυλωτών (εκτός της παρουσίας νωτοχορδής, νευρικού σωλήνα, φαρυγγικών σχισμών, και μεταεδρικής ουράς) είναι:

- ❖ Η αμφίπλευρη συμμετρία, η κεφαλοποίηση, και το χαρακτηριστικό σωματικό πλάνο που διακρίνεται στην κεφαλή, (αυχένα), τον κορμό και την ουρά. Επίσης, η ανεπτυγμένη περισπλαχνική κοιλότητα, που συνήθως παρεμβάλλεται στο χώρο μεταξύ του πεπτικού σωλήνα και του εξωτερικού σωματικού τοιχώματος.
- ❖ Το σύστημα των σωματικών περιβλημάτων (επιδερμίδα, δερμίδα, δερματικά παράγωγα).
- ❖ Ο χαρακτηριστικός ενδοσκελετός που χρησιμεύει για την προστασία των οργάνων, την στήριξη και την κίνηση.
- ❖ Το ολοκληρωμένο πεπτικό σύστημα (πεπτικοί αδένες, ήπαρ, πάγκρεας).
- ❖ Ο μυώδης διάτρητος φάρυγγας με (κυρίως) αναπνευστική λειτουργία.
- ❖ Η κοιλιακά τοποθετημένη, διαμερισματοποιημένη καρδιά.
- ❖ Το ανεπτυγμένο μυϊκό σύστημα, συνδεδεμένο με τον σκελετό.
- ❖ Το ανεπτυγμένο νευρικό σύστημα (εγκεφαλονωτιαίο νευρικό, αυτόνομο συμπαθητικό) και ο εγκέφαλος με τρεις βασικές υποδιαίρεσεις.
- ❖ Τα ανεπτυγμένα αισθητήρια όργανα.
- ❖ Οι ενδοκρινείς αδένες.



Εικ. 1.4. Εσωτερική δομή αμφιοζύ. 1: χαρακτηριστικά των δευτεροστομίων, 2: χαρακτηριστικά των σπονδυλωτών, 3: χαρακτηριστικά των κεφαλοχορδωτών (από Hildebrand, 1995).

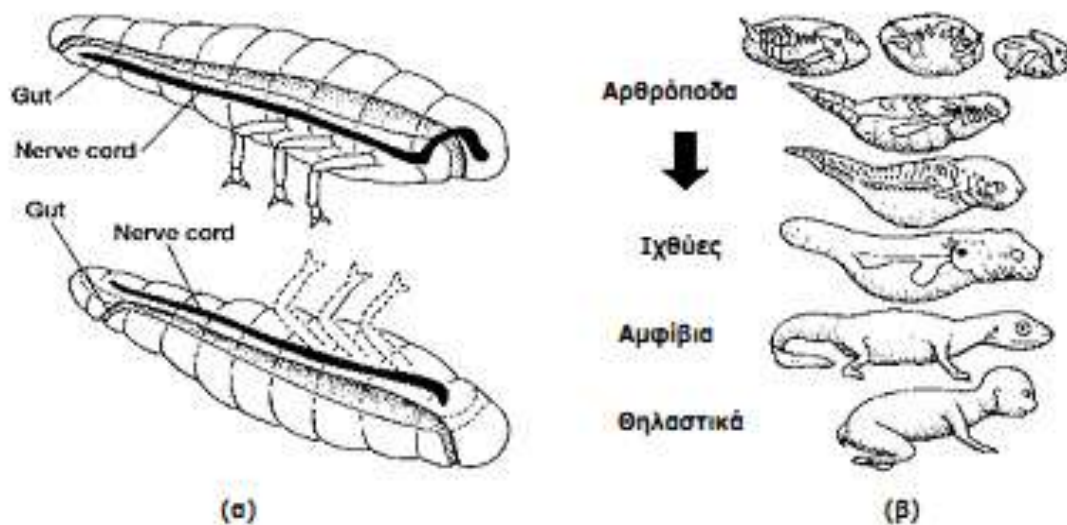
1.5. Προέλευση των χορδωτών

Το γεγονός ότι δεν υπάρχουν απολιθώματα μεταξύ των οστρακόδερμων και των υπόλοιπων ζωικών ομάδων καθιστά δύσκολη την ακριβή απάντηση ως προς την προέλευση των χορδωτών. Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί υποθέσεις για την καταγωγή τους από τα αρθρόποδα και τους δακτυλιοσκόληκες (Εικ. 1.5) ή τα εχινόδερμα (Εικ. 1.6).

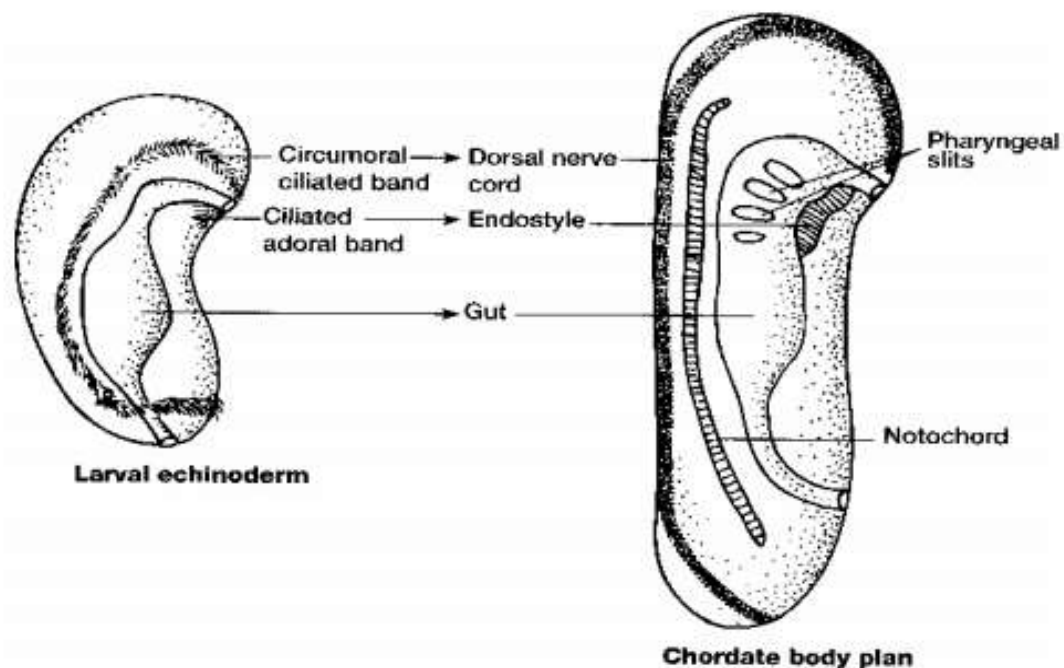
Ο Geoffroy Saint-Hillaire, ανέπτυξε το 1882 τη θεωρία της προέλευσης των χορδωτών από τα αρθρόποδα βασιζόμενος στη ύπαρξη κοινών χαρακτηριστικών, όπως: (1) η παρουσία μεταμέρειας, (2) η διάκριση και παρόμοια χωροθέτηση (localization) σε πρόσθιο και οπίσθιο εγκέφαλο, (3) το παρόμοιο, αλλά ανάστροφο, σωματικό πλάνο (με αναστροφή δηλαδή του βασικού σωματικού πλάνου των δακτυλιοσκόληκων - αρθροπόδων παράγεται το βασικό πλάνο των χορδωτών αφού η νευρική χορδή τοποθετείται τώρα ραχιαία του εντέρου) (Εικ. 1.5α). Η ανάπτυξη αυτής της θεωρίας ξεκινά με τους ναύπλιους των καρκινοειδών και άλλων αρθρόποδων που κολυμπούν με τα πόδια τους προς τα πάνω και πίσω κάτω. Μέσω μεταβατικών μορφών, θεώρησε ότι αυτές οι αλλαγές οδήγησαν στα σπονδυλωτά (Εικ. 1.5β).

...Και ο αντίλογος, οι περισσότερες ομοιότητες οφείλονται σε αναλογία και όχι σε ομολογία:

- (1) Η μεταμέρεια του εξωσκελετού των αρθροπόδων δεν έχει σχέση με τη μεταμέρεια των μυομερών των χορδωτών,
- (2) Η νευρική χορδή στα αρθρόποδα είναι συμπαγής και όχι κοίλη όπως στα χορδωτά και αναπτύσσεται εμβρυολογικά με διαφορετικό τρόπο,
- (3) Τα αρθρόποδα είναι πρωτοστόμια, ενώ τα χορδωτά δευτεροστόμια, άρα υπάρχουν θεμελιώδεις διαφορές στον τρόπο σχηματισμού του κοιλώματος, της προέλευσης του μεσοδέρματος, του μοντέλου των αυλακώσεων, και του άξονα συμμετρίας.
- (4) Το στόμα και η έδρα των σπονδυλωτών είναι τοποθετημένα κοιλιακά. Αν δεχτούμε την αναστροφή τότε το στόμα και η έδρα θα έπρεπε να μεταναστεύσουν στην κοιλιακή πλευρά ή να δημιουργηθούν εκ νέου (νεοσχηματισμός).



Εικ. 1.5. Προέλευση των χορδωτών από δακτυλιοσκόληκες και αρθρόποδα (Geoffroy Saint-Hillaire, 1882) (από W. Patten, *The evolution of the Vertebrates and their kin*, 1912. Philadelphia: P. Blakiston's Son & Co).



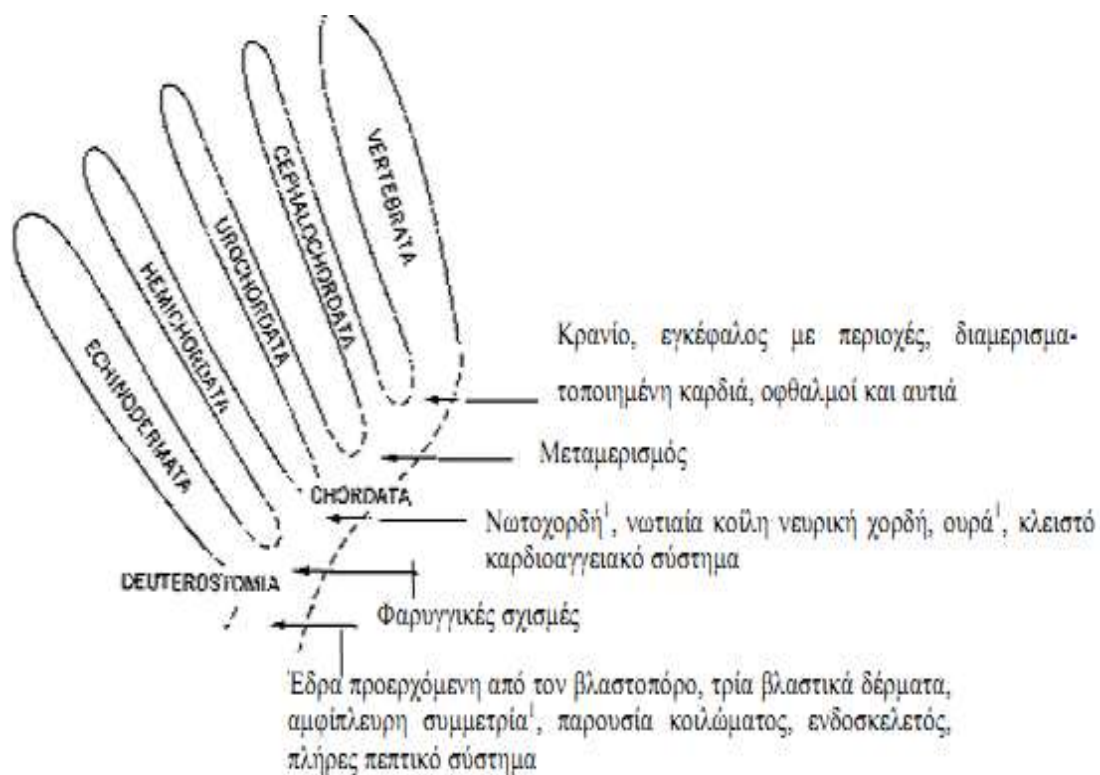
Εικ. 1.6. Προέλευση των χορδωτών από εχινόδερμα (W. Garstang, 1984)

Τόσο τα εχινόδερμα όσο και τα χορδωτά είναι δευτεροστόμια που εμφανίζουν ομοιότητες στον τύπο αλάκωσης και στο σχηματισμό του μεσοδέρματος και της σωματικής κοιλότητας. Οι νύμφες των εχινόδερμων είναι αμφιπλευροσυμμετρικές και εμφανίζουν πολλές ομοιότητες με τις προνύμφες (τορνάρια) των ημιχορδωτών.

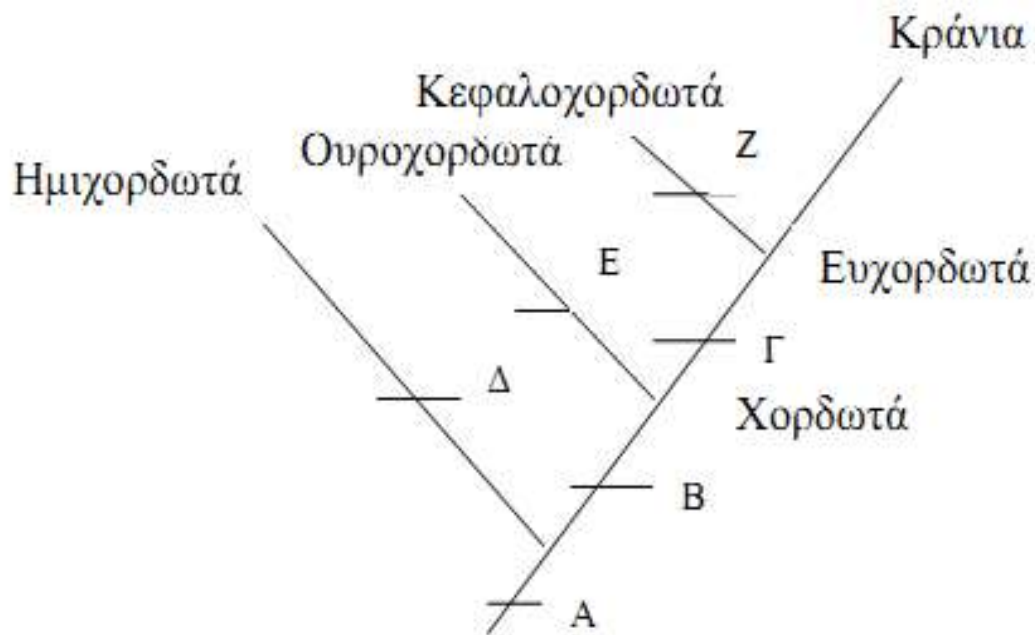
Λόγω αυτών των ομοιοτήτων ο Garstang πρότεινε την θεωρία ότι τα χαρακτηριστικά των χορδωτών πρωτοεμφανίστηκαν στην νύμφες των εχινόδερμων. Οι νύμφες χαρακτηρίζονται από έναν απλό πεπτικό σωλήνα και από δύο κροσσωτές λωρίδες που εξυπηρετούν την κίνηση (circumoral ciliated band) και την διατροφή (ciliated adoral band). Από την ραχιαία μετακίνηση και ένωση της λωρίδας των κινητικών βλεφαρίδων και της υποκείμενης νευρικής οδού σχηματίστηκε η νωτιαία νευρική χορδή (dorsal nerve cord) των χορδωτών. Από την λωρίδα των διατροφικών βλεφαρίδων σχηματίστηκε το ενδόστυλο των χορδωτών (Εικ. 1.6).

Όμως τα ενήλικα εχινόδερμα δεν εμφανίζουν ομοιότητες με τον πιθανό κοινό πρόγονο των χορδωτών. Επίσης, αν και τα ημιχορδωτά είναι πιο κοντά στα χορδωτά από ότι στα εχινόδερμα, δομές όπως αυτή του κυκλοφορικού τους συστήματος, η προβοσκίδα (πρόσωμα) και το μεσόσωμα δύσκολα θα μπορούσαν να εξελιχθούν στο σωματικό πλάνο των χορδωτών. Παρομοίως, τα ενήλικα ουροχορδωτά έχουν απολέσει τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα των χορδωτών (νωτοχορδή, νευρική χορδή, κοίλωμα) και έχουν αναπτύξει πολύ εξειδικευμένες δομές (π.χ. χιτώνας, σίφωνες). Έτσι είναι σήμερα παραδεκτό ότι τα σπονδυλωτά εμφανίζουν μεγαλύτερη συγγένεια με τα κεφαλοχορδωτά παρά με τα ουροχορδωτά, και ότι από τα συγγενή φύλα τα ημιχορδωτά είναι πλησιέστερα στα εχινόδερμα.

Είναι πολύ πιθανό ότι τα εχινόδερμα, τα ημιχορδωτά και τα χορδωτά να προήλθαν από μια κοινή προγονική γραμμή πριν από περίπου 600 εκατομμύρια χρόνια (Εικ. 1.7, 1.8).



Εικ. 1.7. Φυλογενετικές σχέσεις των χορδωτών και των πλησιέστερων συγγενών τους (τουλάχιστο στις νύμφες) (από Hildebrand, 1995).



Εικ. 1.8. Κλαδόγραμμα προέλευσης των σπονδυλωτών. Τα Α-Ε δηλώνουν κλάδους του δένδρουγραμματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά (synapomorphies). Ο ανεπίσημος όρος πρωτοχορδωτά περιλαμβάνει τα Ουροχορδωτά και τα Κεφαλοχορδωτά.

Χαρακτηριστικά των Ημιχορδωτών και Χορδωτών (Α στο διάγραμμα της Εικ. 1.8)

1. Παρουσία φαρυγγικών σχισμών.

Χαρακτηριστικά των Χορδωτών (Β στο διάγραμμα της Εικ. 1.8)

1. Παρουσία της νωτιαίας κοίλης νευρικής χορδής μόνο στην ουρά των νυμφών.
2. Παρουσία νωτοχορδής μόνο στην ουρά των νυμφών.
3. Μυώδης ουρά και παρουσία σχετικών νέρων πίσω από την έδρα (δηλαδή μεταεδρική ουρά).
4. Παρουσία ενδόστυλου (ομόλογη δομή με τον θυρεοειδή αδένα)

Χαρακτηριστικά των Ευχορδωτών (Γ στο διάγραμμα της Εικ. 1.8)

1. Μυώδης ουρά και σχετικά νεύρα με μεταμέρεια.
2. Παρουσία σωματιών.
3. Παρουσία πεπτικής απόληξης (ομόλογη δομή με το συκώτι).
4. Παρουσία κυκλοφορικού συστήματος, με ραχιαία και κοιλιακή αορτή.
5. Νευρικός σωλήνας διαφοροποιημένος σε φαία και λευκή ουσία.
6. Παρουσία νωτιαίας κοίλης νευρικής χορδής κατά μήκος όλου του σώματος.
7. Παρουσία νωτοχορδής κατά μήκος όλου του σώματος.

Χαρακτηριστικά των Ημιχορδωτών (Δ στο διάγραμμα της Εικ. 1.8)

Σώμα που διακρίνεται σε 3 περιοχές: προβοσκίδα ή πρόσωμα, περιλαίμιο ή μεσόσωμα και κορμό ή μετάσωμα.

1. Παρουσία στομοχορδής (προστοματικό εντερικό εγκόλπωμα)

Τα ημιχορδωτά είναι αποκλειστικά αμφιπλευροσυμμετρικοί θαλάσσιοι οργανισμοί που ζουν βυθισμένα στην ιλύ ή μεταξύ των βράχων και των φυτών. Τα ημιχορδωτά περιλαμβάνουν δύο ομάδες, τα εντερόπνευστα και τα περοβράγχια.

Χαρακτηριστικά των Ουροχορδωτών (Ε στο διάγραμμα της Εικ. 1.8)

Τα ουροχορδωτά (περίπου 2,000 είδη) είναι θαλάσσιοι οργανισμοί που ζουν ελεύθερα ή προσκολλημένα. Μόνο τα νυμφικά στάδια εμφανίζουν τα χαρακτηριστικά των χορδωτών, ενώ μετά τη μεταμόρφωση στα ενήλικα άτομα εξαφανίζεται με φαγοκυττάρωση η νωτοχορδή και οι μύες της ουράς. Επίσης στο τέλειο άτομο το ουραίο μεσόδερμα μεταναστεύει στον κορμό και απορροφάται, εξαφανιζομένου έτσι του περιβλήματος της ουράς. Το σώμα τους περιβάλλεται από ένα περίβλημα, το χιτώνα. Τα ουροχορδωτά περιλαμβάνουν τρεις ομοταξίες, τα ασκίδια, τα σαλποειδή και τους κωπηλάτες.

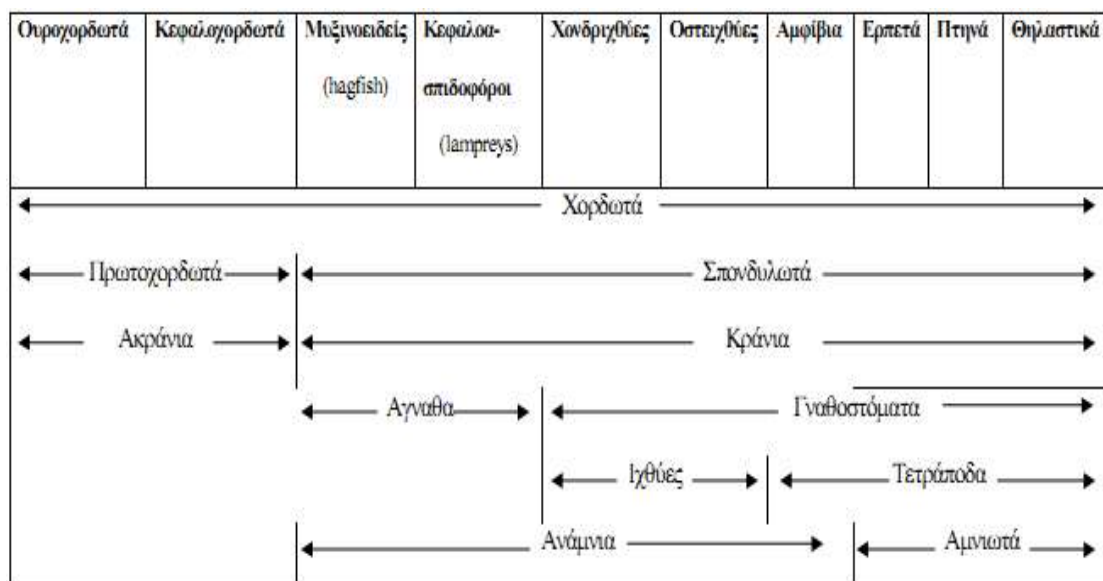
Χαρακτηριστικά των Κεφαλοχορδωτών (Ζ στο διάγραμμα της Εικ. 1.8)

Τα κεφαλοχορδωτά περιλαμβάνουν 30 είδη θαλάσσιων οργανισμών (αμφίοξοι) που ζουν σε τροπικές, υποτροπικές και εύκρατες περιοχές και ανευρίσκονται συνήθως χωμένα με στην άμμο. Το κυριότερο χαρακτηριστικό τους (synapomorphies) είναι το κυκλικό όργανο και οι αισθητικές κεραίες που περιβάλλουν την προστοματική χοάνη.

1.6. Σπονδυλωτά.

Αναφέραμε ήδη τα χαρακτηριστικά των σπονδυλωτών. Ποιο όμως είναι εκείνο το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των σπονδυλωτών που τα διακρίνει από τα άλλα υποφύλα των χορδωτών; Τα σπονδυλωτά, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, χαρακτηρίζονται από την παρουσία μεταμερικής σειράς μικρών σκελετικών δομών, των σπονδύλων. Υπάρχουν όμως μερικά είδη που έχουν μη ολοκληρωμένους σπονδύλους και επίσης υπάρχουν βάσιμοι λόγοι να υποθέσουμε ότι τα πρώτα σπονδυλωτά δεν είχαν καθόλου τέτοιες δομές. Έτσι, το κύριο χαρακτηριστικό των σπονδυλωτών είναι το κρανίο. Το κρανίο υποστηρίζει και προστατεύει τον εγκέφαλο. Η παρουσία του εγκεφάλου, του κρανίου και των περισσότερων αισθητηρίων οργάνων στο κεφάλι δίνει στα σπονδυλωτά μια χαρακτηριστική κεφαλοποίηση που μπορεί να προσεγγιστεί μόνο με αυτή που παρατηρείται σε κάποια αρθρόποδα. Θα μπορούσαμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι «κάθε ζώο που έχει κρανίο είναι σπονδυλωτό».

Παραδοσιακή διάκριση του Φύλου των Χορδωτών



Ταξινόμηση των σπονδυλωτών

Σύμφωνα με την παραδοσιακή ταξινόμηση τα σπονδυλωτά περιλαμβάνουν την υπερομοταξία των Αγναθων και τις ομοταξίες των Χονδριχθύων, Οστεϊχθύων, Αμφιβίων, Ερπετών, Πτηνών και Θηλαστικών. Από αυτές μόνο οι ταξινομικές βαθμίδες των χονδριχθύων, των πτηνών και των θηλαστικών είναι μονοφυλετικές. Οι υπόλοιπες (άγναθα, οστεϊχθύες, αμφίβια και ερπετά) είναι παραφυλετικές. Έτσι εμφανίζονται ενδιαφέρουσες αποκλίσεις στην ταξινόμηση των ανώτερων βαθμίδων των σπονδυλωτών, ανάλογα με την εφαρμογή των αρχών των δύο σχολών κατάταξης των οργανισμών, της φαινετικής και της κλαδιστικής σχολής. Οι κλαδιστές θεωρούν ότι η πιο φυσική κατάταξη των χερσαίων σπονδυλωτών θα ήταν τρεις μόνο ομοταξίες (αμφίβια, θηλαστικά, ερπετά). Αντίθετα οι φαινετιστές θεωρούν ότι δεν είναι σωστό να τοποθετηθούν μαζί δύο καλά καθορισμένες φαινοτυπικά ομάδες, τα πτηνά και τα ερπετά, με βάση δευτερογενή και κατ' επέκταση υποκειμενικά κριτήρια.

Κλασσική ταξινόμηση

1. Ομοταξία	Αγναθα
1. Υφομοταξία	Μυξινοειδείς
2. Υφομοταξία	Κυνόδοντα*
3. Υφομοταξία	Κεφαλοασπιδοφόροι
4. Υφομοταξία	Πτερυγοασπιδοφόροι*
2. Ομοταξία	Πλακόδερμοι*
3. Ομοταξία	Χονδριχθύες
1. Υφομοταξία	Ελασμοβράγχιοι
2. Υφομοταξία	Ολοκέφαλοι
4. Ομοταξία	Ακανθόδοντοι*
5. Ομοταξία	Οστεϊχθύες
1. Υφομοταξία	Ακτινοπτερύγιοι (Χονδρόστεοι, Ολόστεοι, Τελεόστεοι)
2. Υφομοταξία	Σαρκοπτερύγιοι (Κροσοπτερύγιοι, Δίπνευστοι)
6. Ομοταξία	Αμφίβια
1. Υφομοταξία	Λαβυρινθόδοντα*
2. Υφομοταξία	Λιποσπόνδυλα*
3. Υφομοταξία	Λισσαμφίβια (Άνουρα, Ουροδελή, Αποδα)
7. Ομοταξία	Ερπετά
1. Υφομοταξία	Αναψιδωτά*
2. Υφομοταξία	Χελώνια
2. Υφομοταξία	Διαψιδωτά
2. Υφομοταξία	Συναψιδωτά
8. Ομοταξία	Πτηνά
1. Υφομοταξία	Αρχαιόρνοιθες*
2. Υφομοταξία	Νεόρνοιθες
Υπέρταξη	Οδοντόγναθα*
Υπέρταξη	Παλαιόγναθα
Υπέρταξη	Νεόγναθα
9. Ομοταξία	Θηλαστικά
1. Υφομοταξία	Πρωτοθήρια
2. Υφομοταξία	Αλλοθήρια*
3. Υφομοταξία	Θήρια (Μεταθήρια, Ευθήρια)

*Εξαφανισμένα

Φυλογενετική ταξινόμηση

Κράνια

Μυξινοειδείς

Σπονδυλωτά

Πετρομυξοειδή

Γναθιστόματα

Χονδριχθίες

Ολοκέφαλοι

Ελασμοβράγχοι

Οστειχθίες

Ακτινοπτερύγιοι

Βραγχιοπτερύγιοι

Ανώνυμο ταχοπ

Χονδρόστεοι

Νεοπτερύγιοι

Ρομβογανοειδείς (Lepisosteus)

Ανώνυμο ταχοπ

Κυκλογανοειδείς (Amia)

Τελοόστεοι

Σαρκοπτερύγιοι

Ακτινίστιοι ή κοιλάκανθοι

Χοανιχθίες

Δίπνευστοι

Τετράποδα

Άποδα

Βατράγια

Άνοιρα

Ουροδελή

Αμνιωτά

Θηλαστικά

Μονοτρήματα

Θήρια

Μαρσιποφόρα

Ευθήρια

Ερπετά

Χελώνια

Σαύρια

Λεπίδοσαύρια

Ρυγχοκέφαλα

Φολιδωτά

Αρχοσαύρια

Κροκοδείλια

Πτηνά

Ζώντα χορδωτά: Ονοματολογία και αριθμός ειδών (τροποποιημένο από Walker, 1987; Wake, 1979; *Duellman and Trueb, 1986; **Dowling and Duellman, 1978).

Επιστημονική ονοματολογία		Αριθμός ειδών	Κοινό όνομα (στα αγγλικά)
Hemichordata	Ημιχορδωτά	100	acorn worms, pterobranchs
Urochordata	Ουροχορδωτά	2000	sea squirts, larvaceans
Cephalochordata	Κεφαλοχορδωτά	45	amphioxus or lancelets
Myxinoidea	Μυξινοειδείς	30	hagfish
Petromyzontia	Πετρομυζονοειδή	40	lampreys
Chondrichthyes	Χονδριχθύες		
Elasmobranchii	Ελασμοβράγχιοι	670	sharks, skates, rays
Holocephali	Ολοκέφαλοι	30	ratfish or chimaeras
Actinopterygii	Ακτινοπτερύγιοι		
Brachiopterygii	Βραγχοπτερύγιοι	13	reedfish or hichirts
Chondrostei	Χονδρόσταιοι	22	sturgeon, paddlefish
Lepistosteus	Ρομφλογανοειδείς	7	gar
Amia	Κυκλογανοειδείς	1	bowfin or choupique
Teleostei	Τελεόσταιοι	≈ 25000	
Actinistia	Ακτινίσταιοι ή κοιλιάκανθοι	1 ή 2	coelacanth, <i>Latimeria</i>
Dipnoi	Δίπνευστοι	6	lungfish
Amphibia	Αμφίβια		
Gymnophiona	Αποδα	*160	caecilians
Caudata	Ουροδελη	*350	salamanders
Anura	Άνουρα	5000	frogs
Mammalia	Θηλαστικά		
Monotremata	Μονοτρήματα	6	platypus, echidna
Marsupialia	Μαρσιποφόρα	240	opposum, kangaroos, koalas,
Eutheria	Ευθήρια	4300	wombats etc.
Testudinata	Χελώνια	**230	turtles, tortoises, terrapins
Lepidosauria	Λεπιδοσαύρια		
Sphenodontia	Ρυγγοκέφαλα	2	tuatara, <i>Sphenodon</i>
Squamata	Φολιδωτά		
Lizards	Σαυροειδή	**3000	lizards
Ophidia	Οφιοειδή	**2330	snakes
Amphisbaenia	Αμφιβαινοειδή	**140	amphisbaenians
Aves	Πτηνά	8700	birds
Crocodylia	Κροκοδείλλομορφα	**21	alligators, crocodiles, gavials

1.7. Ομοιόσταση

Ομοιόσταση (Walter Cannon, 1930): «Διατήρηση της ισορροπίας και επαναφορά της φυσικής κατάστασης».

Οι ομοιοστατικοί μηχανισμοί προστατεύουν το εσωτερικό περιβάλλον του οργανισμού από δυσμενείς διακυμάνσεις του εξωτερικού ή εσωτερικού (μεταβολική δραστηριότητα, προϊόντα του κυτταρικού μεταβολισμού) περιβάλλοντος.

1.7.1. Ομοιοστατικοί μηχανισμοί

- Ρύθμιση της ποσότητας του νερού και/ή
- Ρύθμιση της συγκέντρωσης των αλάτων των σωματικών υγρών (Ισοζύγιο ύδατος, Ωσμωρύθμιση, Απέκκριση)
- Ρύθμιση της θερμοκρασίας στο βέλτιστο εύρος του μεταβολισμού

1.7.2. Προσαρμοστικοί μηχανισμοί

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα ζώα που ζουν στα γλυκά νερά, στη θάλασσα και στη ξηρά σε σχέση με τη διατήρηση της υδατικής ισορροπίας, της ισορροπίας των αλάτων, της απέκκρισης των προϊόντων του μεταβολισμού και της θερμορύθμισης είναι διαφορετικά. Έτσι τα σπονδυλωτά για να εξασφαλίσουν την ομοιόσταση έχουν αναπτύξει διάφορες προστατευτικές δομές καθώς και συγκεκριμένες ηθολογικές και φυσιολογικές προσαρμογές. Οι κυριότερες δομικές προσαρμογές που εμφανίζονται στα σπονδυλωτά που ζουν σε υποτονικό μέσο, όπως είναι τα γλυκά νερά, είναι: (1) το αδιαπέρατο στρώμα βλέννας πάνω στο δέρμα τους (όπως στους κυκλόστομους, στους περισσότερους οστεϊχθύες και στα αμφίβια), (2) η μείωση της δερμικής αιματικής τροφοδοσίας (όπως στα ψάρια), (3) η εξωτερική οστέινη θωράκιση (όπως σε μερικά οστρακόδερμα και πλακόδερμα), και (4) η αύξηση του μεγέθους του αγγειώδους σπειράματος.

Οι κυριότερες δομικές προσαρμογές που εμφανίζονται σε διάφορα σπονδυλωτά που ζουν σε υπερτονικό μέσο, όπως είναι το θαλασσινό νερό, είναι: (1) το αδιαπέρατο στρώμα βλέννας πάνω στο δέρμα τους, (2) η μείωση της δερμικής αιματικής τροφοδοσίας, (3) η μείωση του μεγέθους του αγγειώδους σπειράματος, και (4) την αύξηση της ωσμωτικής πίεσης των σωματικών υγρών στο ίδιο επίπεδο με αυτό του περιβάλλοντος με διάφορους μηχανισμούς, όπως την αύξηση της συγκέντρωσης της ουρίας στο αίμα (χονδριχθύες), την αποβολή των αλάτων που προσλήφθηκαν μαζί με το νερό από τα βράγχια (τελεόστεοι), την απέκκριση αλάτων από αδενικό ιστό που υπάρχει στους ρόθωνες (θαλάσσια πτηνά), την απέκκριση των αλάτων με τη δημιουργία υπερτονικών ούρων (θαλάσσιες πτηνά και θηλαστικά), ή την απέκκριση αλάτων από τους δακρυϊκούς αδένες (θαλάσσιες χελώνες).

Οι προσαρμογές που εμφανίζονται στα σπονδυλωτά που ζουν στην ξηρά, είναι: (1) η ανάπτυξη αδιαπέρατου επιδερμικού καλύμματος υπό τη μορφή κερατίνης (σε όλα τα αμνιωτά), (2) η μείωση της αγγείωσης του δέρματος (σε όλα τα αμνιωτά), (3) η σμίκρυνση του μεγέθους του αγγειώδους σπειράματος (στα ερπετά και πτηνά), (4) η επαναρρόφηση του νερού διαμέσου του τοιχώματος της αμάρας (στα ερπετά και πτηνά), (5) η ανάπτυξη εξειδικευμένης δομής (αγκύλη του Henle) στα ουροφόρα σωληνάρια για την επαναρρόφηση του νερού (ανεπτυγμένη ειδικά στα θηλαστικά, υπολειμματική στα πτηνά), (6) η απέκκριση ουρικού οξέος για να μειωθεί η απώλεια του νερού στο ελάχιστο (στα πτηνά και σε μερικά ερπετά), (7) η τελειοποίηση του ορμονικού ελέγχου της παραγωγής ούρων (αντιδιουρητική ορμόνη, θηλαστικά), (8) η ικανότητα αξιοποίησης του νερού που παράγεται από τον οξειδωτικό μεταβολισμό (σε κάποια τρωκτικά της ερήμου).

1.7.3. Ωσμωτική ρύθμιση

Σκοπός της ωσμωρύθμισης είναι η διατήρηση του εσωτερικού υγρού περιβάλλοντος σε μια σταθερή από απόψεως σύνθεσης κατάσταση, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε αλλαγές του εσωτερικού ή εξωτερικού περιβάλλοντος.

Ισορροπία στην πρόσληψη και στις απώλειες του νερού για τα υδρόβια(**) και χερσόβια σπονδυλωτά (*μεταβολικό νερό: για κάθε 100 g πρωτεΐνης που καταβολίζεται πλήρως, παράγονται 41,3 g νερού, για κάθε 100 g υδατάνθρακα 55,5 g νερού, και για κάθε 100 g. λίπους 107,1 g νερού).

Πηγές πρόσληψης νερού	Απώλειες
Τροφή	Εξάτμιση
Πόση	Απέκκριση
Οξειδωτικός μεταβολισμός*	Ωσμωση**

Αν για οποιαδήποτε λόγο, η πυκνότητα του μεσοκυττάρου υγρού υψωθεί, τότε δημιουργείται ωσμωτική πίεση η οποία προκαλεί αφυδάτωση των κυττάρων, καθώς και απώλεια ιόντων στα οποία η κυτταρική μεμβράνη είναι διαπερατή, με αποτέλεσμα το θάνατο του κυττάρου. Αντίθετα, όταν η πυκνότητα του μεσοκυττάρου υγρού ελαττωθεί, τότε η ωσμωτική πίεση που θα δημιουργηθεί θα προκαλέσει την είσοδο νερού στα κύτταρα με αποτέλεσμα τη κυτταρολυσία. Οι μηχανισμοί ωσμωρύθμισης που έχουν αναπτύξει τα σπονδυλωτά ποικίλουν ανάλογα με τα διάφορα περιβάλλοντα.

1.7.4. Υδρόβια σπονδυλωτά

I. Οι υδρόβιοι οργανισμοί με βάση την σύγκριση της συγκέντρωσης των διαλυμένων συστατικών (osmolarity) μεταξύ των σωματικών υγρών και του εξωτερικού περιβάλλοντος, διακρίνονται σε:

- Υπερωσμωτικοί = σωματικά υγρά υπερτονικά ως προς το εξωτερικό περιβάλλον,
- Υποωσμωτικοί = σωματικά υγρά υποτονικά ως προς το εξωτερικό περιβάλλον,
- Ισοωσμωτικοί = σωματικά υγρά παρόμοιας ωσμωμοριακότητας ως προς το εξωτερικό περιβάλλον.

II. Οι υδρόβιοι οργανισμοί με βάση τον τρόπο που εξασφαλίζουν την υδατική ισορροπία διακρίνονται σε:

- Ωσμωσυμμορφωτές (Osmotic conformers) = απουσία ενεργητικών μηχανισμών ωσμωρύθμισης,
- Ωσμωρυθμιστές (Osmotic regulators) = ικανότητα ωσμωρύθμισης των σωματικών υγρών.

III. Οι υδρόβιοι οργανισμοί με βάση την ικανότητα προσαρμογής τους σε διαφορές αλατότητας διακρίνονται σε:

- Στενόαλοι = δεν αντέχουν μεγάλες διακυμάνσεις αλατότητας,
- Ευρύαλοι = επιβιώνουν σε νερά με σημαντικές διακυμάνσεις αλατότητας.

	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Urea	TMAO	Total
Θ. νερό	439	513	9,3	50	9,6	26	0	0	1020
Hagfish ¹	486	508	8,2	12	5,1	3	-	-	1035
Καρχαρία ²	255	241	6,0	3,0	5	0,5	441	72	1118

¹Myxine glutinoza, ²Scyllorhinus canicula

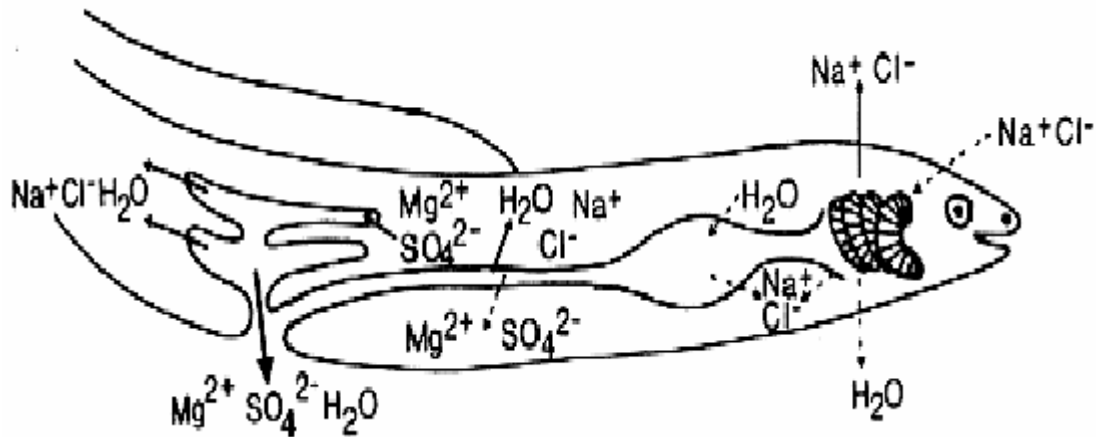
❖ **Μυξίνοι → Ωσμωσυμμορφωτές**

❖ **Χονδριχθύες**

Οι χονδριχθύες συγκαταούν ουρία στα σωματικά υγρά, παράγουν και αποθηκεύουν trimethylamine oxide (TMAO) στο αίμα, που προστατεύει από την αποδιάταξη των πρωτεϊνών από την ουρία. Επίσης, δεν πίνουν νερό και εκκρίνουν άλατα και ουρία από τους εδρικούς αδένες και τα νεφρά. Έτσι οι χονδριχθύες έχοντας αναπτύξει αυτές τις προσαρμογές καταφέρνουν, αν και έχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις των επιμέρους ιόντων στα σωματικά υγρά, να είναι στο σύνολο υπερτονικοί ως προς το θαλασσινό νερό.

❖ **Θαλάσσιοι οστεϊχθύες**

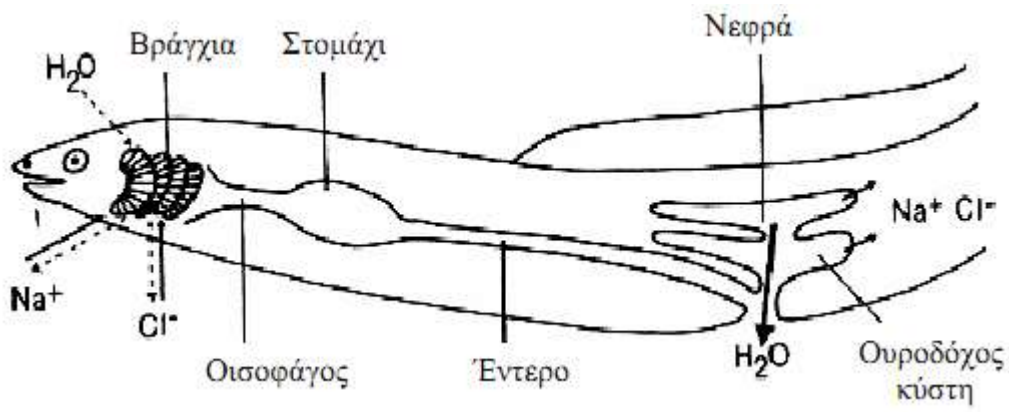
Οι οστεϊχθύες που διαβιούν στο θαλασσινό νερό είναι υποτονικοί ως προς το εξωτερικό περιβάλλον (ωσμωτική συγκέντρωση του θαλασσινού νερού $\approx 1020 \text{ mosm/l}$ και των σωματικών υγρών $350 - 450 \text{ mosm/l}$). Για να αντιμετωπίσουν τις απώλειες του νερού λόγω ώσμωσης πίνουν άφθονο νερό και εκκρίνουν μικρή ποσότητα ούρων (υπολειπόμενα ή ελάχιστα αγγειωμένα Μαλπιγιανά σωμάτια). Αυτό όμως δημιουργεί ένα επιπρόσθετο πρόβλημα, την αύξηση των αλάτων στο έντερο. Οι οστεϊχθύες αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα με εκλεκτική έκκριση μονοσθενών ιόντων ($\text{Na}^+ - \text{K}^+$ ATPase) από ειδικά κύτταρα των βραγχίων (χλωροκύτταρα) καθώς και με την (Εικ. 1.9).



Εικ. 1.9. Ωσμωρύθμιση σε θαλάσσιους οστεϊχθύες

❖ **Οστεϊχθύες των γλυκών νερών**

Οι οστεϊχθύες που διαβιούν στο γλυκό νερό είναι υπερτονικοί ως προς το εξωτερικό περιβάλλον (ωσμωτική συγκέντρωση του γλυκού νερού $1-20 \text{ mosm/l}$ και των σωματικών υγρών $250 - 350 \text{ mosm/l}$). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την είσοδο νερού στο σώμα λόγω ώσμωσης και την συνεχή απώλεια (διάχυση) αλάτων από το σώμα στο περιβάλλον νερό διαμέσου των βραγχίων και των νεφρών. Για να εξασφαλίσουν την ωσμωτική ισορροπία αποβάλλουν μεγάλες ποσότητες ούρων (μεγάλα-ανεπτυγμένα νεφρά) και αντικαθιστούν τις ιοντικές απώλειες (κυρίως Na^+ και Cl^-) με ενεργητική μεταφορά από τα βράγχια στο πλάσμα (Εικ. 1.10).



Εικ. 1.10. Ωσμορύθμιση σε οστεϊχθύες των γλυκών νερών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΤΤΑΡΟΛΟΓΙΑΣ

2.1. Εισαγωγή

Εδώ και αρκετά χρόνια οι περισσότεροι επιστήμονες έχουν αποδεχτεί την κατάταξη των έμβιων όντων σε πέντε Βασίλεια, τα οποία είναι:

- ❖ Monera (Μονήρη = βακτήρια και κυανοφύκη),
- ❖ Protoctista ή Protista (τα πρώτιστα, είναι απλοί ευκαρυωτικοί
- ❖ οργανισμοί που δεν περιλαμβάνονται στις άλλες ομάδες),
- ❖ Fungi (Μύκητες),
- ❖ Plantae (Φυτά) και
- ❖ Animalia (Ζώα).

Στα Βασίλεια κατατάσσονται οι οργανισμοί οι οποίοι διαθέτουν τους κατάλληλους μηχανισμούς για να επιβιώσουν ως αυτόνομοι. Υπάρχουν όμως και άλλες ομάδες όντων οι οποίες αποτελούν ιδιαίστες μορφές ζωής και εξετάζονται ιδιαίτερες. Τέτοιες μορφές ζωής αποτελούν οι ιοί τα ιοειδή (Viroids), και τα Prions. Τα μυκοπλάσματα, τα οποία διαθέτουν ενδιάμεση μορφή οργάνωσης μεταξύ των ιών και των βακτηρίων, κατατάσσονται στα τελευταία.

Μια πιο προσεκτική μελέτη της υπομικροσκοπικής και μοριακής δομής, καθώς και η μελέτη των διαφόρων μεταβολικών μηχανισμών όπως π.χ. η πρωτεϊνοσύνθεση, η αντιγραφή και ο διπλασιασμός του DNA, ή δομών όπως τα ριβοσώματα, τα μαστίγια κλπ. μας δείχνουν την ομοιομορφία και κοινή προέλευση των οργανισμών. Οι διαφορές που παρατηρούνται στη δομή, μορφή και λειτουργία των οργανισμών που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, έχουν προκύψει από τις διαφορετικές φυσιολογικές ανάγκες των οργανισμών αυτών (π.χ. αυτότροφοι - ετερότροφοι οργανισμοί) ή τη διαφορετική αντιμετώπιση κοινών προβλημάτων όπως για παράδειγμα η κίνηση, η ρύθμιση της ωσμωτικής πίεσης, η άμυνα, η εύρεση τροφής κλπ. Οι διαφορές αυτές, σχεδόν πάντα, φτάνουν μέχρι και το υπομικροσκοπικό ή ακόμα και το μοριακό επίπεδο.

Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι τα κοινά οργανίδια και δομές που διαθέτουν τα φυτικά και τα ζωικά κύτταρα (π.χ. μιτοχόνδρια, ενδοπλασματικό δίκτυο, Golgi κλπ.) είναι πολύ παρόμοια μορφολογικά και λειτουργικά και στις δυο κατηγορίες κυττάρων και δείχνουν ότι η φυσική επιλογή οδήγησε στην κοινή ή παράλληλη εξέλιξη τους.

Η πιο σημαντική διαφορά ανάμεσα στα φυτά και τα ζώα και που από αυτήν απορρέουν και οι περισσότερες μορφολογικές και φυσιολογικές διαφορές, είναι ο τρόπος θρέψης τους. Σε γενικές γραμμές τα φυτά είναι κατά κανόνα αυτότροφοι οργανισμοί και τα ζώα ετερότροφοι. Αυτότροφοι ή παραγωγοί, είναι οι οργανισμοί που μπορούν να συνθέσουν μόνοι τους οργανικές ενώσεις από απλές ανόργανες, όπως είναι το CO₂ το νερό και τα ανόργανα άλατα και με πηγή ενέργειας κυρίως το ηλιακό φως, τέτοιοι οργανισμοί είναι κατά κανόνα τα πράσινα φυτά τα φωτοσυνθετικά βακτήρια και ορισμένα πρώτιστα. Ετερότροφοι ή καταναλωτές είναι οι οργανισμοί που τρέφονται καταναλώνοντας έτοιμες οργανικές ουσίες που βρίσκονται στο σώμα άλλων ζώων ή φυτών, τέτοιοι οργανισμοί είναι κατά κανόνα τα ζώα και οι μύκητες ενώ ετερότροφα είναι και πολλά βακτήρια και πρώτιστα.

Λόγω αυτής της διαφοράς οι δυο κατηγορίες οργανισμών έχουν εντελώς διαφορετικούς μηχανισμούς για να βρίσκουν την τροφή τους, αλλά και για να προστατεύονται από τους διάφορους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες. Τα μεν

φυτά μπορούν να παίρνουν όλα τα συστατικά που χρειάζονται για τη διαβίωση και ανάπτυξή τους από το άμεσο περιβάλλον τους χωρίς να χρειάζεται να μετακινηθούν (εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων) τα δε ζώα πρέπει να μπορούν να κινηθούν για να φτάσουν στη τροφή τους είτε αυτή είναι κάποιο φυτό (φυτοφάγα ζώα) είτε είναι κάποιο άλλο ζώο (σαρκοφάγα ζώα). Έτσι τα φυτά έχουν προσαρμοστεί ώστε να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα της στατικής ζωής με κυριότερα τη θρέψη, την οικονομία νερού και τη στήριξη. Τα ζώα θα πρέπει να κινηθούν στο περιβάλλον τους για να εξασφαλίσουν τη τροφή τους, το νερό την προστασία τους κλπ. Εξαιρέση αποτελούν ορισμένες ακίνητες, αποκλειστικά υδρόβιες μορφές, όπου κινείται το υγρό μέσον που τα περιβάλλει, όπως είναι για παράδειγμα οι θαλάσσιες ανεμώνες.

2.2. Το μέγεθος των κυττάρων

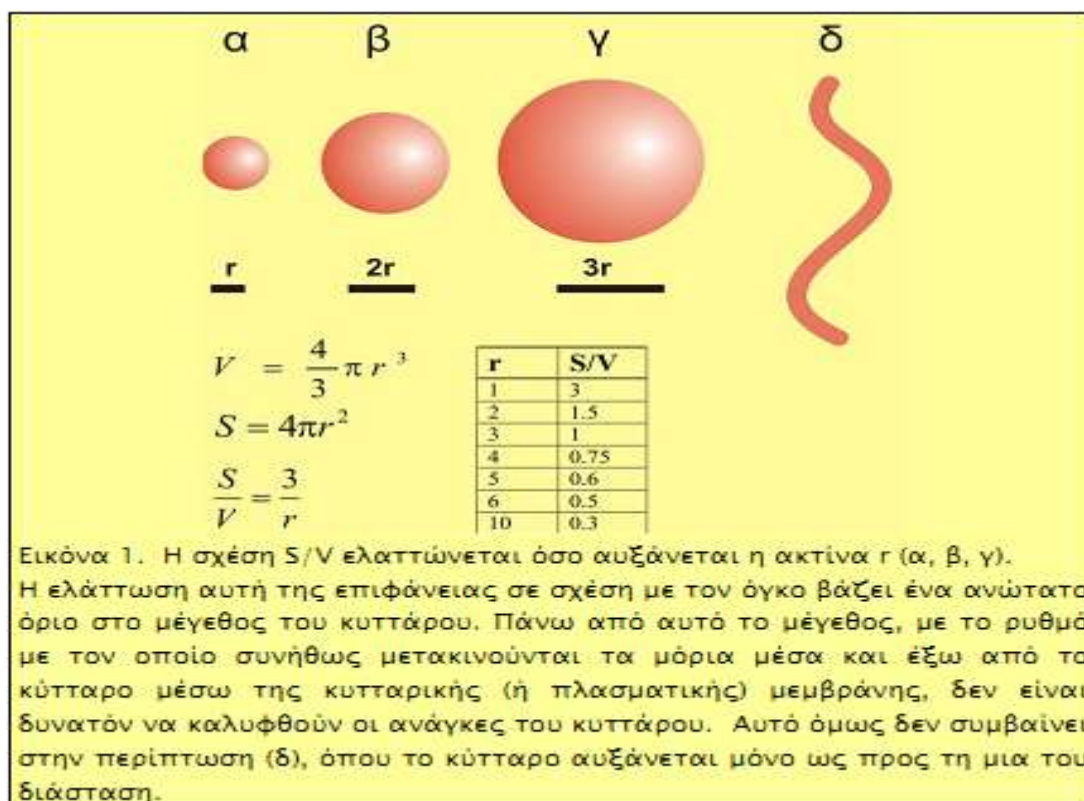
Τα περισσότερα κύτταρα έχουν μικροσκοπικό μέγεθος ενώ από κύτταρο σε κύτταρο μπορεί να υπάρχει μεγάλη διαφορά μεγέθους. Υπάρχουν για παράδειγμα βακτήρια που είναι ορατά μόνο με ένα καλό οπτικό μικροσκόπιο ενώ κάποια εξειδικευμένα ζωικά κύτταρα είναι αρκετά μεγάλα ώστε να είναι ορατά με γυμνό μάτι. Για παράδειγμα το ανθρώπινο ωάριο έχει περίπου το μέγεθος της τελείας στο τέλος αυτής της πρότασης. Τα μεγαλύτερα κύτταρα είναι τα αυγά των πουλιών, δεν μπορούν όμως να θεωρηθούν ως τυπικά κύτταρα επειδή σχεδόν ολόκληρη η μάζα τους αποτελείται από αποταμιευτικές ουσίες που δεν αποτελούν μέρος των λειτουργικών δομών των κυττάρων.

Το μέγεθος και το σχήμα των κυττάρων σχετίζονται με τη λειτουργία τους. Κάποια κύτταρα όπως η αμοιβάδα και τα λευκά αιμοσφαίρια μπορούν να αλλάζουν το σχήμα τους κατά την κίνησή τους και η οποία ονομάζεται αμοιβαδοειδής. Τα σπερματοζωάρια έχουν μακριές ουρές που μοιάζουν με μαστίγια, και χρησιμεύουν στη μετακίνησή τους ενώ τα νευρικά κύτταρα διαθέτουν μακριές προεκβολές που τους επιτρέπουν να μεταδίδουν μηνύματα σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στο σώμα του ζώου. Κάποιες τέτοιες προεκβολές νευρικών κυττάρων του ανθρώπινου σώματος μπορεί να φτάνουν το 1 m μήκος. Κάποια άλλα κύτταρα, όπως είναι τα επιθηλιακά, μπορεί να έχουν σχήμα παραλληλεπίπεδου και να είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο όπως τα τούβλα ενός κτιρίου ή οι πλάκες του πεζοδρομίου.

2.3. Γιατί τα κύτταρα είναι τόσο μικρά

Αν σκεφτούμε πόσες διεργασίες πρέπει να διενεργούνται σ' ένα κύτταρο για να μπορέσει να επιβιώσει, αναπτυχθεί και αναπαραχθεί, αυτό μπορεί να μας βοηθήσει να δώσουμε την απάντηση. Ένα κύτταρο πρέπει να προσλάβει τροφή και άλλα συστατικά μέσω της κυτταρικής του μεμβράνης. Μόλις αυτά τα συστατικά εισέλθουν στο κύτταρο, πρέπει να μετακινηθούν στη σωστή τοποθεσία όπου και θα μετατραπούν σε κάποιες άλλες ουσίες. Οι ουσίες αυτές, με τη σειρά τους, πρέπει να μετακινηθούν μέσα στο κύτταρο για να χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, ορισμένα συστατικά που παράγει ένα κύτταρο, είτε πρέπει να απομακρυνθούν από αυτό πριν τη συσσώρευσή τους σε τοξικό επίπεδο, εφόσον αυτά είναι άχρηστα υποπροϊόντα κάποιων μεταβολικών αντιδράσεων, είτε να εκκριθούν από αυτό, εφόσον πρόκειται για χρήσιμα προϊόντα (π.χ. πεπτικά ένζυμα, ορμόνες κλπ.). Στους πολυκύτταρους οργανισμούς, τα κύτταρα πρέπει ακόμα να εκκρίνουν συστατικά που θα χρησιμοποιηθούν από άλλα κύτταρα. Επειδή όμως τα κύτταρα είναι τόσο μικρά, οι αποστάσεις που πρέπει να διατρέξουν τα διάφορα μόρια είναι σχετικά μικρές, πράγμα που επιταχύνει πολλές κυτταρικές λειτουργίες. Επιπλέον, αφού όλα τα συστατικά πρέπει να περάσουν μέσω της κυτταρικής μεμβράνης, όσο πιο μεγάλη επιφάνεια μεμβρανών διαθέτει το κύτταρο τόσο πιο γρήγορα τα διάφορα μόρια θα περάσουν μέσα από τη μεμβράνη. Αυτό σημαίνει ότι το μέγεθος κάθε κυττάρου υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς. Αν

απαιτείται αύξηση του μεγέθους του κυττάρου αυτό συμβαίνει μόνο ως προς τη μια η το πολύ προς τις δυο διαστάσεις ενώ η τρίτη διατηρείται πάντα περιορισμένη, όπως συμβαίνει στους νευρώνες στα ζώα και στα κολλεγχυματικά κύτταρα στα ανώτερα φυτά. (Εικόνα 2.1).

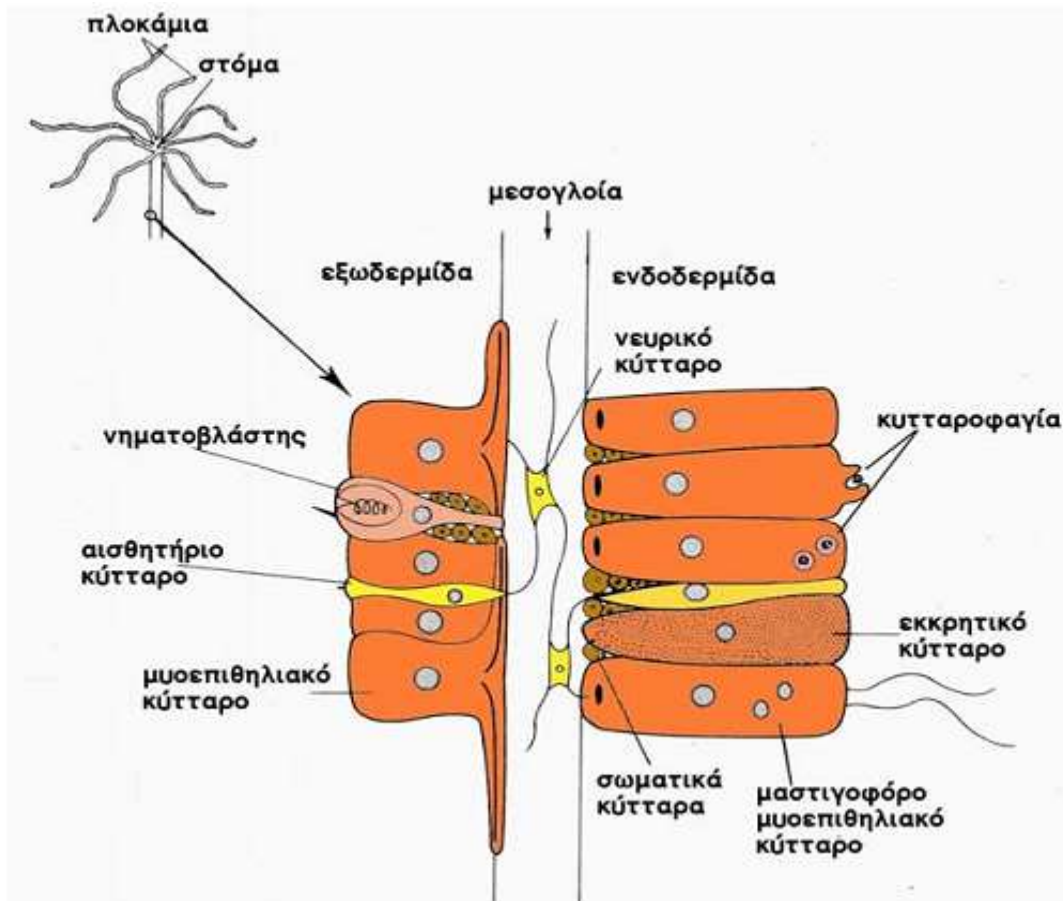


Εικόνα 2.1. Η σχέση S/V ελαττώνεται όσο αυξάνεται η ακτίνα r (α,β,γ).

2.4. Η ποικιλομορφία των κυττάρων.

Δομές όπως τα χρωμοσώματα, τα μιτοχόνδρια, το ενδοπλασματικό δίκτυο κλπ. είναι κοινά στη πλειοψηφία των κυττάρων, παρόλα αυτά το σχήμα, η μορφή και τα συστατικά των κυττάρων εμφανίζουν μεγάλη ποικιλομορφία. Τα δομικά χαρακτηριστικά ενός κυττάρου είναι στενά συνδεδεμένα με τις λειτουργίες του. Εδώ θα αναφερθούν μόνο μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα ορισμένων εξειδικευμένων κυττάρων για να φανεί αυτή η ποικιλομορφία. Τέτοια ποικιλομορφία εμφανίζεται όχι μόνο μεταξύ κυττάρων διαφορετικών ειδών αλλά και ανάμεσα στα κύτταρα του ίδιου είδους.

Έτσι τα κύτταρα του υδρόβιου ζωικού οργανισμού Hydra διαφέρουν σημαντικά από εκείνα του ανθρώπου αν και έχουν τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά και ως προς ένα βαθμό επιτελούν και τις ίδιες λειτουργίες. Το σώμα της Hydra, που είναι ένας σχετικά απλός οργανισμός, αποτελείται από επτά διαφορετικά είδη κυττάρων, που κάθε ένα από αυτά είναι λίγο ή πολύ εξειδικευμένο να επιτελεί ορισμένες διεργασίες Εικόνα 2.2. Στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη κυττάρων (περισσότερα από 200), που όλα είναι πολύ εξειδικευμένα και προσαρμοσμένα για να επιτελούν ορισμένες διεργασίες.

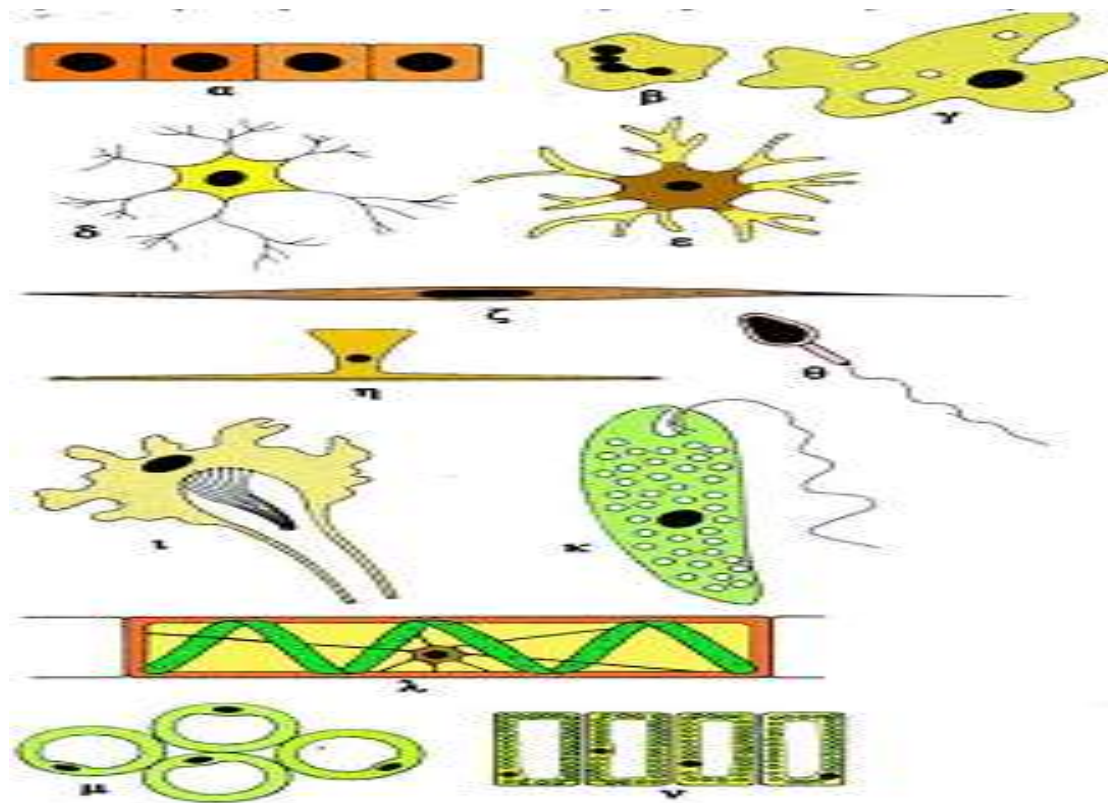


Εικόνα 2.2. Κατά μήκος τομή από το σώμα του υδρόβιου ζώου ύδρα (Hydra sp), όπου φαίνονται τα διάφορα είδη κυττάρων που το αποτελούν.

Έτσι τα επιθηλιακά κύτταρα (τέτοια κύτταρα υπάρχουν πολλών ειδών) έχουν τέτοιο σχήμα και μορφή που τα καθιστούν κατάλληλα για την επικάλυψη επιφανειών του σώματος, οργάνων και επιφανειών κοιλοτήτων. Τα εκκριτικά κύτταρα είναι υπεύθυνα για την έκκριση ουσιών, για παράδειγμα βλέννας. Τέτοια κύτταρα διαθέτουν μεγάλο αριθμό οργανιδίων Golgi, πράγμα που αποτελεί ένδειξη ότι τα οργανίδια αυτά έχουν λειτουργική σχέση με την έκκριση ουσιών.

Οι ινιδοβλάστες εκκρίνουν πρωτεϊνικές ίνες οι οποίες συνθέτουν τον συνδετικό ιστό ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη συγκράτηση ιστών και οργάνων στη θέση τους. Οι χονδροβλάστες και οι οστεοβλάστες παράγουν χόνδρο και οστεΐνη αντίστοιχα, συστατικά του στηρικτικού (ερειστικού) ιστού. Τα ερυθροκύτταρα (ερυθρά αιμοσφαίρια) έχουν σχήμα αμφίκουλου δίσκου, είναι γεμάτα με μια κόκκινη χρωστική την αιμοσφαιρίνη (ή αιμογλοβίνη) και είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά οξυγόνου σε όλο το σώμα ενώ είναι ένα από τα λίγα είδη κυττάρων που δεν διαθέτουν πυρήνα. Τα λευκά αιμοσφαίρια (ή λευκοκύτταρα) γενικά έχουν αμοιβαδοειδές σχήμα και ο ρόλος τους είναι η άμυνα. Ένα από τα πιο εξειδικευμένα κύτταρα των ζώων είναι και τα νευρικά κύτταρα ή νευρώνες, που είναι εξειδικευμένα να μεταδίδουν ηλεκτρικά μηνύματα από κύτταρο σε κύτταρο. Τα αισθητήρια κύτταρα είναι ικανά να μετατρέπουν κάποιας μορφής ενέργεια (μηχανική, φωτεινή, θερμική ή χημική) σε ηλεκτρική. Έτσι παράγουν ηλεκτρικά μηνύματα όταν διεγείρονται από κατάλληλα ερεθίσματα όπως της αφής, του ήχου, του φωτός, της θερμότητας ή χημικών ουσιών. Τα μυοϊνίδια είναι επίσης ευαίσθητα σε ηλεκτρικά ερεθίσματα που τα κάνουν να συστέλλονται. Τα κύτταρα που αναφέρθηκαν μέχρι εδώ βρίσκονται στα ανώτερα ζώα. Υπάρχουν όμως και άλλα να κύτταρα που βρίσκονται σε ζώα

που ανήκουν σε κατώτερες εξελικτικές βαθμίδες. Για παράδειγμα στο δέρμα των αμφιβίων και ερπετών συναντάμε χρωματοφόρα κύτταρα που περιέχουν χρωστικές ουσίες οι οποίες επιτρέπουν στο ζώο να αλλάζει χρώμα, χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι χαμελέων. Τα φλογοκύτταρα (ονομάζονται έτσι επειδή μοιάζουν με αναμμένα καντήλια) βρίσκονται σε ορισμένα σκουλήκια (Platyhelminthes) και παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης. Ένα από τα πιο περίεργα κύτταρα είναι και οι νηματοβλάστες της θαλάσσιας ανεμώνας ή της μέδουσας (τσούχτρας) αι της Hydra. Αυτά τα κύτταρα περιέχουν ένα νήμα που είναι αντιστρεπτό (δηλαδή, του βγαίνει το μέσα έξω), κάτι που θυμίζει την αντίδραση του ακροσώματος του σπερματοζωαρίου όταν αυτό επιτίθεται στο ωάριο και περιέχει τοξικό υγρό ικανό να σκοτώσει τη λεία. Τα μυοεπιθηλιακά κύτταρα της Hydra, και άλλων συγγενικών ειδών, εξυπηρετούν την κίνηση αλλά και την κάλυψη του οργανισμού. Ανάλογη ποικιλία κυττάρων υπάρχει βέβαια και στα φυτά.



Εικόνα 2.3. Η ποικιλομορφία των κυττάρων: (α) κυβοειδή επιθηλιακά, (β) λευκό αιμοσφαίριο, (γ) αμοιβάδα, (δ) νευρικό κύτταρο, (ε) χρωματοφόρο, (ζ) λεία μυϊκή ίνα, (η) μυοεπιθηλιακό κύτταρο, (θ) σπερματοζωάριο, (ι) φλογοκύτταρο,

2.5. Μονοκύτταροι-πολυκύτταροι οργανισμοί. Κυτταρική διαφοροποίηση. Επίπεδα οργάνωσης των οργανισμών.

Σε προηγούμενη παράγραφο εξηγήσαμε γιατί τα κύτταρα δεν μπορούν να ξεπεράσουν ένα καθορισμένο μέγεθος. Έτσι για να μεγαλώσει ένας οργανισμός θα πρέπει να γίνει πολυκύτταρος. Η δημιουργία όμως πολυκύτταρων οργανισμών απαιτεί τη δημιουργία εξειδικευμένων κυττάρων. Σ' ένα μονοκύτταρο οργανισμό, όπως είναι ένα βακτήριο ή ένα μαστιγοφόρο, όλες οι λειτουργίες που απαιτούνται για τη διαβίωση του οργανισμού επιτελούνται μέσα στο ένα κύτταρο. Ένας πολυκύτταρος οργανισμός για να επιβιώσει θα πρέπει να «αναθέσει» διάφορες εργασίες σε διαφορετικά εξειδικευμένα κύτταρα. Έτσι όσο

πιο εξελιγμένος είναι ένας οργανισμός τόσο πιο εξειδικευμένα (διαφοροποιημένα) κύτταρα διαθέτει.

Με την εξέλιξη έχουν δημιουργηθεί οργανισμοί με διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας: **A. κυτταρικό επίπεδο.** Σε αυτό το επίπεδο κατατάσσονται μονοκύτταροι οργανισμοί ή οργανισμοί που διαθέτουν και ορισμένα διαφοροποιημένα κύτταρα για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων σκοπών, όπως είναι η κίνηση, η αναπαραγωγή, η κίνηση και η άμυνα. Όλα όμως τα κύτταρα έχουν την ικανότητα να επιβιώσουν ανεξάρτητα και να επιτελούν τις βασικές λειτουργίες τους. Παραδείγματα τέτοιων οργανισμών είναι οι αμοιβάδες, το *Paramecium*, οι αποικίες *Volvox*, οι σπόγγοι κ.ά.

B. επίπεδο ιστού. Σε αυτό το επίπεδο οργάνωσης ανήκουν οργανισμοί οι οποίοι διαθέτουν ομάδες εξειδικευμένων κυττάρων οργανωμένων σε ιστούς. Για παράδειγμα, κάποιες ομάδες κυττάρων εξειδικεύονται στη μεταφορά συστατικών ή κάποιες άλλες συστέλλονται για να προκαλέσουν τη μετακίνηση του οργανισμού. Όταν τα κύτταρα μιας τέτοιας ομάδας είναι παρόμοια σε σχήμα, μέγεθος, οργάνωση και λειτουργία συνιστούν έναν ιστό. Οι ζωικοί ιστοί είναι οι εξής: επιθηλιακός, ερειστικός, μυϊκός και νευρικός.

Μια ένδειξη της πολυπλοκότητας των ζώων φαίνεται από το ότι όλα τα ζώα, εκτός από τα πολύ απλά, διαθέτουν όργανα. Το όργανο είναι μια ξεχωριστή δομή του σώματος που συνήθως επιτελεί μια εξειδικευμένη λειτουργία. Τυπικά αποτελείται από διάφορους ιστούς που έχουν μια πολύ οργανωμένη δομική σχέση μεταξύ τους. Για παράδειγμα τα νεφρά αποτελούνται από λείους μύες, συνδετικό ιστό, διάφορα είδη επιθηλίων και αίμα που όλα είναι οργανωμένα σ' ένα πολύπλοκο σύστημα, το όργανο, του οποίου ο ρόλος είναι η ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης του σώματος και η απομάκρυνση από τον οργανισμό ανεπιθύμητων συστατικών.

Η διαφοροποίηση των κυττάρων των ανώτερων ζώων είναι πιο απόλυτη από εκείνη των φυτών. Τα διαφοροποιημένα ζωικά κύτταρα εκτός από τις βασικές μεταβολικές πορείες, όπως η αναπνοή, που είναι κοινές σε όλα τα κύτταρα, είναι απόλυτα εξειδικευμένα να επιτελούν μια εργασία, όπως για παράδειγμα τα μυϊκά κύτταρα συσπώνται, τα νευρικά μεταδίδουν νευρικούς παλμούς, και τα επιθηλιακά καλύπτουν. Στα φυτά η εξειδίκευση (διαφοροποίηση) έχει μια διαβάθμιση, από ελάχιστα διαφοροποιημένα κύτταρα όπως τα καμβιακά μέχρι τα απόλυτα εξειδικευμένα όπως του ηθμού. Έτσι, ένα παρεγχυματικό κύτταρο μπορεί να επιτελεί διαφορετικές λειτουργίες, όπως στήριξη, μεταφορά και φωτοσύνθεση. Αυτή η ιδιότητα των φυτικών κυττάρων αντικατοπτρίζεται και στην ικανότητα που έχουν για αποδιαφοροποίηση και επαναδιαφοροποίηση και αναφέρεται ως πολυδυναμικότητα (totipotency).

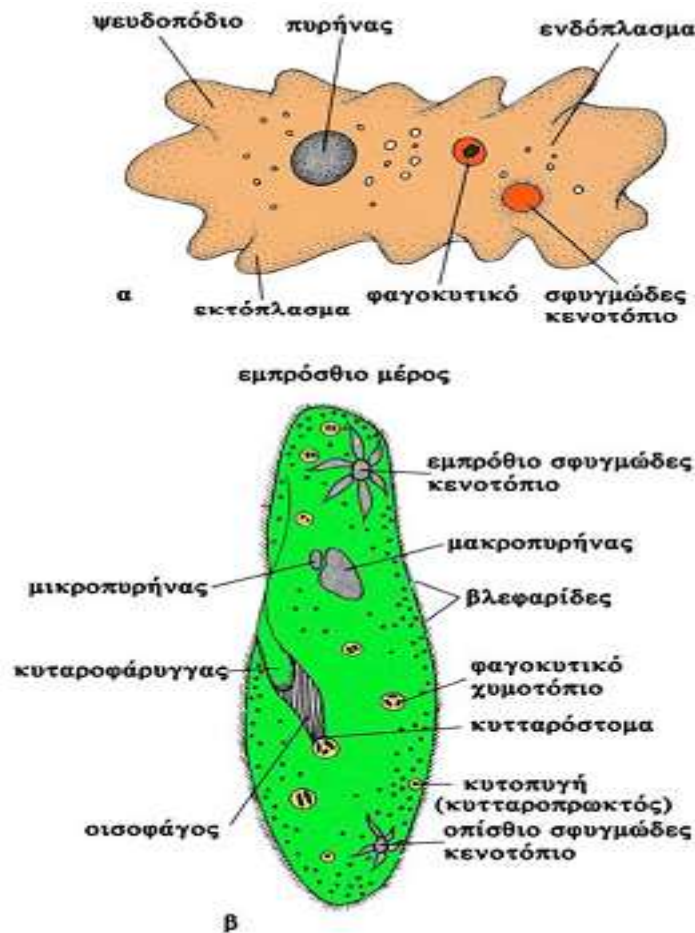
Λόγω αυτής της ιδιότητας που έχουν τα φυτικά κύτταρα είναι δυνατή η ανάπτυξη τυχαίων οργάνων, όπως είναι η ανάπτυξη ριζών από βλαστό ή φύλλα, ή η ανάπτυξη οφθαλμών από επιδερμικά κύτταρα. Κάτι τέτοιο όμως είναι εντελώς αδιανόητο στα ανώτερα τουλάχιστον ζώα. Στα κατώτερα ζώα διατηρείται σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους, η ικανότητα για κυτταροδιαίρεση και διαφοροποίηση ορισμένων κυττάρων από τα

οποία μπορούν να αναγεννηθούν διάφοροι ιστοί και όργανα που πιθανόν να έχουν πάθει κάποια βλάβη. Έτσι στις σαλαμάνδρες, τις σαύρες, τους αστερίες τα καβούρια ή τα χταπόδια, είναι δυνατή η αναπλήρωση της ουράς, των πλοκαμιών ή βραχιόνων που έχουν αποκοπεί ή ακόμα και κάποιων άλλων οργάνων. Είναι γνωστό εδώ και πολλά χρόνια στους οστρακοτρόφους ότι ο τεμαχισμός των αστερίων, οι οποίοι τρώνε τα οστρακοφόρα ζώα, και το πέταγμα τους πάλι στη θάλασσα έχει σαν αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό των αστερίων! Ο ακρωτηριασμός ενός θηλαστικού, όμως, είναι μη αναστρέψιμη βλάβη, αντίθετα όμως ακόμα και στους πιο φυλογενετικά προηγμένους οργανισμούς, όπως είναι ο άνθρωπος, ορισμένοι ιστοί έχουν την ικανότητα να αναπλάθονται. Τα επιθηλιακά και τα κύτταρα του αίματος είναι γνωστό ότι αναπληρώνονται συνεχώς. Σε άλλα κύτταρα όμως ο βαθμός διαφοροποίησης φτάνει σε τέτοιο επίπεδο όπου παρεμποδίζεται ακόμα και η αύξηση τους, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στους

νευρώνες. Τα κύτταρα όμως του συκωτιού παραμένουν σχετικά αδιαφοροποίητα και έτσι παράλληλα με την ικανότητα να επιτελούν ένα μεγάλο αριθμό λειτουργιών διατηρούν και την ικανότητα προς κυτταροδιαίρεση. Έτσι όταν σ' έναν ενήλικα, αφαιρεθούν τα δυο τρίτα του συκωτιού του, αυτό μπορεί να αναγεννηθεί στο αρχικό του μέγεθος και σχήμα σε διάστημα τριών εβδομάδων. Αντίθετα οι «μη προγραμματισμένες» κυτταροδιαιρέσεις οι οποίες πολλές φορές επιτελούνται σε κάποιο ιστό των ανώτερων ζώων χαρακτηρίζεται ως όγκος ο οποίος μπορεί να είναι καλοήθης ή κακοήθης.

Όπως όμως τα κύτταρα, και οι ιστοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν απομονωμένα, έτσι και τα όργανα πρέπει να είναι συγκροτημένα σε συστήματα οργάνων. Ένα σύστημα οργάνων αποτελείται από διάφορα όργανα που όλα μαζί επιτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία. Για παράδειγμα στο πεπτικό σύστημα το οποίο αποτελείται από τον οισοφάγο, το στομάχι, το λεπτό έντερο και άλλα όργανα όπως το πάγκρεας και το συκώτι, επιτελείται η λειτουργία της πέψης. Πολλές φορές ένα όργανο μπορεί να ανήκει σε δυο διαφορετικά συστήματα όπως για παράδειγμα το πάγκρεας το οποίο ανήκει και στο πεπτικό σύστημα, επειδή εκκρίνει πεπτικά ένζυμα, αλλά και στο ενδοκρινές επειδή εκκρίνει και ορμόνες.

Τα ζωικά κύτταρα, όπως ακριβώς και τα φυτικά, περιβάλλονται από μια μεμβράνη, την πλασματική (ή κυτταρική) μεμβράνη, που γενικά έχει τις ίδιες ιδιότητες με το πλασμαλείμμα των φυτικών κυττάρων. Σε αντίθεση όμως με το φυτικό κύτταρο, το ζωικό δεν περιβάλλεται από κυτταρικό τοίχωμα το οποίο είναι μια δομή πλήρως διαπερατή που δίνει μηχανική αντοχή στις διάφορες μηχανικές τάσεις (π.χ. ωσμωτική καταπόνηση, στήριξη, κλπ.).



Εικόνα 2.4. (α) Τα πρωτόζωα *Amoeba proteus* και (β) το *Paramecium*.

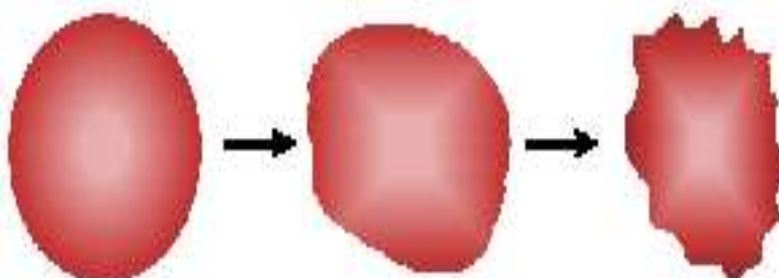
Τα ζωικά κύτταρα συνήθως βρίσκονται σε περιβάλλον ισοτονικό με το κυτταρόπλασμα τους και έτσι δεν υπάρχει πρόβλημα καταστροφής τους λόγω μεταβολής του ωσμωτικού δυναμικού του μέσου που τα περιβάλλει. Όταν όμως το ωσμωτικό δυναμικό του

περιβάλλοντός τους είναι μεταβλητό, όπως για παράδειγμα στα πρωτόζωα του γλυκού νερού, οι οργανισμοί αυτοί αναπτύσσουν μηχανισμούς, όπως τα σφυγνώδη κενοτόπια, των οποίων μια από τις λειτουργίες τους είναι και η ρύθμιση του οσμωτικού δυναμικού του κυτταροπλάσματος. Ως παράδειγμα μπορούμε να πάρουμε τα ανθρώπινα ερυθρά αιμοσφαίρια. Ένα διάλυμα 0.9% NaCl είναι ισοτονικό με το υγρό που περιβάλλει τα ανθρώπινα κύτταρα, όταν ερυθρά αιμοσφαίρια τοποθετηθούν σ' ένα τέτοιο διάλυμα ο όγκος και το σχήμα τους δε θα αλλάξουν. Όταν όμως τοποθετηθούν σε ισχυρότερο (υπερτονικό) διάλυμα NaCl, π.χ. 1.2%, τα κύτταρα αυτά θα συρρικνωθούν και η κυτταρική μεμβράνη θα ζαρώσει, αν αντίθετα τα κύτταρα τοποθετηθούν σε αραιότερο διάλυμα (υποτονικό) αυτά θα διογκωθούν με αποτέλεσμα τη διάρρηξή τους, φαινόμενο που ονομάζεται αιμόλυση. Είναι επομένως κατανοητό ότι τα ζωικά κύτταρα για να διατηρήσουν το σχήμα και μέγεθός τους θα πρέπει είτε να βρίσκονται συνεχώς σε ισοτονικό περιβάλλον, είτε να διαθέτουν ειδικούς μηχανισμούς που να τους επιτρέπουν τη διαβίωσή τους σε περιβάλλοντα με μεταβαλλόμενο οσμωτικό δυναμικό. Αυτοί οι ειδικοί μηχανισμοί αποτελούν μέρος του οσμωρρυθμιστικού συστήματος που είναι απαραίτητο για τη διατήρηση των οργανισμών στη ζωή. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το Πρώτιστο *Amoeba* (αμοιβάδα) που έχει και θαλάσσια αλλά και είδη του γλυκού νερού. Τα θαλάσσια είδη είναι ισοτονικά με το θαλασσινό νερό και έτσι δε χρειάζονται κανένα οσμωρρυθμιστικό μηχανισμό. Στα είδη όμως του γλυκού νερού, το κυτταρόπλασμα τους είναι σημαντικά υπερτονικό σε σχέση με το περιβάλλον τους. Το αποτέλεσμα είναι να εισέρχεται συνεχώς νερό μέσα στο κύτταρο μέσω της πλασματικής τους μεμβράνης.

Αναμφίβολα το κύτταρο αυτό γρήγορα θα διογκωνόταν και θα καταστρεφόταν αν δεν είχε τα σφυγνώδη κενοτόπια, ειδικά σφαιρικά οργανίδια που λειτουργούν σαν αντλίες, απορροφώντας το νερό από το κυτταρόπλασμα και αποβάλλοντας το προς το περιβάλλον. Στα ανώτερα ζώα η ρύθμιση του οσμωτικού δυναμικού που περιβάλλει τα κύτταρα (και όχι τον οργανισμό), αντιμετωπίζεται συνολικά με τη συνεργασία διαφόρων ομοιοστατικών μηχανισμών.

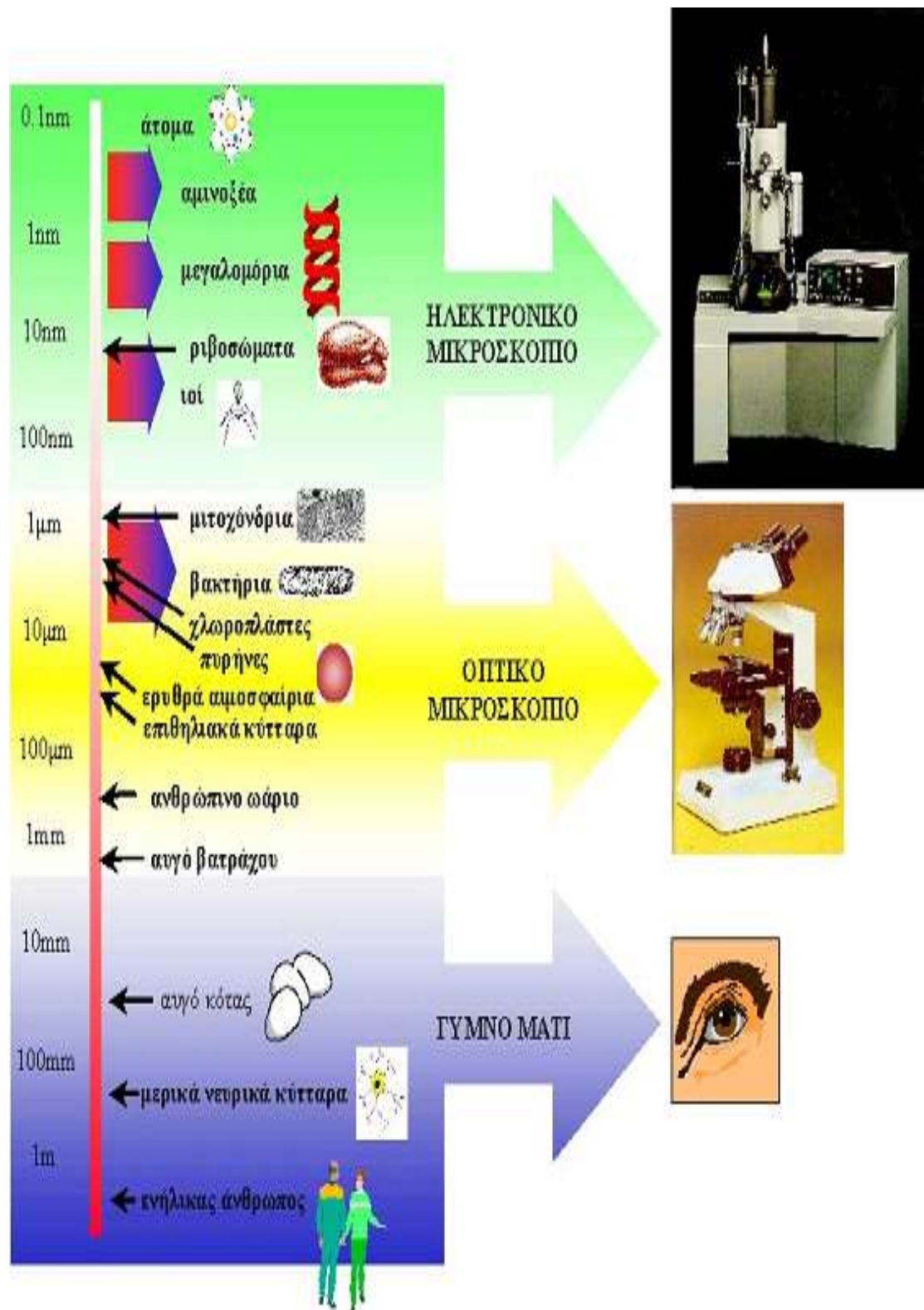
Το πρόβλημα αυτό στα φυτικά κύτταρα και γενικότερα στα φυτά λύνεται με την ύπαρξη των κυτταρικών τοιχωμάτων και των στηρικτικών ιστών όπως το κολλέγχυμα, σκληρέγχυμα, ξυλώδη αγγεία κλπ. Οι ίδιοι όμως μηχανισμοί δε μπορούν να εξυπηρετήσουν το ζωικό κύτταρο ή οργανισμό που πρέπει να έχει την ικανότητα να κινείται ενεργά και σχετικά γρήγορα.

Όλα τα ζωικά κύτταρα διατηρούν το σχήμα τους και τη μορφή τους με τη δημιουργία κυτταροσκελετού ενώ σε πολκύτταρους οργανισμούς δημιουργούν τον ερειστικό ιστό.



Εικόνα 2.5. Η σταδιακή συρρικνώσει των ερυθρών αιμοσφαιρίων όταν τοποθετηθούν σε υπερτονικό περιβάλλον.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα (Εικόνα 2.6) που δείχνει τα σχετικά μεγέθη μερικών γνωστών χημικών ενώσεων οργανισμών και οργανιδίων τους σε λογαριθμική κλίμακα.



Εικόνα 2.6. Διάγραμμα με τα σχετικά μεγέθη των διαφόρων βιολογικών δομών.

2.6. Εγκατάσταση χημικών συνθηκών στο εσωτερικό ζωντανών κυττάρων.

Οι κλασικές μικροσκοπικές μέθοδοι μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη δομή αλλά όχι και τη χημική σύσταση των κυττάρων και κυτταρικών δομών. Σήμερα

χρησιμοποιούνται αρκετές χημικές μέθοδοι που επιτρέπουν τον προσδιορισμό των χημικών συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό ζωντανών κυττάρων.

Όνομα	Σύσταση	Λειτουργία
κυτταρικό τοίχωμα	περιέχει ινίδια κυτταρίνης	στήριξη και προστασία
κυτταρική μεμβράνη	διπλή στρώση φωσφολιπιδίων με εγκλεισμένες πρωτεΐνες	επιλεκτική μετακίνηση μορίων μέσα και έξω από το κύτταρο
πυρήνας	πυρηνικός φάκελος (διπλή μεμβράνη) που περιβάλλει το πυρηνόπλασμα, τη χρωματίνη και τους πυρηνίσκους	έλεγχος της ανάπτυξης και του μεταβολισμού
πυρηνίσκος	περιοχή του πυρήνα με συμπυκνωμένη χρωματίνη, RNA, και πρωτεϊνών	σχηματισμός ριβοσωμάτων
ριβοσώματα (πολυσώματα)	πρωτεΐνη και RNA, σε δυο υπομονάδες	πρωτεΐνοσύνθεση
ενδοπλασματικό δίκτυο	μεμβρανώδη πεπλατυσμένα κανάλια και σωληνοειδείς δομές	σύνθεση ή/και τροποποίηση πρωτεϊνών και άλλων συστατικών, και μεταφορά με κυστίδια που σχηματίζονται από αυτό
αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο	ενδοπλασματικό δίκτυο με ριβοσώματα στην επιφάνειά του	πρωτεΐνοσύνθεση
λείο ενδοπλασματικό δίκτυο	χωρίς ριβοσώματα	ποικίλη, σύνθεση λιπών σε ορισμένα κύτταρα
οργανίδιο Golgi (συνήθως στα φυτά αναφέρεται σαν δικτυόσωμα)	συστάδες από πεπλατυσμένα κυστίδια	επεξεργασία και συσκευασία μορίων (π.χ. γλυκοπρωτεϊνών)
χυμοτόπια (φυτά) και κυστίδια	κυστίδια που περιβάλλονται από μοναδιαία μεμβράνη	αποθήκευση συστατικών
λυσοσώματα	κυστίδια που περιβάλλονται από μοναδιαία μεμβράνη και περιέχουν λυτικά ένζυμα	ενδοκυτταρική πέψη
μικροσωμάτια	μεμβρανώδη κυστίδια που περιέχουν ειδικά ένζυμα	διάφορες μεταβολικές διεργασίες
μιτοχόνδρια	εσωτερική μεμβράνη με αναδιπλώσεις (cristae) που περιβάλλεται από μια εξωτερική	κυτταρική αναπνοή
χλωροπλάστες	εσωτερικοί μεμβρανώδεις σχηματισμοί (grana) που περιβάλλονται από φάκελο	φωτοσύνθεση
κυτταροσκελετός	μικροσωληνίσκοι και ινίδια ακτίνης	σχήμα κυττάρου και κίνηση των τμημάτων του
μαστίγια και βλεφαρίδες	9+2 δομή μικροσωληνίσκων	κίνηση του κυττάρου ή του μέσου που τα περιβάλλει
κεντροσώματιο	κεντρίλια με 9+0 δομή και KOM	σχηματισμός βασικών σωματίων και μικροσωληνίσκων

Πίνακας 2.1. Ανασκόπηση της δομής και λειτουργίας των οργανιδίων των ευκαρυωτικών κυττάρων φυτών και ζώων.

2.7. Κυτταρική αναγνώριση.

Πειραματικά δεδομένα μας δείχνουν ότι τα κύτταρα έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν άλλα κύτταρα. Όταν για παράδειγμα διαχωρίσουμε τεχνητά τα κύτταρα δυο ιστών (π.χ. με ελάττωση της συγκέντρωσης ιόντων ασβεστίου) και στη συνέχεια τα επωάσουμε όλα μαζί σε ένα δοχείο, παρατηρούμε ότι τα ομοειδή κύτταρα συναθροίζονται. Είναι προφανές ότι οι επιφάνειες των πλασματικών μεμβρανών των κυττάρων περιέχουν ειδικά μόρια ικανά να αναγνωρίζουν τα ομοειδή τους κύτταρα.

Κυτταρική αναγνώριση έχει παρατηρηθεί και σε φυτικά κύτταρα όπως για παράδειγμα το στίγμα του άνθους αναγνωρίζει το σωστό γυρεόκοκκο ή κατά τον εμβολιασμό των φυτών από τον άνθρωπο.

Πώς είναι δυνατόν από ένα μικροσκοπικό, μη ειδικευμένο κύτταρο, το ζυγωτό, να δημιουργείται αίμα, οστά, εγκέφαλος και όλες οι άλλες πολύπλοκες δομές που συγκροτούν ένα οργανισμό. Όλες αυτές οι διεργασίες μαζί αναφέρονται ως ανάπτυξη του οργανισμού. Η διαδικασία της ανάπτυξης περιλαμβάνει διεργασίες όπως η κυτταροδιαίρεση (μίτωση και κυτοκίνηση), αύξηση, μορφογένεση και κυτταρική διαφοροποίηση.

Το μονοκύτταρο ζυγωτό υπόκειται σε συνεχείς μιτώσεις και κυτοκινήσεις σχηματίζοντας έτσι αρχικά δυο κύτταρα μετά τέσσερα κ.ο.κ.

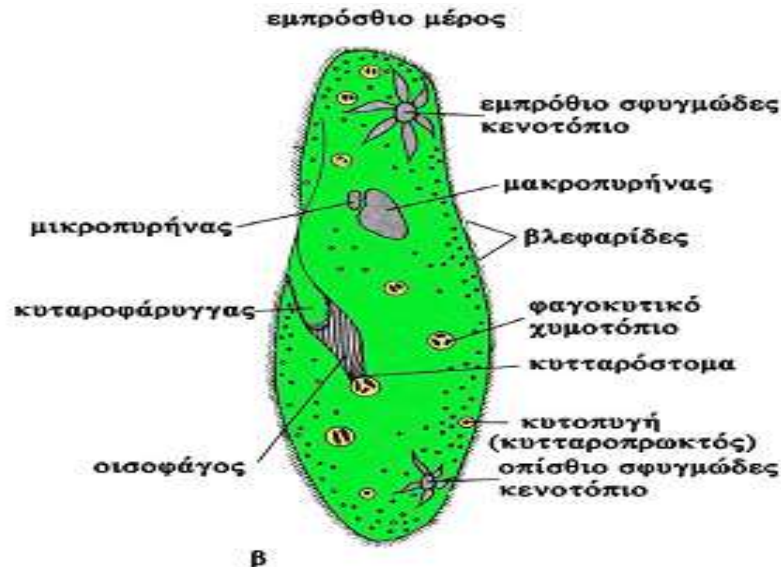
Αυτό συνεχίζεται επανειλημμένα παράγοντας τα δισεκατομμύρια των κυττάρων που συνιστούν τον ενήλικα οργανισμό. Αύξηση συμβαίνει και με την αύξηση του αριθμού των κυττάρων αλλά και με αύξηση του μεγέθους τους. Οι διεργασίες αυτές όμως από μόνες τους θα έδιναν ένα σωρό από ομοειδή κύτταρα πράγμα βέβαιο που δε συμβαίνει. Τα κύτταρα πρέπει να οργανωθούν σε εξειδικευμένες δομές και σωματικές μορφές. Οι διεργασίες που οδηγούν προς, και προσδιορίζουν τη μορφή και δομή του οργανισμού, συμπεριλαμβάνονται στο γενικό όρο μορφογένεσης. Τα διάφορα κύτταρα όχι μόνο πρέπει να οργανωθούν σε ειδικευμένες δομές, αλλά πρέπει να επιτελούν και διάφορες εξειδικευμένες εργασίες. Τα κύτταρα πρέπει να είναι οργανωμένα και εξειδικευμένα. Για να είναι δυνατός ο καταμερισμός εργασίας μέσα στο σώμα ενός οργανισμού αυτός θα πρέπει να είναι φτιαγμένος από διαφορετικά συστατικά. Στη αρχή της ανάπτυξης, τα κύτταρα αρχίζουν να αλλάζουν μορφή και λειτουργία. Αρχίζουν ακόμα να διαφέρουν μεταξύ τους, και να εξειδικεύονται βιοχημικά και δομικά για να επιτελούν διαφορετικές εργασίες. Στο σώμα ενός πλήρως αναπτυγμένου σπονδυλωτού ζώου μπορούμε να διακρίνουμε περισσότερα από 200 διαφορετικά είδη κυττάρων. Η διεργασία μέσω της οποίας τα κύτταρα εξειδικεύονται είναι γνωστή σα διαφοροποίηση (differentiation).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Η ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΖΩΩΝ

Μεταξύ των διαφόρων ομάδων των μεταζώων αναγνωρίζονται πέντε κύρια επίπεδα οργάνωσης. Κάθε ομάδα είναι πιο πολύπλοκη από την προηγούμενη.

3.1. Πρωτοπλασμικό επίπεδο οργάνωσης.

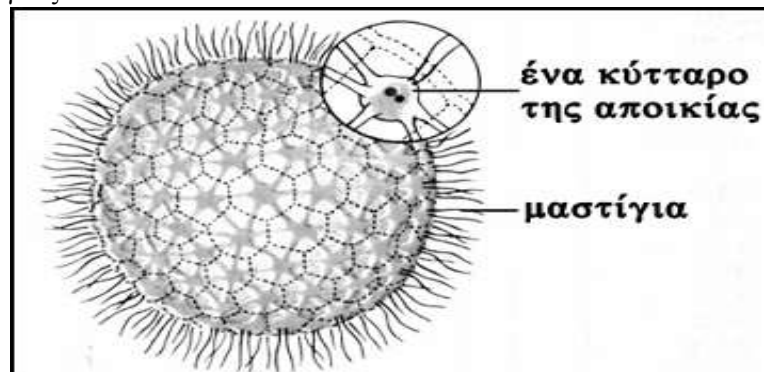
Η πρωτοπλασμική οργάνωση εμφανίζεται στα πρωτόζωα και άλλους μονοκύτταρους οργανισμούς. Όλες οι λειτουργίες της ζωής περιορίζονται μέσα στα όρια ενός και μόνο κυττάρου, τη βασική μονάδα ζωής. Μέσα στο κύτταρο, η ζωντανή ουσία είναι διαφοροποιημένη σε οργάνια ικανά για να επιτελούν εξειδικευμένες λειτουργίες.



Εικόνα 3.1. Το πρωτόζωο *Paramecium* είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα οργανισμού στο κυτταρικό επίπεδο.

3.2. Κυτταρικό επίπεδο οργάνωσης.

Στην κυτταρική οργάνωση υπάρχει συνάθροιση κυττάρων που όμως είναι λειτουργικά διαφοροποιημένα. Η κατανομή της εργασίας είναι φανερή. Έτσι κάποια κύτταρα, για παράδειγμα, επιτελούν την αναπαραγωγή, ενώ κάποια άλλα τη θρέψη. Τέτοια κύτταρα έχουν μια μικρή τάση για οργάνωση σε ιστούς (ο ιστός είναι μια ομάδα παρόμοιων κυττάρων οργανωμένων να επιτελούν μια κοινή λειτουργία). Μερικά πρωτόζωα που σχηματίζουν αποικίες και έχουν ευδιάκριτα αναπαραγωγικά και σωματικά κύτταρα, μπορούν να τοποθετηθούν στο κυτταρικό επίπεδο οργάνωσης. Πολλοί τοποθετούν σε αυτό το επίπεδο και τους σπόγγους.

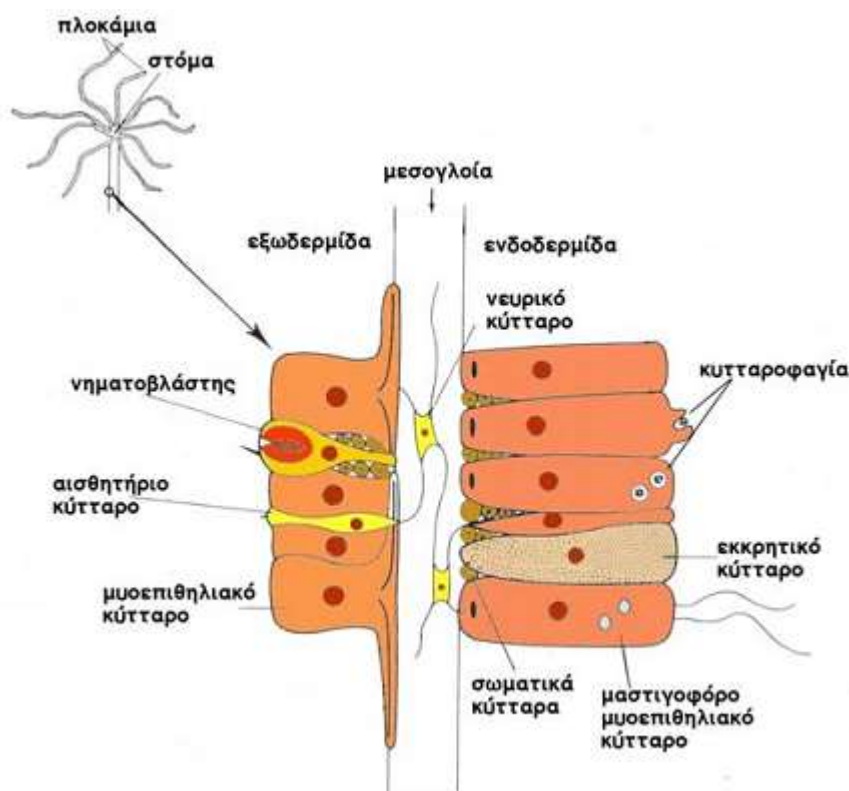


Εικόνα 3.2. Κύτταρα του *Volvox*

Τα κύτταρα του Volvox, ενός πλαγκτονικού οργανισμού, σχηματίζουν μια σφαιρική αποικία που συγκρατείται από μια ζελατινώδη μάζα. Με συντονισμό των μαστιγίων η αποικία μπορεί να μετακινείται προς ορισμένη κατεύθυνση ενώ υπάρχει και καταμερισμός εργασίας των κυττάρων, τα εξωτερικά για κίνηση και θρέψη και μερικά στο κέντρο για αναπαραγωγή.

3.3. Επίπεδο οργάνωσης ιστού.

Ένα βήμα μπροστά από το προηγούμενο επίπεδο οργάνωσης, είναι η συσσωμάτωση παρόμοιων κυττάρων σε συγκεκριμένες στρώσεις ή σχήματα, που σχηματίζουν τους ιστούς. Μερικοί επιστήμονες τοποθετούν εδώ και τους σπόγγους, αν και τα Cnidaria (όπως οι τσούχτρες) έχουν πιο ξεκάθαρα, σχηματισμένους ιστούς. Και οι δυο ομάδες θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι ανήκουν στο κυτταρικό επίπεδο οργάνωσης επειδή τα περισσότερα από τα κύτταρά τους βρίσκονται διάσπαρτα και όχι οργανωμένα σε ιστούς. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ιστού στα Cnidaria είναι το νευρικό δίκτυο, στο οποίο νευρικά κύτταρα και οι αποφυάδες τους σχηματίζουν ένα συγκεκριμένο ιστό που σαν λειτουργία του έχει τον συντονισμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οργανισμού στο επίπεδο οργάνωσης ιστού είναι η Hydra που ανήκει στο Φύλο Coelenterata.



Εικόνα 3.3. Η Hydra που ανήκει στο Φύλο Coelenterata.

3.4. Επίπεδο οργάνωσης ιστού - οργάνου.

Η οργάνωση ιστών σε όργανα αποτελεί ακόμα ένα βήμα μπροστά στην εξέλιξη. Τα όργανα συνήθως αποτελούνται από περισσότερους του ενός ιστούς και έχουν πιο εξειδικευμένες λειτουργίες από τους ιστούς. Οι Platyhelminthes είναι οι κατώτεροι οργανισμοί σε αυτό το επίπεδο οργάνωσης, δηλαδή που διαθέτουν όργανα όπως είναι η πεπτική οδός και τα αναπαραγωγικά όργανα.

3.5. Επίπεδο οργάνωσης συστήματος οργάνων.

Όταν τα όργανα λειτουργούν μαζί για να επιτελέσουν μια λειτουργία, τότε έχουμε το ανώτατο επίπεδο οργάνωσης, το σύστημα οργάνων. Τα συστήματα σχετίζονται με τις βασικές λειτουργίες του σώματος όπως είναι η κυκλοφορία, η αναπνοή, η πέψη, η αναπαραγωγή κ.ά. Τα απλούστερα ζώα με τέτοιο επίπεδο οργάνωσης είναι οι Nemertea (σκουλήκια) που διαθέτουν πλήρες πεπτικό σύστημα που σαφώς διαχωρίζεται από το κυκλοφορικό. Το επίπεδο αυτό οργάνωσης είναι και το πιο κοινό ανάμεσα στα ζωικά phyla.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΖΩΩΝ.

4.1. Τι είναι ο ιστός

Ένας ιστός είναι μια ομάδα παρόμοιων κυττάρων (μαζί με τα κυτταρικά προϊόντα) που είναι εξειδικευμένα στην επιτέλεση μιας κοινής λειτουργίας. Η μελέτη των ιστών αναφέρεται ως ιστολογία. Στα μετάζωα, όλα τα κύτταρα συμμετέχουν στο σχηματισμό ιστών. Πολλές φορές οι ιστοί αποτελούνται από κύτταρα που διαφέρουν μεταξύ τους, μερικοί ιστοί αποτελούνται εκτός από τα κύτταρα και από εξωκυτταρικές ουσίες οι οποίες παράγονται από αυτά.

4.2. Είδη ιστών.

Κατά την εμβρυακή ανάπτυξη, τα γενετήσια στρώματα κυττάρων διαφοροποιούνται σε τέσσερα είδη ιστών. Αυτοί είναι: ο επιθηλιακός, ο συνδετικός, ο μυϊκός και ο νευρικός.

4.2.1 Επιθηλιακός ιστός

Ο ιστός αυτός καλύπτει εξωτερικές (εκτοθήλια) και εσωτερικές (ενδοθήλια) επιφάνειες του σώματος των ζώων και στον οποίο ανήκουν και οι διάφοροι αδένες. Χαρακτηριστικό όλων των επιθηλιακών κυττάρων είναι η ικανότητά τους για κυτταροδιαίρεση. Όλα τα επιθηλιακά κύτταρα βρίσκονται στερεωμένα επάνω σε μια βασική μεμβράνη ενώ η άλλη τους επιφάνεια είναι ελεύθερη. Ανάλογα με το σχήμα και τη λειτουργία τους τα επιθηλιακά κύτταρα διαχωρίζονται σε διάφορους τύπους, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

- Απλό πλακώδες επιθήλιο
- Απλό κυβοειδές.
- Απλό στηλοειδές
- Στρωματώδες.
- Ψευδοστρωματώδες

Αναλυτικότερα, θα τους εξετάσουμε μεμονωμένα, στις αμέσως παρακάτω ενότητες.

4.2.1.1 Απλό πλακώδες επιθήλιο.

Αποτελείται από πεπλατυσμένα κύτταρα χωρίς διάκενα μεταξύ τους και αποτελούν τα τοιχώματα των τριχοειδών αγγείων και των κυψελίδων των πνευμόνων. Ρόλος τους είναι η γρήγορη διάχυση αερίων και υγρών μέσα και έξω από σωματικές κοιλότητες.

4.2.1.2 Απλό κυβοειδές.

Αποτελείται από κύτταρα των οποίων οι τρεις διαστάσεις είναι περίπου ίσες. Συνήθως τα επιθήλια αυτά επιστρώνουν αγωγούς και σωληνάρια, όπως τα νεφρικά και εκείνα των σιελογόνων αδένων. Η λειτουργία τους εκτός από καλυπτική μπορεί να είναι και εκκριτική ή απορροφητική. Χαρακτηριστικό παράδειγμα

τέτοιων επιθηλιακών κυττάρων είναι ο θυροειδής αδένας, άλλοι αδένες, ενδοκρινείς και εξωκρινείς, και ορισμένα από τα νεφρικά σωληνάκια.

4.2.1.3 Απλό στηλοειδές.

Είναι παρόμοιο με το κυβοειδές, αλλά τα κύτταρα έχουν μεγαλύτερο ύψος και συνήθως έχουν επιμηκυσμένους πυρήνες. Αυτός ο τύπος επιθηλίου συνήθως βρίσκεται σε επιφάνειες εξειδικευμένες στην απορρόφηση συστατικών, όπως είναι ο εντερικός σωλήνας των περισσότερων ζώων. Αυτά τα κύτταρα πολλές φορές έχουν μικρολάχνες για την αύξηση της απορροφητικής επιφάνειας ενώ σε μερικά όργανα, όπως ο ωαγωγός των θηλυκών θηλαστικών, έχουν βλεφαρίδες. Με την κίνηση των βλεφαρίδων, αυτών των επιθηλιακών κυττάρων, προωθείται το υγρό από την ωοθήκη προς τη μήτρα ή προωθούν τη βλέννα που εκκρίνεται από το βλεννογόνο της τραχείας προς τον οισοφάγο.

4.2.1.4 Στρωματώδες.

Αποτελείται από δυο ή περισσότερες στρώσεις κυττάρων προσαρμοσμένες στο να αντέχουν σε ελαφριά μηχανική καταπόνηση και τριβή. Η βασική στρώση κυττάρων υπόκειται σε συνεχείς μιτωτικές διαιρέσεις που παράγουν κύτταρα που προωθούνται προς την επιφάνεια από την οποία και αποπίπτουν ενώ αναπληρώνονται συνεχώς από νέα που συνεχώς παράγονται. Αυτού του τύπου τα επιθηλιακά κύτταρα καλύπτουν επιφάνειες όπως είναι επιδερμίδα, η στοματική κοιλότητα, ο οισοφάγος και ο κόλπος των θηλυκών θηλαστικών.

4.2.1.5 Ψευδοστρωματώδες.

Είναι ένας τύπος επιθηλίου που καλύπτει όργανα που έχουν την ικανότητα να εκτείνονται και να συρρικνώνονται, όπως είναι η ουροδόχος κύστη των σπονδυλοζώων. Όταν η κύστη είναι συρρικνωμένη, το επιθήλιο φαίνεται να αποτελείται από τέσσερις ή πέντε στρώσεις κυττάρων ενώ όταν έχει εκταθεί οι στρώσεις φαίνονται μια ή δυο.

4.2.2. Συνδετικός ιστός.

Ως συνδετικό ιστό εννοούμε μια ποικιλία διαφορετικών μορφολογικά και λειτουργικά ιστών με κοινό γνώρισμα ότι αποτελούνται από σχετικά ολιγάριθμα κύτταρα που περιβάλλονται από εξωκυτταρικές ουσίες οι οποίες παράγονται - εκκρίνονται από τα κύτταρα του ιστού αυτού.

Ορισμένοι τύποι συνδετικού ιστού χρησιμεύουν για στήριξη ή σύνδεση ιστών και οργάνων ενώ σε άλλες περιπτώσεις η λειτουργία τους μπορεί να είναι εντελώς διαφορετική όπως στην περίπτωση του αίματος και της λέμφου.

4.2.2.1. Διάκριση συνδετικών ιστών βάσει της λειτουργίας και της υφής τους.

Ανάλογα με τη λειτουργία και την υφή οι διάφοροι τύποι συνδετικού ιστού διακρίνονται στους εξής:

4.2.2.1.1. Χαλαρός συνδετικός ιστός.

Βρίσκεται παντού και συνδέει χαλαρά διάφορες δομές έτσι που να μπορούν να μετακινούνται. Εκτός από το στηρικτικό ρόλο χρησιμεύει και για την αποθήκευση νερού, λίπους και αλάτων. Ο ιστός αυτός αποτελείται από κύτταρα, τους ινοβλάστες, που εκκρίνουν διάφορες ινώδεις πρωτεΐνες, όπως η ελαστίνη και το

κολλαγόνο και βρίσκονται εγκλεισμένα σε μια ημίρρευστη μάζα, τη θεμελιώδη ουσία, στην οποία υπάρχουν και διάφορα άλλα είδη κυττάρων όπως τα λιποκύτταρα για αποθήκευση λίπους ή τα μακροφάγα (ένα είδος λευκών αιμοσφαιρίων) με φαγοκυτική δράση.

4.2.2.1.2. Ελαστικός συνδετικός ιστός.

Αυτός ο τύπος ιστού βρίσκεται σε δομές και όργανα που έχουν την ικανότητα να εκτείνονται και να επανέρχονται στο αρχικό τους μέγεθος, όπως είναι οι πνεύμονες και οι μεγάλες αρτηρίες. Κύριο συστατικό του ιστού είναι διακλαδιζόμενες ίνες ελαστίνης που παράγονται από τους ινοβλάστες.

4.2.2.1.3. Δικτυωτός συνδετικός ιστός.

Αποτελεί το «σκελετό» ορισμένων μαλακών οργάνων όπως του συκωτιού, των λεμφογαγγλίων και της σπλήνας και τους προσδίδουν το χαρακτηριστικό τους σχήμα. Αποτελείται από δικτυωτά διαταγμένες ελαστικές ίνες.

4.2.2.1.4. Αποθετικός ιστός.

Βρίσκεται κυρίως κάτω από το δέρμα ως υποδόριος ιστός και σε ορισμένες θέσεις γύρω από ορισμένα όργανα, όπως είναι τα νεφρά.

Κύριες λειτουργίες είναι η αποθήκευση ενέργειας, η στήριξη οργάνων, η θερμομόνωση και η απόσβεση κραδασμών κατά την κίνηση του ζώου. Τα ζώα που ζουν σε θερμά κλίματα εναποθέτουν το λίπος σε ορισμένα σημεία του σώματος για να μην λειτουργεί ως θερμομόνωση (η καμπούρα της καμήλας). Σε αυτά τα ζώα το λίπος χρησιμεύει και σαν «αποθήκη» νερού (το νερό παράγεται με την οξείδωση του λίπους, μεταβολικό νερό).

Σε ορισμένα ζώα, κυρίως αυτά που πέφτουν σε χειμέρια νάρκη, εμφανίζεται ένας ειδικός τύπος λιποκυττάρων που έχουν χαρακτηριστικό σκούρο χρώμα. Αυτό το λίπος εναποτίθεται μεταξύ του λαιμού και της ωμοπλάτης των ζώων και χρησιμεύει για τη παραγωγή θερμότητας που παράγεται από το γρήγορο μεταβολισμό του λίπους με μια μεταβολική πορεία διαφορετική από εκείνη του μεταβολισμού των λιπαρών οξέων. Το διαφορετικό χρώμα οφείλεται στο μεγάλο αριθμό μιτοχονδρίων που περιέχουν αυτά τα λιποκύτταρα και το μεγάλο αριθμό των αιμοφόρων αγγείων που χρησιμεύουν στη γρήγορη απαγωγή της θερμότητας στο υπόλοιπο σώμα.

4.2.2.1.5. Πυκνός ή ινώδης συνδετικός ιστός.

Από αυτόν αποτελούνται οι τένοντες, διάφορες χορδές και το χόριο του δέρματος. Λειτουργία του ιστού αυτού είναι η στήριξη, και η μεταφορά μηχανικής δύναμης. Κύριο συστατικό του είναι οι ίνες κολλαγόνου που μπορεί να έχουν κανονική ή ακανόνιστη διάταξη.

4.2.2.1.6 Χόνδρος.

Είναι το κύριο σκελετικό συστατικό των χονδριχθύων και μερικών άλλων ασπόνδυλων ζώων, αποτελεί τον εμβρυακό σκελετό των θηλαστικών, και βρίσκεται στις άκρες οστών (επιφύσεις), με τη μορφή δακτυλίων στηρίζει σωληνωτές δομές (όπως η τραχεία). Ρόλος του χόνδρου είναι η στήριξη αλλά

και για η μείωση της τριβής μεταξύ των οστών (αρθρικός χόνδρος). Ο χόνδρος αποτελείται από τα χονδροκύτταρα που εκκρίνουν την πρωτεΐνη χονδρίνη που είναι το κύριο συστατικό του χόνδρου.

Υπάρχουν τρία είδη χόνδρου:

- i. ο υαλώδης χόνδρος, που χρησιμεύει κυρίως ως υλικό ελάττωσης του συντελεστή τριβής στις αρθρώσεις μεταξύ των οστών.
- ii. ο ελαστικός χόνδρος, όπως αυτός από τον οποίο αποτελείται το εξωτερικό αυτί του ανθρώπου αλλά και άλλων θηλαστικών, και
- iii. ο ιώδης χόνδρος, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους μεσοσπονδύλιους δίσκους που ρόλος τους είναι η ελάττωση των τριβών αλλά και η απορρόφηση κραδασμών.

4.2.2.1.7 Οστίτης ιστός.

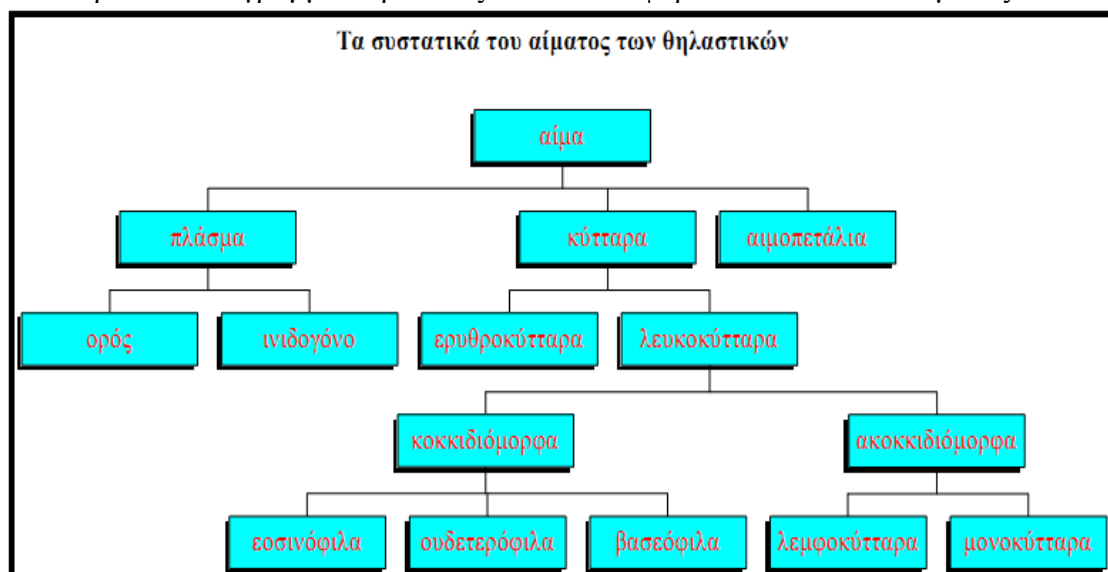
Είναι το κύριο σκελετικό συστατικό των περισσοτέρων σπονδυλοζώων. Λειτουργίες του ιστού αυτού είναι η στήριξη όλου του οργανισμού καθώς επίσης και η στήριξη και προστασία εσωτερικών οργάνων όπως ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός, ως αποθήκη ασβεστίου, και για τη στήριξη μυών. Αποτελείται από οστεοκύτταρα, τα οποία όταν είναι ενεργά και εκκρίνουν τη θεμέλια ουσία αναφέρονται ως οστεοβλάστες και τους οστεοκλάστες που είναι πολυπύρηννα κύτταρα υπεύθυνα για την αποικοδόμηση του οστού. Ανάλογα με τη θέση του οστού στον οργανισμό και τη μηχανική καταπόνηση που υφίσταται τα οστά έχουν συμπαγή, σωληνωτή (τύπου Havers) ή σπογγώδη δομή.

Ο εξωσκελετός των αρthropόδων δεν έχει καμία σχέση με τον οστίτη ιστό, ή προέλευσή του είναι από τον επιθηλιακό ιστό.

4.2.2.1.8. Αίμα.

Το αίμα, αν και ο προφανής ρόλος του δεν είναι στηρικτικός ή συνδετικός, μελετάται με τους στηρικτικούς ιστούς λόγω της προέλευσής του και της μορφολογίας του. Το αίμα, σε όλα τα σπονδυλόζωα αλλά και σε μερικά ασπόνδυλα, κυκλοφορεί μέσα σε αιμοφόρα αγγεία και χρησιμεύει για τη μεταφορά θρεπτικών υλικών, ουσιών αποικοδόμησης, οξυγόνου κλπ.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα διάφορα συστατικά του αίματος.



Το αίμα των σπονδυλοζώων αποτελείται από κύτταρα μέσα σε υγρό εξωκυτταρικό υλικό το πλάσμα.

Ο ορός του αίματος περιέχει νερό, πρωτεΐνες, γλυκόζη, λιπίδια, αμινοξέα, άλατα, ένζυμα, ορμόνες, αντιγόνα, αντισώματα, ουρία κ.ά.

Το ινιδογόνο είναι μια πρωτεΐνη που συμμετέχει στην πήξη του αίματος.

Τα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών είναι απύρρηνα, έχουν σχήμα αμφίκυκλου δίσκου, περιέχουν αιμοσφαιρίνη και ρόλος τους είναι η μεταφορά οξυγόνου. Ο αριθμός τους είναι περίπου 5.000.000 /mm³.

Τα λευκά αιμοσφαίρια είναι περίπου 7000 /mm³. Περιέχουν πυρήνα, άχρωμο κυτταρόπλασμα και η λειτουργία τους είναι η άμυνα του οργανισμού. Τα διάφορα είδη λευκοκυττάρων διαχωρίζονται ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι κοκκίων στο κυτταρόπλασμα, την αντίδρασή τους με διάφορες κυτταρολογικές χρωστικές και το σχήμα του πυρήνα τους.

Συνοπτικά οι διάφοροι ιστοί, η θέση και η λειτουργία τους φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4.1.:

Τύπος	Λειτουργία	Θέση
Χαλαρός συνδετικός ιστός	Συνδέει - στηρίζει όργανα	Κάτω από το δέρμα και κάτω από κάθε επιθήλιο
Ελαστικός συνδετικός ιστός	Παρέχει ελαστικότητα σε ορισμένα όργανα	Πνεύμονες, ουροδόχος κύστης, μήτρα, μεγάλες αρτηρίες
Δικτυωτός συνδετικός ιστός	στηρίξη - διατήρηση σχήματος ορισμένων οργάνων	συκώτι, λεμφογάγγλια, σπλήνα
Αποθετικός ιστός	Μονώνει, αποθηκεύει λίπος	Κάτω από το δέρμα, γύρω από τα νεφρά.
Ινώδης συνδετικός ιστός	Συνδέει όργανα	Τένοντες, χορδές
Χόνδρος		
Γαλβήνης χόνδρος	Στηρίζει, προστατεύει	Ακρες (επιφύσεις) οστών, μύτη, δακτύλιοι στις αναπνευστικές οδούς
Ελαστικός χόνδρος	Στηρίζει, προστατεύει	Εξωτερικό αυτί, μέρος του λάρυγγα
Ινώδης χόνδρος	Στηρίζει, προστατεύει	Μεταξύ των σπονδύλων, και στο γόνατο
Οστά	Στηρίζουν, προστατεύουν	Οστά του σκελετού
Αίμα	Μεταφέρει αέρια, θρεπτικά συστατικά και άχρηστες ουσίες για απομάκρυνση από το σώμα, καταπολέμηση μολύνσεων, πήξη του αίματος	Αιμαφόρα αγγεία

Πίνακα 4.1. Διάφοροι ιστοί, η θέση και η λειτουργία τους.

4.2.3. Μυϊκός ιστός.

Η κίνηση των περισσοτέρων ζώων είναι αποτέλεσμα της σύσπασης των επιμηκυσμένων, κυλινδρικών ή ατρακτοειδών κυττάρων του μυϊκού ιστού. Κάθε μυϊκό κύτταρο συνήθως αναφέρεται σαν Μίκη ίνα λόγω του μήκους του. Μια μυϊκή ίνα περιέχει πολλές μικρές, επιμήκεις παράλληλες συσταλτές ίνες τα μυοϊνίδια. Οι ινώδεις πρωτεΐνες ακτίνη και μυοσίνη είναι τα κύρια συστατικά των πρωτεϊνών. Τα μυϊκά κύτταρα παράγουν έργο όταν συσπώνται.

Στα σπονδυλόζωα εμφανίζονται τρεις τύποι μυών, οι γραμμωτοί, οι λείοι, και οι καρδιακοί.

Γραμμωτοί ή σκελετικοί μύες αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της μυϊκής μάζας και εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις είναι στηριγμένοι σε οστά. Κάθε σκελετική μυϊκή ίνα έχει πολλούς πυρήνες που βρίσκονται περιφερειακά κάτω από τη κυτταρική μεμβράνη (το σαρκείλημα). Το μεγαλύτερο μέρος της μυϊκής ίνας αποτελείται από τα μυοϊνίδια που είναι

και τα συσταλτά στοιχεία. Λείες μυϊκές ίνες βρίσκονται στα τοιχώματα του πεπτικού σωλήνα, των αιμοφόρων αγγείων, της μήτρας και άλλων εσωτερικών οργάνων. Καρδιακές μυϊκές ίνες αποτελούν τους μύες της καρδιάς.

Με το οπτικό μικροσκόπιο παρατηρούνται εγκάρσιες γραμμώσεις στους γραμμωτούς και τους καρδιακούς μύες. Το πλάτος των γραμμώσεων αλλάζει κατά τη μυϊκή σύσπαση. Οι γραμμωτοί μύες έχουν την ικανότητα να συσπώνται γρήγορα αλλά δεν μπορούν να παραμείνουν σε σύσπαση. Στα ασπόνδυλα υπάρχουν οι ίδιες κατηγορίες μυϊκών ινών που όμως μπορεί να έχουν λίγο ή πολύ διαφορετικές ιδιότητες.

Ένας άλλος διαχωρισμός των μυϊκών ινών γίνεται σύμφωνα με το χρώμα τους. Έτσι διαχωρίζουμε τους σκουρόχρωμους (βραδείας σύσπασης) και τους ανοιχτόχρωμους (ταχείας σύσπασης) μύες. Ο διαχωρισμός αυτός έχει ενδιαφέρον όχι μόνο από φυσιολογικής πλευράς αλλά και για τον διαχωρισμό των ποιοτήτων του κρέατος. Και οι δυο τύποι μυών είναι γραμμωτοί. Οι σκουρόχρωμοι (κόκκινοι) μύες περιέχουν περισσότερη μυογλοβίνη (μυοσφαιρίνη) και περισσότερο λίπος που κατά προτίμηση το χρησιμοποιούν για την παραγωγή έργου, έτσι οι μύες αυτοί κάνουν πιο αργές συσπάσεις αλλά αντέχουν περισσότερο. Οι ανοιχτόχρωμοι (λευκοί) μύες χρησιμοποιούν περισσότερο γλυκογόνο σαν αναπνευστικό υπόστρωμα, συσπώνται πιο γρήγορα αλλά αντέχουν λιγότερο στην καταπόνηση. Το ποσοστό των δυο ειδών μυϊκών ινών διαφέρει από ζώο σε ζώο και από άτομο σε άτομο. Μεγαλύτερο ποσοστό σκούρων ινών δίνει αργή κίνηση αλλά αντοχή (δρομείς μεγάλων αποστάσεων), ενώ μεγαλύτερο ποσοστό ανοιχτόχρωμων ινών δίνει γρήγορη κίνηση αλλά χωρίς μεγάλη αντοχή (sprinters). Η ποιότητα του κρέατος επίσης διαφέρει ανάλογα με το ποσοστό των δυο τύπων μυϊκών ινών. Το ανοιχτόχρωμο κρέας είναι πιο στεγνό και άγευστο από το σκουρόχρωμο κρέας που είναι πιο νόστιμο και όχι στεγνό. Η διαφορά οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη λίπους ανάμεσα στις ίνες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το κοτόπουλο όπου οι δυο τύποι κρέατος διαφέρουν φανερά. Το κρέας του στήθους που είναι ανοιχτόχρωμο και στεγνό και το κρέας του ποδιού που είναι πιο σκούρο αλλά πιο μαλακό και ζουμερό.

	Γραμμωτοί	Λελοί	Καρδιακοί
Θέση	στηριγμένοι στο σκελετό	τοιχώματα στομάχου κλπ.	καρδιά
Τύπος ελέγχου	εκούσιος	ακούσιος	ακούσιος
Σχήμα ίνας	επιμήκης, κυλινδρική, με στρογγυλεμένα άκρα	επιμήκης, ατρακτοειδής, με οξεία άκρα	επιμήκεις, κυλινδρικές που διακλαδίζονται και συνενώνονται
Γραμμώσεις	παρούσες	απούσες	παρούσες
Αριθμός πυρήνων ανά ίνα	πολλοί	ένας	ένας ή δυο
Θέση πυρήνα	περιφερειακά	στο κέντρο	στο κέντρο
Ταχύτητα σύσπασης	γρήγορη	αργή	μέτρια
Ικανότητα παραμονής σε σύσπαση	ελάχιστη	μέγιστη	ενδιάμεση

Πίνακα 4.2. Τύποι μυών στα σπονδυλόζωα

4.2.4. Νευρικός ιστός.

Ο νευρικός ιστός αποτελείται από νευρώνες, κύτταρα εξειδικευμένα στη μετάδοση ηλεκτροχημικών νευρικών ώσεων και τη νευρογλοία, που αποτελούν κύτταρα που ο ρόλος τους είναι η στήριξη και η θρέψη των νευρώνων. Οι νευρώνες επικοινωνούν μεταξύ τους με ειδικές δομές τις συνάψεις.

Οι νευρώνες αποτελούνται από το σώμα του κυττάρου από το οποίο εκφύονται οι δενδρίτες, το νευράξονα ή νευρίτη που ξεκινάει από το σώμα και στην άλλη άκρη του υπάρχουν αποφυάδες που στο σύνολό τους ονομάζονται τελοδενδρία. Κάθε μια από αυτές τις αποφυάδες αποτελεί ένα τελικό δενδρύλλιο. Ο άξονας μπορεί να περιβάλλεται από το μυελινικό έλυτρο που αποτελείται από νευρογλοιακά κύτταρα και τα οποία αναφέρονται σαν έλυτρα του Swann. Το περίβλημα αυτό προστατεύει το νευρώνα περίπου όπως και το πλαστικό περίβλημα ενός ηλεκτροφόρου καλωδίου. Το έλυτρο του Swann αποτελείται από πεπλατυσμένα κύτταρα γεμάτα με λίπος που είναι τυλιγμένα γύρω από τον άξονα το ένα δίπλα στο άλλο έτσι που να τον καλύπτουν, τα σημεία του άξονα, όπου δυο τέτοια κύτταρα γειτονεύουν ονομάζονται κόμβοι του Ranvier. Η επικοινωνία μεταξύ νευρικών κυττάρων γίνεται με τα συναπτικά κομβία που βρίσκονται στα τελικά δενδρύλλια τα οποία είναι σε επαφή με το σώμα κάποιου άλλου νευρικού κυττάρου προς το οποίο μεταδίδουν τον νευρικό παλμό ή με ένα μυϊκό κύτταρο (νευρομυϊκή σύναψη) προς το οποίο μεταδίδουν το μήνυμα για τη μυϊκή σύσπαση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΨΑΡΙΩΝ

5.1. Γενικά

Υπάρχουν περισσότερα από 30.000 καταγεγραμμένα είδη ψαριών, λίγο πολύ μοιρασμένα σε γλυκό και θαλασσινό νερό, από τα οποία γύρω στα 1500 είναι αυτά για τα οποία υπάρχει ενδιαφέρον από τους ενυδρείοφιλους. Τα ψάρια έχουν μια τεράστια ποικιλομορφία και αυτό μπορεί να παρατηρηθεί εύκολα ακόμα και από το μικρό δείγμα, επί του συνόλου, το οποίο χρησιμοποιείται σε ενυδρεία. Τα ψάρια ήταν τα πρώτα σπονδυλωτά ζώα με κοκάλινο σκελετό που εμφανίστηκαν στη Γη και η εξέλιξή τους είναι στενά συνδεδεμένη με την ανθρώπινη ζωή.

Από το αρχείο απολιθωμάτων γνωρίζουμε σήμερα ότι τα πρώτα ψάρια, σε αντίθεση με τα σημερινά, δε διέθεταν λέπια, πτερύγια και σιαγόνες αλλά μόνο ένα τύπο ραχιαίου πτερυγίου.

Με το πέρασμα του χρόνου άλλαξαν ως προς το σχήμα και το μέγεθος και προσαρμόστηκαν σε διαφορετικές συνθήκες και ενδιαιτήματα. Σήμερα τα ψάρια έχουν αποικίσει σχεδόν κάθε υδάτινο ενδιαίτημα τόσο αλμυρού όσο και γλυκού νερού.

Το σώμα τους είναι σε γενικές γραμμές αεροδυναμικό, καλυμμένο με λεία λέπια και εξοπλισμένο με πτερύγια που τους επιτρέπουν να κινούνται με ταχύτητα και σταθερότητα.

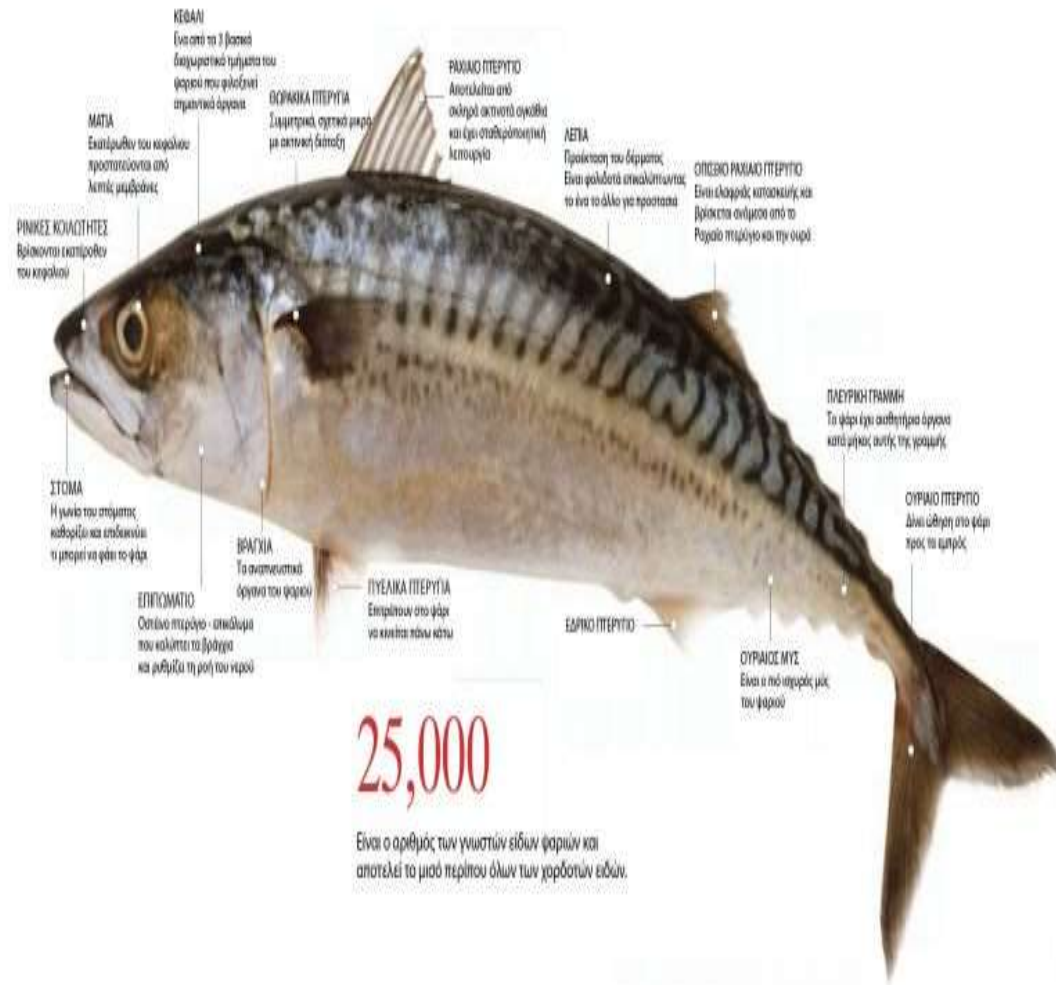
Για την αναπνοή τους αυτά τα πολύπλοκα πλάσματα αντί για πνεύμονες, καταπλειοψηφία, χρησιμοποιούν τα βράγχια, που είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να αιχμαλωτίζουν το ελάχιστο οξυγόνο από το νερό. Τα ψάρια, κατά κανόνα, είναι ψυχρόαιμα ζώα. Παρόμοια χαρακτηριστικά προσδιορίζουν σχεδόν όλα τα ψάρια με λίγες και σπάνιες εξαιρέσεις. Είναι σχεδιασμένα να ζούν μέσα στο νερό, διαθέτουν σιαγόνα, ένα ζευγάρι ακάλυπτα μάτια, αναπνέουν με βράγχια και έχουν σπονδυλική στήλη και πτερύγια που τους επιτρέπουν να κινούνται με ταχύτητα και σταθερότητα. Πολλά ψάρια μεταναστεύουν σε τεράστιες αποστάσεις από τους πόλους μέχρι τον ισημερινό αλλά ελάχιστα μπορούν να περάσουν από το γλυκό στο αλμυρό νερό και αντίστροφα.

Ζώα όπως τα δελφίνια και οι φάλαινες συχνά εσφαλμένα χαρακτηρίζονται σαν ψάρια αφού είναι θηλαστικά, σαν εμάς.

5.2. Εξωτερική ανατομία ψαριού

Ένα ψάρι συνήθως σχεδιάζεται σαν μια μακρουλή άτρακτο και πραγματικά αυτό είναι το πιο διαδεδομένο σχήμα αφού καθιστά ευκολότερο το κολύμπι στην ανοιχτή θάλασσα.

Αυτά τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά επιτρέπουν ταχεία επιτάχυνση και καθόλου ευκαταφρόνητη ταχύτητα (μερικές φορές άνω των 20 χλμ/ώρα) σε ένα μέσο όπως το νερό που προβάλλει σημαντική αντίσταση. Παρά ταύτα υπάρχουν και άλλες φόρμες που αν και αρκετά διαφορετικές συνδέονται από τον ίδιο τρόπο ζωής των ψαριών.



Εικόνα 5.1. Εξωτερική ανατομία ψαριού.

Οι κάτοικοι του πυθμένα σε πολλές περιπτώσεις έχουν επίπεδα σώματα, ενώ σε νερά με πλούσια βλάστηση και κλαδιά παρατηρούμε σώματα συμπαγή και λεπτά, που τους επιτρέπουν να στριμώνονται ανάμεσα από τα εμπόδια, όπως αντίστοιχα στους κοραλλιογενείς υφάλους ελίσσονται ανάμεσα στα συμπλέγματα των κοραλλιών. Τέλος υπάρχουν και πολλά είδη τα οποία δύσκολα ταξινομούνται, με παράξενες φόρμες εξειδικευμένες για συγκεκριμένο τρόπο ζωής σε συγκεκριμένο περιβάλλον.

5.2.1. Τα πτερύγια

Τα ψάρια διαθέτουν διάφορους τύπους περυγίων καθένας εκ των οποίων παίζει ένα πολύ συγκεκριμένο ρόλο. Ο σχηματισμός τους και η ονομασία τους χρησιμοποιούνται συχνά για να τα ταξινομήσουμε σε διαφορετικές οικογένειες.

Από τα μονά πτερύγια(εκείνα δηλαδή που δε σχηματίζουν ζευγάρι) Τα πιο σημαντικά είναι το ραχιαίο και τα εδρικά πτερύγια τα οποία βοηθούν το ψάρι να σταθεροποιηθεί όταν κολυμπάει πολύ γρήγορα ή να φρενάρει και είναι κλειστά όταν το ψάρι αναπτύσσει ταχύτητα.

Το ουραίο πτερύγιο δίνει προώθηση σε συνεργασία με το πίσω μέρος του σώματος. Σε μερικά είδη όπως τα "characins" και τα γατόψαρα υπάρχει ένα μικρό επιπλέον

πτερύγιο μεταξύ του ραχιαίου και του ουραίου που λέγεται «adipose» (λιπόδες) πτερύγιο που δε χρησιμοποιείται ιδιαίτερα.

Το ζευγάρι πτερυγίων που βρίσκονται συμμετρικά από την αριστερή και δεξιά μεριά του σώματος ονομάζονται θωρακικά και πλευρικά πτερύγια (pectoral and pelvic fins) Χρησιμοποιούνται για σταθεροποίηση, αλλαγή κατεύθυνσης πάνω-κάτω αριστερά-δεξιά ή μπρος-πίσω, επιβράδυνση και σταμάτημα.

Τα πτερύγια αποτελούνται από μια τεντωμένη μεμβράνη πάνω σε ακτίνες και μπορούνε όλα να διπλωθούν παραπλεύρως του σώματος, με εξαίρεση το ουραίο πτερύγιο.

Το λιπόδες πτερύγιο είναι απλά ένα δίπλωμα του δέρματος χωρίς ακτινωτές ενώσεις. Όταν οι ακτίνες είναι μακρύτερες από την ενδιάμεσή τους μεμβράνη τότε τα πτερύγια είναι κοινώς γνωστά σαν ακανθωτά και μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο, όπως στην περίπτωση της γνωστής σκορπίνας

5.2.2. Η βλέννα το δέρμα και τα λέπια

Τα σώματα των ψαριών είναι επικαλυμμένα με ένα είδος βλέννας που παίζει διπλό ρόλο. Ενισχύει την υδροδυναμική λειαινοντας το σώμα και παρέχει προστασία ενάντια σε εισβολή από παράσιτα ή άλλων παθογόνων. Το παραπάνω σημείο είναι πολύ σημαντικό και απαντάει στο γιατί δεν πρέπει να μεταφέρουμε τα ψάρια με τα χέρια. Η βλέννα καταστρέφεται και διευκολύνεται η ανάπτυξη συγκεκριμένων ασθενειών. Σε αντίθεση απ'ότι πολύ πιστεύουν τα λέπια δεν είναι κολλημένα επάνω στο σώμα αλλά ενσωματωμένα κομμάτια του δέρματος και είναι ορατά πίσω από ένα λεπτό στρώμα διάφανης επιδερμίδας.

Σε περίπτωση που ένα λέπι είναι σηκωμένο, τραυματισμένο ή βγαλμένο το δέρμα ομοίως επηρεάζεται και γίνεται ευάλωτο στη δράση παθογόνων.

5.2.3. Το χρώμα

Κάθε ψάρι έχει ένα βασικό χρώμα που μπορεί να μεταβληθεί. Η αστραφτερή μεταλλική τους εμφάνιση προέρχεται από τους κρυστάλλους που υπάρχουν στα κύτταρα του δέρματος. Ποικίλουν ανάλογα με την κατεύθυνση που το φως πέφτει πάνω τους.

Το χρώμα ενός ψαριού είναι αποτέλεσμα διαφόρων χρωστικών ουσιών που βρίσκονται στην επιδερμίδα. Αυτές μπορούν να αλλάζουν σιγά σιγά στην περίπτωση της αναπαραγωγικής διαδικασίας ή του καμουφλάζ ελεγχόμενες από τις ορμόνες αλλά και πιο γρήγορα έως και αστραπιαία σε μια έξαρση επιθετικότητας ή ανταγωνισμού ελεγχόμενες από τα νεύρα .

Το χρώμα ενός ψαριού μεταβάλλεται ανάλογα με την ηλικία και τη διάθεση του. Υπάρχει όχι μόνο για να ικανοποιεί το μάτι αλλά διαδραματίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην κοινωνική ζωή του καθώς και στον αγώνα του για επιβίωση. Το χρώμα ενός ψαριού μπορεί επίσης να διαφέρει αν υποφέρει από κάποια ασθένεια ή από έλλειψη συγκεκριμένων θρεπτικών στοιχείων.

5.2.4. Το κεφάλι

Όποιο και αν είναι το σχήμα του, κωνικό, επιμήκη, κοντόχοντρο ή πλακουτσοτό, φιλοξενεί μερικά πολύ σημαντικά όργανα.

Πρώτα απ'όλα τα μάτια, τα οποία δεν έχουν βλεφαρίδες και έχουν μεγάλη ευχέρεια κίνησης. Αυτή η κινητικότητα σε συνδυασμό με τη θέση τους στα πλαϊνά του κεφαλιού, προσφέρουν ένα εύρος οπτικού πεδίου περίπου 270°. Σε αντίθεση με το εύρος πεδίου η σαφήνεια - καθαρότητα της όρασης τους είναι συνηθισμένη. Πέρα από μια συγκεκριμένη απόσταση ξεχωρίζουν μάζες και σχήματα παρά λεπτομέρειες.

Τα ψάρια είναι πολύ ευαίσθητα στις διακυμάνσεις του φωτός. Ανιχνεύουν χαμηλής έντασης φωτισμό όπως αυτό του φεγγαριού και αναγνωρίζουν χρώματα. Επόμενο έρχεται το στόμα: με μέγεθος και σχήμα που ποικίλει ανάλογα με τις διατροφικές συνήθειες των ψαριών. Τα σαρκοφάγα ψάρια έχουν γενικά μεγάλο στόμα που μπορεί να ανοίξει πολύ και είναι εφοδιασμένο με μια διάταξη αιχμηρών δοντιών, τα οποία σε κάποιες περιπτώσεις είναι καμπυλωτά με κλίση προς τα πίσω για να συγκρατούν τη λεία τους.

Τα παμφάγα και φυτοφάγα ψάρια έχουν μικρότερο στόμα με επίπεδα δόντια, ιδανικά προσαρμοσμένα για να αλέθουν την τροφή. Η θέση του στόματος στο κεφάλι μπορεί ομοίως να αποκαλύψει πληροφορίες για τη διατροφή του ψαριού. Ένα στόμα στο επάνω μέρος του κεφαλιού υποδεικνύει ότι το ψάρι τρέφεται στην επιφάνεια από κομμάτια τροφής που επιπλέουν ή αιωρούνται κοντά σε αυτήν. Ένα στόμα στο μέσο του κεφαλιού υποδεικνύει ότι το ψάρι κυνηγάει μέσα στο νερό, ενώ ένα στόμα στο κάτω μέρος σημαίνει ότι το ψάρι τρέφεται στον πυθμένα.

5.2.5. Η αναπνοή των ψαριών

Το νερό εισέρχεται διαμέσω του στόματος, περνάει από τα βράγχια και αποβάλλεται από την κίνηση των επιπομάτων που τα καλύπτουν. Πάντα μένει ένα μέρος νερού μέσα στα βράγχια. Η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται δεν είναι απόλυτα αναλογική με το μέγεθος του ψαριού. Τα μικρότερα ψάρια είναι οι μεγαλύτεροι καταναλωτές οξυγόνου και ο κανόνας λέει ότι δέκα ψάρια του ενός γραμμαρίου έκαστο καταναλώνουν περισσότερο οξυγόνο από ένα ψάρι δέκα γραμμαρίων.

5.2.6. Τα μουστάκια

Τα ψάρια που ζούνε στον πυθμένα ή σε σκοτεινό περιβάλλον (χρωματισμένο ή θολό νερό) έχουν μουστάκια περιμετρικά από το στόμα. Αυτές οι προσθετικές αποφύσεις είναι αισθητήρια όργανα που ενισχύουν κάποιες αισθήσεις όπως της αφής, δρώντας συμπληρωματικά ή μερικές φορές αντικαθιστώντας εντελώς την όραση επιτρέπουν στο ψάρι να ανιχνεύσει πιθανές πηγές τροφής. Στα ψάρια με μουστάκια ανήκουν πολλά είδη γατόψαρων κάθε σχήματος και μεγέθους.

5.2.7. Τα ρουθούνια

Δύο ή τέσσερα σε αριθμό είναι τοποθετημένα μπροστά από τα μάτια. Δεν παίζουν κανένα ρόλο στην αναπνοή αλλά εκτείνονται μέσα στο κεφάλι δια μέσω μιας

οσφρητικής κύστης. Λαμβάνουν και αναλύουν μυρωδιές, πολύ περισσότερες απ' ό τι οι άνθρωποι και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις.

5.2.8. Επιπωματίο

Αυτό λειτουργεί σαν μια βαλβίδα. Προστατεύει τα βράγχια, ενώ εγγυάται την κυκλοφορία του νερού διαμέσω τους, εξασφαλίζοντας ότι τα βράγχια είναι πάντοτε σε επαφή με το νερό απ' το οποίο εξάγουν το πολύτιμο οξυγόνο.

5.2.9. Η πλευρική γραμμή

Διατρέχει συμμετρικά κατά μήκος κάθε μία απ' τις πλευρές του σώματος του ψαριού. Λιγότερο ή περισσότερο ορατή ανάλογα με το είδος, αποτελείται από μια αλληλουχία πόρων, που επικοινωνούν με ένα κανάλι, το οποίο βρίσκεται κάτω απ' το δέρμα. Αυτό το σημαντικό όργανο δεν υπάρχει σε κανένα άλλο σπονδυλωτό. Η πλευρική γραμμή με τα εξειδικευμένα κύτταρά της ανιχνεύει τις δονήσεις στο νερό οι οποίες ταξιδεύουν σαν κύματα διαφορετικής πίεσης και στέλνει στον εγκέφαλο τις πληροφορίες για ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό τα ψάρια είναι σε επαγρύπνηση κάθε στιγμή καταλαβαίνοντας πότε τα πλησιάζει κάτι που μπορεί να είναι εχθρός, λεία, η το χέρι μας σε κάποια συντήρηση του ενυδρείου. Η σημαντικότητα της πλευρικής γραμμής είναι ολοφάνερη στην περίπτωση των τυφλών τέτρα (Anoptichthys jordani), τα οποία αν και τυφλά ποτέ δε προσκρούουν σε κάποιο εμπόδιο.

5.3. Εσωτερική ανατομία ψαριού

Το άθροισμα του βάρους των εσωτερικών οργάνων ενός τυπικού σχήματος ψαριού φτάνει βιαιώς το 50-60% του συνολικού βάρους. Λέμε τυπικό σχήμα ψαριού γιατί στη φύση υπάρχουν πολλές ακρότητες με σώματα που εξωθούνται στα άκρα σε σχήματα αλλά και σε αναλογίες.

5.3.1. Ο εγκέφαλος

Ο εγκέφαλος ενός ψαριού είναι σχετικά απλός όταν τον συγκρίνουμε με άλλων πιο εξελιγμένων ζώων. Οι περιοχές που αντιστοιχούν στην όραση και την όσφρηση είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες καταδεικνύοντας πόσο σημαντικές είναι οι αισθήσεις αυτές.

5.3.2. Ο σκελετός

Προφανώς αυτός υποστηρίζει το σώμα του ψαριού. Καθώς όμως μέσα στο νερό η άνωση εξουδετερώνει τη βαρύτητα ο σκελετός των ψαριών δεν είναι τόσο στιβαρός και ανθεκτικός όσο των ζώων της ξηράς. Αυτή η σχετική ευθραυστότητα είναι ένα μειονέκτημα και δεν είναι ασυνήθιστο, να δούμε γόνο να βγαίνει από το αυγό, η στην περίπτωση των ζωοτόκων ψαριών κατευθείαν απ' τη μήτρα παραμορφωμένος, στριμένος ή σε σχήμα κοτλέ. Πολλά ψάρια μάλιστα στο φιλικό περιβάλλον του ενυδρείου καταφέρνουν να επιβιώσουν διατηρώντας τα παράξενα σχήματα που αποκτήσανε εξαιτίας αυτής της αδυναμίας του σκελετού τους.

5.3.3. Το αναπνευστικό και κυκλοφοριακό σύστημα του ψαριού

Είναι πολύ χαρακτηριστικό και ιδιόμορφο. Το αίμα φορτωμένο με διοξείδιο του άνθρακα διοχετεύεται από την καρδιά στα βράγχια όπου και οξυγονώνεται. Η φύση έχει εφοδιάσει τα ψάρια με οχτώ βράγχια (τέσσερα σε κάθε πλευρά) καθένα απ' τα οποία αποτελείται από δύο φύλλα. Η συνολική επιφάνεια αυτών των πολύ βασικών

οργάνων αν αναπτυχθούν-ξεδιπλωθούν είναι περίπου ίση με αυτή του σώματος τους. Το έντονο κόκκινο χρώμα οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε αίμα. Το σκούρο χρώμα είναι σύμπτωμα αναπνευστικής δυσλειτουργίας. Τα βράγχια είναι ευαίσθητα όργανα ευάλωτα σε ζημιές από αιρούμενα σωματίδια και παράσιτα., τέτοιες ζημιές έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση πρόσληψης οξυγόνου με όλες τις επακόλουθες δυσάρεστες συνέπειες. Αφού περάσει από τα βράγχια το αίμα πλούσιο σε οξυγόνο διατρέχει όλο το σώμα και το οξυγόνο συνεχίζει να διασπάει την τροφή στα όργανα.

Στην ιστορία της εξέλιξης κάποια είδη ψαριών έχουν αποδεσμευτεί από την ανάγκη να λαμβάνουν οξυγόνο μέσα απ'το νερό αναπτύσσοντας ειδικά όργανα που τους επιτρέπουν να αναπνέουν ατμοσφαιρικό αέρα.

5.3.4. Το πεπτικό σύστημα των ψαριών

Εδώ δεν υπάρχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά πάρα το γεγονός ότι το στομάχι των ψαριών μπορεί να διογκωθεί πολύ ώστε να μπορέσει να κρατήσει μεγάλη λεία. Ειδικά στην περίπτωση των σαρκοβόρων. Η χώνεψη ξεκινάει στο στομάχι και συνεχίζεται δια μέσω του εντέρου. Στην περίπτωση μεγάλης λείας μπορεί να κρατήσει για μέρες, αλλά σε ένα ενυδρείο με τεχνητή τροφή δε διαρκεί παραπάνω από λίγες ώρες.

5.3.5. Το απεκκριτικό σύστημα των ψαριών

Αυτό επιτρέπει στην τροφή που δεν έχει χωνευτεί να εκκενωθεί μέσω του πρωκτού με τη μορφή περιττωμάτων. Τα ούρα σχηματίζονται στα νεφρά που βρίσκονται κάτω από την σπονδυλική στήλη και εκκενώνονται μέσω ενός ουρητικού πόρου. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα ψάρια αποβάλλουν αζωτούχα παράγωγα και μέσω των βράγγιων τους. Όλες οι απόβλητες ουσίες περιέχουν άζωτο και είναι τοξικές για τα ζώα, αλλά, σε ένα ισορροπημένο ενυδρείο, αυτές οι ουσίες μετατρέπονται ακολούθως σε νιτρικά, που δε προκαλούν ιδιαίτερη ζημιά, και δεσμεύονται από τα φυτά σαν θρεπτικά στοιχεία.. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν αληθινά φυτά στο ενυδρείο αυτές οι ουσίες απομακρύνονται κάνοντας τακτικά μια μικρή αλλαγή νερού.

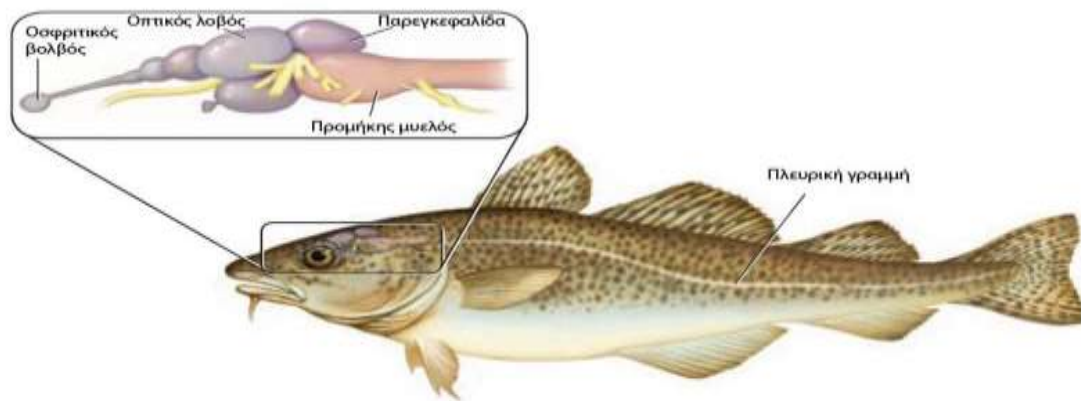
5.3.6. Νηκτική κύστη

Το σώμα των ψαριών είναι φτιαγμένο από σάρκα και κόκαλα, λίγο βαρύτερο απ'το νερό της θάλασσας. Αυτό σημαίνει ότι αν έμεναν ακίνητα θα βυθίζονταν αργά αλλά σταθερά και θα πήγαιναν στο πάτο. Αυτό ίσως να είναι πλεονέκτημα για κάποια ψάρια που περνάνε το μεγαλύτερο κομμάτι της ζωής τους προσκολλημένα στον πυθμένα, αλλά για πολλά ψάρια, όπως ο τόνος και οι περισσότεροι καρχαρίες, αυτή η μόνιμα αρνητική πλευστότητα είναι ίσως ο βασικότερος παράγοντας, που τους επιβάλλει τον τρόπο ζωής τους. Ταξιδεύουν διαρκώς στην απέραντη θάλασσα, κολυμπώντας σε βάθη που υπάρχει τροφή αλλά που είναι χιλιόμετρα ψηλότερα από τον πυθμένα. Για να συγκρατηθούν εκεί είναι αναγκασμένα να κολυμπούν συνεχώς και να μην κοιμούνται ίσως ποτέ. Ο τρόπος με τον οποίο κάποια ψάρια έχουν ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα της βύθισης ή της αένας κίνησης λέγεται νηκτική κύστη και τα ψάρια που τη διαθέτουν μπορούν να αιωρούνται στο νερό χωρίς προσπάθεια, σε οποιοδήποτε βάθος. Πρόκειται για ένα όργανο συνδεδεμένο με το πεπτικό σύστημα, που μοιάζει με ασκό ο οποίος γεμίζει με αέρια και βοηθάει το ψάρι να ρυθμίζει την πλευστότητά του. Η κύστη

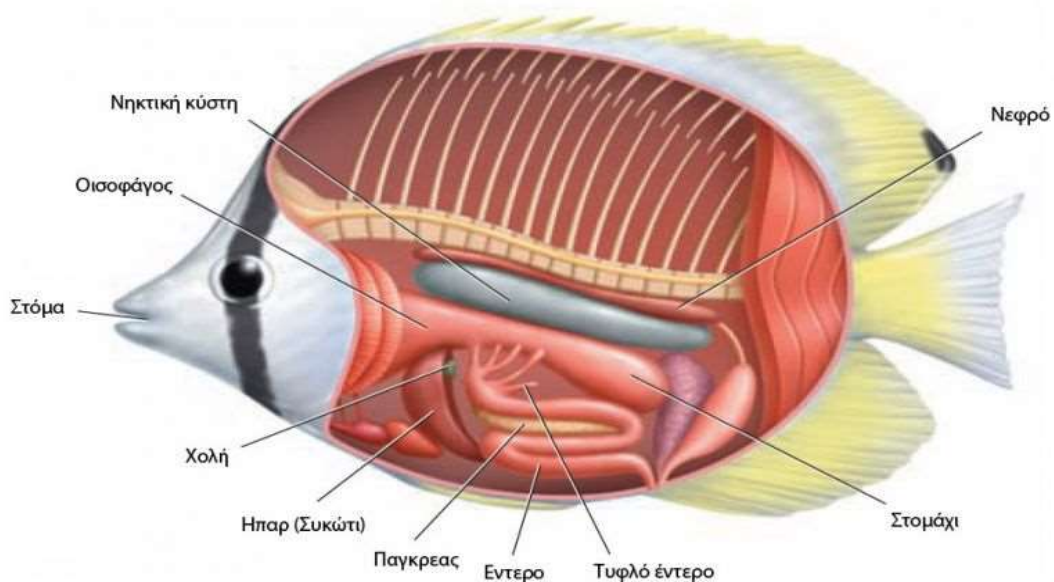
αυτή αυξάνει τον όγκο του ψαριού χωρίς να μεταβάλει το βάρος του κρατώντας το σε απόλυτη ισορροπία μέσα στο νερό. Για να κατέβει συμπιέζει την κύστη ελαττώνοντας την περιεκτικότητά της σε αέρια ενώ το αντίστροφο συμβαίνει κατά την άνοδο. Υπάρχει ο κίνδυνος κατά την άνοδο, αν αυτή είναι βεβιασμένη ο αέρας από την κύστη να μην προλάβει να αποβληθεί με αποτέλεσμα το ψάρι να βρεθεί στην επιφάνεια με την παραφουσκωμένη κύστη έξω απ' το στόμα του.

5.3.7. Τα αναπαραγωγικά όργανα του ψαριού

Τα αρσενικά ψάρια έχουν δυο όρχεις που συνδέονται με ένα αγγείο ενώ τα θηλυκά έχουν ωθήκες παρατεταμένες των ωαγωγών. Και στις δυο περιπτώσεις, τα γενετικά προϊόντα, τα ωάρια και τα σπερματοζωάρια αποβάλλονται μέσω μιας γενετήσιας οπής. Εφόσον η γονιμοποίηση των αυγών γίνεται έξω απ' το σώμα, στο νερό, δεν υπάρχουν όργανα για ζευγάρωμα με εξαίρεση τα ζωοτόκα.



Τα ψάρια έχουν έναν εγκέφαλο που τους επιτρέπει να εκτελούν τις ζωτικές τους λειτουργίες.



Το σύστημα πέψης των ψαριών είναι παρόμοιο με εκείνο των υπολοίπων χορδοτών

Εικόνα 5.2. Σύστημα πέψης των ψαριών

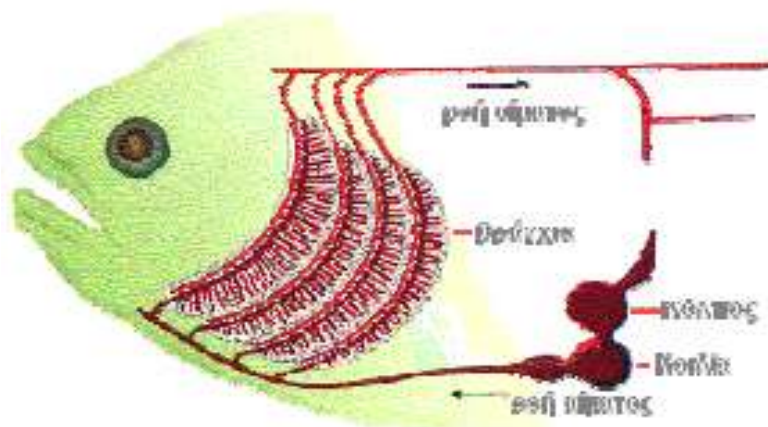
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΤΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΤΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ (ΤΕΛΕΟΣΤΕΩΝ)

6.1. Η κυκλοφορία του αίματος των ψαριών

Για το σχεδιασμό οποιασδήποτε πειραματικής διάταξης που σχετίζεται με την καρδιακή λειτουργία, είναι απαραίτητη η μελέτη της δομής και της μορφολογίας της καρδιάς, καθώς και του φυσιολογικού έλεγχου της καρδιακής λειτουργίας.

Το κυκλοφορικό σύστημα των ψαριών είναι κλειστό και περιλαμβάνει την καρδιά, το αρτηριακό, το φλεβικό και το λεμφικό σύστημα, καθώς και τη σπλήνα.

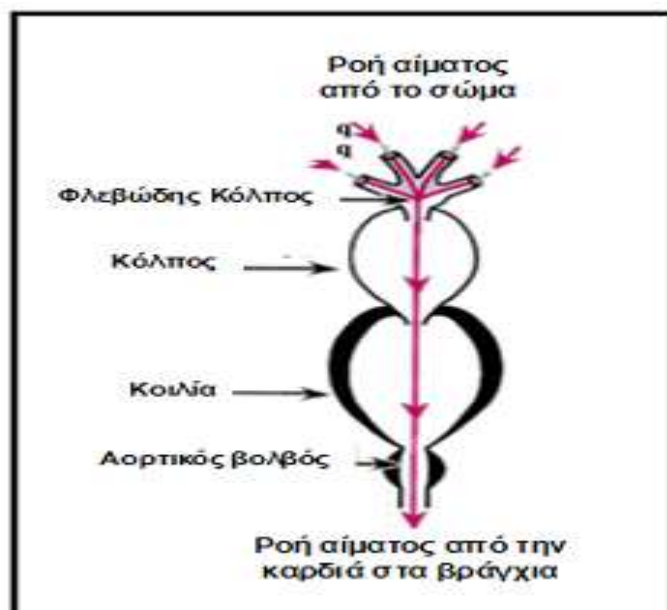
Δεν υπάρχει μικρή κυκλοφορία, ενώ το φλεβικό αίμα εισέρχεται από την καρδιά στα βράγχια για την ανταλλαγή αερίων και από εκεί το οξυγονωμένο αίμα οδηγείται στο σώμα και όχι πίσω στην καρδιά όπως τα χερσαία σπονδυλωτά (Εικ. 6.1) (Farrell, 2001).



Εικόνα 6.1: Η κυκλοφορία του αίματος στους τελεόστεους.

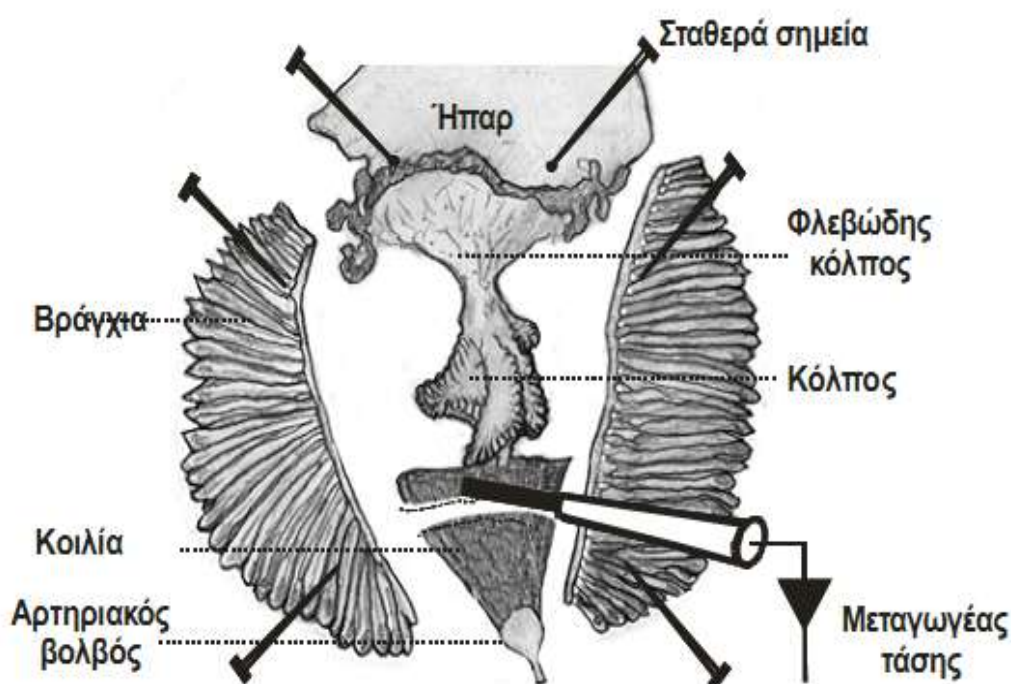
Η καρδιά των τελεόστεων αποτελείται από δύο θαλάμους στη σειρά, τον κόλπο και την κοιλία (Εικ. 6.2). Στην φλεβική περιοχή, πριν τον κόλπο υπάρχει ο φλεβώδης κόλπος, ο οποίος παρέχει μια σταθερή ροή του αίματος προς την καρδιά.

Στην αρτηριακή περιοχή, η κοιλία της καρδιάς ακολουθείται από τον αορτικό βολβό, ο οποίος είναι ένας λεπτότοιχος θάλαμος, τα τοιχώματά του οποίου αποτελούνται από λείες μυϊκές ίνες και στερείται βαλβίδων. Η λειτουργία του είναι σημαντική αφού διατηρεί σταθερή τη ροή του αίματος προς τα αγγεία των βραγχίων κατά την καρδιακή σύσπαση, μέσω της δυνατότητας που έχει να τεντώνεται και να επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα (Icardo et al., 1999; Evans et al., 2003).



Εικόνα 6.2: Η καρδιά των τελεόστεων και η κυκλοφορία του αίματος

Το παρασκεύασμα της καρδιάς τσιπούρας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (Εικ. 6.3), περιλαμβάνει την περιοχή του κύριου βηματοδότη που βρίσκεται στην φλεβοκοιλιακή σύνδεση και τις απολήξεις του αυτόνομου νευρικού συστήματος (Haverinen & Vornanen, 2007), οι οποίες καθορίζουν τη συχνότητα και γενικότερα τη λειτουργία της καρδιάς. Αποτελούνται από τις ανασταλτικές νευρικές ίνες του πνευμονογαστρικού και τις διεγερτικές συμπαθητικές αδρενεργικές νευρικές ίνες (Altimiras et al., 1997).



Εικόνα 6.3: Η καρδιά της τσιπούρας, διακρίνεται ο φλεβώδης κόλπος, ο κόλπος, η κοιλία και ο αρτηριακός βολβός (από Tryfonos et al., 2008).

Ο αρτηριακός κώνος αποτελεί τη συνδετική περιοχή μεταξύ της κοιλίας και του αορτικού βολβού. Στους τελεόστεους ο αρτηριακός κώνος έχει περιοριστεί σε ένα δακτύλιο με γραμμωτούς μυς και μία μόνο σειρά βαλβίδων. Αποτελεί ένα διακριτό μυώδες τμήμα και διαφέρει τόσο από τον αορτικό βολβό εξαιτίας της μυοκαρδιακής του φύσης, όσο και από το μυοκάρδιο της κοιλίας (Icardo et al., 2003).

Ο φλεβώδης κόλπος είναι μία λεπτότοιχη κοιλότητα που συλλέγει το αίμα των φλεβών και επικοινωνεί με τον κόλπο μέσω ενός ενδιάμεσου ανοίγματος. Στο άνοιγμα αυτό υπάρχουν οι φλεβοκολπικές βαλβίδες, που αποτελούνται συνήθως από ενδοκαρδιακό και μυοκαρδιακό ιστό (Farrell, 2001) και ρυθμίζουν τη ροή του αίματος που εισέρχεται στον κόλπο.

Ο κόλπος βρίσκεται στη συνέχεια του φλεβώδη κόλπου. Στα τοιχώματα του βρίσκονται τοποθετημένες μυϊκές ίνες με κατεύθυνση προς το κολλοκοιλιακό άνοιγμα, έτσι ώστε όταν ο κόλπος συσπάται, το αίμα κατευθύνεται προς την κοιλία.

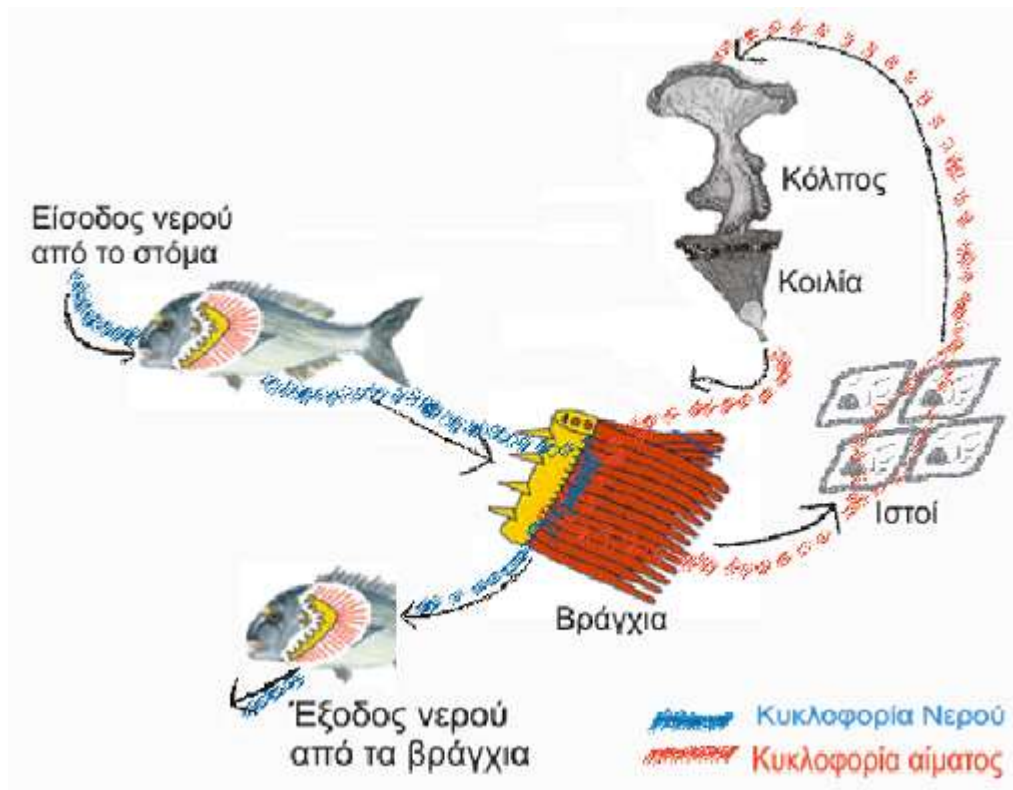
Τόσο ο φλεβώδης κόλπος όσο και ο κόλπος είναι κοιλότητες λεπτότοιχες σε σχέση με την κοιλία. Το άνοιγμα μεταξύ κόλπου και κοιλίας περιβάλλεται από βαλβίδες που εμποδίζουν την ανάστροφη ροή του αίματος. Ο αριθμός των βαλβίδων διαφέρει στα διάφορα είδη ψαριών (Farrell, 2001).

Στη συνέχεια του κόλπου βρίσκεται η κοιλία, η οποία είναι μία μυώδης και αρκετά ισχυρή κοιλότητα που αποτελείται από δύο μυϊκές στοιβάδες. Μία εξωτερική φλοιώδη και πυκνή στοιβάδα και μία εσωτερική σπογγώδη. Το εξωτερικό μυϊκό στρώμα στους τελεόστεους, αποτελείται συνήθως από μυϊκές ίνες που διασταυρώνονται η μία με την άλλη. Γενικά, στα ψάρια οι μυϊκές δεσμίδες της εσωτερικής στοιβάδας προεξέχουν προς το εσωτερικό της κοιλίας δημιουργώντας υποκοιλότητες. Οι μυϊκές ίνες της στοιβάδας αυτής μπορεί να είναι σε παράλληλη διάταξη ή υπό γωνία προς τον άξονα της καρδιάς ή τέλος να διατάσσονται ακτινωτά από την επιφάνεια προς το εσωτερικό τμήμα (Hoar et al., 1992). Στη συνέχεια, η κοιλία οδηγεί στον αρτηριακό κώνο και τον αορτικό βολβό.

Ο φλεβώδης κόλπος συσπάται, αλλά με μικρό αριθμό μυϊκών ινών και χωρίς βαλβίδες να παρεμβάλλονται μεταξύ αυτού και των κυριότερων φλεβών. Η φλεβική πίεση είναι αυτή που φυσιολογικά καθορίζει την πλήρωση του κόλπου, όπως συμβαίνει και στα θηλαστικά. Μία κοιλιακή αρτηρία οδηγεί όλο το αίμα από την κοιλία στα βράγχια όπου οξυγονώνεται και ακολούθως οδηγείται στους ιστούς (Farrell, 2001).

6.2. Η είσοδος νερού στο ψάρι και η σύνδεση της κυκλοφορίας νερού και αίματος

Το νερό από το υδάτινο περιβάλλον εισέρχεται από το στόμα του ψαριού και από εκεί μεταφέρεται στα βράγχια (Εικ. 6.4). Στα βράγχια γίνεται η ανταλλαγή O₂ και CO₂ και άλλων ενώσεων μεταξύ του νερού και του αίματος, όπου πραγματοποιείται επίσης η οξυγόνωση με το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο. Το γεγονός αυτό καθιστά την καρδιά και γενικά το κυκλοφορικό σύστημα επιρρεπή στις ξενοβιοτικές ενώσεις αλλά και σε οποιαδήποτε μεταβολή του περιβάλλοντος.



Εικόνα 6.4: Η είσοδος νερού στο ψάρι και η σύνδεση της κυκλοφορίας νερού και αίματος.

6.3. Η ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς

Η καρδιά είναι μια μυϊκή αντλία και ο καρδιακός χτύπος περιλαμβάνει τη ρυθμική σύσπαση και χαλάρωση ολόκληρης της μυϊκής μάζας. Η ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς ξεκινά από μια συγκεκριμένη περιοχή, το βηματοδότη και εξαπλώνεται σε ολόκληρο το όργανο από κύτταρο σε κύτταρο, μέσω της ηλεκτρικής σύζευξης των κυττάρων των εμβόλιμων δίσκων. Κατά συνέπεια, η σύσπαση κάθε κυττάρου ξεχωριστά σχετίζεται με το δυναμικό ενέργειας που φτάνει σε αυτό (Berne & Levy, 2002).

Η ηλεκτρική δραστηριότητα των καρδιακών κυττάρων διαφέρει σημαντικά από εκείνη των νευρικών ή των λείων ή των σκελετικών μυϊκών κυττάρων (Berne & Levy, 2002). Γενικά, η διάρκεια των δυναμικών ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερη στα καρδιακά κύτταρα από ότι στα νευρικά ή στα λεία ή στα σκελετικά μυϊκά κύτταρα. Επιπλέον, τα δυναμικά ενέργειας διαφέρουν ανάμεσα στους διάφορους τύπους των καρδιακών κυττάρων και εξαρτώνται από την λειτουργία και την θέση των κυττάρων (Berne & Levy, 2002). Από τα καρδιακά κύτταρα μπορούν να καταγραφούν δύο βασικοί τύποι δυναμικών ενέργειας που μπορούν να καταγραφούν στην καρδιά, το δυναμικό ενέργειας ταχείας απόκρισης και το δυναμικό ενέργειας βραδείας απόκρισης (Berne & Levy, 2002).

6.3.1. Δυναμικό ενέργειας ταχείας απόκρισης

Το δυναμικό ενέργειας ταχείας απόκρισης, καταγράφεται από κολπικές ή κοιλιακές ίνες μυοκαρδίου και από εξειδικευμένες αγωγούς ίνες (ίνες Purkinje) και αποτελείται από τις ακόλουθες τέσσερις φάσεις. Η ταχεία ανιούσα φάση που χαρακτηρίζεται ως φάση 0 είναι μια σύντομη περίοδος μερικής επαναπόλωσης (φάση 1) που εμφανίζεται αμέσως μετά την ανιούσα φάση, ακολουθεί ένα υψίπεδο (φάση 2) και στη συνέχεια ακολουθεί η φάση 3 όπου το εσωτερικό δυναμικό γίνεται και πάλι αρνητικό μέχρι να επιτευχθεί ξανά το δυναμικό

ηρεμίας. Τέλος, το διάστημα από την ολοκλήρωση της επαναπόλωσης μέχρι την αρχή του επόμενου δυναμικού ενέργειας που ορίζεται ως μεμβρανικό δυναμικό ηρεμίας ή φάση 4 (Εικ. 6.5). Τα κυριότερα ιοντικά ρεύματα που συμβάλουν στη δημιουργία του δυναμικού ενέργειας ταχείας απόκρισης είναι τα εξής (Berne & Levy, 2002):

Ανιούσα φάση (φάση 0)

Τα χαρακτηριστικά της ανιούσας φάσης του δυναμικού ενέργειας στις καρδιακές ίνες ταχείας απόκρισης εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από την εισροή Na^+ . Τα ιόντα Na^+ εισέρχονται στα κύτταρα του μυοκαρδίου μέσω των ταχέων διαύλων Na^+ που αφθονούν στις μεμβράνες των ιών ταχείας απόκρισης. Η γρήγορη είσοδος των ιόντων αυτών οφείλεται στην ύπαρξη αρνητικού φορτίου στο εσωτερικό της μεμβράνης (ηλεκτροστατικές δυνάμεις) καθώς και στη μεγαλύτερη συγκέντρωση Na^+ στο εξωτερικό τμήμα της μεμβράνης (Berne & Levy, 2002).

Φάση 1

Η φάση 1 αντιπροσωπεύει μια μικρή περίοδο μερικής επαναπόλωσης που εμφανίζεται αμέσως μετά την ανιούσα φάση του δυναμικού ενέργειας. Η προσωρινή επαναπόλωση οφείλεται στην έξοδο ιόντων K^+ λόγω χημικών και ηλεκτροστατικών δυνάμεων καθώς και στο κλείσιμο κάποιων διαύλων Na^+ (Berne & Levy, 2002).

Φάση 2

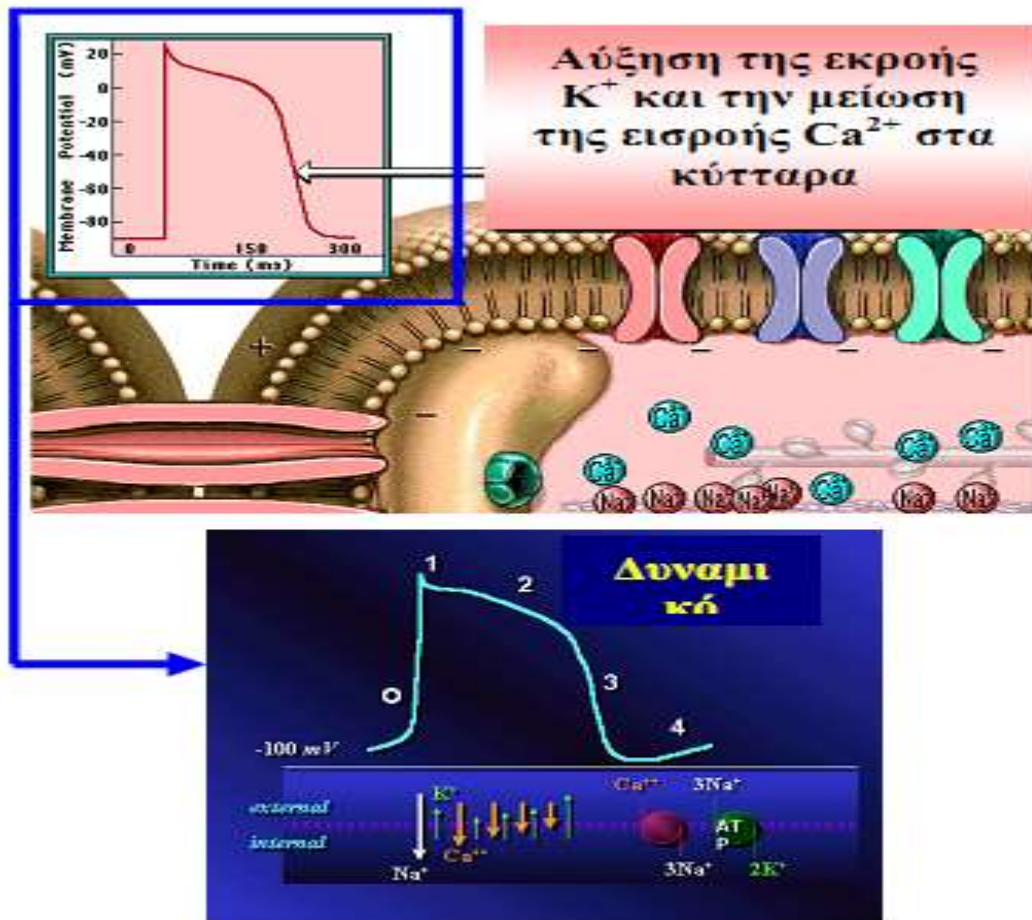
Κατά το υψίπεδο το δυναμικό της μεμβράνης παραμένει αρκετά σταθερό για περίπου 0,2 sec. Αυτό οφείλεται στο ότι η εκροή κατιόντων εξισορροπείται ηλεκτρικά με εισροή κατιόντων. Συγκεκριμένα, κατά το υψίπεδο η εκροή των ιόντων K^+ από το κύτταρο εξισορροπείται ηλεκτρικά με την εισροή ιόντων Ca^{2+} . Αυτή η εισροή των Ca^{2+} συμμετέχει και στην σύζευξη διέγερσης-σύσπασης (Berne & Levy, 2002).

Φάση 3

Η φάση 3 αποτελεί την φάση της επαναπόλωσης όπου επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εκροή των σχετικών κατιόντων από ότι εισροή διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης της καρδιακής ίνας. Αυτή η ανισορροπία επιτυγχάνεται με την αύξηση της εκροής K^+ και την μείωση της εισροής Ca^{2+} στα κύτταρα (Berne & Levy, 2002).

Φάση 4

Η έξοδος των ιόντων K^+ επαναφέρει το δυναμικό στο επίπεδο ηρεμίας (Εικ. 1.5). Οι μεταβολές που μπορούν να συμβούν στις ενδοκυττάριας συγκεντρώσεις ιόντων Na^+ και K^+ διορθώνονται με την δραστηριότητα της αντλίας Na^+-K^+ (ΑΤΡάση) ενώ οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις των ιόντων Ca^{2+} εξομαλύνονται κυρίως με την δράση του ανταλλάκτη $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ (Berne & Levy, 2002).

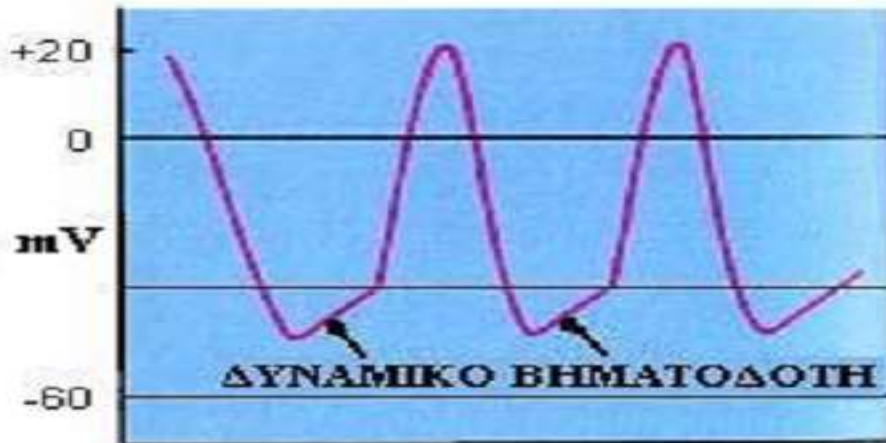


Εικόνα 6.5: Δυναμικό ενέργειας ταχείας απόκρισης (από mednote.co.kr/images/antiarrhythm3).

6.3.2. Δυναμικό ενέργειας βραδείας απόκρισης

Το δυναμικό ενέργειας βραδείας απόκρισης (Εικ. 6.6) καταγράφεται από τα φυσιολογικά κύτταρα του φλεβόκομβου (περιοχή φυσικού βηματοδότη της καρδιάς) και του κολποκοιλιακού κόμβου (εξειδικευμένος ιστός που άγει τον καρδιακό παλμό από τους κόλπους στις κοιλίες), αλλά και από μη φυσιολογικά κύτταρα του μυοκαρδίου που έχουν μερικώς εκπολωθεί. Συγκριτικά με την ίνα ταχείας απόκρισης, το δυναμικό ηρεμίας της ίνας βραδείας απόκρισης είναι λιγότερο αρνητικό, η ανιούσα φάση (φάση 0) του δυναμικού ενέργειας είναι λιγότερο απότομη, το πλάτος του δυναμικού ενέργειας είναι μικρότερο, η φάση 1 απουσιάζει και η σχετική ανερέθιστη περίοδος εκτείνεται αρκετά μέσα στη φάση 4, μετά την πλήρη επαναπόλωση της ίνας.

Επίσης, στο δυναμικό ενέργειας βραδείας απόκρισης η ανιούσα φάση και το υψίπεδο παράγονται με ενεργοποίηση των διαύλων Ca^{2+} (Berne & Levy, 2002).



Εικόνα 6.6: Δυναμικό ενέργειας βραδείας απόκρισης
(από www.biosbcc.net/.../images/heart/0290pace).

6.4. Φυσική διέγερση της καρδιάς

Ο καρδιακός ιστός χαρακτηρίζεται από τις ιδιότητες του αυτοματισμού, την ικανότητα δηλαδή εκκίνησης ενός καρδιακού παλμού και της ρυθμικότητας (της συχνότητας και της κανονικότητας της βηματοδοτικής αυτής δραστηριότητας).

Μερικά κύτταρα σε κάθε καρδιακό διαμέρισμα μπορούν να προκαλέσουν παλμούς και εντοπίζονται κυρίως στους κομβικούς και στους εξειδικευμένους αγωγούς ιστούς. Το νευρικό σύστημα επηρεάζει τη συχνότητα με την οποία χτυπά η καρδιά. Τα αυτόματα κύτταρα, βρίσκονται στο φλεβόκομβο, ο οποίος είναι ο φυσικός βηματοδότης της καρδιάς. Υπάρχουν, ωστόσο, και άλλες περιοχές της καρδιάς που μπορούν να προκαλέσουν παλμούς κάτω από ειδικές συνθήκες και ονομάζονται έκτοποι βηματοδότες. Αυτοί είναι ο κολποκοιλιακός κόμβος και οι ίνες Purkinje (Berne & Levy, 2002). Ο φλεβόκομβος είναι το φυλογενετικό υπόλειμμα του φλεβώδους κόλπου της καρδιάς των κατώτερων σπονδυλωτών. Τα κύτταρα του φλεβόκομβου, όπως αναφέρθηκε, παράγουν δυναμικά βραδείας απόκρισης (Berne & Levy, 2002).

Στα αυτόματα κύτταρα του φλεβόκομβου, η διαστολική εκπόλωση πραγματοποιείται με μεταβολές σε τουλάχιστον τρία ιοντικά ρεύματα: α) ένα εισερχόμενο “παράδοξο” ρεύμα, β) ένα εισερχόμενο ρεύμα Ca^{2+} και γ) ένα εξερχόμενο ρεύμα K^{+} . Το παράδοξο εισερχόμενο ρεύμα δημιουργείται κυρίως από Na^{+} και ενεργοποιείται κατά την επαναπόλωση (φάση 3) του δυναμικού ενέργειας. Το εισερχόμενο ρεύμα Ca^{2+} αρχίζει προς το τέλος της φάσης 4 και επιταχύνει την ανιούσα φάση του δυναμικού ενέργειας. Μείωση στη συγκέντρωση εξωκυτταρικών Ca^{2+} ή προσθήκη ενός ανταγωνιστή των διαύλων Ca^{2+} μειώνει το πλάτος του δυναμικού ενέργειας και την κλίση της βραδείας διαστολικής εκπόλωσης στα κύτταρα του φλεβόκομβου (Berne & Levy, 2002).

6.5. Διάδοση της διέγερσης σε όλη την καρδιά

Η ηλεκτρική δραστηριότητα ξεκινά από το βηματοδότη και κατευθύνεται σε ολόκληρη την καρδιά. Η εκπόλωση σε ένα κύτταρο καταλήγει στην εκπόλωση των γειτονικών κυττάρων με τη βοήθεια των εμβόλιμων δίσκων, που είναι περιοχές όπου οι μεμβράνες γειτονικών κυττάρων ενώνονται. Μέσα στους δίσκους οι μεμβράνες των κυττάρων σχηματίζουν χασμοσυνδέσμους. Μέσα στους χασμοσυνδέσμους μπορεί να υπάρχουν ένα ή περισσότερα κανάλια που αποτελούν μονοπάτια χαμηλής αντίστασης για τη διάδοση ηλεκτροτονικών ρευμάτων από το ένα κύτταρο στο άλλο (Berne & Levy, 2002).

Παρόλο που οι χασμοσύνδεσμοι είναι διπολικοί, η διάδοση της διέγερσης είναι μονοπολική, δηλαδή ξεκινά από το βηματοδότη και εξαπλώνεται μόνο από αυτή την περιοχή. Υπάρχουν συνήθως, πολλά μονοπάτια για τη διέγερση μιας μόνο καρδιακής μυϊκής ίνας, αφού οι διακυτταρικές επαφές είναι πολλές. Εάν μια μικροπεριοχή της καρδιάς είναι μη λειτουργική, τότε το κύμα της διέγερσης μπορεί εύκολα να ρέει γύρω από αυτή την περιοχή, ώστε να επιτευχθεί η διάδοση της διέγερσης και στην υπόλοιπη καρδιά. Το μεγάλης διάρκειας δυναμικό ενέργειας της καρδιάς έχει σαν αποτέλεσμα να μην οδηγούν οι πολλαπλές επαφές σε πολλαπλές διεγέρσεις. Έτσι, ένα δυναμικό ενέργειας που ξεκινά από το βηματοδότη, καταλήγει σε ένα μόνο δυναμικό ενέργειας της καρδιάς. Για τον επόμενο παλμό χρειάζεται ένα επόμενο βηματοδοτικό δυναμικό ενέργειας (Berne & Levy, 2002).

Κάθε δυναμικό ενέργειας της καρδιάς ακολουθείται από μια περίοδο ανερεθιστότητας μερικών εκατοντάδων χιλιοστών του δευτερολέπτου. Αυτή η περίοδος εμποδίζει την τετανική συστολή, επιτρέποντας στο μυ να χαλαρώσει και στην κοιλία να γεμίσει με αίμα στο διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών δυναμικών ενέργειας (Berne & Levy, 2002).

Η μυϊκή τάση σχετίζεται άμεσα με το δυναμικό ενέργειας της καρδιάς. Καθώς το κύτταρο εκπολώνεται, τα ιόντα Ca^{2+} ρέουν μέσα σε αυτό, λόγω της αυξημένης διαπερατότητας της μεμβράνης για τα συγκεκριμένα ιόντα. Επειδή η ροή των Ca^{2+} εξαρτάται από το δυναμικό, η μυϊκή τάση μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την εκπόλωση, ώστε μεγαλύτερη εκπόλωση να συνεπάγεται μεγαλύτερη τάση (Berne & Levy, 2002).

6.6. Μηχανισμοί ελέγχου καρδιακής λειτουργίας

Η καρδιά των τελεόστεων, συμπεριλαμβανομένης και της τσιπούρας, όπως και των υπόλοιπων σπονδυλωτών δέχεται τον έλεγχο του νευρικού συστήματος (Altimiras et al., 1997). Η καρδιά νευρώνεται από τις ανασταλτικές νευρικές ίνες του πνευμονογαστρικού και τις διεγερτικές συμπαθητικές αδρενεργικές νευρικές ίνες (Yasuda et al., 1996), που αποτελούν και πιθανούς στόχους των ξενοβιοτικών ενώσεων.

6.6.1. Παρασυμπαθητική νεύρωση

Στα ψάρια το παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα είναι αυτό που νευρώνει τα βράγχια, τα σπλάχνα και τη καρδιά (Taylor et al., 1999). Το πνευμονογαστρικό νεύρο περιέχει παρασυμπαθητικές ίνες και προκαλεί αναστολή της καρδιακής σύσπασης των τελεόστεων, όπως και των θηλαστικών. Η αναστολή αυτή οφείλεται στην απελευθέρωση ακετυλοχολίνης (ACh) από τις παρασυμπαθητικές ίνες η οποία δρα μέσω των χολινεργικών υποδοχέων μουσκαρινικού τύπου, που σχετίζεται με τα βηματοδοτικά και κολπικά μυϊκά κύτταρα (Yasuda et al., 1996). Η ACh που απελευθερώνεται από τα νευρικά άκρα, προκαλεί αύξηση της αγωγιμότητας των ιόντων K^{+} στις μεμβράνες των αυτορρυθμικών κυττάρων, με αποτέλεσμα την αύξηση της μέγιστης αρνητικότητας της μεμβράνης (κατά τη φάση 4 του δυναμικού ενέργειας) και τη μείωση της κλίσης της βραδείας διαστολικής εκπόλωσης. Η μείωση της κλίσης επιτυγχάνεται κυρίως με τη μείωση του εισερχόμενου ρεύματος ιόντων Na^{+} και του εισερχόμενου ρεύματος ιόντων Ca^{2+} . Και οι δύο επιδράσεις της ακετυλοχολίνης προκαλούν την ελάττωση της συχνότητας σύσπασης των βηματοδοτικών κυττάρων (Berne & Levy, 2002).

Η καρδιά τελεόστεων, υπό φυσιολογικές συνθήκες, συνήθως βρίσκεται κάτω από τον έλεγχο του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος έτσι ώστε με τη συνεχή απελευθέρωση ACh από τις χολινεργικές νευρικές απολήξεις να διατηρείται η καρδιακή συχνότητα χαμηλότερη από αυτή που πραγματικά είναι στην περιοχή του κύριου βηματοδότη (Saito, 1973). Η δράση της ACh στο κόλπο της καρδιάς διαφέρει στους διάφορους οργανισμούς και εξαρτάται από το είδος και τον τύπο των κολπικών κυττάρων (Lin et al., 2000).

6.6.2. Συμπαθητική νεύρωση

Η συμπαθητική νεύρωση προκαλεί κατά κανόνα αύξηση της συχνότητας σύσπασης των καρδιακών κυττάρων. Από τις συμπαθητικές νευρικές απολήξεις απελευθερώνεται νοραδρεναλίνη (νορεπινεφρίνη) η οποία αλληλεπιδρά με β-αδρενεργικούς υποδοχείς προκαλώντας αύξηση της συχνότητας σύσπασης των καρδιακών κυττάρων (Farrel, 2001). Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αύξηση της κλίσης της βραδείας διαστολικής εκπόλωσης, με τροποποίηση των ρευμάτων ιόντων, δια μέσου της κυτταρικής μεμβράνης. Η αύξηση της κλίσης επιτυγχάνεται κυρίως με την αύξηση του εισερχόμενου ρεύματος ιόντων Na^+ και του εισερχόμενου ρεύματος ιόντων Ca^{2+} (Berne & Levy, 2002).

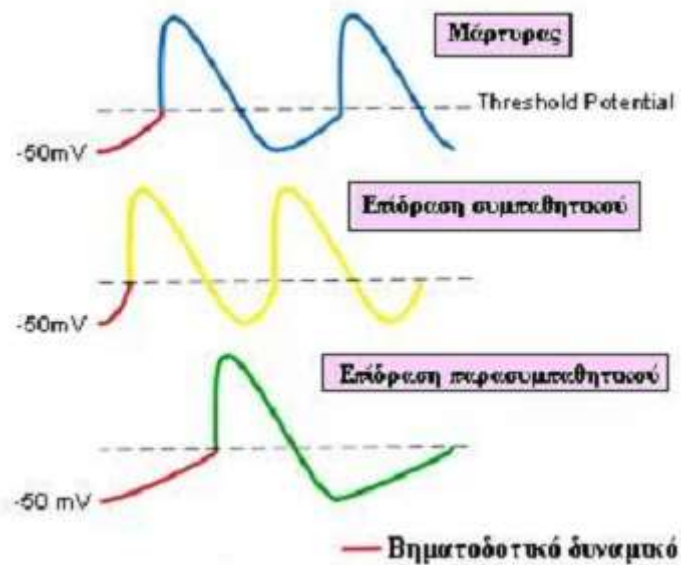
Στα σπονδυλωτά, νευρικές συμπαθητικές απολήξεις έχουν εντοπιστεί στον κόλπο, στην κοιλία και στη φλεβοκολλική σύνδεση της καρδιάς (Taylor et al., 1999).

Αδρενεργικές ίνες στους τελεόστεους έχουν εντοπιστεί στον κόλπο και στο φλεβώδη κόλπο της καρδιάς (Montgomery et al., 1986). Η διεγερτική δράση της αδρεναλίνης μπορεί να ανασταλεί με τον ανταγωνιστή των β-αδρενεργικών υποδοχέων, την προπρανολόλη (Montgomery et al., 1986).

Η δραστηριότητα του συμπαθητικού συστήματος αυξάνει τη μυοκαρδιακή απόδοση. Η νορεπινεφρίνη που απελευθερώνεται από τα συμπαθητικά νεύρα αντιδρά με τους β-αδρενεργικούς υποδοχείς που βρίσκονται στις μεμβράνες των καρδιακών κυττάρων. Αυτή η αντίδραση ενεργοποιεί την αδενυλική κυκλάση, η οποία αυξάνει τα επίπεδα του κυκλικού AMP, με μετατροπή του ATP σε cAMP (Tibbits et al., 1992), με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση πρωτεϊνικών κινασών οι οποίες προάγουν τη φωσφορυλίωση διαφόρων πρωτεϊνών στα μυοκαρδιακά κύτταρα. Η φωσφορυλίωση συγκεκριμένων πρωτεϊνών του σαρκελήματος αυξάνει το άνοιγμα των διαύλων Ca^{2+} στις μυοκαρδιακές κυτταρικές μεμβράνες. Έτσι αυξάνεται η εισροή Ca^{2+} κατά τη διάρκεια του υψπέδου κάθε δυναμικού ενέργειας και απελευθερώνονται περισσότερα Ca^{2+} από το σαρκοπλασματικό δίκτυο σε κάθε καρδιακή διέγερση. Επομένως, η συσταλτική δύναμη της καρδιάς αυξάνεται (Bers, 1991). Η έξοδος των ιόντων Ca^{2+} από το εσωτερικό του κυττάρου καθώς και η πρόσληψη τους από το σαρκοπλασματικό δίκτυο έχει σαν αποτέλεσμα τη χαλάρωση του μυ (Shiels et al., 1997).

Ο συμπαθητικός τόνος σε κατάσταση ηρεμίας, μπορεί να αντισταθμίσει ένα μέρος της αναστολής που προκαλεί ο παρασυμπαθητικός τόνος στη συχνότητα σύσπασης των βηματοδοτικών κυττάρων (Farrel, 2001).

Γενικά, αυξημένη δραστηριότητα της συμπαθητικής νεύρωσης αυξάνει τη συχνότητα της καρδιακής σύσπασης αυξάνοντας την κλίση της βραδείας διαστολικής εκπόλωσης λόγω αύξησης του παράδοξου ρεύματος και του εισερχόμενου ρεύματος Ca^{2+} στις μεμβράνες των κυττάρων του φλεβόκομβου. Ενώ, η αυξημένη παρασυμπαθητική δραστηριότητα, μειώνει τη συχνότητα της καρδιακής σύσπασης μειώνοντας την κλίση της βραδείας διαστολικής εκπόλωσης (Εικ. 6.7). Η ακετυλοχολίνη που απελευθερώνεται από τα νευρικά κύτταρα αυξάνει τη μέγιστη αρνητικότητα κατά την φάση 4 αλληλεπιδρώντας με χολινεργικούς υποδοχείς μουςκαρινικού τύπου που ενεργοποιούν ειδικούς διαύλους K^+ στις μεμβράνες των αυτόματων κυττάρων. Η δράση της ακετυλοχολίνης μπορεί να κατασταλεί από τον ανταγωνιστή των μουςκαρινικών υποδοχέων, την ατροπίνη.



Εικόνα 6.7: Επίδραση αυτόνομου νευρικού συστήματος στο δυναμικό του βηματοδότη (από www.biosbcc.net/.../CO%20and%20MAP/0306pace).

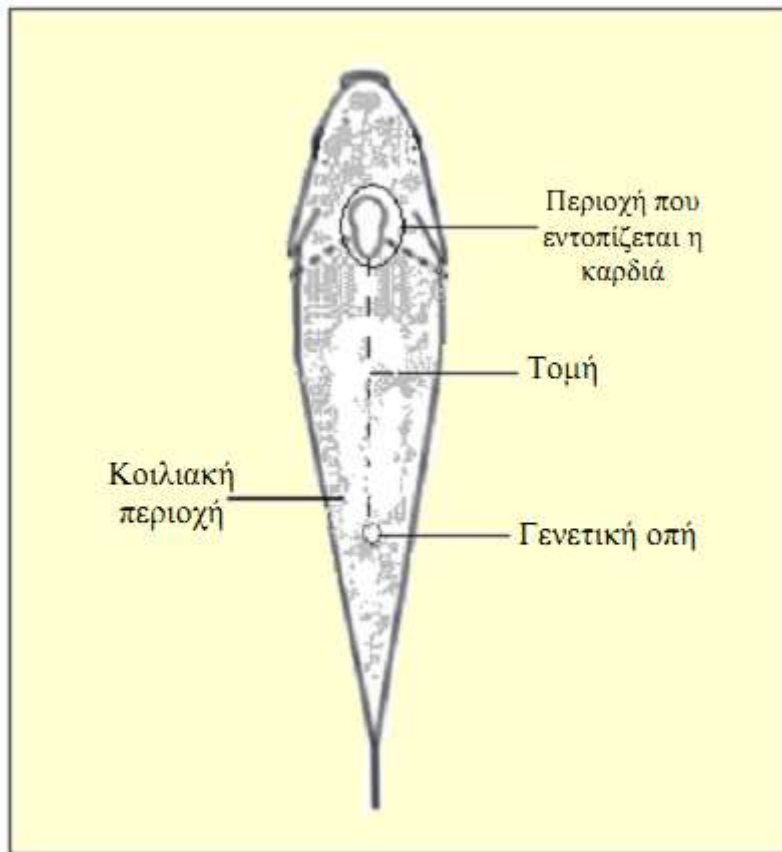
6.7. Βηματοδοτικά κύτταρα

Η καρδιά των σπονδυλωτών παρουσιάζει αυτόνομο ρυθμό σύσπασης που οφείλεται σε μια μικρή ομάδα εξειδικευμένων μυοκυττάρων, τα βηματοδοτικά κύτταρα, που βρίσκονται στην περιοχή του βασικού βηματοδότη (Boyett et al., 2000).

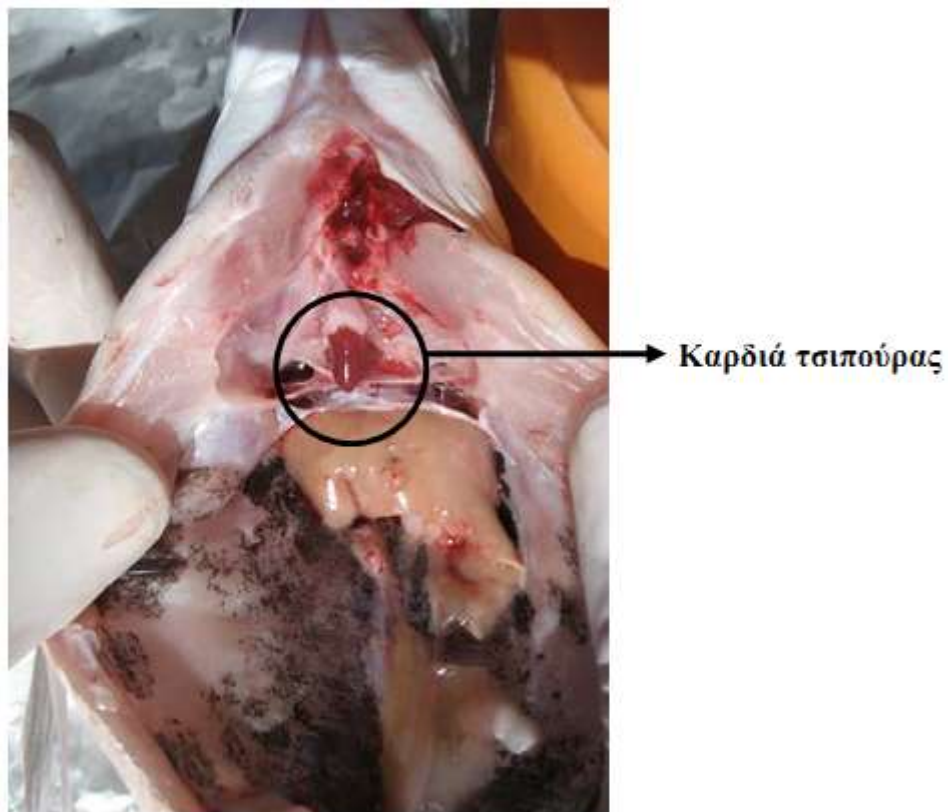
Η μελέτη των βηματοδοτικών κυττάρων και των δυναμικών ενέργειας που παράγουν, είναι σημαντική για την κατανόηση του μηχανισμού ρύθμισης της καρδιακής σύσπασης.

Στα ψάρια βηματοδοτικά κύτταρα έχουν εντοπιστεί σε διάφορες περιοχές της καρδιάς (Irisawa, 1978), ενώ η κύρια θέση του βηματοδότη εντοπίζεται στην περιοχή του φλεβώδη κόλπου. Βηματοδοτικά όμως κύτταρα έχουν εντοπιστεί στην περιοχή της φλεβοκολπικής βαλβίδας, στην κολποκοιλιακή περιοχή και στη συνδετική περιοχή μεταξύ κοιλίας και αορτικού βολβού, σε διάφορα είδη ψαριών (Saito, 1969).

Επίσης, βρέθηκαν διαφορετικές περιοχές βηματοδοτικών κυττάρων σε διαφορετικά είδη τελεόστων (Irisawa, 1978). Επομένως, δεν υπάρχει μία ξεκάθαρη εικόνα για τις ακριβείς θέσεις των βηματοδοτικών κυττάρων στα ψάρια.



Εικόνα 6.8: Κοιλιακή μεριά της τσιπούρας . Τομή για την ανατομία της καρδιάς.



Εικόνα 6.9: Η θέση της καρδιάς της τσιπούρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΑΡΙΩΝ

7.1. Γενικά

Το **αίμα** είναι γενικό θρεπτικό υγρό του σώματος, με το οποίο γίνεται η ανταλλαγή της ύλης τον οργανισμό των περισσότερων ζώων. Με τη λειτουργία της καρδιάς και με τα αιμοφόρα αγγεία, κυκλοφορεί μέσα στους ιστούς και τα όργανα του σώματος και τα διατηρεί στη ζωή.

7.2. Λειτουργίες αίματος

Οι σπουδαιότερες λειτουργίες του αίματος είναι οι εξής:

- Μεταφέρει τις θρεπτικές ουσίες σ' όλα τα μέρη του οργανισμού. Εκεί, όπου πηγαίνει αίμα, υπάρχει και θρέψη, υπάρχει ζωή. Όταν σταματήσει η παροχή αίματος, σταματάει η θρέψη, επομένως και η ζωή
- Μεταφέρει οξυγόνο από τους πνεύμονες στους ιστούς και διοξείδιο του άνθρακα από τους ιστούς στους πνεύμονες
- Μεταφέρει χρήσιμες ουσίες (ορμόνες κλπ) σ' όλα τα μέρη του σώματος
- Μεταφέρει απ' τους ιστούς άχρηστες και βλαβερές ουσίες στα διάφορα όργανα απέκκρισης, όπως τα νεφρά (ούρα), το δέρμα (ιδρώτας) κλπ.
- Χρησιμεύει για την άμυνα του οργανισμού ενάντια στα μικρόβια.
- Ρυθμίζει τη θερμοκρασία του σώματος, γιατί συντελεί στην κανονική κατανομή της θερμότητας στα διάφορα μέρη του σώματος με την κυκλοφορία.

Το χρώμα του αίματος των θηλαστικών, των πτηνών των ερπετών και των ψαριών είναι κόκκινο. Αυτό οφείλεται σε μια κόκκινη χρωστική ουσία, που περιέχει, την αιμοσφαιρίνη. Αυτή παριστάνεται με τα γράμματα Hβ, από τη λέξη HEMOGLOBIN = αιμοσφαιρίνη. Χρησιμεύει κυρίως για τη μεταφορά του οξυγόνου. Η αιμοσφαιρίνη, όταν ενώνεται με το οξυγόνο, σχηματίζει την οξυαιμοσφαιρίνη. Αυτή δίνει το οξυγόνο της στους ιστούς και έτσι γίνονται οι οξειδώσεις (καύσεις) μέσα στα διάφορα κύτταρα. Όταν η οξυαιμοσφαιρίνη χάσει το οξυγόνο της, τότε μετατρέπεται σε αναχθείσα αιμοσφαιρίνη.

Όταν το αίμα περιέχει μεγάλα ποσά οξυαιμοσφαιρίνης, τότε έχει χρώμα λαμπερό κόκκινο (αρτηριακό αίμα). Αν περιέχει μικρότερα ποσά οξυαιμοσφαιρίνης (και επομένως μεγαλύτερα αναχθείσης αιμοσφαιρίνης), τότε το χρώμα του είναι σκούρο κόκκινο (φλεβικό αίμα). Σε άλλους οργανισμούς όπως τα μαλάκια και τα αρθρόποδα το αίμα δεν περιέχει αιμοσφαιρίνη αλλά αιμοκυανίνη και έχει γαλανόλευκη απόχρωση.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα του αίματος είναι το ότι αυτό έχει γλοιώδη υφή. Αυτό οφείλεται στη συνοχή που έχουν τα μόρια του υγρού του αίματος, δηλ. του πλάσματος. Η γεύση που έχει το αίμα είναι γλυφή (υφάλμυρη). Αυτό οφείλεται στα αλκαλικά άλατα που περιέχει. Το ειδικό του βάρος είναι 1,057 δηλ. είναι λίγο βαρύτερο από ίσο όγκο νερού. Μέσα στον οργανισμό μας κυκλοφορεί μια ποσότητα από 6 περίπου κιλά αίμα, που αποτελεί το 7% όλων των υγρών που περιέχονται στον οργανισμό μας και το 1) 12 περίπου του βάρους του σώματός μας.

7.3. Ποιοτική σύσταση αίματος

Το αίμα αποτελείται από ένα υγρό μέρος που λέγεται πλάσμα και από έμμορφα συστατικά (δηλ. συστατικά που έχουν ορισμένη μορφή), που είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τα λευκά αιμοσφαίρια και τα αιμοπετάλια. Τα έμμορφα συστατικά αιωρούνται μέσα στο πλάσμα.

7.4. Αιμοποιητικά όργανα

Αυτά είναι τα όργανα, στα οποία παράγονται τα έμμορφα συστατικά του αίματος, δηλ. κυρίως τα ερυθρά και τα λευκά αιμοσφαίρια. Το κυριότερο αιμοποιητικό όργανο είναι ο ερυθρός μυελός των οστών.

Τα ερυθρά αιμοσφαίρια παράγονται στον ερυθρό μυελό των οστών. Για την παραγωγή τους είναι απαραίτητη η ύπαρξη ποσοτήτων σιδήρου (γιατί αυτός περιέχεται μέσα στην αιμοσφαιρίνη), όπως επίσης βιταμίνης B12 κλπ. Τα λευκά αιμοσφαίρια παράγονται στα λεμφογάγγλια σπλήνα, αμυγδαλές, ερυθρό μυελό των οστών κλπ. Εκτός από τα αιμοποιητικά όργανα υπάρχουν και όργανα στα οποία καταστρέφονται στα ερυθρά και λευκά αιμοσφαίρια. Αυτά είναι κυρίως η σπλήνα και το δικτυοενδοθηλιακό σύστημα (ΔΕΣ).

Η σπλήνα βρίσκεται στο αριστερό και πάνω μέρος της κοιλότητας της κοιλιάς και αποτελεί όργανο στο οποίο αποθηκεύεται ένας μεγάλος αριθμός ερυθρών αιμοσφαιρίων. Επίσης η σπλήνα παράγει λεμφοκύτταρα (μια από τις διάφορες μορφές των λευκών αιμοσφαιρίων). Ειδικά κύτταρα που βρίσκονται διασκορπισμένα σε διάφορα όργανα αποτελούν στο σύνολό τους το καλούμενο δικτυοενδοθηλιακό σύστημα. Τέτοια κύτταρα υπάρχουν στο συκώτι (κύτταρα του Κούπφερ), στη σπλήνα, στους λεμφαδένες, στο μυελό των οστών κλπ. Τα κύτταρα του ΔΕΣ καταστρέφουν μικρόβια επιβλαβείς ουσίες, ξένα σώματα κλπ. Επίσης παράγουν αντισώματα. Το ΔΕΣ αποτελεί τον τόπο της καταστροφής των ερυθρών και των αιμοπεταλίων. Γενικά, πρόκειται για χρήσιμο σύστημα που προστατεύει τον οργανισμό.

7.5. Πήξη αίματος

Αν εξαιτίας ενός τραύματος χυθεί αίμα από τα αγγεία τότε αυτό πήζει μέσα σε 6 - 10 λεπτά. Η πήξη στην πραγματικότητα είναι μια άμυνα του οργανισμού, ώστε να μη χάνουμε αίμα όταν τραυματιζόμαστε. Η πήξη του αίματος είναι όμως εξαιρετικά πολύπλοκος μηχανισμός, που όμως στις βασικές γραμμές του, γίνεται ως εξής:

Μέσα στο αίμα υπάρχει η προθρομβίνη, ένα ένζυμο πήξης αδρανές (όχι δραστικό). Η προθρομβίνη, με την επίδραση ιόντων ασβεστίου και της θρομβοπλαστίνης (που ελευθερώνεται με τη καταστροφή των αιμοπεταλίων, μόλις το αίμα βγει απ' τα αγγεία), μετατρέπεται σ' ένα δραστικό ένζυμο, τη θρομβίνη. Η θρομβίνη μετατρέπει το ινωδογόνο (λεύκωμα του πλάσματος) σε ινώδες. Το ινώδες μαζί με τα έμμορφα συστατικά του αίματος (ερυθροκύτταρα, λευκοκύτταρα, αιμοπετάλια), σχηματίζει τον πλακούντα (πηγμένο αίμα). Ο πλακούντας περικλείει όλο το υγρό μέρος του αίματος, μετά όμως από λίγο ζαρώνει και τότε βγαίνει από αυτόν ένα υγρό, που λέγεται ορός.

Είναι δυνατό να υπάρχει μέσα στο αίμα μια ουσία, η ηπαρίνη, που σε ελάχιστα ποσά εμποδίζει το πήξιμο του αίματος. Εάν το αίμα δεν πήξει καθόλου, σημαίνει ότι υπάρχει αιμοφιλία, μια πάθηση κληρονομική. Άτομα που πάσχουν από αυτή είναι δυνατό, αν

τραυματιστούν και να πεθάνουν ακόμα εξαιτίας συνεχούς αιμορραγίας. Η αιμοφιλία μεταδίνεται κληρονομικά απ' τη μήτρα (που φαινομενικά είναι υγιής) μόνο στα αγόρια.

7.6. Ομάδες αίματος - Μεταγγίσεις

Για να δώσει κανείς αίμα σε άρρωστο που κινδυνεύει, πρέπει το αίμα του να είναι κατάλληλο. Δηλαδή το αίμα του δότη να μη "**συγκολλάται**" (πήζει) μέσα στο αίμα του δέκτη. Αλλιώς είναι δυνατό, η μετάγγιση του αίματος, όπως λέγεται η μέθοδος αυτή, αντί για καλό, να προκαλέσει ακόμα και το θάνατο του άρρωστου. Αυτό οφείλεται στο ότι τα ερυθρά αιμοσφαίρια περιέχουν ειδικές ουσίες, που λέγονται συγκολλητινογόνα. Αυτά είναι τα A και B. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια ενός ανθρώπου μπορούν να έχουν τα συγκολλητινογόνα A και B ή μόνο A ή μόνο B ή κανένα απ' αυτά. Επίσης στον ορό του αίματος υπάρχουν ειδικές ουσίες που λέγονται συγκολλητίνες και που είναι οι α και β. Στον ορό του αίματος ενός ανθρώπου μπορεί να υπάρχει συγκολλητίνη α ή β ή α και β ή να μην υπάρχουν οι παραπάνω συγκολλητίνες.

Η συγκολλητίνη α αντιδρά με το συγκολλητινογόνο A και η συγκολλητίνη β με το συγκολλητινογόνο B. Αν επομένως σε μια μετάγγιση αίματος ο ορός του ασθενούς (δέκτη) έχει συγκολλητίνες (α ή β α και β), τότε αυτές θα συγκολλήσουν τα αιμοσφαίρια του δότη (εξαιτίας του ότι στα αιμοσφαίρια αυτά υπάρχουν συγκολλητινογόνα A ή B και β). Στην περίπτωση αυτή τα συγκολλημένα αιμοσφαίρια μπορεί να προκαλέσουν και το θάνατο ακόμη του άρρωστου. Έτσι οι άνθρωποι χωρίζονται σε διάφορες ομάδες AB A, B, και O. Η ομάδα O μπορεί να δώσει αίμα στις ομάδες O, A, B και AB. Η ομάδα A μπορεί να δώσει αίμα στις ομάδες A και AB. Η ομάδα B μπορεί να δώσει αίμα στις ομάδες B και AB. Η ομάδα AB μπορεί να δώσει αίμα στην ομάδα AB. Επομένως, η ομάδα O είναι πανδότης, γιατί τα αιμοσφαίρια της δεν έχουν συγκολλητινογόνα και έτσι δεν μπορούν να συγκολληθούν απ' τις συγκολλητίνες του πλάσματος οποιουδήποτε δέκτη.

Η ομάδα AB είναι πανδέκτης, γιατί ο ορός της δεν έχει συγκολλητίνες και έτσι μπορεί να δεχτεί αίμα οποιασδήποτε ομάδας χωρίς να συγκολλήσει τα αιμοσφαίρια του μεταγγιζόμενου αίματος.

Στις μεταγγίσεις προτιμούμε να δίνουμε στον άρρωστο αίμα της ίδιας μ' αυτόν ομάδας και, μόνο αν δεν υπάρχει καταφεύγουμε σε άλλες κατάλληλες ομάδες αίματος. Οι ομάδες αίματος μεταβιβάζονται κληρονομικά απ' τους πρόγονους στους απόγονους. Εκτός από τις ομάδες αίματος, στις μεταγγίσεις πρέπει να παίρνεται υπόψη και ένας άλλος παράγοντας, που λέγεται παράγοντας Ρέζους, γιατί ανακαλύφθηκε πρώτα στα ερυθροκύτταρα του πίθηκου Ρέζους Μακάους. Τα 85% των λευκών ανθρώπων έχουν τον παράγοντα αυτό, δηλαδή είναι Ρέζους θετικοί και τα 15% δεν τον έχουν, δηλαδή είναι Ρέζους αρνητικοί.

Ατυχήματα μπορεί να συμβούν, αν δεν υπολογιστεί ο παράγοντας Ρέζους, στις εξής περιπτώσεις.

- Σε άτομα στα οποία έγινε μια πρώτη μετάγγιση και στα οποία μια δεύτερη μετάγγιση μπορεί να είναι θανατηφόρα
- Στις γυναίκες στις οποίες γίνεται μετάγγιση κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης τους.
- Στις γυναίκες που γέννησαν ήδη το πρώτο τους παιδί και στις οποίες μετά από λίγο γίνεται μετάγγιση.
- Στα έμβρυα λόγω του παράγοντα Ρέζους μπορεί να προκληθεί μια πολύ σοβαρή πάθηση που λέγεται ερυθροβλάστωση των εμβρύων (αν η μητέρα είναι Ρέζους αρνητική, ο πατέρας Ρέζους θετικός και το έμβρυο επίσης Ρέζους θετικό). Κατά

την αρρώστια αυτή τα αιμοσφαίρια του εμβρύου συγκολλούνται και προκαλείται τελικά ο θάνατός του. Μπορεί να σωθεί μόνο, αν γεννηθεί ζωντανό και γίνει αλλαγή του αίματός του (αφαιμαξομετάγγιση) με άλλο αίμα Ρέζους αρνητικό.

7.7. Κυκλοφορία αίματος

Η κυκλοφορία του αίματος γίνεται με την καρδιά και τα αγγεία.

7.7.1. Η μεγάλη και η μικρή κυκλοφορία.

Πώς γίνεται η κυκλοφορία του αίματος, ανακαλύφθηκε από τον άγγλο Χάρβεϋ 1628. Έτσι, γνωρίζουμε σήμερα ότι το αίμα φεύγει από την αριστερή κοιλία με την αορτή και από εκεί με κλάδους, διαρκώς μικρότερους, φέρεται σ' όλα τα μέρη του σώματος. Από τις διακλαδώσεις αυτές αρχίζουν τριχοειδή αγγεία που συνενώνονται σε μεγαλύτερα και τέλος σχηματίζουν φλέβες. Πολλές φλέβες συνενώνονται και σχηματίζουν μεγαλύτερες και τελικά με την άνω κοίλη φλέβα και με την κάτω κοίλη φλέβα το φλεβικό αίμα επανέρχεται στο δεξιό κόλπο.

Από το δεξιό κόλπο το αίμα πηγαίνει στη δεξιά κοιλία και απ' αυτή με την πνευμονική αρτηρία (που λέγεται αρτηρία, αλλά στην πραγματικότητα έχει αίμα φλεβικό, δηλ. βρώμικο) φέρεται στους πνεύμονες. Από τους πνεύμονες το αίμα με τις πνευμονικές φλέβες (που λέγονται φλέβες, αλλά στην πραγματικότητα φέρουν αίμα αρτηριακό, δηλ. καθαρό) μεταφέρεται στον αριστερό κόλπο.

Έτσι διακρίνουμε τη μεγάλη κυκλοφορία και τη μικρή κυκλοφορία.

μεγάλη κυκλοφορία: Αριστερή κοιλία - > Τριχοειδή - > Άνω και κάτω κοίλες φλέβες - > Δεξιός κόλπος.

μικρή κυκλοφορία: Δεξιά κοιλία - > Πνευμονική αρτηρία - > Πνεύμονες - > 5- 6 Πνευμονικές φλέβες - > Αριστερός κόλπος.

Με άλλα λόγια αρτηριακό αίμα φεύγει από την καρδιά με την αορτή, δίνει θρεπτικά συστατικά και οξυγόνο σ' όλο τον οργανισμό και έπειτα με πολύ λιγότερο οξυγόνο και με τα άχρηστα προϊόντα της ανταλλαγής της ύλης (διοξειδίο του άνθρακα κλπ.), δηλ. σαν φλεβικό αίμα, ξαναγυρίζει στην καρδιά. Στη συνέχεια, πριν ξαναρχίσει τον ίδιο κύκλο, περνάει υποχρεωτικά από τους πνεύμονες, για να καθαριστεί, να πάρει οξυγόνο και να διώξει το διοξειδίο του άνθρακα, δηλ. να μετατραπεί από φλεβικό σε αρτηριακό. Έπειτα εξακολουθεί την ίδια πορεία κλπ. Επίσης ο καθαρισμός του αίματος γίνεται και σε άλλα όργανα, κυρίως στα νεφρά.

Κατά τη διαδρομή της η αορτή δίνει διάφορους κλάδους, με τους οποίους μεταφέρεται το αίμα στην καρδιά, το συκώτι, τα νεφρά κλπ. Η καρδιά που τροφοδοτεί με αίμα όλα τα όργανα του σώματος, έχει και αυτή ανάγκη να δέχεται αίμα για τη θρέψη της, διαφορετικά η λειτουργία της θα σταματήσει. Έτσι, απ' την αρχή της αορτής, φεύγουν οι στεφανιαίες αρτηρίες που εξασφαλίζουν τη θρέψη της καρδιάς.

Οι κλάδοι των στεφανιαίων αρτηριών δεν διακλαδώνονται αρκετά μεταξύ τους. Γι' αυτό, αν αποφραχτεί κάποιος κλάδος από αυτούς, τότε η περιοχή της καρδιάς, που τρέφεται απ' αυτόν, νεκρώνεται. Αυτό είναι το λεγόμενο έμφραγμα.

Το συκώτι δέχεται 2 ειδών αγγεία. Πραγματικά στο συκώτι πηγαίνει

- **η ηπατική αρτηρία** (που προέρχεται απ' την αορτή) που είναι αγγείο τροφικό, χρησιμεύει δηλ. για τη θρέψη των κυττάρων του συκωτιού και
- **η πυλαία φλέβα**, που σχηματίζεται από φλέβες που προέρχονται από το στομάχι, τα έντερα, το πάγκρεας και τη σπλήνα. Η πυλαία φλέβα είναι αγγείο λειτουργικό, δηλ. μεταφέρει στο συκώτι ουσίες που απορροφήθηκαν από το έντερο και που χρησιμεύει για τις βιοχημικές επεξεργασίες (αντιδράσεις) που γίνονται μέσα στα κύτταρα του συκωτιού (π.χ. με την πυλαία φλέβα μεταφέρεται γλυκόζη, που μεταφέρεται στο συκώτι σε γλυκογόνο, επίσης αμινοξέα, από τα οποία συντίθενται λευκώματα κλπ.)

Το κυρίως φλεβικό αίμα φεύγει από το συκώτι με τις ηπατικές φλέβες που συνδέονται με την κάτω κοίλη φλέβα. Τα νεφρά δέχονται αίμα από τη νεφρική αρτηρία που προέρχεται από την αορτή. Το αίμα αυτό καθαρίζεται προσεκτικά από τις άχρηστες και βλαβερές ουσίες, που μαζί με το περισσευούμενο νερό συγκεντρώνονται μέσα σε λεπτά σωληνάκια που καταλήγουν στον ουρητήρα.

Κατά την κυκλοφορία του αίματος η καρδιά κάνει διάφορες συσπάσεις. Πρώτα συσπώνται οι κόλποι (ηρεμούν οι κοιλίες), κατόπιν συσπώνται οι κοιλίες (ηρεμούν οι κόλποι) και τέλος ηρεμούν και οι κόλποι και οι κοιλίες. Μια τέτοια κίνηση λέγεται καρδιακός παλμός.

Επομένως σε κάθε καρδιακό παλμό περιλαμβάνονται τρεις φάσεις:

- Συστολή των κόλπων.
- Συστολή των κοιλιών.
- Διαστολή ή παύλα (ηρεμία των κόλπων και των κοιλιών).

Κατά τη συστολή των κόλπων, το αίμα φέρεται στις κοιλίες. Κατά τη συστολή των κοιλιών, το αίμα δεν παλινδρομεί προς τους κόλπους, γιατί απαγορεύουν αυτό η τριγλώχιν βαλβίδα για το δεξιό κόλπο και η διγλώχιν βαλβίδα για τον αριστερό. Επίσης στη φάση αυτή το αίμα έχει να υπερνικήσει την αντίσταση άλλων βαλβίδων (σιγμοειδείς βαλβίδες) που βρίσκονται στην αρχή της πνευμονικής αρτηρίας και στην αρχή της αορτής.

Όταν κατά τη συστολή των κοιλιών, στη δεδομένη στιγμή, η πίεση του αίματος μέσα σ' αυτές γίνει πολύ μεγάλη, τότε υπερνικείται η αντίσταση των σιγμοειδών βαλβίδων το αίμα πηγαίνει από τη δεξιά κοιλία προς την πνευμονική αρτηρία και από την αριστερή κοιλία στην αορτή. Περίπου 70 κυβ. εκ. αίματος σε κάθε συστολή των κοιλιών πηγαίνουν στην πνευμονική αρτηρία και 70 κυβ. εκ. αίματος στην αορτή.

Κατά τη διαστολή ή παύλα ηρεμούν (αναπαύονται) και οι κόλποι και οι κοιλίες. Πράγματι πολλές φορές αναλογίζεται κανείς πώς είναι δυνατό η καρδιά να κτυπάει, να πάλλεται σε μια ολόκληρη ζωή χωρίς να κουράζεται. Αυτό οφείλεται στο ότι η καρδιά

αναπαύεται περισσότερο χρόνο από όσο εργάζεται, γιατί, όταν συστέλλονται οι κόλποι, οι κοιλίες αναπαύονται (ηρεμούν). Επίσης, όταν συστέλλονται οι κοιλίες, οι κόλποι αναπαύονται. Τέλος, κατά τη διαστολή αναπαύονται και οι κόλποι και οι κοιλίες. Γενικά υπολογίζεται ότι η καρδιά αναπαύεται περισσότερο χρόνο απ' όσο δουλεύει.

Κατά τη διαστολή ή παύλα, η καρδιά γεμίζει ξανά με αίμα. Έτσι βρίσκεται και πάλι γεμάτη από αίμα για να συνεχίσει τη λειτουργία της. Ο σφυγμός Σε κάθε συστολή της αριστερής κοιλίας φεύγουν 70 κυβ. εκ. αίματος που πηγαίνουν στο χώρο που υπάρχει στην αρχή της αορτής. Αλλά η αορτή είναι ήδη γεμάτη με αίμα. Επομένως, για να βρουν θέση αυτά τα 70 κυβ. εκατοστόμετρα αίματος, τεντώνεται το ελαστικό τοίχωμα της αορτής. Έτσι, ο χώρος που βρίσκεται στην αρχή της αορτής, πλαταίνει και βρίσκει θέση η νέα ποσότητα του αίματος.

Το τέντωμα όμως αυτό του ελαστικού τοιχώματος, δεν μπορεί να διαρκέσει για πολύ. Το τοίχωμα έπειτα από λίγο ξαναγυρίζει στη θέση του. Έτσι γεννιέται ένα κύμα (ο σφυγμός), που μεταδίδεται κατά μήκος του ελαστικού τοιχώματος των αρτηριών. Η ταχύτητα μετάδοσης του σφυγμού είναι μεγαλύτερη της ταχύτητας ροής του αίματος (7 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, ενώ η ταχύτητα ροής του αίματος είναι 30 εκατοστόμετρα ανά δευτερόλεπτο). Κάθε σφυγμός αντιστοιχεί προς ένα καρδιακό παλμό. Κατά μέσο όρο έχουμε 70 καρδιακούς παλμούς ανά λεπτό και επίσης 70 σφύξεις ανά λεπτό.

Σφυγμό έχουν μόνο οι αρτηρίες. Οι φλέβες δεν έχουν. Αυτό συμβαίνει, γιατί το κύμα σφυγμού εξασθενεί και τελικά εξασφαλίζεται έτσι, ώστε να μην παρατηρείται πια στις φλέβες. Το σφυγμό μπορούμε να τον αισθανθούμε στις άκρες των δακτύλων στις επιφανειακές αρτηρίες και συνήθως στον καρπό του χεριού.

7.7.2. Η πίεση του αίματος.

Αυτή είναι η πίεση που ασκεί το αίμα στα τοιχώματα των αγγείων. Όταν λέμε πίεση εννοούμε συνήθως την αρτηριακή πίεση. Η αρτηριακή πίεση μετρείται με ειδικά όργανα που λέγονται σφυγμομανόμετρα. Όταν λέμε ότι ένα άτομο έχει π.χ. πίεση 12, σημαίνει ότι το αίμα ασκεί πίεση πάνω στο τοίχωμα της αρτηρίας ίση προς 120 χιλιοστόμετρα στήλης υδραργύρου, αλλά για συντομία λέμε απλώς 12. Όταν η πίεση είναι μεγαλύτερη του 16, τότε λέμε ότι το άτομο "**έχει πίεση**", δηλ. πάσχει από υπέρταση (όπως στις περιπτώσεις αρτηριοσκλήρωσης κλπ).

7.8. Τα Ερυθροκύτταρα

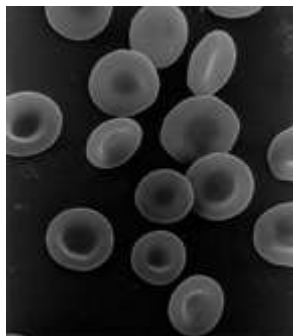
7.8.1. Γενικά

Τα **ερυθροκύτταρα** ή **ερυθρά αιμοσφαίρια** είναι ο πιο πολυπληθής τύπος κυττάρου του αίματος και ο βασικός μηχανισμός που διαθέτουν τα σπονδυλωτά για τη μεταφορά οξυγόνου (O₂) στους διάφορους ιστούς του οργανισμού μέσω της ροής του αίματος εντός του κυκλοφορικού συστήματος. Τα ερυθροκύτταρα δεσμεύουν οξυγόνο στους πνεύμονες ή τα βράγχια και το μεταφέρουν στους ιστούς καθώς "στριμώχονται" ταξιδεύοντας διαμέσου ακόμα και των πιο μικρών αγγείων.

Το κυτταρόπλασμα τους είναι πλούσιο σε αιμοσφαιρίνη, μια πρωτεΐνη που περιέχει σίδηρο και από την οποία γίνεται η δέσμευση του οξυγόνου. Στην αιμοσφαιρίνη οφείλεται το ερυθρό χρώμα του αίματος.

Στον άνθρωπο, τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια είναι ελαστικοί, αμφίκυκλοι δίσκοι που έχουν απωλέσει τον [πυρήνα](#) και τα περισσότερα [κυτταρικά οργανίδια](#). Κάθε δευτερόλεπτο παράγονται 2,4 εκατομμύρια ($2,4 \times 10^6$) νέα ερυθροκύτταρα^[1] από το [μυελό των οστών](#) που έχουν διάρκεια ζωής στην κυκλοφορία του αίματος 100-120 ημέρες προτού [φραγοκυτταρωθούν](#)-"ανακυκλωθούν" από [μακροφάγα](#). Κάθε πλήρης κυκλοφορία ενός ερυθροκυττάρου εντός του κυκλοφορικού συστήματος (από το σημείο εκκίνησης μέχρι την επιστροφή σε αυτό) διαρκεί περίπου 20 δευτερόλεπτα.^{[2][3]}

Τα ερυθρά αιμοσφαίρια αποτελούν περίπου το ένα τέταρτο (25%) του συνόλου των κυττάρων του ανθρώπινου σώματος.



Εικόνα 7.1. Ανθρώπινα ερυθροκύτταρα (διάμετρος 6-8 μm)

7.8.2. Ιστορικά στοιχεία

Ο πρώτος που περιέγραψε τα ερυθροκύτταρα ήταν ο Ολλανδός βιολόγος Jan Swammerdam το 1658 όταν χρησιμοποίησε ένα απλό μικροσκόπιο της εποχής για να μελετήσει το αίμα βατράχου.^[4] Μη γνωρίζοντας για τη δουλειά του συμπατριώτη του, ο [Αντον φαν Λέβενχουκ](#) (Anton van Leeuwenhoek) παρείχε άλλη μια πιο ακριβής μικροσκοπική περιγραφή των ερυθροκυττάρων το 1674, υπολογίζοντας μάλιστα κατά προσέγγιση το μέγεθός τους ως "25.000 φορές μικρότερο από τον μικρότερο κόκκο άμμου".

Το 1901, ο [Καρλ Λαντστάινερ](#) (Karl Landsteiner) δημοσίευσε την ανακάλυψη των τριών κύριων [ομάδων αίματος](#) A, B και C (την οποία αργότερα μετονόμασε σε O). Ο Λαντστάινερ περιέγραψε τις προβλέψιμες αντιδράσεις που παρατηρούνται όταν [ορός αίματος](#) αναμιγνύεται με ερυθροκύτταρα, διαπιστώνοντας έτσι συμβατούς και μη, συνδυασμούς των ομάδων αίματος. Ένα χρόνο μετά, οι Alfred von Decastello και Adriano Sturli, δύο συνάδελφοι του Landsteiner, περιέγραψαν και μια τέταρτη ομάδα αίματος, την AB.

Το 1959, με τη χρήση της [κρυσταλλογραφίας με ακτίνες X](#), ο [Max Perutz](#) αποκάλυψε τη δομή του μορίου της αιμοσφαιρίνης, της πρωτεΐνης του ερυθροκυττάρου που δεσμεύει και μεταφέρει οξυγόνο.

7.8.3. Ερυθροκύτταρα σπονδυλωτών

Τα ερυθροκύτταρα περιέχουν κυρίως [αιμοσφαιρίνη](#), μια σύμπλοκη [μεταλλοπρωτεΐνη](#) που περιέχει δακτυλίους [αίμης](#) των οποίων τα άτομα σιδήρου δεσμεύουν αντιστρεπτά μόρια [οξυγόνου](#) (O_2) στους [πνεύμονες](#) και τα [βράγχια](#) για να τα απελευθερώσουν στη

συνέχεια στους [ιστούς](#). Το οξυγόνο [διαχέεται](#) ελεύθερα στο εσωτερικό του ερυθροκυττάρου διαμέσου της [πλασματικής του μεμβράνης](#). Η αιμοφαιρίνη των ερυθροκυττάρων δεσμεύει στη συνέχεια μέρος του [διοξειδίου του άνθρακα](#) που παράγεται κατά την παραγωγή ενέργειας στους ιστούς και το απελευθερώνει στους πνεύμονες όποτε και ξεκινάει νέος κύκλος δέσμευσης οξυγόνου. Παρ'όλα αυτά το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται κατά την αερόβια αναπνοή στους ιστούς μεταφέρεται στον αιματοπνευμονικό φραγμό των πνευμόνων διαλυμένο στο πλάσμα του αίματος με τη μορφή [διττανθρακικών ιόντων](#) (HCO_3^-). Η [μυοσφαιρίνη](#), μια πρωτεΐνη συγγενική της αιμοσφαιρίνης, αποθηκεύει οξυγόνο προς χρήση από τα μυικά κύτταρα.^[7]

Το χρώμα των ερυθροκυττάρων οφείλεται στους δακτύλιους αίμης της αιμοσφαιρίνης. Το χρώμα του απομονωμένου πλάσματος του αίματος είναι κίτρινο-υποκίτρινο, αλλά τα ερυθροκύτταρα αλλάζουν χρώμα ανάλογα με την κατάσταση της αιμοσφαιρίνης: όταν βρίσκεται δεσμευμένη με οξυγόνο η αιμοσφαιρίνη παρέχει ένα ανοιχτό κόκκινο χρώμα, ενώ όταν αποδεσμεύεται από το οξυγόνο δίνει χρώμα σκούρο κόκκινο, το οποίο εμφανίζεται κυανώδες μέσα από το τοίχωμα του αγγείου και το [δέρμα](#). Η μέθοδος της [οξυμετρίας παλμού](#) εκμεταλλεύεται αυτήν την αλλαγή του χρώματος προκειμένου να μετρήσει τα επίπεδα κορεσμού με οξυγόνο του αρτηριακού [αίματος](#) χρησιμοποιώντας χρωματομετρικές τεχνικές.

Η απομόνωση πρωτεϊνών που μεταφέρουν οξυγόνο στο εσωτερικό εξειδικευμένων κυττάρων (αντί για τη διατήρησή τους με τη μορφή πρωτεϊνών διαλυμένων σε κάποιο βιολογικό υγρό) ήταν ένα σημαντικό βήμα στην [εξέλιξη](#) των [σπονδυλωτών](#) παρέχοντας τη δυνατότητα για μείωση του [ιξώδους](#) του αίματος, αύξηση της μεταφερόμενης ποσότητας οξυγόνου και καλύτερη [διάχυση](#) του οξυγόνου από το αίμα στους ιστούς. Το μέγεθος των ερυθροκυττάρων ανάμεσα στα διάφορα σπονδυλωτά ποικίλει. Το πλάτος των ερυθροκυττάρων είναι κατά μέσο όρο 25% μεγαλύτερο από τη διάμετρο των [τριχοειδών αγγείων](#) και έχει προταθεί ότι αυτό βελτιώνει τη μεταφορά οξυγόνου από τα ερυθροκύτταρα στους ιστούς.^[8]

Τα μόνα σπονδυλωτά που δε διαθέτουν ερυθροκύτταρα είναι τα μέλη της οικογένειας [ιχθύων Channichthyidae](#). Τα ψάρια αυτά ζουν σε ψυχρά νερά πλούσια σε οξυγόνο και επιτελούν την οξυγονομεταφορά μέσω ελεύθερης διάχυσης του οξυγόνου στο αίμα.^[9] Κατά την οξυγονομεταφορά μέσω ελεύθερης διάχυσης προφανώς δεν απαιτείται αιμοσφαιρίνη, παρ'όλα αυτά η ανακάλυψη τμημάτων των γονιδίων της αιμοσφαιρίνης στο [γονιδίωμα](#) αυτών των ψαριών υποδηλώνει ότι στο [εξελικτικό παρελθόν](#) τους η αιμοσφαιρίνη ήταν απαραίτητη.^[10]

Πυρήνας

Τα ώριμα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών είναι απύρηνα· κοινώς, δε διαθέτουν [κυτταρικό πυρήνα](#). Αντίθετα, τα ερυθροκύτταρα των υπόλοιπων σπονδυλωτών είναι εμπύρηνα, με μόνες εξαιρέσεις [σαλαμάνδρες](#) του [γένους *Batrachoseps*](#) και [ψάρια](#) του γένους [Maurolicus](#).^{[11][12]}

Δευτερεύουσες λειτουργίες

Η [διατμητική τάση](#) που δέχονται τα ερυθροκύτταρα καθώς διέρχονται μέσα από συσταλμένα αγγεία, επάγει την απελευθέρωση [ATP](#), το οποίο προκαλεί [αγγειοδιαστολή](#) επαναφέροντας έτσι τη ροή του αίματος σε φυσιολογικά επίπεδα.^[13]

Όταν η αιμοσφαιρίνη τους δεν είναι οξυγονωμένη, τα ερυθροκύτταρα απελευθερώνουν [S-νιτροζοθειόλες](#) οι οποίες επίσης έχουν αγγειοδιασταλτική δράση,^[14] πετυχαίνοντας έτσι την αιμάτωση οξυγονοστερημένων ιστών.

Επίσης, τα ερυθροκύτταρα μπορούν και συνθέτουν [μονοξειδίο του αζώτου](#) (NO) [ενζυμικά](#), χρησιμοποιώντας ως υπόστρωμα το [αμινοξύ L-αργινίνη](#), ακριβώς όπως και τα [ενδοθηλιακά κύτταρα](#).^[15] Έκθεση των ερυθροκυττάρων σε συνθήκες φυσιολογικής διατημητικής τάσης ενεργοποιεί το ένζυμο [συνθάση του μονοξειδίου του αζώτου](#) και οδηγεί σε απελευθέρωση μονοξειδίου του αζώτου,^[16] συμβάλλοντας στη ρύθμιση του [αγγειακού τόνου](#).

Τα ερυθροκύτταρα μπορούν επίσης να παράγουν [υδρόθειο](#) (H₂S), άλλο ένα αγγειοδιασταλτικό αέριο. Έχει αναφερθεί ότι η καρδιοπροστατευτικές ιδιότητες του [σκόρδου](#) οφείλονται και στη δράση των ερυθροκυττάρων, τα οποία μετατρέπουν τις [θειούχες](#) χημικές ουσίες του σκόρδου προς υδρόθειο.^[17]

7.8.4. Ερυθροκύτταρα θηλαστικών

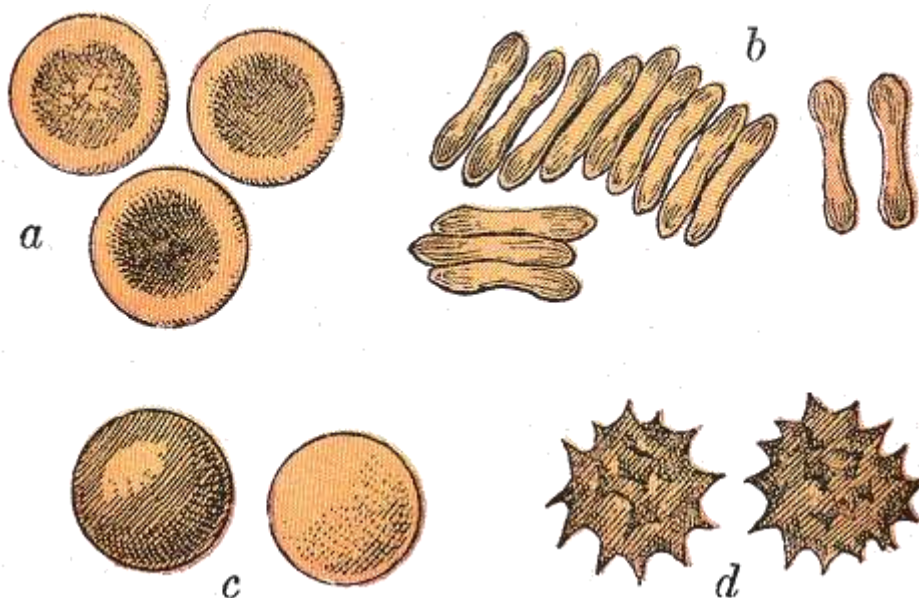
Τα ερυθροκύτταρα των [θηλαστικών](#) διακρίνονται από τα ερυθροκύτταρα των υπολοίπων σπονδυλωτών από το γεγονός ότι στην ώριμη, λειτουργική τους μορφή είναι απύρνηνα. Στα αρχικά στάδια της [ερυθροποίησης](#) είναι εμπύρνηνα, όμως σε συγκεκριμένο στάδιο ωρίμανσης (κατά τη μετάβαση από το στάδιο του [ορθοχρωματικού ερυθροβλάστη](#) προς το στάδιο του [δικτυοερυθροκυττάρου](#)) αποβάλλουν τον [κυτταρικό πυρήνα](#) τους μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται [αποπυρήνωση](#) προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητά τους για αιμοσφαιρίνη. Για τον ίδιο λόγο, τα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών χάνουν και όλα τους τα [κυτταρικά οργανίδια](#) όπως τα [μιτοχόνδρια](#), το [σύμπλοκο Golgi](#) και το [ενδοπλασματικό δίκτυο](#).

Απόρροια της απουσίας μιτοχονδρίων είναι ότι τα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών δεν χρησιμοποιούν καθόλου από το οξυγόνο που μεταφέρουν. Έτσι, όση ενέργεια χρειάζονται την παράγουν με τη μορφή [ATP](#) μέσω της [γλυκόλυσης](#) της [γλυκόζης](#) και της, εν συνεχεία, [γαλακτικής ζύμωσης](#) του παραγόμενου [πυροσταφυλικού οξέος](#).

Αντίστοιχα, λόγω της απουσίας πυρήνα και οργανιδίων, τα ώριμα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών δεν περιέχουν [DNA](#), ούτε [RNA](#), δεν μπορούν να συνθέσουν [πρωτεΐνες](#) και έχουν περιορισμένες ικανότητες επιδιόρθωσης βλαβών που δύναται να υποστούν.^[18] Όπως είναι λογικό, η έλλειψη DNA και RNA σημαίνει επίσης ότι τα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών δεν μπορούν να αποτελέσουν στόχο κάποιου ιού καθότι δεν μπορούν να του παρέχουν τα μέσα ώστε να πολλαπλασιαστεί.

Τα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών έχουν σχήμα [αμφίκιουλου δίσκου](#), πιεσμένα στο κέντρο και με [τοροειδή](#) περιφέρεια. Το σχήμα αυτό βελτιστοποιεί τις ιδιότητες ροής του αίματος στα μεγάλα αγγεία, οδηγώντας σε μεγιστοποίηση της [στρωτής ροής](#) και σε ελαχιστοποίηση της διασποράς των αιμοπεταλίων, εμποδίζοντας έτσι την [αθηρωματική](#) δράση των τελευταίων.^[19] Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και εξαιρέσεις ως προς το σχήμα των ερυθροκυττάρων όπως συμβαίνει στην τάξη των [αρτιοδακτύλων](#) (σπληφόρα ζώα με ζυγό αριθμό δακτύλων σε κάθε [οπλή](#) όπως για παράδειγμα τα [βοοειδή](#) και τα [ελαφοειδή](#)), των οποίων τα ερυθροκύτταρα εμφανίζουν ποικιλία μορφολογιών και διαφέρουν σημαντικά ως προς αυτό που θεωρείται φυσιολογικό για τα θηλαστικά. Συγκεκριμένα, απαντώνται μικρά και έντονα ωοειδή ερυθροκύτταρα στα [λάμα](#) και τις [καμήλες](#) (οικογένεια [Camelidae](#)), πολύ μικρά κύτταρα σε μέλη της οικογένειας [Tragulidae](#) και ερυθροκύτταρα με ατρακτοειδές, λογχοειδές,

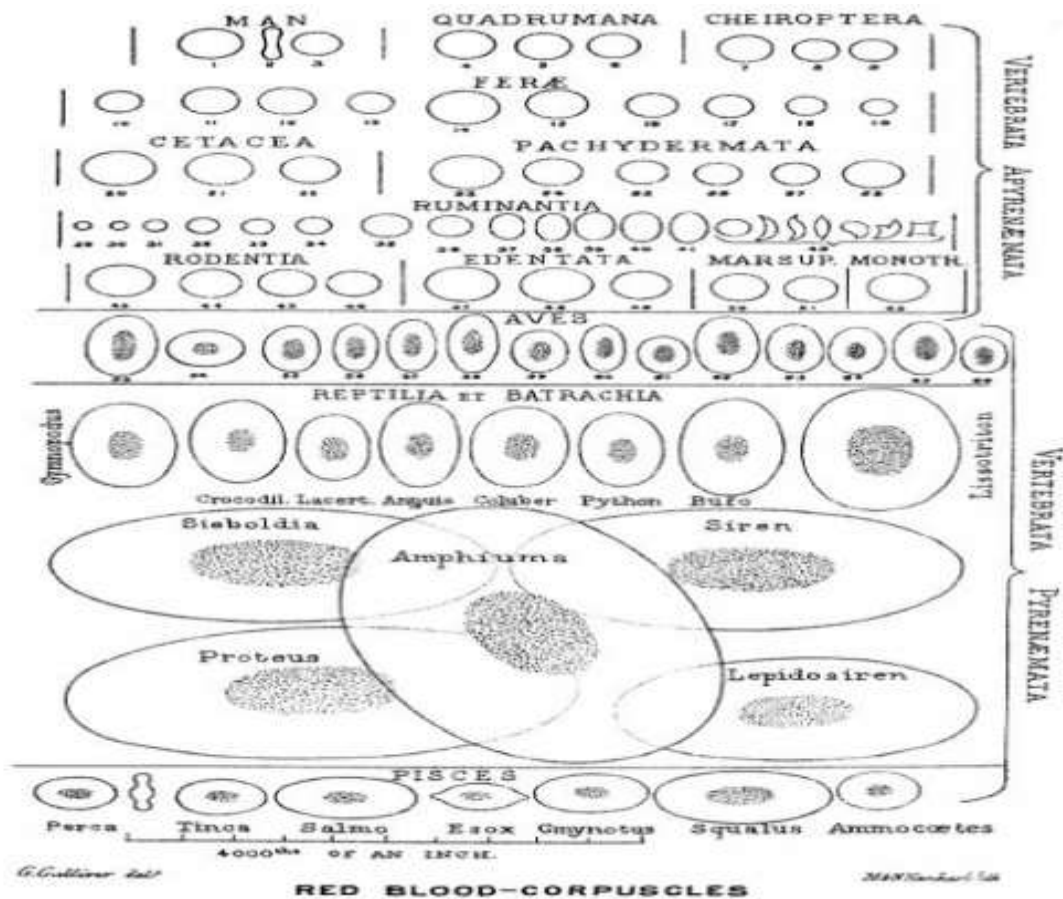
ημισεληνοειδής και ανώμαλα πολυγωνικό σχήμα στα [ερυθρά ελάφια](#) (*Cervus elaphus*) και τα [γουαπίτι](#) (*Cervus canadensis*) (και τα δυο μέλη της οικογένειας [Cervidae](#)).^{[6][20]} Στο σύνολό τους, τα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών διαθέτουν αξιολογικότερες δυνατότητες παραμόρφωσης χάρις στις οποίες μπορούν να περνούν μέσα και από τα πιο μικρά τριχοειδή αγγεία, λαμβάνοντας εν τέλει σχήμα "[πούρου](#)" προκειμένου να απελευθερώσουν το φορτίο οξυγόνου που μεταφέρουν.^[21]



Εικόνα 7.2. Τυπική μορφή των ερυθροκυττάρων των θηλαστικών: (a) από την επιφανειακή, άνω πλευρά, (b) από την πλάγια πλευρά (προφίλ), (c) σφαιρική μορφή που λαμβάνουν σε [υποτονικό](#) περιβάλλον (π.χ. απεσταγμένο νερό) προτού διαρραγούν, (d) με πολλαπλές προβολές που λαμβάνουν σε [υπερτονικό](#) περιβάλλον (π.χ. υδατικό διάλυμα πλούσιο σε άλας). Οι μορφές (c) και (d) υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν απαντώνται στο σώμα.

Στα μεγάλα αγγεία, τα ερυθροκύτταρα μερικές φορές απαντώνται με τη μορφή συστοιχίας, γνωστής ως *διάταξη rouleaux* (ρουλώ) το ένα πίσω από το άλλο. Αυτό έχει παρατηρηθεί να συμβαίνει σε περιπτώσεις φλεγμονής όπου οι συγκεντρώσεις ορισμένων πρωτεϊνών του ορού του αίματος εμφανίζονται αυξημένες.

Ο σπλήνας αποτελεί γενικώς μια δεξαμενή ερυθροκυττάρων για περιπτώσεις ανάγκης (π.χ. λόγω αιμορραγίας), αλλά αυτός του ο ρόλος είναι μικρότερης σημασίας στον άνθρωπο σε σχέση με ό,τι παρατηρείται σε πολλά ζώα. Για παράδειγμα, στο σκύλο και στο άλογο, κατά τη διάρκεια έντονης σωματικής άσκησης, ο σπλήνας διοχετεύει στο αίμα μεγάλες ποσότητες ερυθροκυττάρων αυξάνοντας έτσι την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου του οργανισμού.

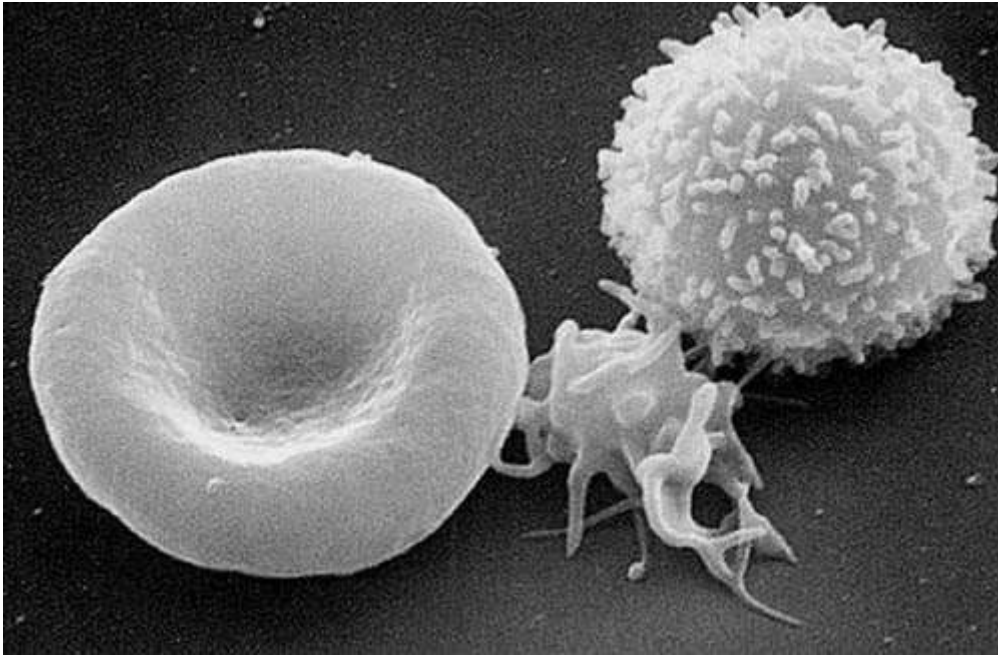


Εικόνα 7.3. Τα ερυθροκύτταρα των σπονδυλωτών χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία μεγεθών, ενώ υπάρχει και συσχέτιση μεγέθους ανάμεσα στο κύτταρο και τον πυρήνα του.

Για παράδειγμα, τα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών (που είναι απύρρηνα), έχουν αντίστοιχα μικρότερο μέγεθος σε σχέση με τα ερυθροκύτταρα των υπόλοιπων σπονδυλωτών (όπως των πτηνών που είναι εμπύρρηνα).

7.8.5. Ερυθροκύτταρα ανθρώπου

Ένα τυπικό ερυθροκύτταρο ανθρώπου έχει διάμετρο 6-8 μm ($6-8 \times 10^{-6} \text{ m}$), πάχος 2 μm και είναι μικρότερο από τα περισσότερα άλλα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος. Ο όγκος του είναι περίπου 90 fl ($90 \times 10^{-15} \text{ l}$), η επιφάνεια του είναι περίπου $136 \mu\text{m}^2$ με την ελαστικότητά του να του επιτρέπει να φτάσει σε σφαιρικό σχήμα τον όγκο των 150 fl.



Εικόνα 7.4. Εικόνα κυττάρων του αίματος από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Από αριστερά προς τα δεξιά: ερυθροκύτταρο, αιμοπετάλιο και λευκοκύτταρο ανθρώπου.

Οι ενήλικες διαθέτουν 20-30 τρισεκατομμύρια ($20-30 \times 10^{12}$) ερυθροκύτταρα σε κάθε χρονική στιγμή, τα οποία αποτελούν περίπου το ένα τέταρτο του συνολικού αριθμού κυττάρων στο σώμα. Οι γυναίκες τυπικά έχουν 4-5 εκατομμύρια ερυθροκύτταρα/μλ αίματος, ενώ οι άνδρες 5-6 εκατομμύρια ερυθροκύτταρα/μλ αίματος. Επιπρόσθετα, οι κάτοικοι περιοχών μεγάλου υψομέτρου έχουν φυσιολογικά μεγαλύτερο αριθμό ερυθροκυττάρων/μλ αίματος προκειμένου να ανταπεξέλθουν στις συνθήκες μικρότερης ατμοσφαιρικής πίεσης. Συμπερασματικά, τα ερυθροκύτταρα είναι ο πιο πολυπληθής πληθυσμός κυττάρων του αίματος, καθώς υπάρχουν αντίστοιχα μόλις 4.000-11.000 λευκοκύτταρα/μλ αίματος και 150.000-400.000 αιμοπετάλια/μλ αίματος.

Τα ανθρώπινα ερυθροκύτταρα χρειάζονται κατά μέσο όρο περίπου 20 δευτερόλεπτα προκειμένου να ολοκληρώσουν έναν πλήρη κύκλο στο κυκλοφορικό σύστημα.^{[2][3][22]}

Το ερυθρό χρώμα του αίματος οφείλεται στις φασματικές ιδιότητες του ιόντος σιδήρου του δακτυλίου της αίμης της αιμοσφαιρίνης. Κάθε ερυθροκύτταρο περιέχει περίπου 270 εκατομμύρια μόρια αιμοσφαιρίνης, το κάθε ένα εκ των οποίων φέρει 4 δακτυλίους αίμης. Η αιμοσφαιρίνη αποτελεί περίπου το ένα τρίτο του όγκου του ερυθροκυττάρου και είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά του 98% του οξυγόνου που χρειάζεται ο οργανισμός (το υπόλοιπο 2% βρίσκεται διαλυμένο στο πλάσμα του αίματος). Τα ερυθροκύτταρα του αίματος ενός μέσου ενήλικα άνδρα συλλογικά περιέχουν 2,5g σιδήρου, ήτοι περίπου το 65% του συνολικού σιδήρου που υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα.

Κύκλος ζωής

Τα ανθρώπινα ερυθροκύτταρα παράγονται μέσω της διαδικασίας της ερυθροποίησης. Από το στάδιο των καθορισμένων βλαστικών κυττάρων (committed stem cells) έως το στάδιο των ώριμων ερυθροκυττάρων μεσολαβούν περίπου 7 ημέρες. Εν συνεχεία, τα ώριμα

ερυθροκύτταρα κυκλοφορούν στο σώμα για 100-120 ημέρες και κατόπιν όντας πλέον γερασμένα απομακρύνονται από την κυκλοφορία μέσω φαγοκύτωσης από μακροφάγα.

Ερυθροποίηση

Η ερυθροποίηση είναι η αναπτυξιακή διαδικασία του οργανισμού που οδηγεί στην παραγωγή νέων ερυθροκυττάρων και η οποία διαρκεί περίπου 7 ημέρες. Πραγματοποιείται στο μυελό των οστών και σε έναν υγιή ενήλικα οδηγεί στην παραγωγή 2 εκατομμυρίων ερυθροκυττάρων/δευτερόλεπτο. Η όλη διαδικασία επάγεται από την ορμόνη ερυθροποιητίνη που παράγεται από τα νεφρά και σε μικρή ποσότητα (περίπου 10%) στο ήπαρ. Η ερυθροποιητίνη δρα στο μυελό των οστών για να διεγείρει τον πολλαπλασιασμό προγονικών ερυθροκυττάρων και τη διαφοροποίησή τους σε ώριμα ερυθροκύτταρα. Ο ρυθμός έκκρισης της ερυθροποιητίνης μπορεί να αυξηθεί σημαντικά πάνω από τις βασικές τιμές, και ερέθισμα για κάτι τέτοιο αποτελεί η μειωμένη μεταφορά οξυγόνου στους νεφρούς. Ως αποτέλεσμα της αύξησης στην έκκριση ερυθροποιητίνης, αυξάνουν επίσης η συγκέντρωση ερυθροποιητίνης στο πλάσμα, η παραγωγή ερυθροκυττάρων, καθώς και η ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο. Συνεπώς, η μεταφορά οξυγόνου στους ιστούς επανέρχεται σε φυσιολογικά επίπεδα. Η τεστοστερόνη, η ορμόνη του αρσενικού φύλου, αποτελεί επίσης ερέθισμα για την απελευθέρωση ερυθροποιητίνης. Αυτό μπορεί να εξηγήσει, τουλάχιστον εν μέρει, την υψηλότερη συγκέντρωση αιμοσφαιρίνης στους άνδρες παρά στις γυναίκες. Στα έμβρυα, η κύρια θέση παραγωγής ερυθροκυττάρων είναι το ήπαρ.

Σημαντικοί Παράγοντες για την ερυθροποίηση

Απαραίτητος για τη σύνθεση αιμοσφαιρίνης είναι ο σίδηρος. Πηγές σιδήρου για τον ανθρώπινο οργανισμό είναι η αιμόλυση των ερυθρών αιμοσφαιρίων του και η τροφή. Από την τροφή πέρνουμε το Fe (σίδηρο) ως Fe³⁺ (δηλαδή στη τρισθενή του μορφή) και η αναγωγή του σε Fe²⁺ γίνεται με τη βοήθεια του υδροχλωρικού οξέος του γαστρικού υγρού.

Στην ερυθροποίηση σημαντικό ρόλο επίσης παίζει η βιταμίνη B12. Η B12 δεν είναι δυνατόν να συντεθεί στον ανθρώπινο οργανισμό για αυτό πρέπει να λαμβάνεται από τη τροφή. Οι ανάγκες μας σε B12 είναι 5μg ημερησίως.

Γήρανση

Το γηρασμένο ερυθροκύτταρο υφίσταται τροποποιήσεις στην πλασματική του μεμβράνη που το καθιστούν πιο ευάλωτο σε αναγνώριση από τα μακροφάγα με συνέπεια τη φαγοκύτωσή του στο δικτυοενδοθηλιακό σύστημα, στο σπλήνα, στο ήπαρ και στο μυελό των οστών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ερυθρόπτωση και υπό φυσιολογικές συνθήκες βρίσκεται σε ισορροπία με την ερυθροποίηση οδηγώντας σε απομάκρυνση τόσων γηρασμένων ερυθροκυττάρων όσα είναι και τα νέα ερυθροκύτταρα που παράγονται, δηλαδή περίπου 2 εκατομμύρια/δευτερόλεπτο. Η ερυθρόπτωση αυξάνεται σε διάφορες παθολογικές καταστάσεις όπως η σηψαιμία, το αιμολυτικό ουραιμικό σύνδρομο, η ελονοσία, η δρεπανοκυτταρική αναιμία, η β-θαλασσαιμία, ο κυαμισμός, η σιδηροπενία και η νόσος του Γουίλσον. Η ερυθρόπτωση μπορεί να προκληθεί λόγω ωσμωτικού σοκ, οξειδωτικού στρες, εξάντλησης των αποθεμάτων ενέργειας, καθώς και από πλήθος ενδογενών μηνύτων και ξеноβιοτικών. Παράλληλα, υπερβολικά επίπεδα ερυθρόπτωσης παρατηρούνται σε ερυθροκύτταρα που δεν διαθέτουν την cGMP-εξαρτώμενη πρωτεϊνική κινάση I ή την AMP-ενεργοποιούμενη πρωτεϊνική κινάση, γνωστή ως AMPK. Στους αναστολείς της ερυθρόπτωσης περιλαμβάνονται η ερυθροποιητίνη, το μονοξειδίο του αζώτου, οι κατεχολαμίνες και η υψηλή συγκέντρωση ουρίας.

Πολλά από τα προϊόντα της διάσπασης των γηρασμένων ερυθροκυττάρων ανακυκλώνονται στον οργανισμό. Ο δακτύλιος αίμης διασπάται προς Fe^{3+} και χολοπρασίνη. Η τελευταία στη συνέχεια ανάγεται προς χολερυθρίνη, που απελευθερώνεται στο πλάσμα του αίματος και, δεσμευμένη στην αλβουμίνη κατευθύνεται στο ήπαρ. Ο σίδηρος επίσης απελευθερώνεται στο πλάσμα του αίματος και εμφανίζεται συνδεδεμένος στην πρωτεΐνη μεταφορέα του, την τρανσφερρίνη. Η συντριπτική πλειοψηφία των γηρασμένων ερυθροκυττάρων απομακρύνεται από την κυκλοφορία κατά αυτόν τον τρόπο προτού αυτά υποστούν αιμόλυση. Η αιμοσφαιρίνη που προήλθε από αιμόλυση είναι δεσμευμένη σε μια πρωτεΐνη του πλάσματος που ονομάζεται απτοσφαιρίνη.

Σύσταση πλασματικής μεμβράνης

Η πλασματική μεμβράνη του ερυθροκυττάρου παίζει σπουδαίο ρόλο στη ρύθμιση της ελαστικότητάς του και στην ικανότητά του να συνδέεται και να αλληλεπιδρά με άλλα κύτταρα. Οι λειτουργίες αυτές της πλασματικής μεμβράνης καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τη σύστασή της. Η πλασματική μεμβράνη του ερυθροκυττάρου αποτελείται από τρεις χαρακτηριστικές περιοχές, τον πλούσιο σε υδατάνθρακες γλυκοκάλυκα εξωτερικά, ενδιάμεσα τη λιπιδική διπλοστοιβάδα που πέρα από τα φωσφολιπίδια φέρει και πλήθος διαμεμβρανικών πρωτεϊνών και τον μεμβρανικό σκελετό, ένα δομικό δίκτυο πρωτεϊνών εσωτερικά.

Λιπίδια πλασματικής μεμβράνης

Η πλασματική μεμβράνη του ανθρώπινου ερυθροκυττάρου αποτελείται κυρίως από μια λιπιδική διπλοστοιβάδα, όπως συμβαίνει στις πλασματικές μεμβράνες πρακτικά όλων των ανθρώπινων κυττάρων. Η λιπιδική διπλοστοιβάδα αποτελείται από χοληστερόλη και φωσφολιπίδια σε παρόμοια αναλογία κατά βάρος. Η λιπιδική σύσταση είναι σημαντική διότι καθορίζει τη διαπερατότητα και τη ρευστότητα της πλασματικής μεμβράνης. Επιπρόσθετα, η λειτουργία πολλών μεμβρανικών πρωτεϊνών επηρεάζεται από τις αλληλεπιδράσεις τους με τα λιπίδια της διπλοστοιβάδας.

Σε αντίθεση με τη χοληστερόλη που βρίσκεται σε παρόμοιες ποσότητες τόσο στην εξωτερική όσο και στην εσωτερική στοιβάδα της διπλοστοιβάδας, τα πέντε (5) κύρια φωσφολιπίδια της είναι ασύμμετρα κατανομημένα σε αυτήν.

Εξωτερική στοιβάδα

- Φωσφατιδυλοχολίνη (PC)
- Σφιγγομυελίνη (SM)

Εσωτερική στοιβάδα

- Φωσφατιδυλοαιθανολαμίνη (PE)
- Φωσφορική ινοσιτόλη (PI) (σε μικρές ποσότητες).
- Φωσφατιδυλοσερίνη (PS)

Η ασύμμετρη κατανομή των διάφορων φωσφολιπιδίων συντηρείται τόσο από μηχανισμούς που απαιτούν ενέργεια, όσο και από μηχανισμούς που γίνονται παθητικά. Πιο συγκεκριμένα, πρωτεΐνες που ονομάζονται φλιππάσες (flippases) μεταφέρουν με κατανάλωση ενέργειας φωσφολιπίδια από την εξωτερική στην εσωτερική στοιβάδα, ενώ πρωτεΐνες που ονομάζονται φλοππάσες (floppases) επιτελούν, επίσης με κατανάλωση ενέργειας, την αντίθετη διαδικασία, δηλαδή τη μεταφορά φωσφολιπιδίων από την εσωτερική στην

εξωτερική πλευρά της διπλοστοιβάδας. Επιπρόσθετα, λιγότερα μελετημένες πρωτεΐνες γνωστές ως σκραμπλάσες (scramblases) έχει βρεθεί ότι μετακινούν φωσφολιπίδια παθητικά κατά μήκος της συγκέντρωσής των τελευταίων (με βάση τη διαβάθμιση συγκεντρώσεων).

Η διατήρηση αυτής της ασύμμετρης κατανομής φωσφολιπιδίων στη διπλοστοιβάδα της πλασματικής μεμβράνης είναι καίριας σημασίας για την ακεραιότητα και λειτουργία του ερυθροκυττάρου για διάφορους λόγους:

Τα μακροφάγα αναγνωρίζουν και φαγοκυτταρώνουν κύτταρα που διαθέτουν εκτεθειμένα μόρια φωσφατιδυλοσερίνης στην εξωτερική μεμβρανική στοιβάδα (γνωστό και ως σήμα "eat me" - "φάε με"). Κατά συνέπεια, η διατήρηση των μορίων φωσφατιδυλοσερίνης στην εσωτερική στοιβάδα και άρα προς το εσωτερικό του κυττάρου είναι ζωτικής σημασίας προκειμένου το ερυθροκύτταρο να επιβιώνει των συχνών του επαφών με τα μακροφάγα στο δικτυοενδοθηλιακό σύστημα και ιδίως στο σπλήνα.

Η πρόωρη καταστροφή ερυθροκυττάρων ασθενών με μεσογειακή αναιμία, καθώς και ασθενών με δρεπανοκυτταρική αναιμία έχει συνδεθεί με τη διαταραχή του μηχανισμού κατανομής των φωσφολιπιδίων στην πλασματική μεμβράνη οδηγώντας σε εξωτερίκευση μορίων φωσφατιδυλοσερίνης και αναγνώριση-καταστροφή τους από τα μακροφάγα.

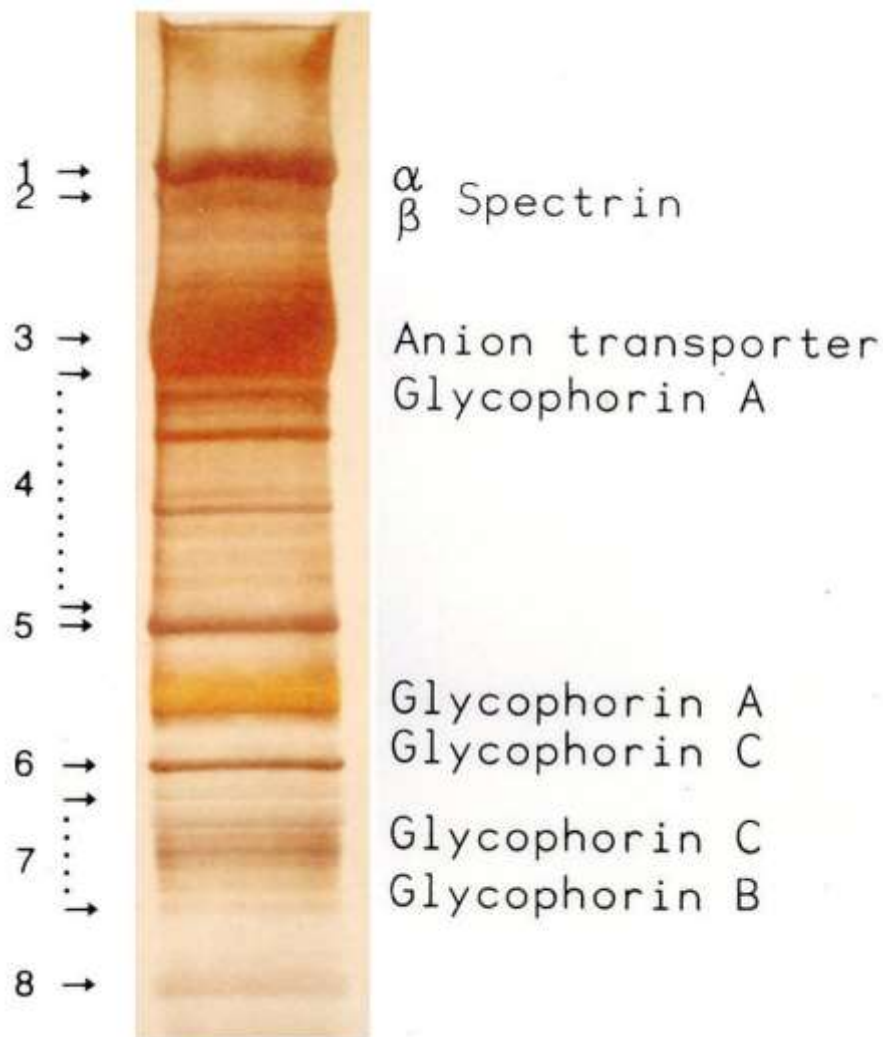
Εξωτερίκευση της φωσφατιδυλοσερίνης δύναται να ενισχύσει την προσκόλληση των ερυθροκυττάρων στα ενδοθηλιακά κύτταρα των αγγείων, περιορίζοντας τόσο τις δυνατότητες μετακίνησης των ερυθροκυττάρων, όσο και τη χωρητικότητα των αγγείων.

Τόσο η φωσφατιδυλοσερίνη όσο και η 4,5 διφωσφορική φωσφατιδυλοϊνσιτόλη (PIP₂) παίζουν ρόλο στη ρύθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων της πλασματικής μεμβράνης μέσω των αλληλεπιδράσεων τους με σκελετικές πρωτεΐνες όπως η σπεκτρίνη και η πρωτεΐνη ζώνης 4.1R (band 4.1R). Μελέτες έδειξαν ότι σύνδεση της σπεκτρίνης με τη φωσφατιδυλοσερίνη ενισχύει τη μηχανική σταθερότητα της πλασματικής μεμβράνης. Η PIP₂ ενισχύει τη σύνδεση της πρωτεΐνης ζώνης 4.1R στην πρωτεΐνη γλυκοφορίνη C, αλλά παράλληλα μειώνει την αλληλεπίδραση της ίδιας πρωτεΐνης στην πρωτεΐνη ζώνης 3 (band 3) και κατ'αυτόν τον τρόπο δύναται να επηρεάζει τη σύνδεση της μεμβρανικής διπλοστοιβάδας με τον υποκείμενο πρωτεϊνικό μεμβρανικό σκελετό.

Σχετικά πρόσφατα περιγράφηκαν ειδικές δομές στην πλασματική μεμβράνη του ερυθροκυττάρου, γνωστές ως λιπιδικές σχεδιές (lipid rafts). Αυτές είναι περιοχές πλούσιες σε χοληστερόλη και σφιγγολιπίδια που σχετίζονται με συγκεκριμένες πρωτεΐνες όπως οι φλοτιλλίνες (flotillins), οι στοματίνες (stomatins), οι G-πρωτεΐνες και οι β-αδρενεργικοί υποδοχείς. Λιπιδικές σχεδιές που έχει δειχθεί να παίζουν ρόλο στη μεταγωγή σήματος σε μη ερυθροειδή κύτταρα, έχουν δειχθεί να παίζουν ρόλο και σε ερυθροειδή κύτταρα όπου συμμετέχουν στη μεταγωγή σήματος από τους β-αδρενεργικούς υποδοχείς και στην αύξηση των επιπέδων κυκλικού AMP (cAMP), ρυθμίζοντας έτσι την είσοδο των παράσιτων της ελονοσίας στα υγιή ερυθροκύτταρα.

Μεμβρανικές πρωτεΐνες

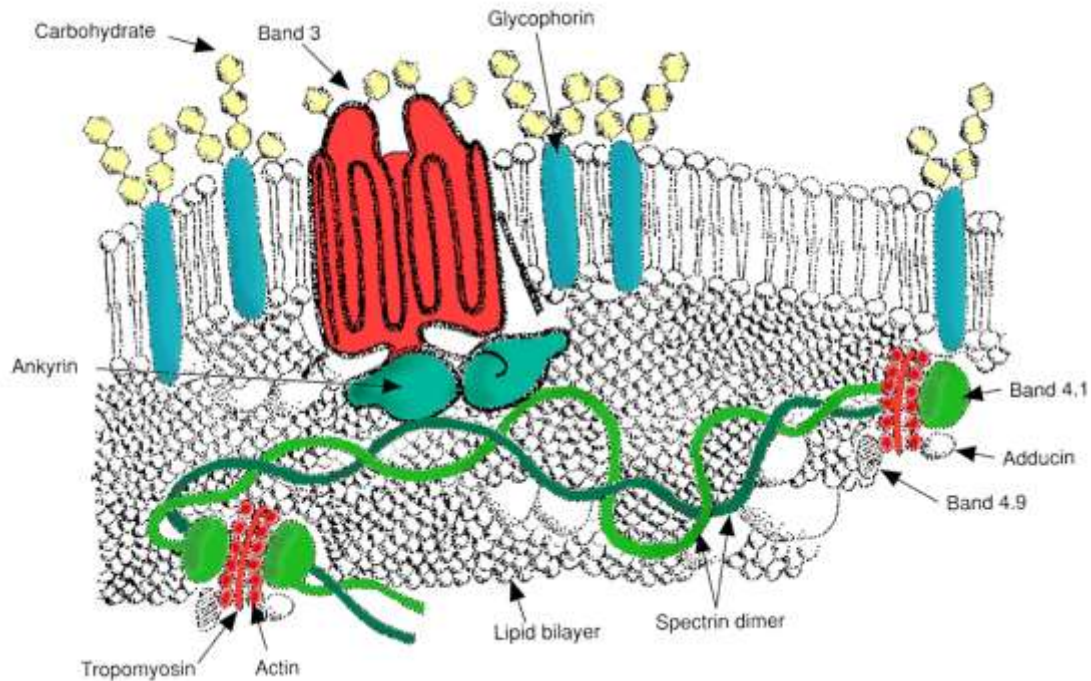
Οι πρωτεΐνες του μεμβρανικού σκελετού είναι υπεύθυνες για την ελαστικότητα και τις αξιόλογες δυνατότητες παραμόρφωσης των ερυθροκυττάρων που τους επιτρέπουν να περνούν μέσα από τριχοειδή αγγεία των οποίων η διάμετρος είναι η μισή από τη δική τους (διάμετρος ερυθροκυττάρου ανθρώπου 6-8 μm) και στη συνέχεια, με τη διακοπή των συμπιεστικών δυνάμεων να μπορούν να επιστρέψουν στο κανονικό τους σχήμα.



Εικόνα 7.5. Ανάλυση μεμβρανικών πρωτεϊνών του ερυθροκυττάρου με τη μέθοδο SDS-PAGE και χρώση τους με νιτρικό άργυρο (χρώση silver stain). Η πρωτεΐνη anion transporter είναι η πρωτεΐνη ζώνης 3 (band 3).

Είναι γνωστές περί τις 50 μεμβρανικές πρωτεΐνες, που μπορούν να υπάρχουν σε μερικές εκατοντάδες έως και εκατομμύρια αντίγραφα στην πλασματική μεμβράνη του ερυθροκυττάρου. Περίπου 25 από αυτές τις μεμβρανικές πρωτεΐνες είναι υπεύθυνες για τα διαφορετικά αντιγόνα που καθορίζουν τις ομάδες αίματος, όπως για παράδειγμα τα αντιγόνα A, B και Rh (ρέζους), καθώς και άλλα λιγότερο γνωστά. Οι μεμβρανικές πρωτεΐνες επιτελούν πλήθος λειτουργιών όπως η μεταφορά ιόντων και μορίων από το εξωκυτταρικό περιβάλλον προς το εσωτερικό ή/και αντίστροφα, η κυτταρική προσκόλληση και αλληλεπίδραση με άλλα κύτταρα όπως τα ενδοθηλιακά κύτταρα, η μεταγωγή σήματος και άλλες. Οι ομάδες αίματος στον άνθρωπο οφείλονται σε παραλλαγές των επιφανειακών γλυκοπρωτεϊνών των ερυθροκυττάρων. Διαταραχές των πρωτεϊνών της πλασματικής μεμβράνης του ερυθροκυττάρου δύνανται να οδηγήσουν σε ασθένειες όπως η κληρονομική σφαιροκυττάρωση, η κληρονομική ελλειπτοκυττάρωση, η κληρονομική στοματοκυττάρωση και η παροξισμική νυκτερινή αιμοσφαιρινουρία.^{[29][26]}

Οι μεμβρανικές πρωτεΐνες του ερυθροκυττάρου ταξινομημένες με βάση τη λειτουργία τους:



Εικόνα 7.6. Κύριες πρωτεΐνες της μεμβράνης του ερυθροκυττάρου

Μεταφορά ιόντων-μορίων

Πρωτεΐνη ζώνης 3 (band 3) - Μεταφορέας ανιόντων, αλλά και σημαντική δομική πρωτεΐνη της πλασματικής μεμβράνης του ερυθροκυττάρου. Καλύπτει περίπου το 25% της επιφάνειας του ερυθροκυττάρου και απαντάται σε περίπου ένα εκατομμύριο αντίγραφα ανά κύτταρο. Καθορίζει την ομάδα αίματος Ντιέγκο (Diego Blood Group).^[30]

Υδατοπορίνη 1 (aquaporin 1) - Μεταφορέας νερού, που καθορίζει την ομάδα αίματος Κόλτον (Colton Blood Group)

Glut1 - Μεταφορέας γλυκόζης και L-δέυδροασκορβικό οξέος (οξειδωμένη μορφή της βιταμίνης C)

Αντιγόνο Κιντ (Kidd antigen protein)- Μεταφορέας ουρίας

RhAG - Μεταφορέας αερίων και πιθανότατα διοξειδίου του άνθρακα. Καθορίζει το σύστημα Ρέζους (Rh)

Na⁺/K⁺ - ΑΤΡάση

Ca²⁺ ΑΤΡάση

Συμμεταφορέας Na⁺ K⁺ 2Cl⁻

Συμμεταφορέας Na⁺-Cl⁻

Ιοντοανταλλάκτης Na-H (NHE)

Συμμεταφορέας K-Cl

KCNN4

Κυτταρική προσκόλληση

ICAM4 - αλληλεπιδρά με τις πρωτεΐνες ιντεγκρίνες, οι οποίες όπως και ο ICAM4 ανήκουν στην κατηγορία των μορίων κυτταρικής προσκόλλησης (cell adhesion molecules, CAMs).

BCAM - μια γλυκοπρωτεΐνη, γνωστή και ως Lu ή πρωτεΐνη που δεσμεύεται στη λαμινίνη και η οποία καθορίζει την ομάδα αίματος Lutheran

Δομικός ρόλος

Οι παρακάτω πρωτεΐνες σχηματίζουν συνδέσεις με τον κυτταροσκελετό που βρίσκεται κάτω ακριβώς από τη μεμβρανική διπλοστοιβάδα και που ονομάζεται μεμβρανικός σκελετός.

Πρωτεΐνες που μέσω των κυτταροπλασματικών τους άκρων συνδέονται με την πρωτεΐνη αγκυρίνη, σχηματίζοντας μακρομοριακό σύμπλοκο με αυτήν, συνδέοντας έτσι τη λιπιδική διπλοστοιβάδα με τον υποκείμενο μεμβρανικό σκελετό.

Πρωτεΐνη ζώνης 3 (band 3) - μεταφορέας ανιόντων και δομική πρωτεΐνη του μεμβρανικού σκελετού.

RhAG - Γνωστή και ως Rh-συνδεδεμένη γλυκοπρωτεΐνη (Rh-associated glycoprotein), αποτελεί δομική πρωτεΐνη του μεμβρανικού σκελετού.

Πρωτεΐνες που συνδέονται στην πρωτεΐνη ζώνης 4.1 (band 4.1 ή protein 4.1R), σχηματίζοντας μακρομοριακό σύμπλοκο με αυτήν.

Γλυκοφορίνη C (glycophorin C, γνωστή και ως Ter119 στον ποντικό). Γλυκοπρωτεΐνη που καθορίζει την ομάδα αίματος Gerbich.

Πρωτεΐνη XK - Καθορίζει την ομάδα αίματος Kell

Παράγοντας Ρέζους (Rhesus factor) - Καθορίζει την ομάδα αίματος Rh (ρέζους)

Πρωτεΐνη Duffy - Έχει προταθεί πιθανή συμμετοχή της στο μηχανισμό απομάκρυνσης χημοκινών.^[31]

Αδουκίνη (Adducin) - Συνδέεται με την πρωτεΐνη ζώνης 3 (band 3).

Δεματίνη (Dematin) - Συνδέεται και αλληλεπιδρά με τον μεταφορέα γλυκόζης Glut1.^{[29][26]}

Απομόνωση ερυθροκυττάρων

Τα ερυθροκύτταρα απομονώνονται από ολικό αίμα με φυγοκέντρωση, έπειτα από την οποία τα κυτταρικά συστατικά του αίματος (η συντηρηπτική πλειοψηφία των οποίων είναι τα ερυθροκύτταρα) πέφτουν στο ίζημα, ενώ το υπερκείμενο υγρό είναι το πλάσμα του αίματος. Ακολουθεί συνήθως αφαίρεση του πλάσματος και τα συμπυκνωμένα ερυθροκύτταρα αποθηκεύονται για να χρησιμοποιηθούν σε μεταγγίσεις.^[32] Σε περιπτώσεις που απαιτείται πιο καθαρός πληθυσμός ερυθροκυττάρων ή απαιτείται απομόνωση των λευκοκυττάρων, ολικό αίμα επιστοιβάζεται σε διάλυμα συγκεκριμένης πυκνότητας (π.χ. Ficoll) και φυγοκεντρείται. Τα ερυθροκύτταρα λόγω τη μεγάλης τους εσωτερικής πυκνότητας (>1,083g/ml) διαπερνούν το διάλυμα και πέφτουν στο ίζημα. Αντίθετα, τα λευκοκύτταρα λόγω της χαμηλότερης πυκνότητάς τους δεν μπορούν να το διαπεράσουν και

έτσι σχηματίζουν μια χαρακτηριστική υπόλευκη στοιβάδα εντός της ζώνης του πλάσματος που μπορεί εύκολα να αφαιρεθεί.

7.8.6. Διαγονιδιακά ψάρια

Καθώς οι περιοχές αλιείας εξαντλούνται με ταχύ ρυθμό, η παραγωγή ψαριών εξαρτάται ολοένα και περισσότερο από την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών. Συνεπώς, πολλά θα ήταν τα οφέλη από τη γενετική τροποποίηση των ψαριών μέσω της διαγονιδιακής τεχνολογίας. Μέχρι σήμερα, πολλοί γονίδια έχουν εισαχθεί με την τεχνική της μικροέγχυσης σε γονιμοποιημένα αυγά ψαριών, όπως είναι οι πέστροφες, οι σολομοί, οι κυπρίνοι κ.α. Επειδή στα ψάρια δεν είναι δυνατό να φανεί ο προ-πυρήνας, μετά τη γονιμοποίηση, το DNA σε γραμμική μορφή εγχέεται στο κυτταρόπλασμα είτε γονιμοποιημένων αυγών ή σε έμβρυα που βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης των 4 κυττάρων. Η ανάπτυξη των αυγών των ψαριών είναι εξωτερική, σε αντίθεση με την εμβρυογένεση των θηλαστικών. Συνεπώς, δεν είναι ανάγκη να ακολουθήσει εμφύτευση, μπορεί δηλαδή να γίνει σε θερμορυθμιζόμενες δεξαμενές. Η επιβίωση των εμβρύων των ψαριών μετά τη μικροέγχυση του DNA είναι υψηλή (35-85%), όπως και η τελική παραγωγή διαγονιδιακών ψαριών (10-70%). Η παρουσία του ξένου γονιδίου μπορεί να ανιχνευτεί με ανάλυση PCR, χρησιμοποιώντας είτε εμπύρνα ερυθροκύτταρα ή απομονωμένο DNA. Τα διαγονιδιακά ψάρια στη συνέχεια διασταυρώνονται και φτιάχνονται οι κατάλληλες διαγονιδιακές σειρές.

Πολλές έρευνες εστίαστηκαν μιας στην επίδραση στο ρυθμό ανάπτυξης των ψαριών μιας διαγονιδιακής κατασκευής που περιέχει το γονίδιο της αυξητικής ορμόνης. Η κατασκευή αυτή περιέχει στο 5' άκρο τον υποκινητή και στο 3' άκρο τις αλληλουχίες τερματισμού και πολυαδενυλίωσης του γονιδίου μιας «αντιψυκτικής» πρωτεΐνης (antifreeze protein gene) και ενδιάμεσα κλωνοποιημένο το cDNA της αυξητικής ορμόνης του σολομού. Το DNA εισήχθη σε αυγά του σολομού του Ατλαντικού Ωκεανού και τα διαγονιδιακά ψάρια ήταν μεγαλύτερα και αναπτύσσονταν γρηγορότερα από τα controls. Το σύστημα αυτό επιλέχθηκε για να αυξηθεί η μεταγραφή του γονιδίου αυτού σε ψυχρά ύδατα και να αποφευχθούν ασυμβατότητες που θα παρουσιάζονταν αν το γονίδιο της αυξητικής ορμόνης είχε διαφορετική προέλευση (όχι από ψάρια δηλαδή).

Σε άλλες εφαρμογές, εισάγονται σήμερα σε τροπικά και εύκρατα είδη ψαριών γονίδια για ανθεκτικότητα σε ασθένειες, ή σε περιβαλλοντικές περιοριστικές συνθήκες (stress).

Μέχρι το 2025, υποστηρίζουν επιστήμονες από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο του Παν/μίου του Maryland, τα περισσότερα μέρη της γης θα εφοδιάζονται με ψάρια από τεράστια ιχθυοτροφεία. Προκειμένου λοιπόν να αντιμετωπιστεί ο αυξημένος ρυθμός κατανάλωσης, που θα οδηγούσε στον αφανισμό των ιχθυοαποθεμάτων, η βιοτεχνολογία προσφέρει τη λύση που θα εξασφαλίσει την παραγωγή ψαριών τα οποία θα είναι αφενός πιο υγιή και θρεπτικά, και αφετέρου θα έχουν μειωμένο χρόνο ανάπτυξης. Έτσι, με τη βοήθεια της γενετικής μηχανικής, πολλαπλά αντίγραφα της αυξητικής ορμόνης σε συνδυασμό με “Growth factors”, εξασφάλισαν τη δημιουργία σολομού που μεγαλώνει δέκα φορές γρηγορότερα από τον κανονικό.

7.9. Ασθένειες ψαριών

7.9.1. Ασθένειες ψαριών που οφείλονται σε βακτήρια

Μερικές από τις πιο συχνές ασθένειες ψαριών που οφείλονται σε βακτήρια είναι:

7.9.1.1. Φυματίωση των ψαριών

Είναι πολύ μεταδοτική ασθένεια που προκαλείται από τα *Mycobacterium*. Μπορεί να χτυπήσει επιδημικά σκοτώνοντας έναν πληθυσμό πολύ γρήγορα παρουσιάζοντας ελάχιστα συμπτώματα ή να προχωρήσει αργά προκαλώντας βλάβες στα εσωτερικά όργανα των ψαριών.

Ένα μολυσμένο ψάρι παρουσιάζει ένα συνδυασμό των εξής συμπτωμάτων: απώλεια όρεξης, ισχνή κοιλιά, ελαφρύ αποχρωματισμό, διαβρωμένα πτερύγια, ακανόνιστη κίνηση, απώλεια λεπιών, εξοφθαλμίαση ή απώλεια ματιού, φλόγωση δέρματος, έλκη στο δέρμα ή ανοιχτές πληγές, δυσμορφίες στα βράγχια, κύρτωση ράχης. Τα συμπτώματα ποικίλουν από ανά είδος και άτομο. Τα υγιή ψάρια μπορούν να έχουν μολυνθεί αλλά να μη νοσούν μέχρι να αυξηθεί το στρες τους ή να φθίνει η ποιότητα του νερού. Η διάγνωση είναι δύσκολη εξαιτίας της ποικιλίας των συμπτωμάτων.

Τα μολυσμένα ψάρια πρέπει να απομονωθούν γρήγορα επειδή η ασθένεια είναι ιδιαίτερα μεταδοτική. Χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός sulphafurazone (0.2 mg/g ψαριού) doxycycline (0.005 mg/g ψαριού) και minocycline (0.005 mg/g ψαριού) που χορηγείται ενδομυϊκά. Συστήνεται επίσης να ταϊστεί οποιοδήποτε άρρωστο ψάρι isoniazid. Υποστηρίζεται επίσης ότι και το kanacyn μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της φυματίωσης των ψαριών.

7.9.1.2. Βακτηριακή Ασθένεια Βραγχίων

Οι παθολογικές αλλαγές στους ιστούς των βραγχίων διαιρούνται σε πέντε κατηγορίες : α) τη βακτηριακή ασθένεια βραγχίων (BGD) που προκαλείται από βακτηρίδια *Flavobacterium branchiophila*, β) τη θρεπτική ασθένεια βραγχίων που προκαλείται από μια ανεπάρκεια του παντοθενικού οξέος, γ) αιμορραγική ασθένεια βραγχίων που οφείλεται στην διαστολή των πεταλωδών σκαφών και προκαλείται από τοξικούς παράγοντες ή φυσικό τραυματισμό, δ) μυκητίαση νέκρωση βραγχίων σε ψάρια λιμνών που προκαλείται από τον μύκητα *Branchiomyces*, ε) πολλαπλασιαστική ασθένεια βραγχίων άγνωστης αιτιολογίας στην ιριδίζουσα πέστροφα. Θα ασχοληθούμε εδώ με τη Βακτηριακή Ασθένεια Βραγχίων.

Επιδημία BGD προκαλείται από στρες στους καλλιεργούμενους οργανισμούς που επιτρέπει την εποίκιση των ιστών βραγχίων από βακτηρίδια που προκαλούν τον θάνατο των ψαριών. Το βακτηρίδιο *Flavobacterium branchiophila* είναι πιθανώς η αιτία των περισσότερων επιδημιών BGD στα σαλμονοειδή.

Στην ασθένεια που προκαλείται από το *Flavobacterium branchiophila*, μια πολλαπλασιαστική υπερπλασία αναπτύσσεται στο επιθήλιο των βραγχίων. Στα αρχικά στάδια της ασθένειας παρατηρείται μεταμόρφωση των επίπεδων επιθηλιακών κυττάρων σε κυβοειδή ή κιονοειδή. Ακολουθεί η παραμόρφωση και η ένωση των βραγχιακών ελασμάτων. Η προκαταρκτική διάγνωση στα σαλμονοειδή είναι βασισμένη στην συμπεριφορά : σταματούν να τρέφονται, κολυμπούν στην επιφάνεια και προσανατολίζονται συχνά ενάντια στο ρεύμα για να εξασφαλίσουν αποδοτική ροή νερού στα βράγχια. Η οριστική διάγνωση βασίζεται στην εξέταση των υγρών δειγμάτων του ιστού των βραγχίων για την υπερπλασία ή νέκρωση και την παρουσία μακρικών, λεπτών gram αρνητικών βακτηριδίων.

Σαν αγωγή για την καταπολέμηση BGD στις καλλιέργειες των σαλμονοειδών έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες χημικές ουσίες. Συνήθως χρησιμοποιούνται μείγματα ammonium όπως τα χλωρίδια benzalkonium, διαθέσιμα ως hyamine 1622 (ενεργό συστατικό 98,8%) και hyamine 3500 (ενεργό συστατικό 50%). Μια άλλη ένωση αυτού του τύπου είναι το Roccal, διαθέσιμο σε συγκεντρώσεις 10% ή 50%. Τα χλωρίδια benzalkonium χρησιμοποιούνται στις συγκεντρώσεις 1 ως 2 ppm ως 1h λουτρό ή

συνεχής επεξεργασία ροής, με μεγάλη προσοχή μια και το περιθώριο ασφαλείας είναι στενό. Μια άλλη χημική ουσία είναι το ζιζανιοκτόνο Diquat που έχει χρησιμοποιηθεί σε συγκέντρωση 8,4 ως 16,8 ppm του διαλυτωμένου υλικού, ή 2 ως 4 ppm βάσει του ενεργού συστατικού (κατιόν Diquat). Καμιά από αυτές τις χημικές ουσίες δεν έχει εγκριθεί από τον USFDA για χρήση σε τροφές ψαριών. Υπάρχουν προσπάθειες για την καταχώριση του chloramineT ως αγωγή για BDG. Αυτή η ένωση βρέθηκε αποτελεσματική για BDG όταν χρησιμοποιείται σε 8,5 ppm για 1h.

7.9.1.3. Δονακίωση

Η δονακίωση είναι μια συστηματική βακτηριακή μόλυνση θαλασσιών και ευρύαλων ψαριών, έχει παρατηρηθεί και σε είδη γλυκών νερών. Προκαλείται από τα βακτήρια του γένους *Vibrio*. Όροι όπως «κόκκινο παράσιτο» ή «κόκκινη πανούκλα» έχουν χρησιμοποιηθεί σαν τίτλοι της δονακίωσης στο παρελθόν. Τα *Vibrio* συναντώνται στο σώμα υγιών ψαριών. Το στρες μπορεί να επιτρέψει στα βακτήρια να πολλαπλασιαστούν ανεξέλεγκτα. Αν περάσουν στο πεπτικό σύστημα η ασθένεια γίνεται συστηματική.

Τα συμπτώματα της δονακίωσης είναι παρόμοια με αυτά άλλων βακτηριακών παθήσεων. Στα αρχικά στάδια παρατηρείται λήθαργος και απώλεια ορέξεως. Με την πρόοδο της ασθένειας το δέρμα αποχρωματίζεται, κοκκινίζει και νεκρώνεται. Φουσκάλες μπορούν να εμφανιστούν στο σώμα, που κατά περιπτώσεις περνούν μέσα από το δέρμα δημιουργώντας ανοιχτές πληγές. Ερυθρές κηλίδες αίματος εμφανίζονται συχνά γύρω από τα πτερύγια και το στόμα. Όταν η ασθένεια γίνει συστηματική, μπορεί να έχουμε εξωφθαλμώση και υγρό και αίμα στην κοιλιά του ψαριού. Όλα αυτά τα συμπτώματα μπορούν να προκληθούν και από άλλες βακτηριακές παθήσεις και δεν είναι απόδειξη της προσβολής από *Vibrio*. Η διάγνωση της δονακίωσης στα ψάρια βασίζεται στην απομόνωση και στον προσδιορισμό του είδους *Vibrio*. Όλα τα είδη είναι gram αρνητικοί βάκιλοι και ευαίσθητα στο vibriostat 01129 (2,4diamino6,7diisopropylpteridine).

Μια αγωγή είναι 10ήμερη θεραπεία με 200 mg sulfamerazine/kg ή oxytetracycline, και έχει χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει επιδημίες. Άλλα αντιβιοτικά είναι το trimetoprin, το piromidic acid, το furanace, και το ξεπερασμένο quinoline halquinol. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει ενδιαφέρον για την ανοσοποίηση των ψαριών με εμβολιασμό. Είναι όμως ακριβός, απαιτεί πολλές εργατοώρες και αυξάνει το στρες στα ψάρια.

7.9.1.4. Columnaris

Η ασθένεια Columnaris είναι μια από τις πρώτες ασθένειες ψαριών θερμών νερών που περιγράφηκαν. Αιτία της ασθένειας είναι το *Flavobacterium columnare*. Η ασθένεια αυτή είναι το δεύτερο πιο σημαντικό αίτιο θανάτων στα γατόψαρα στις Η.Π.Α. τα περισσότερα ψάρια είναι πιο ευάλωτα στην ασθένεια μετά από περιβαλλοντικό στρες και όταν η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται μεταξύ 25 και 32⁰ C. Μπορεί να είναι ιδιαίτερα μολυσματική ασθένεια και μπορεί γρήγορα να σκοτώσει όλο το πληθυσμό.

Τα μολυσμένα ψάρια με Columnaris έχουν άσπρα έως ανοιχτά γκριζα μπαλώματα στο κεφάλι, τα πτερύγια, στα βράγχια, στο σώμα και ιδιαίτερα στο στόμα. Στις περιοχές αυτές αναπτύσσονται πληγές, τα βράγχια είναι πιθανόν να πρηστούν, οι ίνες τους μπορούν να κολλήσουν μεταξύ τους. Η μόλυνση μπορεί να είναι οξεία (το ψάρι πεθαίνει εντός ωρών), ή χρόνια (παρατεταμένη μόλυνση για αρκετές ημέρες πριν από τον τελικό θάνατο των ψαριών).

Η αγωγή περιλαμβάνει αρχικά την ρύθμιση (με αλλαγή νερού ή κατάλληλες διαδικασίες) οι φυσικοχημικοί παράγοντες (π.χ. αμμωνία, νιτρώδες άλατα, pH, επίπεδα νιτρικών αλάτων, θερμοκρασία νερού) της καλλιέργειας. Οι εξωτερικές μολύνσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν με θεραπευτικά χημικά στο νερό, όπως $KMnO_4$. για εξωτερική και εσωτερική θεραπεία έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία τροφή εμποτισμένη με το ενεργό συστατικό Terramycin. Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν η χορήγηση του φαρμάκου γίνει αμέσως μετά την ανίχνευση της ασθένειας. Υπάρχει μια περίοδος 21 ημερών προτού μπορέσουν να πουληθούν τα ψάρια για κατανάλωση.

7.9.1.5. Furunculosis

Το παθογόνο βακτήριο *Aeromonas salmonicida* και τα υποείδη του προσβάλλουν τα περισσότερα είδη καλλιεργούμενων ψαριών. Το *Aeromonas salmonicida* προκαλεί Furunculosis που συνεπάγεται σηψαιμία με την επακόλουθη θνησιμότητα ειδικά στα ψάρια ψυχρών νερών. Τα άλλα υποείδη προκαλούν άτυπες μορφές ασθένειας που χαρακτηρίζονται συχνά από δερμικά έλκη και εξωτερικές παθήσεις με ή χωρίς σηψαιμία.

Το *Aeromonas salmonicida* προκαλεί σηψαιμία και οξεία θνησιμότητα σε ευαίσθητους σαλμονοειδείς ξενιστές. Ο τρόπος και βαθμός μόλυνσης και η θνησιμότητα σχετίζονται με την ποιότητα των περιβαλλοντικών παραμέτρων και επιπλέον επηρεάζεται από την ηλικία και την αντίσταση του ξενιστή. Η μόλυνση όταν εμφανίζεται, μπορεί να σκουραίνει το χρώμα του ξενιστή και να πεθάνει χωρίς να παρουσιάσει κλινικές ενδείξεις. Μόνο μια μικρή εξοφθαλμία μπορεί να είναι εμφανής. Οι οξείες μολύνσεις εμφανίζονται συχνά στα νεαρά και ενήλικα ψάρια που έχουν σκουραίνει στο χρώμα και εμφανίζουν αιμορραγία στη βάση των πτερυγίων και της στοματικής κοιλότητας. Εσωτερικά οι αιμορραγίες μπορούν να είναι εμφανείς στα κοιλιακά τοιχώματα και την καρδιά των προσβεβλημένων ψαριών. Η σπλήνα διευρύνεται, και το συκώτι μπορεί να παρουσιάζει αιμορραγίες. Τα ψάρια που νοσούν μπορεί να επιδείξουν ακανόνιστη συμπεριφορά κολύμβησης, επιβραδύνουν την κίνηση τους και σταματούν να τρέφονται.

Ήταν από τις πρώτες ασθένειες των ψαριών που θεραπεύονται με τα σύγχρονα φάρμακα συμπεριλαμβανομένων των σουλφοναμιδών και nitro furans.

7.9.1.6. Σηψαιμία που προκαλείται από Αερομονάδες

Η σηψαιμία των αερομονάδων ή βακτηριακή αιμορραγική σηψαιμία είναι από τις πιο κοινές και ενοχλητικές αρρώστιες σε ψάρια που εκτρέφονται σε δεξαμενές και κλειστά συστήματα. Οφείλεται σε είδη του γένους *Aeromonas* (*A. hydrophila*, *A. sobria*, *A. caviae*). Μερικές φορές αναφέρεται και στην μόλυνση από το βακτήριο *Pseudomonas fluorescens*. Τα είδη αυτά είναι μικρού μεγέθους gram αρνητικοί βάκιλοι με παρόμοια βιοχημικά χαρακτηριστικά. Η αφθονία τους στο νερό είναι πολύ υψηλή όμως η ανάπτυξη ασθένειας ενεργοποιείται σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες όπως το στρες που οφείλεται σε αλλαγές θερμοκρασίας, υψηλή ιχθυοσυγκέντρωση ή κακή ποιότητα νερού. Η θνησιμότητα από την συγκεκριμένη μόλυνση μπορεί να φθάσει και το 100%.

Τα συμπτώματα δεν είναι συγκεκριμένα, μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με την περίπτωση και συγχέονται με αυτά των άλλων ασθενειών. Υπάρχουν περιπτώσεις που μολύνεται το δέρμα, άλλες που έχουμε εσωτερική συστηματική μόλυνση (σηψαιμία) και άλλες που εμφανίζουν και τις δύο μορφές. Τα ξεσπάσματα της ασθένειας μπορεί να είναι χρόνια προσβάλλοντας μικρό αριθμό ψαριών, ή μικρής διάρκειας προσβάλλοντας μεγάλο μέρος του πληθυσμού αποφέροντας μεγάλες απώλειες. Σε

ψάρια χωρίς λέπια εμφανίζονται κοκκινίλες στα πτερύγια ή κοκκινίλες σε αυτά, μαζί με ακανόνιστες αποχρωματισμένες περιοχές. Το δέρμα σε αυτές τις περιοχές χάνεται σταδιακά αποκαλύπτοντας τους μύες. Αυτές οι πληγές μπορεί να είναι επιφανειακές ή πολύ βαθιές ακόμα και μέχρι το κόκαλο. Οι πληγές περιβάλλονται από μια άσπρη περιοχή που περικλείεται από μικρή ζώνη αιμορραγίας. Σε ψάρια με λέπια οι πληγές ξεκινάνε σαν μικρές αιμορραγίες κάτω από τα λέπια τα οποία χάνονται αφήνοντας στη θέση τους πληγές. Άλλα συμπτώματα είναι η εξωφθαλμία, η κοιλιακή διόγκωση και τα χλωμά βράγχια. Τα ψάρια με λέπια παθαίνουν και λεπιδόρθωση, δηλαδή μαζεύεται υγρό κάτω από τα λέπια. Πολλές φορές εμφανίζονται δευτερογενείς μολύνσεις από μύκητες ή *Columnaris*. Η χρόνια μορφή επιτρέπει στα ψάρια να τρέφονται και η ημερήσια θνησιμότητα είναι χαμηλή, τουλάχιστον στην αρχή. Αντίθετα η μορφή σηψαιμίας ακολουθεί γρήγορους ρυθμούς, παρατηρείται αποχή από την τροφοληψία, αργή κολύμβηση στην επιφάνεια και σχετικά μεγάλη θνησιμότητα που μπορεί να φτάσει και το 100%. Για την διάγνωση απαιτείται βακτηριολογική εξέταση.

Το oxytetracycline (terramycin) είναι το επιλεγμένο φάρμακο για αυτή την ασθένεια. Το φάρμακο εγκρίνεται για χρήση σε ψάρια λιμνών, σε γατόψαρα, και σαλμονοειδή, και δίδεται μέσω τροφής. Τα ψάρια πρέπει να έχουν σταματήσει την θεραπεία 21 μέρες πριν την πώληση τους για κατανάλωση.

7.9.2. Ασθένειες που οφείλονται σε μύκητες

Μύκητες είναι απλοί ευκαριωτικοί οργανισμοί οι οποίοι δεν έχουν χλωροφύλλη και αναπαράγονται αμφιγονικά ή και μονογονικά με παράλληλη παραγωγή σπορίων. Αρκετοί από αυτούς προκαλούν μολύνσεις στους οργανισμούς, τις λεγόμενες μυκητιακές μολύνσεις.

Οι κυριότερες ασθένειες που προσβάλλουν τα ψάρια των μονάδων και οφείλονται σε μύκητες είναι 8. Στις περισσότερες περιπτώσεις κύριο ρόλο για την πρόληψη αυτών των ασθενειών παίζει η υγιεινή. Είναι σημαντικό να διατηρούνται καθαρά τα ενυδρεία έτσι ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη των διαφόρων μικροοργανισμών. Οι σημαντικότερες μυκητιάσεις στα ψάρια είναι οι εξής:

7.9.2.1. Σαπρολεγνίαση

Είναι μόλυνση των ψαριών του γλυκού κυρίως νερού περιλαμβανομένων των σαλμονοειδών (σολομού και πέστροφας) από μύκητες της κλάσης των ωομυκήτων *saprolegnia* & *achlya*. Θεωρείται δευτερογενείς μόλυνση, ακολουθεί δηλαδή τραυματισμό ή άλλη δερματική βλάβη. Προκαλεί θνησιμότητα των ψαριών αλλά και των αυγών τους η οποία αποφεύγεται με την απομάκρυνση των ασθενών ατόμων και την παροχή αντιμυκητιακών φαρμάκων.

7.9.2.2. Κόκκινες πληγές

Η ασθένεια αυτή προκαλείται από τους μύκητες *saprolegnia sp.* Επίσης το υπερβολικό τάισμα, οι χαμηλές θερμοκρασίες καθώς και η κακή υγιεινή βοηθούν σημαντικά στην ανάπτυξη της νόσου. Τα άτομα που προσβάλλονται από την ασθένεια αναπτύσσουν στο σώμα τους λευκόγκριζους, βαμβακόμορφους ή νηματοειδής σχηματισμούς. Τέτοιοι σχηματισμοί μπορούν ακόμη να αναπτυχθούν πάνω στα υπολείμματα τροφής ή επάνω στο υπόστρωμα.

Για να θεραπευτούν τα άρρωστα άτομα, αλλά και να προστατευθούν και τα υπόλοιπα άτομα που είναι υγιή και έχουν έρθει σε επαφή μαζί τους, πρέπει να τους χορηγηθούν αντιβιοτικά ή αντιμυκητιακά σκευάσματα κατάλληλα για χρήση σε ενυδρεία. Επιπλέον, καλό θα ήταν να απομακρυνθούν τα υπολείμματα τροφής και να καθαριστεί σχολαστικά το ενυδρείο.

Αυτές οι μολύνσεις είναι δύσκολο να προληφθούν αλλά και να θεραπευθούν για δύο βασικούς λόγους:

- i) Είναι αρρώστιες των εσωτερικών οργάνων (σπλήνα, εγκέφαλος, ήπαρ, κ.λπ.) που δύσκολα τα φάρμακα έχουν πρόσβαση (ακόμα και σε αποτελεσματικές για άλλες περιπτώσεις συγκεντρώσεις φαρμάκων) και
- ii) Η ασθένεια αυτή συνήθως δεν παρουσιάζει εύκολα ανιχνεύσιμα συμπτώματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ανίχνευση της ασθένειας να γίνεται όταν πλέον έχει φτάσει σε πάρα πολύ προχωρημένο στάδιο.

Ο καλύτερος τρόπος για να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα, είναι η συνεχώς σχολαστική διατήρηση της καλής υγιεινής του συστήματος. Τα ψάρια δεν θα πρέπει να ταΐζονται υπερβολικά και θα ήταν καλό να γίνεται τακτικά έλεγχος των συγκεντρώσεων των Νιτρικών αλάτων, των Νιτρωδών ιόντων, της Αμμωνίας αλλά και των τιμών του pH και των σκληροτήτων του νερού. Έτσι οι διάφοροι στρεσογόνοι παράγοντες διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα πράγμα που βοηθά στην μη εμφάνιση τέτοιων παθήσεων στα ψάρια.

7.9.2.3. Ασθένεια των βραγχίων

Είναι μόλυνση που οφείλεται σε συγκεκριμένα είδη υδρόβιων μυκήτων (Βραγχιόμυκητες), σε βακτηρίδια, πρωτόζωα και μονογενετικές ψείρες (*Dactylogyrus*) ή σε κακές συνθήκες νερού. Τα συμπτώματα της ασθένειας είναι πρήξιμο και γρήγορη κίνηση των βραγχίων, καθώς και αποχρωματισμός των βραγχιακών μεμβρανών με υπερβολική παραγωγή βλέννας. Τα ψάρια σταματάνε να τρώνε, και μένουν ακίνητα στο βυθό ή αναπνέουν με δυσκολία κοντά στην επιφάνεια του νερού, με αποτέλεσμα να πεθαίνουν από ασφυξία.

Η βελτίωση όλων γενικά των παραμέτρων του νερού, συνήθως αρκεί για να μειωθεί το πρόβλημα. Η μερική αλλαγή (30-50%) με νερό που περιέχει τα απαραίτητα βελτιωτικά είναι μια καλή αρχική αντιμετώπιση. Επίσης συμπληρωματικά η χορήγηση κάποιου αντιβακτηριδιακού φαρμάκου για χρήση σε ενυδρεία μπορεί να βοηθήσει σημαντικά.

Ο κυριότερος τρόπος πρόληψης είναι η διατήρηση καλών συνθηκών νερού. Επίσης θα πρέπει να γίνονται μερικές αλλαγές νερού και να καθαρίζεται το ενυδρείο σε τακτά χρονικά διαστήματα.

7.9.2.4. Σάπισμα των πτερυγίων και της ουράς

Η μόλυνση αυτή προκαλείται από διάφορα είδη υδρόβιων μυκήτων όπως *Saprolegnia* και *Achlya*. Εμφανίζεται κυρίως σε ψάρια του γλυκού ή υφάλμυρου νερού. Τα άρρωστα άτομα εμφανίζουν καφέ, γκριζες ή λευκές τούφες που μοιάζουν με βαμβάκι. Ξεκινάνε συνήθως σαν μικρά μπαλώματα αλλά αναπτύσσονται γρήγορα και μπορούν να σκοτώσουν το ψάρι.

Η χορήγηση αντιμυκητιακών φαρμάκων είναι αναγκαία. Τα μολυσμένα άτομα απομονώνονται αλλά ακολουθείται φαρμακευτική αγωγή σε όλα τα ψάρια του ενυδρείου. Συνήθως σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται μπλε του Μεθυλενίου (2mg/l, συνεχές μπάνιο για αρκετές ημέρες).

Αυτή η ασθένεια εμφανίζεται σε ψάρια με κακή υγεία. Τα σπόρια που προκαλούν τέτοιες μολύνσεις είναι κοινά στο νερό και συνήθως εισχωρούν στο δέρμα

ψαριών που έχει υποστεί ζημιές από τσακωμούς με άλλα ψάρια, επίθεση άλλων παρασίτων, κ.λπ. Ακόμη το στρες, η κακή υγιεινή και οι λάθος παράμετροι στο νερό βοηθούν το ξεκίνημα της ασθένειας. Αυτό συνεπάγεται ότι το ενυδρείο θα πρέπει να καθαρίζεται σχολαστικά και να ελέγχονται συχνά οι διάφοροι παράμετροι ώστε να αποφεύγονται τέτοια προβλήματα.

7.9.2.5. *Ichthyosporidium*

Pop-eye

Προκαλείται από μέλη της τάξης των Φυκομυκήτων, γνωστότερων σαν *Ichthyophonus hoferi*. Τα ψάρια παρουσιάζουν ραγδαία μείωση του σωματικού βάρους τους, παρ'όλο που μπορεί να μην έχουν χάσει την όρεξή τους. Αυτό οδηγεί σε ίλιγγο και ασυνήθιστο τρόπο κολύμβησης. Κάποια από τα συμπτώματα αυτά συγχέονται με τα περίπου ίδια συμπτώματα που προέρχονται από φυσικές αιτίες ή βλάβες της νηκτικής κύστης. Τα πρώιμα στάδια της ασθένειας καταλήγουν σε εμφάνιση ελκών και καταστροφές των πτερυγίων, από δευτερεύουσες βακτηριδιακές μολύνσεις, επάνω στα σημεία του σώματος που καταστρέφονται από την απώλεια ισορροπίας. Στο τελευταίο στάδιο ο σπλήνας, το συκώτι, οι νεφροί και ο εγκέφαλος μολύνονται, δημιουργείται "Pop eye" και τις τελευταίες ώρες αυξάνεται δραματικά η συχνότητα της αναπνοής.

Για να αντιμετωπιστεί η ασθένεια πρέπει το ενυδρείο να καθαριστεί σχολαστικά και να γίνει θεραπεία με αντιμυκητιακά σκευάσματα, έως ότου εξαφανιστούν τα συμπτώματα γρήγορης αναπνοής. Επιπλέον χρήσιμη θα ήταν η διακοπή του ταΐσματος σε αυτό το διάστημα.

Οι ασθένειες αυτού του τύπου (όπως και η ασθένεια των κόκκινων πληγών), είναι δύσκολο να προληφθούν λόγω του ότι τα συμπτώματα τους δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμα στα πρώιμα στάδια. Επίσης πρόκειται για ασθένειες των εσωτερικών οργάνων πράγμα που δυσκολεύει περισσότερο την πρόληψη και την θεραπεία τους. Το μυστικό για την αποφυγή τους είναι η σχολαστική καθαριότητα και ο συχνός έλεγχος των Νιτρικών αλάτων, των Νιτρωδών ιόντων της Αμμωνίας και του pH. Επίσης, δεν θα πρέπει να παρέχεται στα ψάρια υπερβολική ποσότητα τροφής. Συνοψίζοντας, η καλύτερη πρόληψη είναι ο έλεγχος του στρες σε χαμηλά επίπεδα ώστε να μην υποβοηθούνται οι διάφοροι μικροοργανισμοί.

7.9.2.6. *Μύκητες στο στόμα*

Μυκητίαση της περιοχής γύρω από το στόμα. Προκαλείται από το βακτηρίδιο *Chondrococcus columnaris*. Το κυριότερο σύμπτωμα της ασθένειας είναι η εμφάνιση γκριζόλευκων σχηματισμών που μοιάζουν με βαμβάκι στην περιοχή του στόματος.

Αρχικά η χρήση αντιβιοτικών, που μπορούν να χορηγηθούν και τοπικά, καθώς και οξειδωτικών μέσων που μειώνουν τους πληθυσμούς των βακτηριδίων, μπορεί να βοηθήσει την κατάσταση. Ο εξαερισμός και τα φίλτρα θα πρέπει να λειτουργούν στα ανώτατα επιτρεπτά όρια. Ακόμη, σε μαλακά και όξινα νερά είναι σημαντική η βελτίωση της ποιότητας του νερού.

Θα πρέπει να γίνεται συχνά έλεγχος συγκεντρώσεων της Αμμωνίας, των Νιτρωδών ιόντων και των Νιτρικών αλάτων. Με το σχεδιασμό του κατάλληλου συστήματος φίλτρανσης να υποστηρίζει το ενυδρείο, οι συγκεντρώσεις των παραπάνω ουσιών κανονικά δεν θα αυξηθούν πάνω από τα χαμηλότερα επιτρεπτά επίπεδα. Ποτέ να μην χορηγείται υπερβολική ποσότητα τροφής, να μην χρησιμοποιούνται "χαλασμένες" τροφές, να μην χρησιμοποιούνται τροφές προερχόμενες από τη θάλασσα (Δάφνια, Tubifex, κ.λπ.), εάν δεν έχουν περάσει από επίδραση ακτινοβολίας γ.

Τα ψάρια που μοιάζουν ύποπτα να κρατούνται σε καραντίνα και να τους χορηγείται προληπτικά μια γενική αντιβίωση και να χορηγούνται στα ψάρια συμπληρώματα βιταμινών ώστε να προλαμβάνεται η έλλειψη βιταμινών.

7.9.2.8. Άσπρες τούφες

Τα μολυσμένα άτομα παρουσιάζουν άσπρες συγκεχυμένες περιοχές ή τούφες που συνήθως είναι σκληρές. Ο μύκητας μπορεί να μοιάζει με τον *Epistylis* και *Cotton-Wool* ή και την ασθένεια από το βακτήριο *Columnaris*. Ο μύκητας είναι εύκολα προσδιορίσιμος κάτω από το μικροσκόπιο επειδή μοιάζει με τα σκέλη της ανθρώπινης τρίχας. Το *Epistylis* μπορεί να προσδιοριστεί πιο εύκολα από τα βακτηρίδια *Columnaris* επειδή οι οργανισμοί είναι συνήθως άφθονοι και χαρακτηρίζουν έναν μακρύ λεπτό μίσχο.

Όταν πρόκειται για τα βακτηρίδια *Columnaris* ο καλύτερος τρόπος θεραπείας είναι η κατεργασία του νερού του ενυδρείου, ώστε να ελεγχθούν και να ρυθμιστούν οι διάφορες παράμετροι. Όταν πρόκειται για τον *Epistylis* συνήθως χορηγείται κάποιο άλας, ενώ για άλλους μύκητες χορηγείται κάλιο ή ορισμένα υπεροξειδία.

7.9.2.9. Υδρωπικία ή Οίδημα

Δεν είναι σαφές ποιοι είναι οι υπεύθυνοι παθογόνοι μικροοργανισμοί γι' αυτή την ασθένεια. Πιθανόν πρόκειται για συνδυασμό μυκητιακής/βακτηριδιακής μόλυνσης ή ιώσεως. Μπορεί να εμφανιστεί λόγω διαταραχής του μεταβολισμού ή της διατροφής. Το σώμα του άρρωστου ψαριού πρήζεται (σαν να είναι γεμάτο με αυγά) και όταν το ψάρι εξεταστεί από επάνω, τα λέπια ανοίγουν και μοιάζουν με το σχήμα του ώριμου ανοιγμένου κουκουναριού. Τα κόπρανα των άρρωστων ψαριών έχουν όψη ανοικτόχρωμη και είναι μακριά. Στο σώμα τους μπορεί να εμφανιστούν έλκη, τα βράγχια τους αποχρωματίζονται και μπορεί να εμφανίσουν ακόμα και "pop eye". Η ασθένεια αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη στα κυπρινοειδή (έντονο στα ψάρια της οικογένειας *Poeciliidae*) και σε ψάρια της οικογένειας *Belontiidae*.

Εφ' όσον εμφανιστεί το πρήξιμο της κοιλιάς πρέπει οπωσδήποτε να απομονωθεί το άρρωστο ψάρι και να του χορηγηθεί αντιβίωση ευρέως φάσματος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οξυτετρακυκλίνη (20-100 mg/l, σε μάνιο για πέντε μέρες). Εναλλακτικά, θεραπεία μπορεί να γίνει με υδροχλωρίδιο της τετρακυκλίνης (40-100 mg/l, σε μάνιο για πέντε μέρες) ή υδροχλωρίδιο της μονοκυκλίνης. Κατά τη διάρκεια της θεραπείας καλό θα ήταν να αυξηθεί ο αερισμός του νερού. Οι τετρακυκλίνες είναι φωτοευαίσθητες, οπότε για να υπάρξουν αποτελέσματα θα πρέπει τα φώτα να είναι σβηστά κατά τη διάρκεια της θεραπείας. Καλό θα ήταν αν αυτό δεν είναι εφικτό, το ενυδρείο να κρατιέται σκεπασμένο με σκούρο ύφασμα έτσι ώστε να μην μπορεί να το διαπεράσει το φως. Η χορήγηση θεραπείας σε πρώιμο στάδιο είναι θεμελιώδης για την επιτυχία της θεραπείας.

Για να περιοριστούν τέτοιες ασθένειες πρέπει να αποφευχθούν τα υπερβολικά ταΐσματα ή η λάθος διατροφή. Για παράδειγμα τα σαρκοφάγα ψάρια δεν θα πρέπει να ταΐζονται με τροφές φυτικής προέλευσης και το αντίθετο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΑΡΙΩΝ

8.1. Γενικά συμπεράσματα

Στα Σπονδυλόζωα το αίμα είναι ένας περίπλοκος υγρός ιστός που ρέει μονόδρομα μέσα στα αιμοφόρα αγγεία, προωθούμενο από τις ρυθμικές συσπάσεις τής καρδιάς (κλειστό κυκλοφορικό σύστημα στα Σπονδυλόζωα).

Ιστολογικά το αίμα κατατάσσεται στους συνδετικούς ιστούς και αποτελείται από κύτταρα (έμμορφα συστατικά, αιμοκύτταρα) και από υγρή μεσοκυττάρια ουσία (πλάσμα), που είναι υδατικό διάλυμα αλάτων, υδατανθράκων και πρωτεϊνών.

Τα κύτταρα αποτελούν κάτι λιγότερο από το 50% του όγκου του αίματος και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- τα ερυθροκύτταρα,
- τα λευκοκύτταρα και
- τα θρομβοκύτταρα (αιμοπετάλια).

Για τη μελέτη των κυττάρων τού αίματος στο οπτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιούνται ξηρά επιχρίσματα (blood smears).

- **Τα ερυθροκύτταρα (ερυθρά αιμοσφαίρια)** των θηλαστικών είναι απύρνηνα, ενώ τα ερυθροκύτταρα των υπόλοιπων Σπονδυλόζωων είναι εμπύρνηνα. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια των οστεϊχθύων και των αμφιβίων είναι εμπύρνηνα ωσειδή, περιέχουν αιμοσφαιρίνη και, σε αντίθεση με τα ερυθροκύτταρα των θηλαστικών, ο μεταβολισμός τους είναι αερόβιος. Το μέγεθος και ο αριθμός των ερυθροκυττάρων που απαντούν στο αίμα ποικίλει στα σπονδυλόζωα. Τα ερυθροκύτταρα του ανθρώπου έχουν σχήμα αμφίκιουλου δίσκου με διάμετρο 7,5 μm και πάχος 2,6 μm στην περιφέρεια και 0,8 μm στο κέντρο. Οι διαστάσεις των ερυθροκυττάρων στα άνουρα αμφίβια είναι 14 x 22 μm και ο αριθμός τους είναι 400.000 ή και περισσότερα ανά 1 mm³ αίματος. Η διάμετρος των ερυθροκυττάρων στον κυπρίνο είναι 17 μm και στο χέλι 9,4 μm. Τα ώριμα ερυθροκύτταρα των ιχθύων απαντούν στο περιφερικό αίμα κι έχουν οβάλ πυρήνα που καταλαμβάνει το 35 με 40% του όγκου του κυττάρου.
- **Τα λευκοκύτταρα (λευκά αιμοσφαίρια)** αποτελούν μία ετερογενή ομάδα εμπύρνηνων κυττάρων τού αίματος. Τα λευκοκύτταρα, που είναι άχρωμα, ταξινομούνται σε υποπληθυσμούς ανάλογα με το μέγεθός τους, τη μορφολογία τους (π.χ. σχήμα πυρήνα, τύπο κοκκίων), τη σύσταση τού κυτταροπλάσματος (αντίδραση σε χρωστικές) και το στάδιο ανάπτυξης. Οι κυριότερες ομάδες είναι τα λεμφοκύτταρα, τα μεγάλα μονοπύρνηνα, τα ηωσινόφιλα, τα βασεόφιλα και τα ουδετερόφιλα.
- **Τα λεμφοκύτταρα** καλύπτουν ποσοστό μεγαλύτερο του 80% του συνόλου των λευκοκυττάρων. Τα λεμφοκύτταρα έχουν στρογγυλό σχήμα και στρογγυλό πυρήνα και μέγεθος όμοιο με το μέγεθος των ερυθροκυττάρων. Τα λεμφοκύτταρα του αίματος μετά από χρώση κατατάσσονται σε δύο κύριους μορφολογικούς τύπους. Το κυτταρόπλασμά τους χρωματίζεται γκρι-μπλε, αλλά ο όγκος του μπορεί να ποικίλει πολύ, με αποτέλεσμα να διακρίνονται δύο είδη λεμφοκυττάρων, τα μικρά και τα μεγάλα, που αντιστοιχούν σε διαφορετικές φάσεις ενεργοποίησης. Το μέσο μέγεθος

των μικρών λεμφοκυττάρων ποικίλει σε διαφορετικά είδη (διάμετρος: 4.5 μm στα πλατύψαρα, 8.2 μm στο χρυσόψαρο και περίπου 6 μm στον άνθρωπο).

- Στο περιφερικό αίμα των ιχθύων υπάρχουν πολύ περισσότερα λεμφοκύτταρα σε σχέση με τα θηλαστικά. Στους ιχθύς τα ουδετερόφιλα λευκά αιμοσφαίρια έχουν πολύλοβους πυρήνες, χωρισμένους σε 2 έως 5 τμήματα, και για αυτόν τον λόγο ονομάζονται τετμημένα.
- **Τα θρομβοκύτταρα** τέλος, είναι επιμήκη ή ατρακτοειδή κύτταρα και είναι υπεύθυνα για την πήξη του αίματος σε περιπτώσεις τραυματισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΚΥΤΤΑΡΟΥ , Δρ Κωνσταντίνου Φασσέα, Βιολόγου, Αναπληρωτή Καθηγητή ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ , ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΚΗΣ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ , ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΦΥΤΩΝ , ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ , ΑΘΗΝΑ 2006.
- [2]. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΠΟΝΔΥΛΩΤΩΝ , Δρ. Μ. Παυλίδης , ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ , ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ , ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΜΑΪΟΣ 2005.
- [3]. ΠΡΑΚΤΙΚΑ 4ου ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΥΔΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ – ΑΛΙΕΙΑΣ , ΒΟΛΟΣ 2011
- [4]. Ιστολογική μελέτη περιφερικού αίματος υδρόβιων σπονδυλόζων , Μαριάνθη Χατζηγιάννου , Ελένη Γκολομάζου

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Moeler R.B. Jr. 2002. Diseases of fish. Univ. of California, USA
- [2]. Bowser P.R. 1999. Diseases of Fish. Cornell University, USA

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- [1]. <http://www.mar.aegean.gr> : Πανεπιστήμιο Αιγαίου , Τμήμα επιστημών της θάλασσας.
- [2]. <http://papsea.gr/el> : Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας , Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος
- [3]. <http://www.gaiapedia.gr> : GAIAPedia
- [4]. <http://www.enidrio.gr> : enidrio
- [5]. <http://introduction-zoology.weebly.com> : Εισαγωγή στη Ζωολογία
- [6]. <http://www.fishbase.org> : FishBase
- [7]. <http://animalbiodiversitybiol263.weebly.com> : Εργαστηριακό μάθημα "Βιοποικιλότητα Ζώα"
- [8]. <http://www.livepedia.gr>