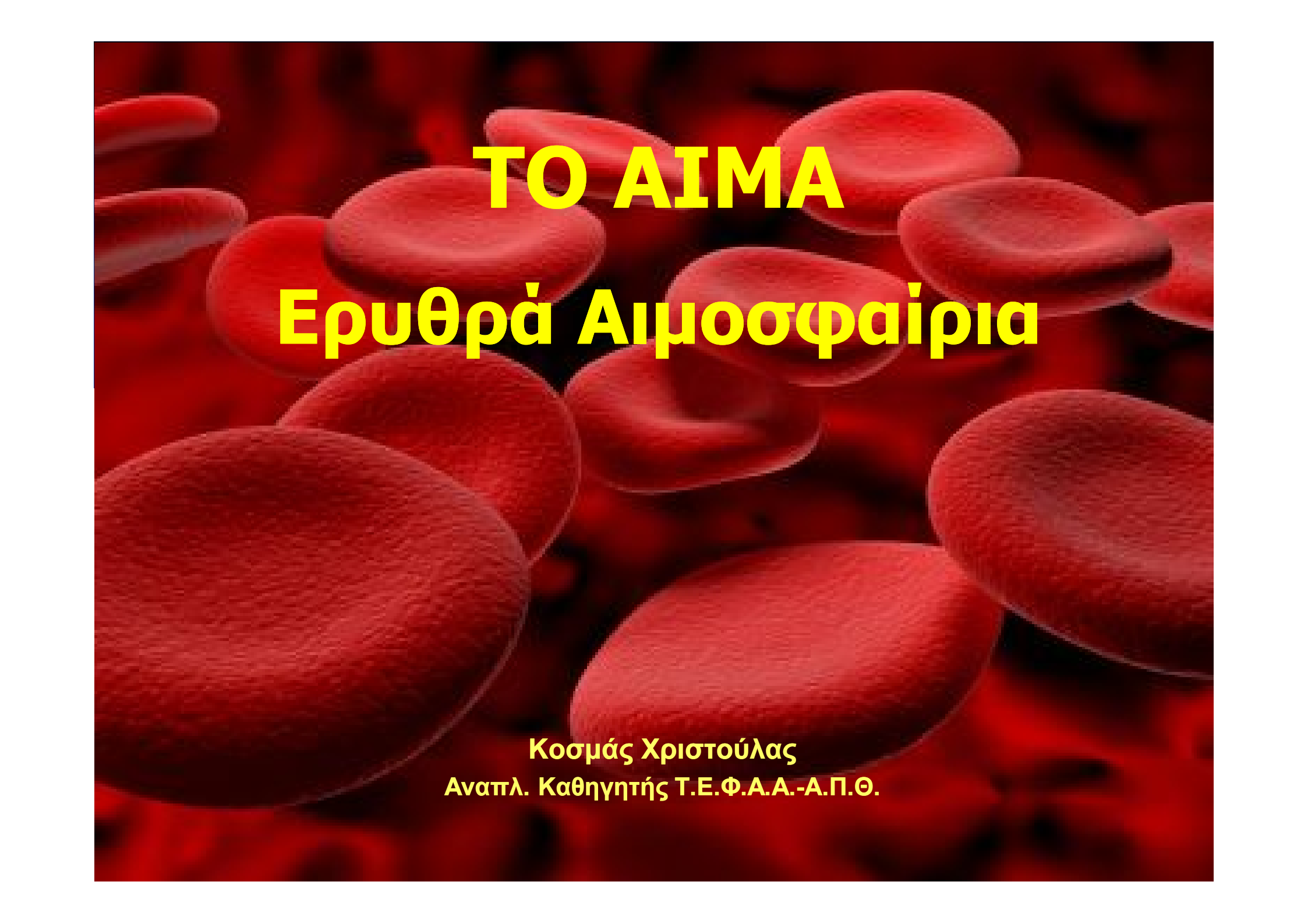


A microscopic view of numerous red blood cells, which are biconcave discs, floating in a fluid medium. The cells are a deep red color and are distributed throughout the frame, with some in sharp focus and others blurred in the background.

ΤΟ ΑΙΜΑ

Ερυθρά Αιμοσφαίρια

Κοσμάς Χριστούλας
Αναπλ. Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α.-Α.Π.Θ.

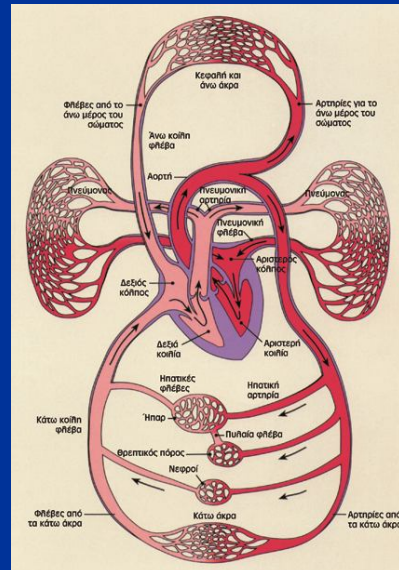
Γενικά χαρακτηριστικά του αίματος

Το **αίμα** είναι το "μέσο μαζικής μεταφοράς"

πολλών χρήσιμων και απαραίτητων

στοιχείων για τη φυσιολογική λειτουργία

του οργανισμού μας.



(McArdle et al., 2001)

Γενικά χαρακτηριστικά του αίματος

Το **αίμα** αποτελείται από κύτταρα (έμμορφα συστατικά) τα οποία αιωρούνται μέσα σ' ένα υγρό, που ονομάζεται **πλάσμα**.



Το έντονο ξανθοκίτρινο χρώμα του **πλάσματος** οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στη **χολερυθρίνη**, ένα παραπροϊόν αποδόμησης της αιμοσφαιρίνης.

Γενικά χαρακτηριστικά του αίματος

Το πλάσμα αποτελείται από νερό (~ 90 %) και ένα μεγάλο αριθμό οργανικών και ανόργανων ουσιών, διαλυτών στο νερό.

Οι πρωτεΐνες (λευκωματίνες, σφαιρίνες και ινωδογόνο) αποτελούν τα κύρια συστατικά του πλάσματος,
τουλάχιστον από άποψης βάρους.

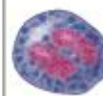
Γενικά χαρακτηριστικά του αίματος

Άλλα συστατικά του πλάσματος είναι:

- ✓ Θρεπτικές ουσίες (γλυκόζη, αμινοξέα, λιπίδια, βιταμίνες, ιχνοστοιχεία κ.α.)
- ✓ Ηλεκτρολύτες (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , H^+ , Cl^- κ.α.)
- ✓ Αέρια (O_2 , CO_2 , N_2)
- ✓ Παραπροϊόντα (ουρία, ουρικό οξύ, κρεατινίνη, χολερυθρίνη)
- ✓ Ορμόνες

Γενικά χαρακτηριστικά του αίματος

Το έμμορφα συστατικά του αίματος είναι
τα ερυθρά αιμοσφαίρια (ερυθροκύτταρα),
τα λευκά αιμοσφαίρια (λευκοκύτταρα) και
τα αιμοπετάλια.

Ερυθροκύτταρα	Λευκοκύτταρα					Αιμοπετάλια
	Πολυμορφοπύρρηνα κοκκιοκύτταρα			Μονοκύτταρα	Λεμφοκύτταρα	
	Ουδετερόφιλα	Ηωσινόφιλα	Βασεόφιλα			
						

(Vander et al., 2001)

Λειτουργίες του αίματος

Α. Λειτουργίες μεταφοράς

- ✓ Μεταφορά θρεπτικών και χρήσιμων ουσιών, που απορροφούνται από το πεπτικό σύστημα, σε διάφορους ιστούς του οργανισμού.
- ✓ Μεταφορά άχρηστων ουσιών προς τα όργανα απεκκρίσεως (νεφρούς, δέρμα, πνεύμονες).

Λειτουργίες του αίματος

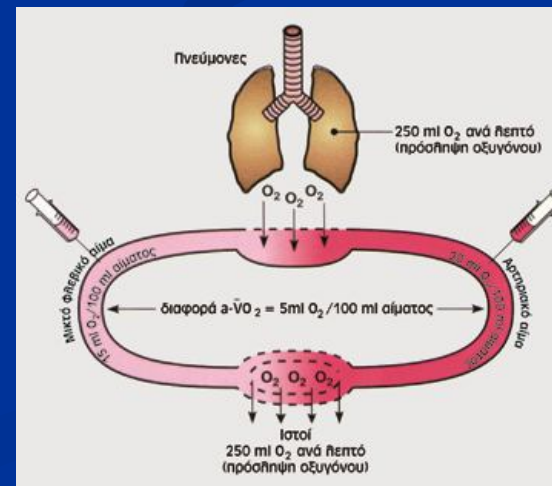
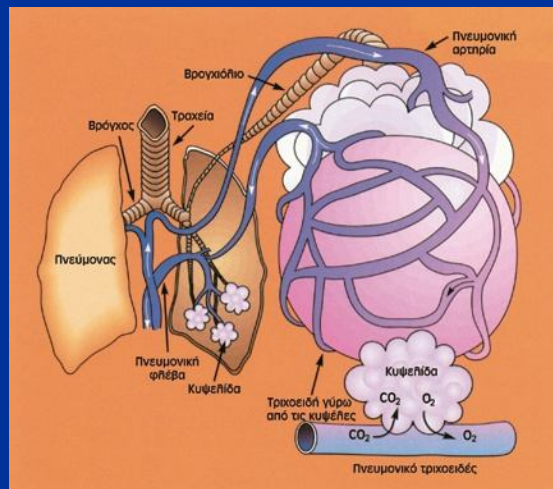
Α. Λειτουργίες μεταφοράς

- ✓ Στο πλαίσιο λειτουργίας των θερμορρυθμιστικών μηχανισμών, μεταφορά θερμότητας προς την επιφάνεια του σώματος (με αγγειοδιαστολή των αρτηριδίων του δέρματος), προκειμένου αυτή να αποβληθεί προς το περιβάλλον, ώστε να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία σώματος.

Λειτουργίες του αίματος

Α. Λειτουργίες μεταφοράς

- ✓ Μεταφορά και ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων (O_2 από τους πνεύμονες στους ιστούς και CO_2 από τους ιστούς στους πνεύμονες).



(McArdle et al., 2001)

Λειτουργίες του αίματος

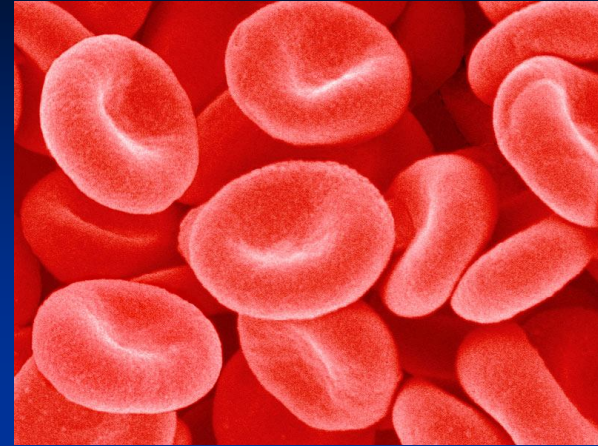
Β. Λειτουργίες ρυθμίσεως

Με τις ορμόνες που μεταφέρει το αίμα ρυθμίζονται
οι λειτουργίες των διαφόρων ιστών
και οργάνων του οργανισμού.

Γ. Λειτουργίες άμυνας

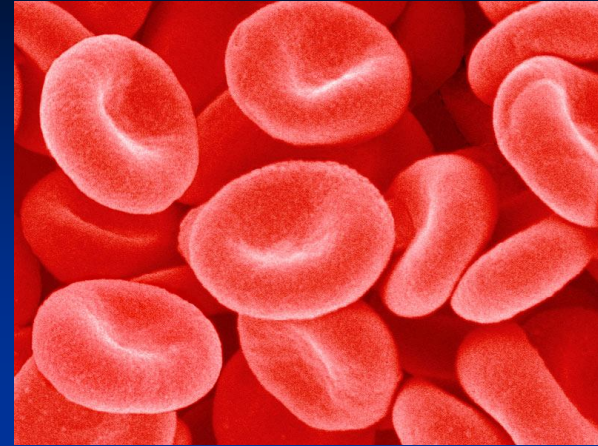
Το αίμα συμβάλλει στην άμυνα του οργανισμού,
μεταφέροντας λευκά αιμοσφαίρια και αντισώματα.

Ερυθρά αιμοσφαίρια



Το ερυθρά αιμοσφαίρια (RBC) είναι απύρρηνα κύτταρα με σχήμα αμφίκοιλου δίσκου. Το σχήμα τους και το μικρό μέγεθός τους (διαμέτρου $7\ \mu\text{m}$) προσδίδουν σ' αυτά μια υψηλή αναλογία επιφάνειας προς όγκο, έτσι ώστε το O_2 και το CO_2 να μπορούν να διαχέονται γρήγορα προς και από το εσωτερικό του κυττάρου.

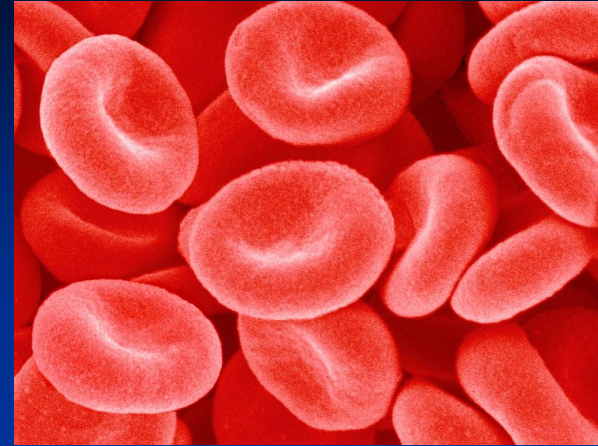
Ερυθρά αιμοσφαίρια



Βασική λειτουργία των RBC

είναι η μεταφορά του O_2 , από τους πνεύμονες προς τους διάφορους ιστούς, και του CO_2 από τα κύτταρα όπου παράγεται προς τους πνεύμονες. Τα RBC περιέχουν μεγάλες ποσότητες μιας πρωτεΐνης, της αιμοσφαιρίνης (Hb), με την οποία ενώνεται το O_2 και σε μικρότερο βαθμό το CO_2 .

Ερυθρά αιμοσφαίρια



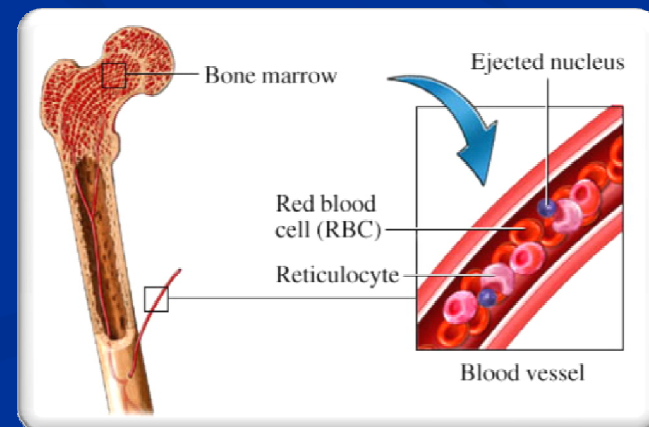
Ο αριθμός των **RBC** είναι κατά μέσο όρο:

- ✓ 5.000.000 /μl αίματος στους άνδρες
- ✓ 4.500.000 /μl αίματος στις γυναίκες

(Ματζιάρη, 2009)

Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

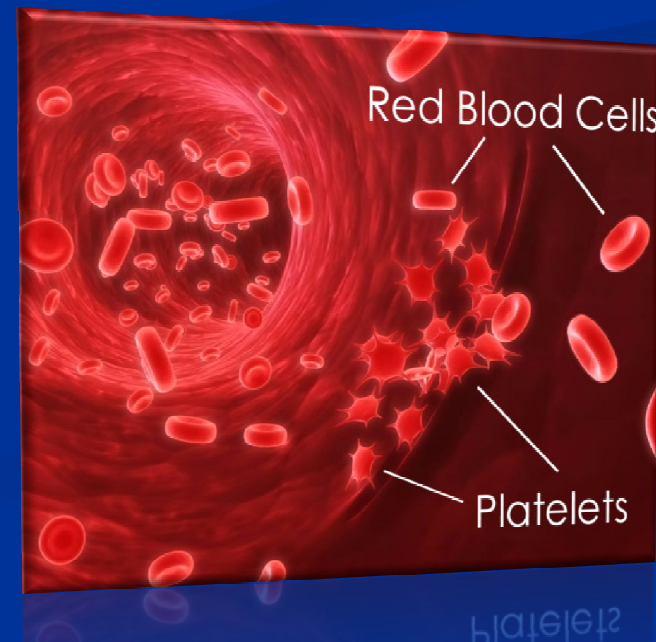
Τα ερυθρά αιμοσφαίρια παράγονται στον ερυθρό μυελό των οστών. Στους ενήλικες, αυτός βρίσκεται στα οστά του κρανίου, στα οστά της ωμικής ζώνης, στους σπονδύλους, στις πλευρές, στα οστά της λεκάνης και στις άνω επιφύσεις του βραχιονίου και του μηριαίου οστού.



Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

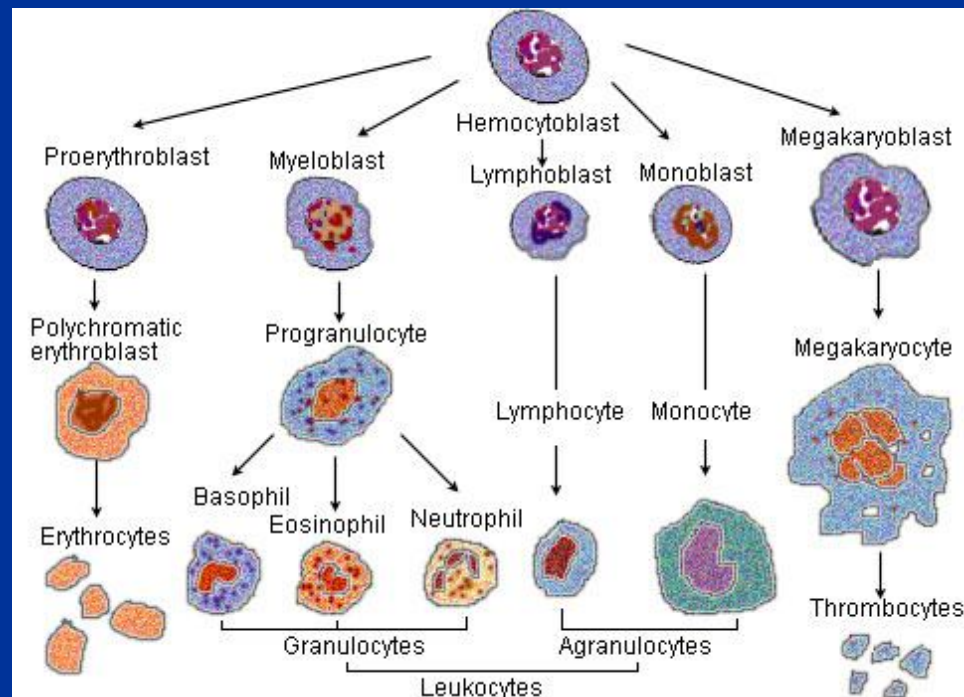
Στα παιδιά **ερυθρός** είναι όλος ο **μυελός** των **οστών**, δηλαδή και αυτός που βρίσκεται μέσα στα μακρά οστά των άνω και κάτω άκρων και που στον ενήλικα αποτελεί τον **ωχρό ή λιπώδη ιστό**.

Στον **ερυθρό μυελό** των **οστών** παράγονται επίσης τα **αιμοπετάλια** και τα **περισσότερα** από τα **λευκά αιμοσφαίρια**.



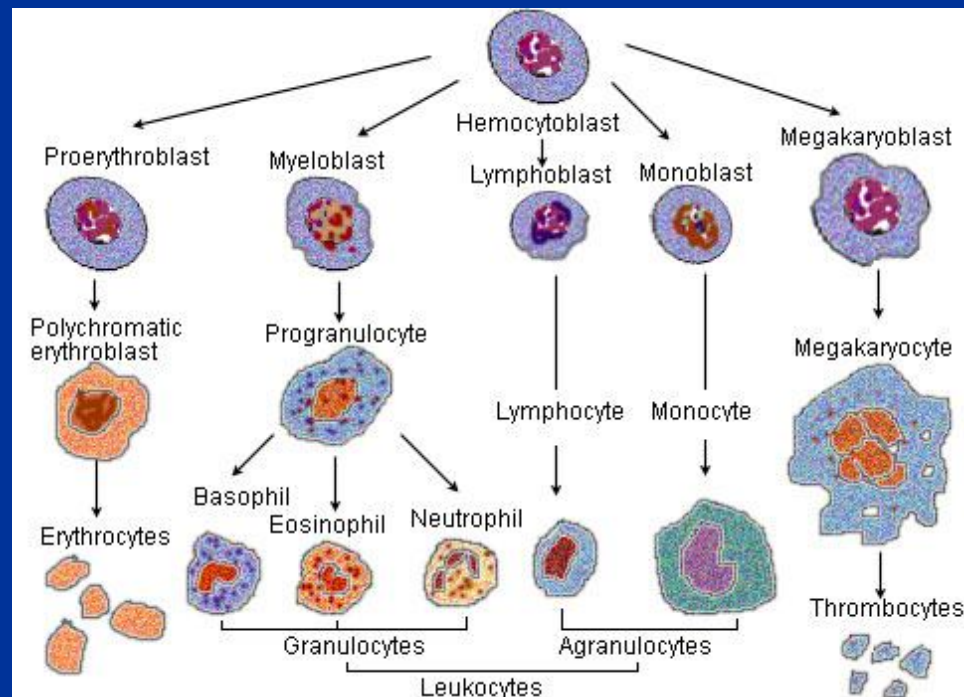
Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

Η παραγωγή όλων των έμμορφων στοιχείων του αίματος που γίνεται στον ερυθρό μυελό των οστών, ξεκινά από ένα αρχέγονο πολυδύναμο κύτταρο.



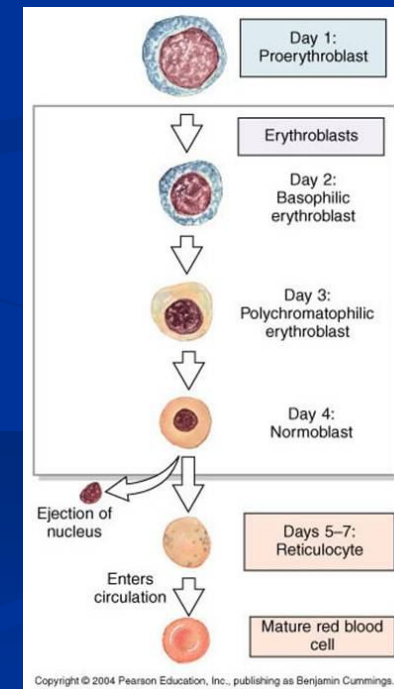
Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

Από αυτό στη συνέχεια προέρχονται
οι προγονικές μορφές των ερυθρών αιμοσφαιρίων,
των λευκών και των μεγακαρυοκυττάρων



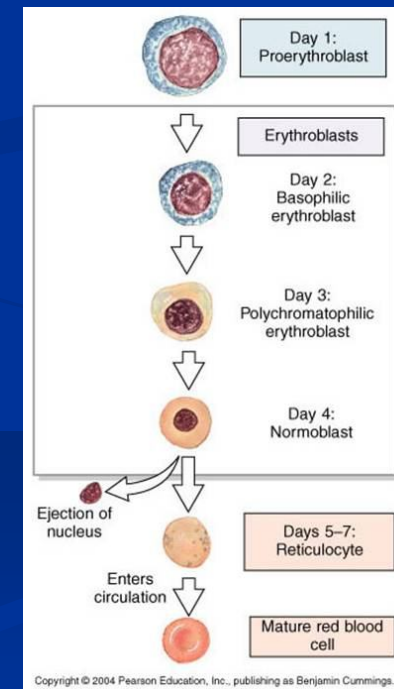
Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

Το αρχέγονο κύτταρο της σειράς των ερυθρών αιμοσφαιρίων είναι η **προερυθροβλάστη**, η οποία μετά από προοδευτική ωρίμανση και διαδοχικές μιτωτικές διαιρέσεις καταλήγει στα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια.



Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

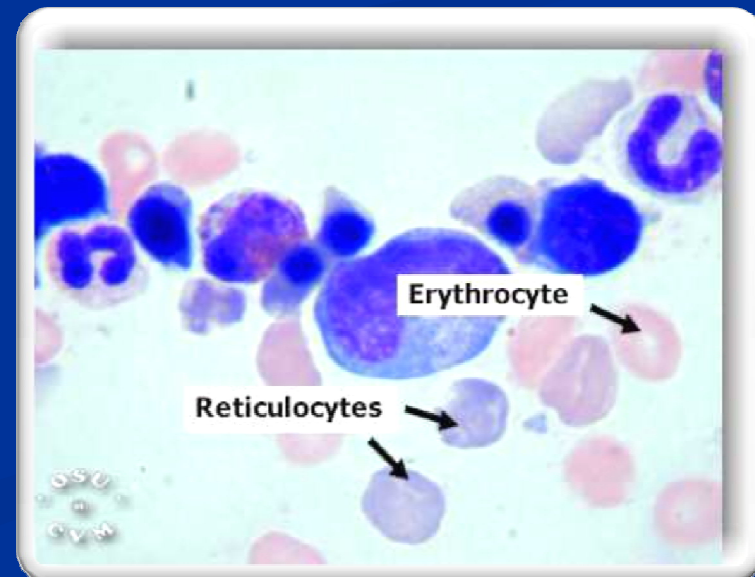
Τα κύτταρα αυτά κατά την εξέλιξή τους εμπλουτίζονται με αιμοσφαιρίνη, ενώ στα τελευταία στάδια ο πυρήνας αρχίζει να μικραίνει και τελικά αποβάλλεται από το κύτταρο.



Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

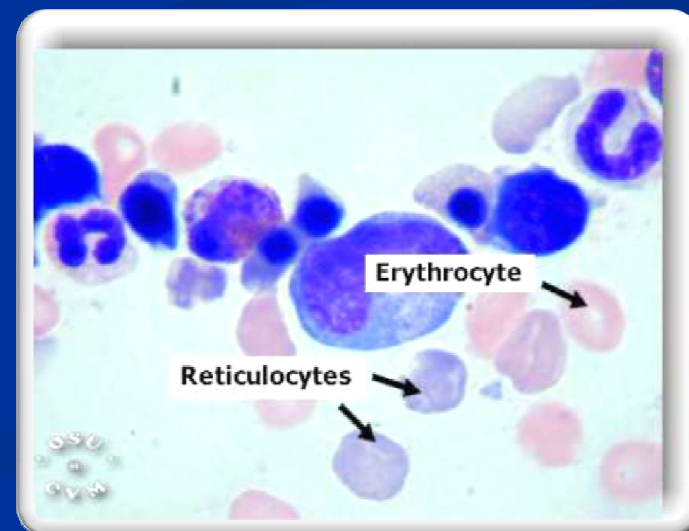
Τα νέα ερυθροκύτταρα στο μυελό των οστών περιέχουν εντούτοις λίγα ριβοσώματα και γι' αυτό παρουσιάζουν μια δικτυωτή μορφή όταν επεξεργάζονται με ειδικές χρωστικές, στοιχείο που τους προσδίδει το όνομα **δικτυοερυθροκύτταρα**.

Σε 2-3 ημέρες χάνουν αυτό το δίκτυο και μεταπίπτουν σε κοινά **ερυθρά αιμοσφαίρια**.



Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

Κανονικά, μόνο ώριμα ερυθροκύτταρα, τα οποία έχουν χάσει αυτά τα ριβοσώματα, αφήνουν το μυελό των οστών και μπαίνουν στη γενική κυκλοφορία. Σε περιπτώσεις όμως όπου επέρχεται ασυνήθιστα γρήγορη παραγωγή ερυθροκυττάρων, πολλά δικτυοερυθροκύτταρα εισέρχονται στο αίμα.

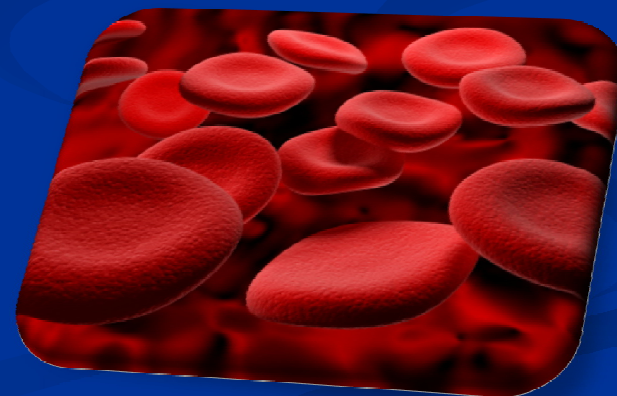


Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

Τα ερυθρά αιμοσφαίρια δεν έχουν πυρήνες και οργανίδια.

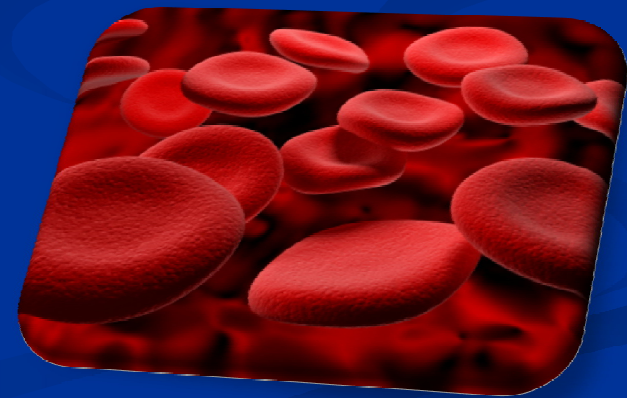
Έτσι, δεν μπορούν ούτε να αναπαραχθούν ούτε να διατηρήσουν τη φυσιολογική δομή τους για πολύ χρόνο.

Η μέση διάρκεια ζωής ενός
ερυthroκυττάρου είναι
περίπου 120 ημέρες.



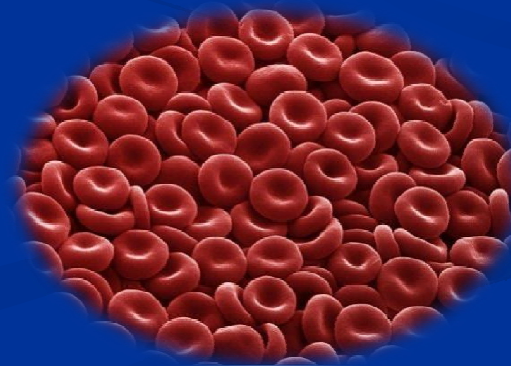
Παραγωγή των Ερυθρών αιμοσφαιρίων

Κάθε ημέρα, σχεδόν το **1 %** των ερυθροκυττάρων του σώματος καταστρέφονται και πρέπει να αντικατασταθούν. Αυτό σημαίνει περίπου **250** δισεκατομμύρια κύτταρα την ημέρα. Η καταστροφή των ερυθροκυττάρων γίνεται φυσιολογικά στον σπλήνα και στο ήπαρ.



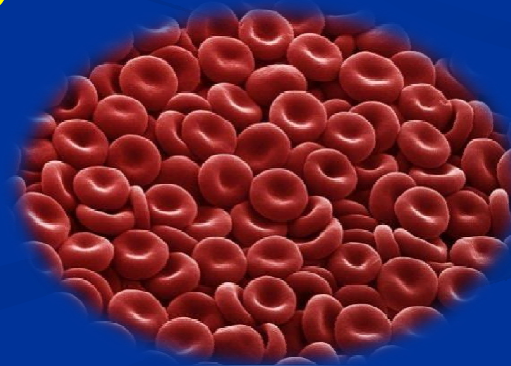
Ρύθμιση ερυθροποίησης

Σε ένα φυσιολογικό άτομο, ο συνολικός αριθμός των ερυθρών αιμοσφαιρίων, που κυκλοφορούν στο σώμα του, παραμένει αξιοσημείωτα σταθερός. Επειδή όμως συνεχώς καταστρέφονται τα «γερασμένα» ερυθρά αιμοσφαίρια, γίνεται συνεχής παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων στον ερυθρό μυελό των οστών.



Ρύθμιση ερυθροποίησης

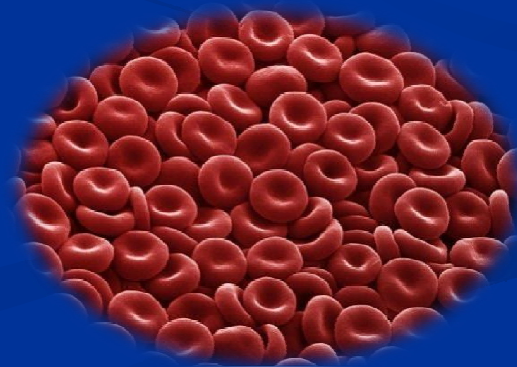
Η διαδικασία παραγωγής νέων ερυθροκυττάρων ονομάζεται **ερυθροποίηση**. Η κύρια αιτία της **ερυθροποίησης** είναι η ελάττωση του O_2 στο αίμα. Για το λόγο αυτό, άνθρωποι που ζουν σε ορεινές περιοχές έχουν υψηλότερο αριθμό ερυθρών αιμοσφαιρίων, σε σύγκριση με τους ανθρώπους που ζουν κοντά στο επίπεδο της θάλασσας, λόγω του φαινομένου της υποξίας στο υψόμετρο.



Ρύθμιση ερυθροποίησης

Ανιχνευτής της χαμηλής περιεκτικότητας του αίματος σε O_2 είναι οι νεφροί, οι οποίοι παράγουν την ορμόνη **ερυθροποιητίνη (EPO)**.

Η **ερυθροποιητίνη** δρα στον ερυθρό μυελό των οστών και αυξάνει τους ρυθμούς παραγωγής των ερυθρών αιμοσφαιρίων.



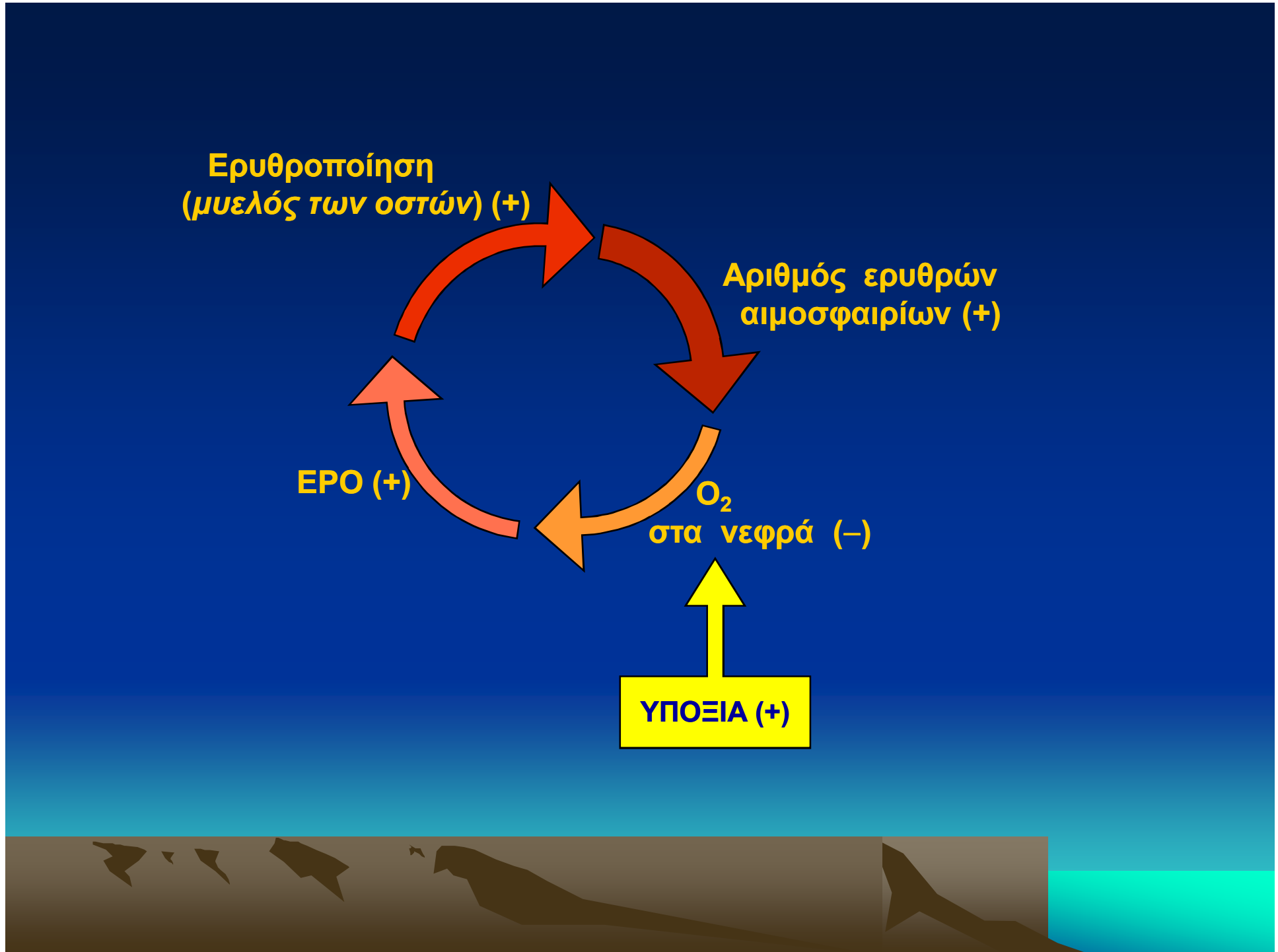
Ερυθροποίηση
(μυελός των οστών) (+)

Αριθμός ερυθρών
αιμοσφαιρίων (+)

ΕΡΟ (+)

O₂
στα νεφρά (-)

ΥΠΟΞΙΑ (+)



Ρύθμιση ερυθροποίησης

Η ερυθροποίηση γενικά διεγείρεται όταν ο αριθμός των ερυθρών αιμοσφαιρίων στο αίμα είναι κατώτερος από αυτόν που απαιτείται για τη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού και αναστέλλεται όταν είναι ανώτερος του φυσιολογικού.

Ρύθμιση ερυθροποίησης

Η παραγωγή των ερυθροκυττάρων απαιτεί τις συνήθεις θρεπτικές ουσίες που χρειάζονται για να συντεθεί οποιοδήποτε κύτταρο, δηλ.

αμινοξέα, λιπίδια και υδατάνθρακες.

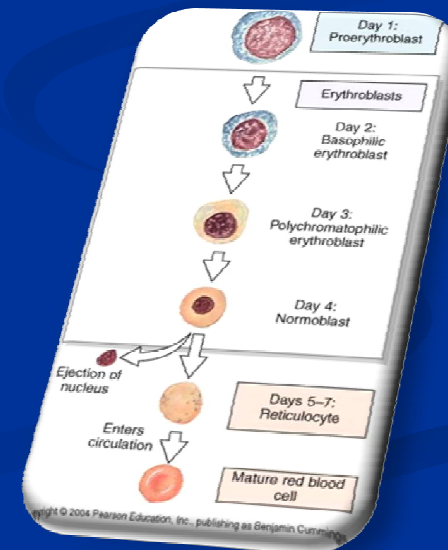
Επιπλέον, βασικά συστατικά είναι ο σίδηρος, το φυλλικό οξύ και η βιταμίνη B₁₂.

Ο σίδηρος είναι απαραίτητος για τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης, ενώ η βιταμίνη B₁₂ και το φυλλικό οξύ χρειάζονται

για τη σύνθεση του DNA.

Ρύθμιση ερυθροποίησης

Η έλλειψη της βιταμίνης B₁₂ ή του φυλλικού οξέος επιβραδύνει ή αναστέλλει τη μιτωτική διαίρεση των ερυθροκυττάρων, κατά την ερυθροποίηση στον ερυθρό μυελό των οστών.

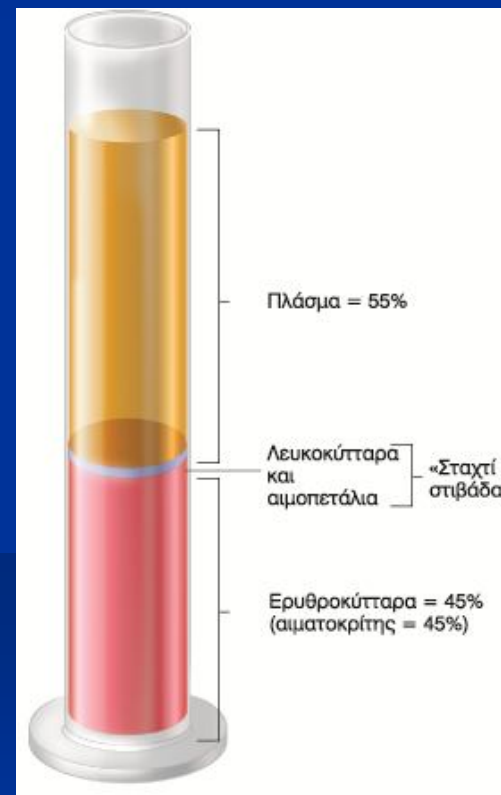


Αιματοκρίτης

Ως **αιματοκρίτης** ορίζεται το ποσοστό (%) του όγκου του αίματος που καταλαμβάνουν τα ερυθροκύτταρα.

Οι φυσιολογικές τιμές του **αιματοκρίτη** είναι κατά μέσο όρο:

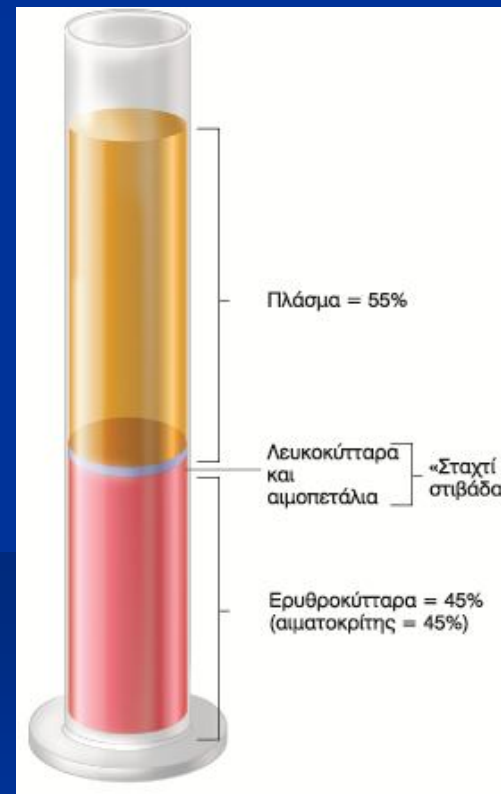
- ✓ **45%** στους άνδρες
- ✓ **42%** στις γυναίκες



Όγκος ερυθροκυττάρων

Ο όγκος του αίματος σε έναν άνθρωπο μέσου σωματικού βάρους (70 kg) είναι περίπου 5,5 λίτρα. Εάν ο αιματοκρίτης είναι 45 %, τότε:.

$$\text{Όγκος ερυθροκυττάρων} = 0,45 \times 5,5 = 2,5 \text{ l}$$

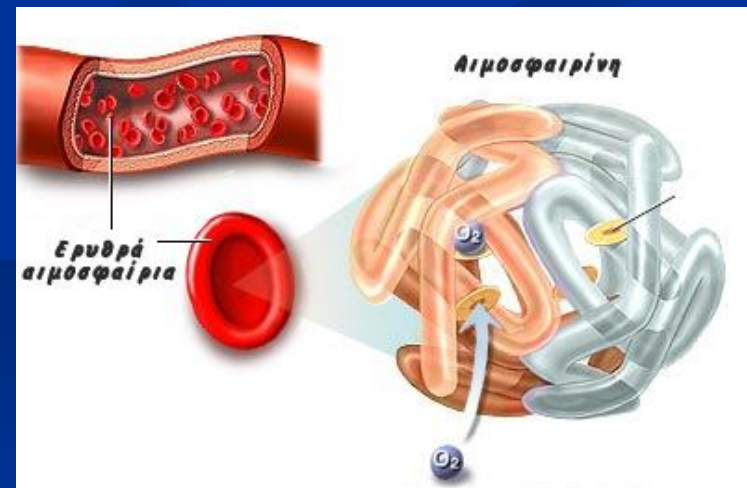


Αιμοσφαιρίνη

Η αιμοσφαιρίνη (Hb) είναι το βασικό συστατικό των ερυθρών αιμοσφαιρίων.

Οι φυσιολογικές τιμές της Hb είναι κατά μέσο όρο:

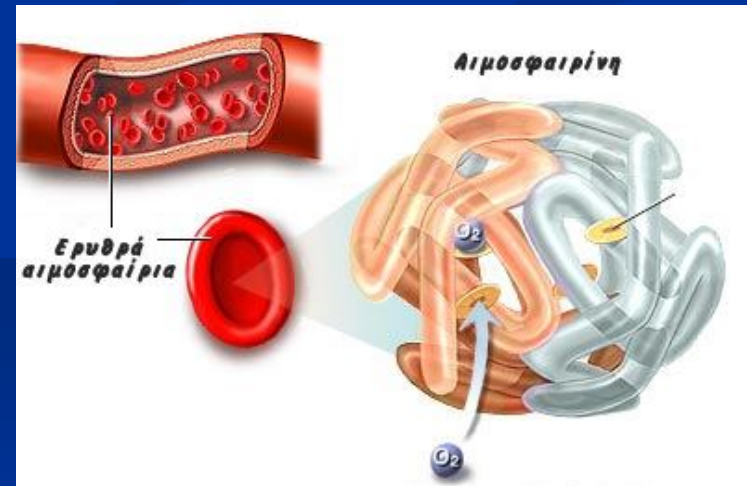
- ✓ 15/16 gr/100 ml
στους άνδρες
- ✓ 13,5/14 gr/100 ml
στις γυναίκες



Αιμοσφαιρίνη

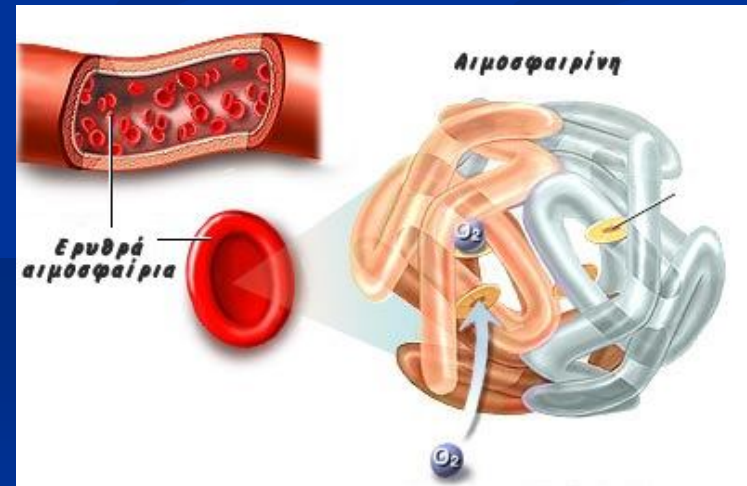
Οι κύριες λειτουργίες της αιμοσφαιρίνης είναι:

- ✓ η μεταφορά του O_2
- ✓ η συμβολή στη μεταφορά του CO_2
- ✓ η συμβολή στη ρύθμιση της οξεοβασικής ισορροπίας του αίματος



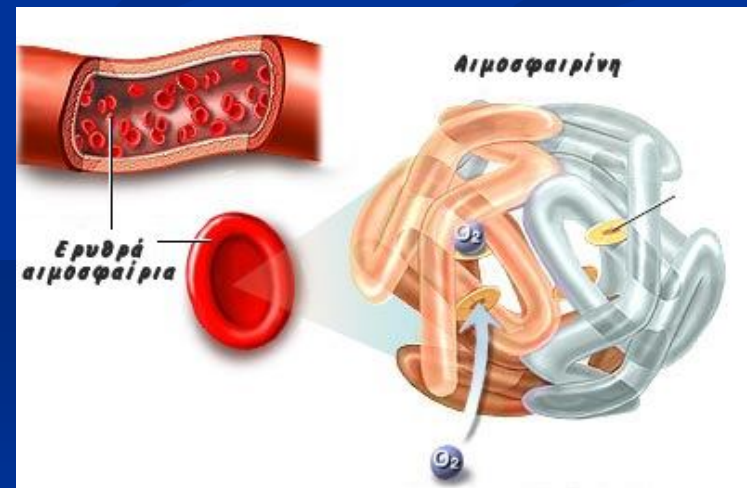
Αιμοσφαιρίνη

Η αιμοσφαιρίνη είναι μια χρωμοπρωτεΐνη και αποτελείται από τη γλοβίνη ή σφαιρίνη (πρωτεϊνικό τμήμα) και μια χρωστική, την αίμη. Η σφαιρίνη αποτελείται από τέσσερις πολυπεπτιδικές αλυσίδες.



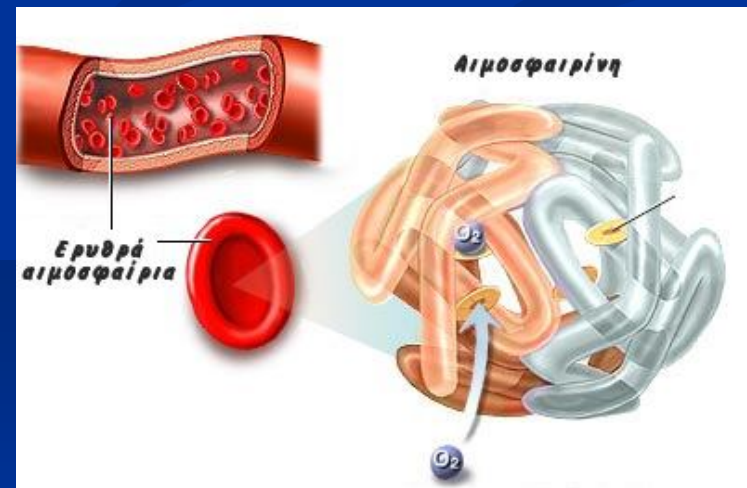
Αιμοσφαιρίνη

Στην αιμοσφαιρίνη τύπου A (HbA), που είναι η κύρια αιμοσφαιρίνη του ενήλικα, η σφαιρίνη αποτελείται από 2 αλυσούς α και 2 αλυσούς β , δηλαδή είναι $\alpha_2\beta_2$. Κάθε αλυσος συνδέεται με ένα μόριο αίμης.



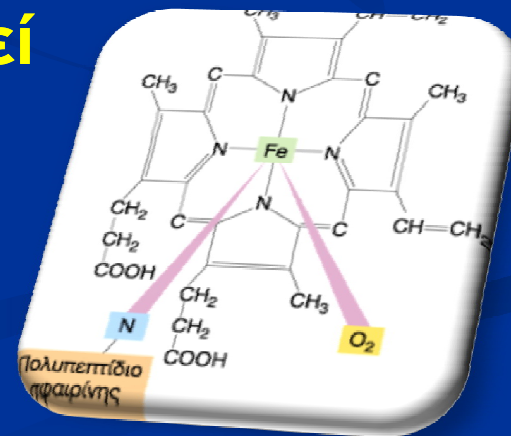
Αιμοσφαιρίνη

Στον ενήλικα, εκτός από την **HbA**, υπάρχουν επίσης η **HbA₂** ($\alpha_2\delta_2$) σε ποσοστό ~2%, και η εμβρυϊκή αιμοσφαιρίνη **HbF** ($\alpha_2\gamma_2$) σε ποσοστό ~1%. Η **HbF** είναι η κύρια αιμοσφαιρίνη του εμβρύου και μετά τη γέννηση του ανθρώπου αρχίζει να αντικαθίσταται από την **HbA**. Στο νεογνό φυσιολογικά αποτελεί το 80% της **Hb** του.



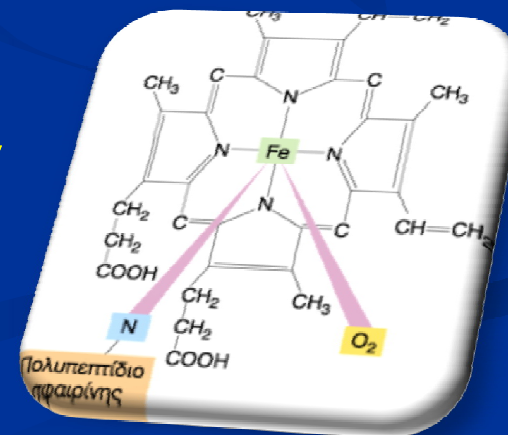
Αιμοσφαιρίνη

Στο κέντρο του μορίου της **αίμης** βρίσκεται ο σίδηρος (**Fe**) με έξι μονάδες συγγενείας. Η μία από αυτές διατίθεται για τη σύνδεση με το **O₂**. Η σύνδεση του **O₂** με την **αίμη** είναι χαλαρή (οξυγόνωση και όχι οξείδωση), έτσι ώστε να μπορεί εύκολα να αποδεσμευθεί στους ιστούς.



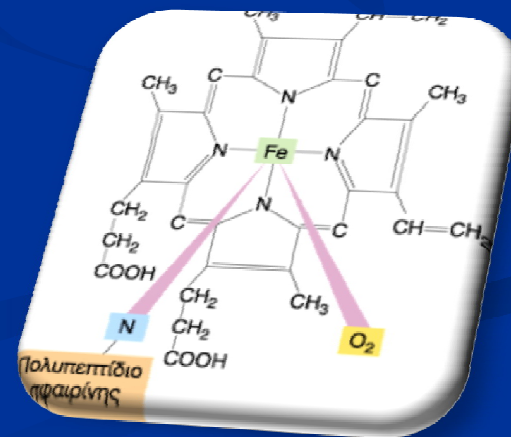
Σίδηρος

Ο σίδηρος (**Fe**) είναι στοιχείο απαραίτητο για την ερυθροποίηση. Βρίσκεται στις τροφές και απορροφάται από το βλεννογόνο του λεπτού εντέρου. Ένα μέρος του **Fe** που απορροφάται ενώνεται με μια πρωτεΐνη του πλάσματος, την **τρανσφερρίνη** και μεταφέρεται κυρίως στον ερυθρό μυελό των οστών για την ερυθροποίηση.



Σίδηρος

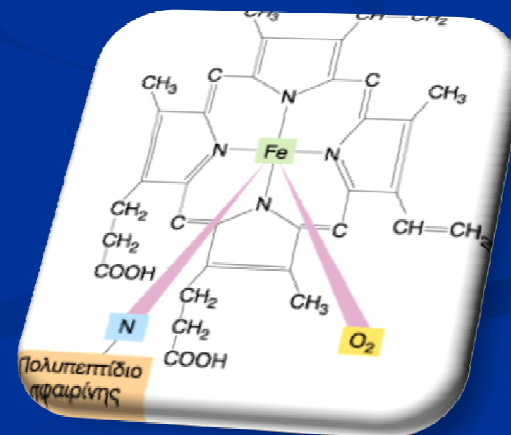
Το υπόλοιπο μέρος του **Fe** αποθηκεύεται σε κύτταρα κυρίως του εντερικού βλεννογόνου και του ήπατος με τη μορφή της **φερριτίνης** (ένωση του σιδήρου με μια πρωτεΐνη) ή με τη μορφή της **αιμοσιδηρίνης**, όταν γίνεται υπερβολική πρόσληψη **Fe**.



Σίδηρος

Η φυσιολογική τιμή του **Fe** στο πλάσμα
είναι **75-175 $\mu\text{g}/100\text{ml}$** και η ελάττωσή του
στον οργανισμό προκαλεί

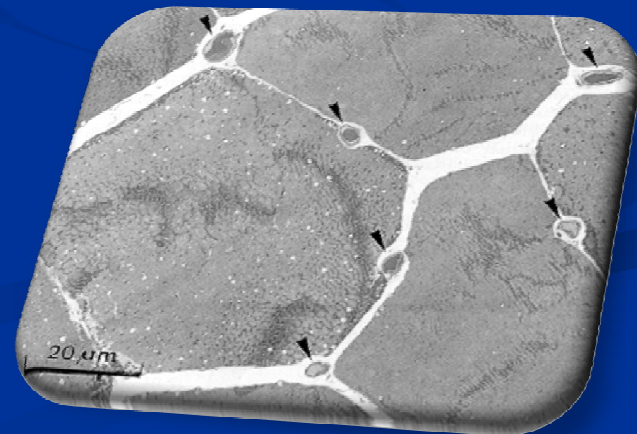
σιδηροπενική αναιμία.



Μυοσφαιρίνη

Η **μυοσφαιρίνη** είναι ουσία συγγενική με την αιμοσφαιρίνη, που αποτελείται από μία μόνο πρωτεϊνική αλυσίδα και ένα μόριο αίμης, δεσμεύοντας μόνο ένα μόριο O_2 .

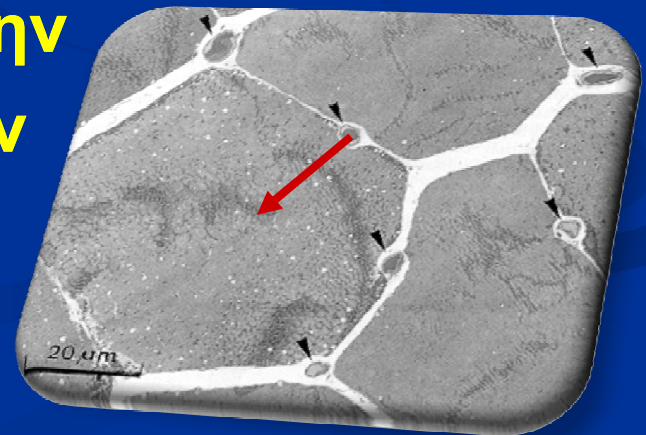
Βρίσκεται στους μυς, κυρίως στα μυϊκά κύτταρα τύπου **I** (βραδείας συστολής), και λειτουργεί ως αποθήκη O_2 .



Μυοσφαιρίνη

Η **μυοσφαιρίνη**, από τη μια μεριά, διευκολύνει τη διαπύδωση του O_2 από τα τριχοειδή αγγεία στις μυϊκές ίνες, και από την άλλη, χρησιμεύει ως αποθήκη O_2 μέσα σ' αυτές.

Έχει αποδειχθεί ότι, με αερόβια προπόνηση αυξάνεται η περιεκτικότητα των μυϊκών ινών σε **μυοσφαιρίνη**, με αποτέλεσμα την καλύτερη οξυγόνωση των μυών και επομένως την καλύτερη απόδοσή τους.



Μεταφορά O_2 στο αίμα

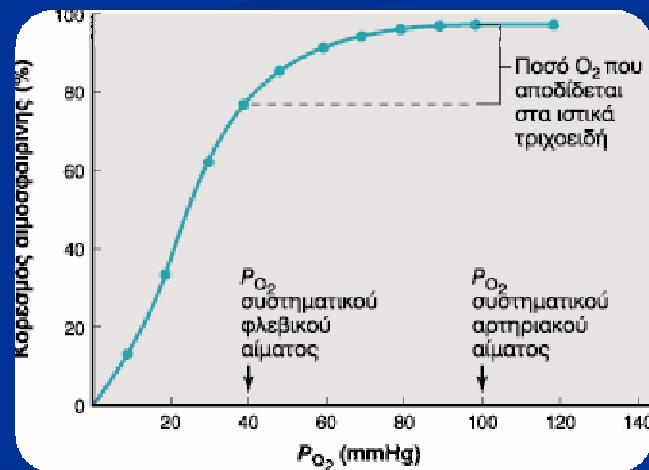
Το οξυγόνο μεταφέρεται στο αίμα:

- ✓ διαλυμένο μέσα στο πλάσμα και
- ✓ κυρίως συνδεδεμένο με την αιμοσφαιρίνη ως οξυαιμοσφαιρίνη (HbO_2)

Κάθε μόριο αιμοσφαιρίνης, επειδή έχει τέσσερα μόρια αίμης, προσλαμβάνει τέσσερα μόρια O_2 .

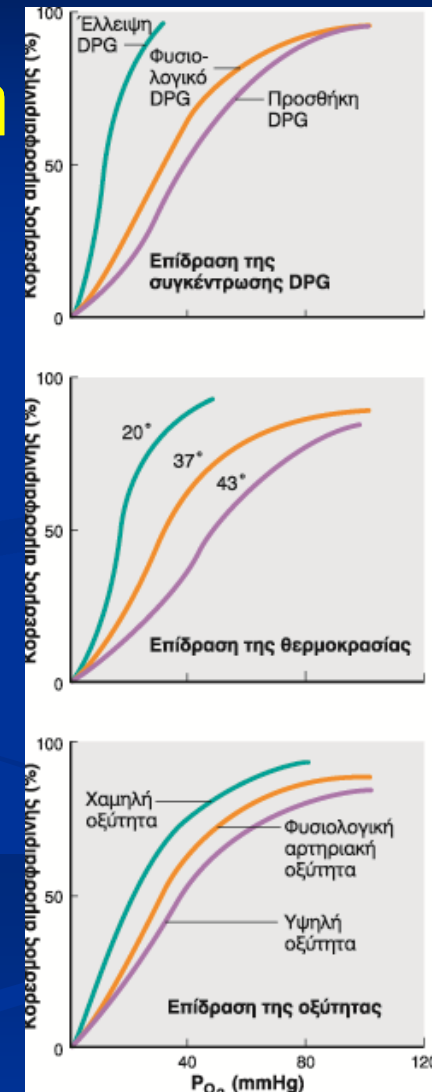
Μεταφορά O_2 στο αίμα

Η καμπύλη δέσμευσης του O_2 από την αιμοσφαιρίνη έχει σιγμοειδή μορφή, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι, μετά το πρώτο μόριο O_2 , τα επόμενα μόρια του O_2 δεσμεύονται όλο και πιο εύκολα.



Μεταφορά O_2 στο αίμα

Αύξηση της θερμοκρασίας ή ελάττωση του pH μετατοπίζουν την καμπύλη δέσμευσης του O_2 προς τα δεξιά, που σημαίνει ότι στις συνθήκες αυτές η αιμοσφαιρίνη αποδίδει ευκολότερα το O_2 .



A microscopic view of numerous red blood cells, which are biconcave discs, floating in a fluid medium. The cells are a deep red color and are distributed throughout the frame, with some in sharp focus and others blurred in the background.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ
Για την προσοχή σας