

14^ο ΜΑΘΗΜΑ: ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΥΠΟΒΑΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



Ανθρώπινο σώμα

περιβάλλον

- Η αλλαγή του περιβάλλοντος στο οποίο ζει και ασκείται ένας αθλητής, επηρεάζει τις φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού.
- Το ανθρώπινο σώμα έχει την ιδιότητα να ρυθμίζει και να προσαρμόζει τις λειτουργίες του ανάλογα με το περιβάλλον.

Ανθρώπινο σώμα

περιβάλλον

Οι φυσικές συνθήκες μεταβάλλονται ανάλογα με την απομάκρυνση από το επίπεδο θαλάσσης όπου η βαρομετρική πίεση είναι **760mmHg ή 1 ατμόσφαιρα (mmHg)**: χιλιοστά στήλης υδραργύρου

- Σε υψόμετρο η πίεση μειώνεται – υποβαρικό περιβάλλον
- Σε κατάδυση η πίεση αυξάνεται – υπερβαρικό περιβάλλον
- Στο διάστημα υπάρχει μειωμένη βαρύτητα - μικροβαρύτητα

Κατά την άσκηση σε υψόμετρο, η απόδοση του ανθρώπινου οργανισμού μπορεί να επηρεαστεί λίγο ή πολύ, από:

- το επίπεδο του υψομέτρου
- το επίπεδο του εγκλιματισμού
- το είδος της άσκησης και
- την κληρονομικότητα.

- Το υψόμετρο μέχρι περίπου τα 900 μέτρα δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την απόδοση κατά την άσκηση, ενώ η απότομη έκθεση του ανθρώπου πάνω από τα 1.500 μέτρα μπορεί να αποτελέσει μία φάση έντονου στρες για τον οργανισμό.

Για τη διασφάλιση μιας ευχάριστης και αποτελεσματικής άσκησης σε υψόμετρο είναι απαραίτητη η καλή γνώση:

- των ιδιαιτεροτήτων του περιβάλλοντος στο βουνό
- των φυσιολογικών άμεσων αντιδράσεων και των μακροχρόνιων προσαρμογών του ανθρώπινου οργανισμού σε συνθήκες υποξίας

- της επίδρασης του υψομέτρου στη μυϊκή και στην αθλητική απόδοση
- των πιθανών οργανικών διαταραχών λόγω υψομέτρου



- Οι περισσότερες αθλητικές δραστηριότητες παρατηρούνται σε βουνά με χαμηλό και μέτριο υψόμετρο, από 800 μέχρι περίπου τα 3.000 m.
- Το περιβάλλον όμως σε αυτά τα υψόμετρα μπορεί να είναι από λίγο έως σημαντικά διαφοροποιημένο, σε σύγκριση με αυτό στο επίπεδο της θάλασσας.

Κατηγοριοποίηση υψόμετρων στα βουνά



Ακραία υψόμετρα (πάνω από 5.500 m)

Μεγάλα υψόμετρα (2.500 - 5.500 m)

Μέτρια υψόμετρα (1.500 - 2.500 m)

Χαμηλά υψόμετρα (700 - 1.500 m)

Κοντά στο επίπεδο θάλασσας (μέχρι 700 m)

Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά του Περιβάλλοντος στο Υψόμετρο

- Στο υψόμετρο η βαρομετρική πίεση μειώνεται σημαντικά σε σύγκριση με το επίπεδο της θάλασσας (**760mmHg**).
- Όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα, η μείωση αυτή γίνεται περισσότερο αισθητή (50% κοντά στα 5.000 μ.).

- **Ο κρίσιμος παράγοντας** στο υψόμετρο είναι η μειωμένη μερική πίεση του οξυγόνου (**PO_2**) στον ατμοσφαιρικό αέρα, που παρατηρείται λόγω της χαμηλότερης βαρομετρικής πίεσης.

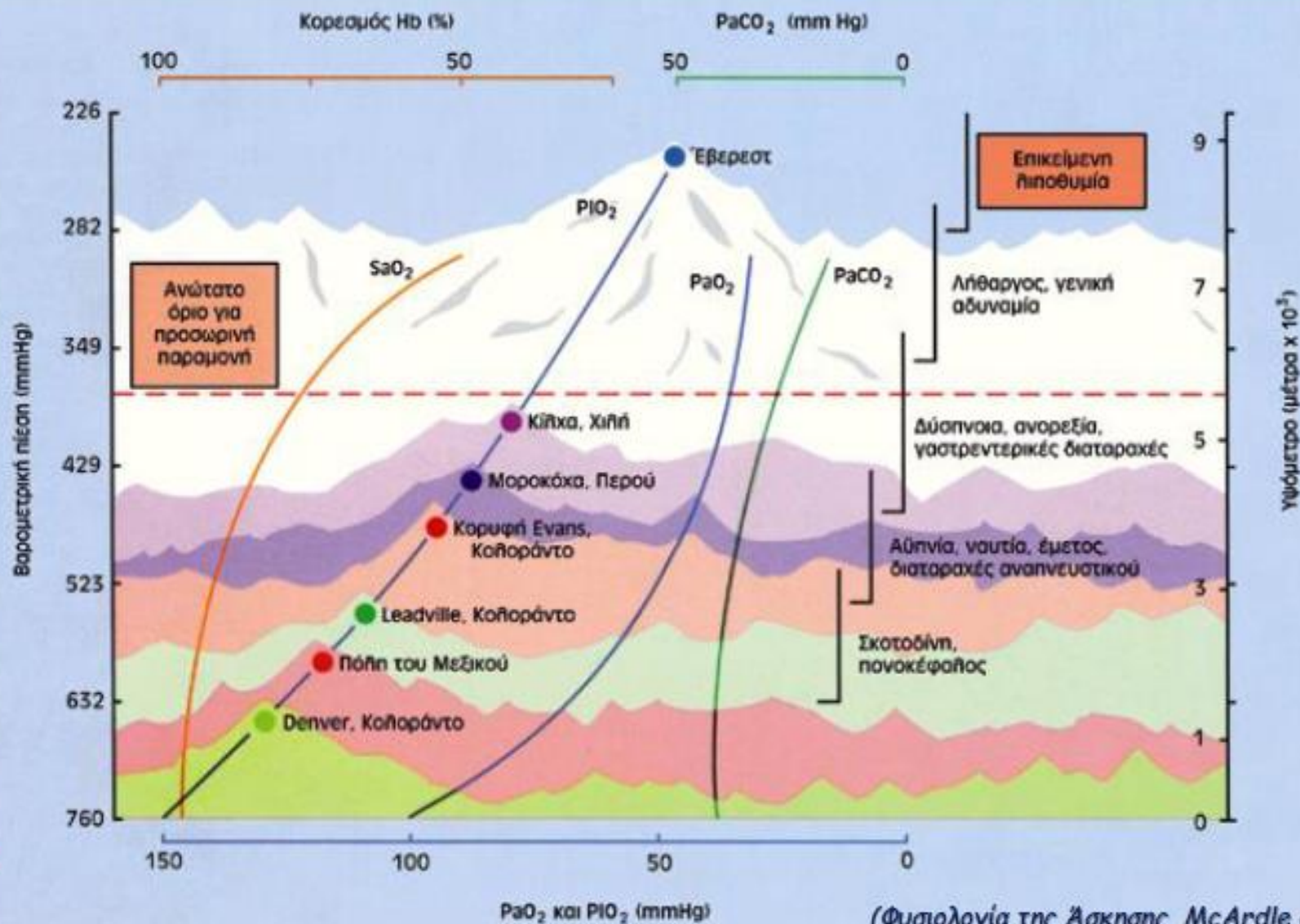
- **PO_2** : αντανακλά την ποσότητα του οξυγόνου που διαλύεται στο αίμα. Μετράει την αποτελεσματικότητα των πνευμόνων για τη μεταφορά οξυγόνου στην κυκλοφορία του αίματος από την ατμόσφαιρα.

- Το φαινόμενο αυτό της μειωμένης PO_2 στην ατμόσφαιρα ονομάζεται **υποξία** και χαρακτηρίζει το περιβάλλον στο υψόμετρο.

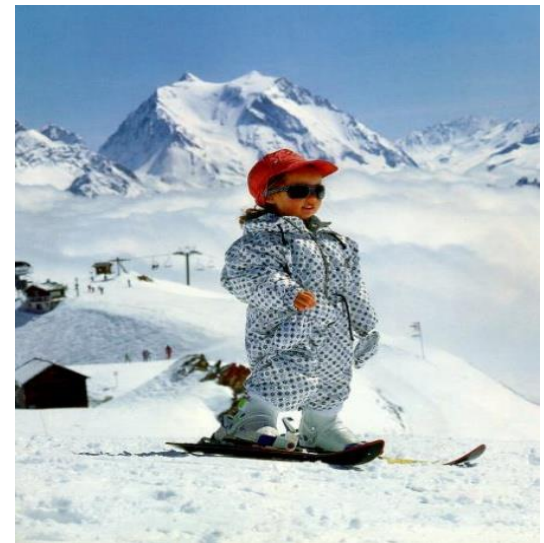


- Ο αέρας λοιπόν στο υψόμετρο είναι φτωχότερος σε οξυγόνο, πιο αραιός, πιο ελαφρύς και πιο ξηρός, περιέχοντας λιγότερα μόρια αερίων ανά m^3 .

Η επίδραση του υψόμετρου στην PIO_2 & PaO_2 , καθώς και στον κορεσμό του αρτηριακού αίματος σε O_2 .



- Επίσης, η **θερμοκρασία περιβάλλοντος** στο υψόμετρο είναι από λίγο έως πολύ χαμηλότερη από αυτή του επιπέδου της θάλασσας, ενώ η **επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας** είναι σημαντικά μεγαλύτερη και οι κλιματολογικές αλλαγές εντονότερες.





Άμεσες αντιδράσεις & Μακροπρόθεσμες Προσαρμογές

- **Αντισταθμιστικές αντιδράσεις** του οργανισμού παρατηρούνται αμέσως μόλις ανεβούμε στο υψόμετρο, ενώ οι **λειτουργικές προσαρμογές** χρειάζονται περισσότερες ημέρες & εβδομάδες.



- Παρότι η ταχύτητα και το μέγεθος των αντιδράσεων και προσαρμογών εξαρτώνται από το υψόμετρο, υπάρχουν σημαντικές ατομικές (κληρονομικές) διαφορές όσον αφορά τους ρυθμούς και το αποτέλεσμα του εγκλιματισμού.



Οξεία Φάση

Άμεσες Αντιδράσεις

- Η πιο σημαντική και άμεση αντίδραση του οργανισμού ενός ανθρώπου που εκτίθεται απότομα σε υψόμετρο, είναι η αύξηση του πνευμονικού αερισμού (**VE**), στην ηρεμία και σε φυσικές δραστηριότητες με υπομέγιστη επιβάρυνση.

VE: Το σύνολο του αέρα που εισπνέεται ή εκπνέεται σε δεδομένο χρονικό διάστημα, πχ., ενός λεπτού της ώρας. Είναι γινόμενο του αναπνεόμενου όγκου, V_D και της συχνότητας αναπνοής.

- Επίσης, το γεγονός ότι το αρτηριακό αίμα είναι φτωχότερο σε **O₂** έχει ως άμεση συνέπεια την αύξηση της καρδιακής συχνότητας στην **ηρεμία και σε υπομέγιστη επιβαρύνση.**

Αντίθετα, η **μέγιστη ΚΣ** παραμένει αμετάβλητη σε μέτριο υψόμετρο, ή παρουσιάζει μια μικρή πτώση (π.χ.2-4 κτύπων/λεπτό).

Σε μεγάλο όμως υψόμετρο η **μέγιστη ΚΣ** μειώνεται σημαντικά.

Αντιδράσεις κατά την οξεία φάση σε μέτριο υψόμετρο

Ηρεμία και υπομέγιστη επιβαρύνση:

- Αύξηση του πνευμονικού αερισμού **(VE)**
- Αύξηση της καρδιακής συχνότητας **(ΚΣ)**

Μέγιστη επιβαρύνση:

- Πιθανή μείωση της **μέγιστης ΚΣ**
- Μείωση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου **(VO_{2max})**



Εγκληματισμός

Μακροπρόθεσμες Προσαρμογές



- Η διαμονή στο υψόμετρο, οδηγεί σε κεντρικές και περιφερικές προσαρμογές, που βελτιώνουν τη μεταφορά και χρησιμοποίηση του **O₂**.

- Η άσκηση στο υψόμετρο αποτελεί ένα επιπρόσθετο στρες, αυξάνοντας το ρυθμό και τα επίπεδα αυτών των προσαρμογών.

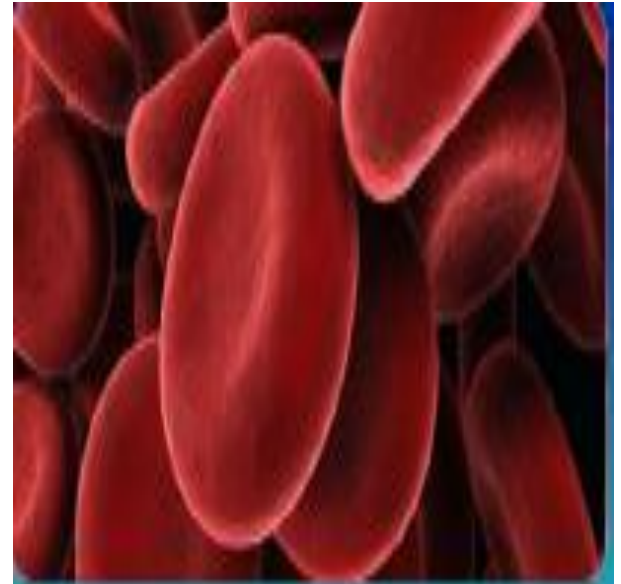


- Από την πρώτη κιόλας ημέρα, η υποξία προκαλεί αύξηση της έκκρισης της ερυθροποιητίνης (**EPO**) στους νεφρούς.
- Έτσι, η συγκέντρωση της **EPO** στο αίμα αυξάνεται σημαντικά και φθάνει τις μέγιστες τιμές της κατά την 2-3^η ημέρα στο υψόμετρο.

- Η ήδη αυξημένη **EPO** διεγείρει το μηχανισμό της ερυθροποίησης για την παραγωγή περισσότερων ερυθρών αιμοσφαιρίων (**RBC**), έτσι ώστε να αυξηθεί ο συνολικός αριθμός τους, δημιουργώντας πολυκυτταραιμία.
- Η μέγιστη ποσότητα **RBC** σε προπονημένα και απροπόνητα άτομα επιτυγχάνεται μέσα σε 8-10 ημέρες στο υψόμετρο.

Βασικές βιολογικές προσαρμογές με εγκλιματισμό σε υψόμετρο

- Αύξηση της ερυθροποιητίνης (**EPO**)
- Αύξηση των ερυθρών αιμοσφαιρίων (**RBC**)
- Αύξηση της αιμοσφαιρίνης (**Hb**)
- Αύξηση του αιματοκρίτη (**Hct**)



- **Ερυθροποιητίνη:** είναι κυτοκίνη γλυκοπρωτεΐνης που εκκρίνεται από το νεφρό σε απόκριση κυτταρικής υποξίας. Διεγείρει την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων στον μυελό των οστών

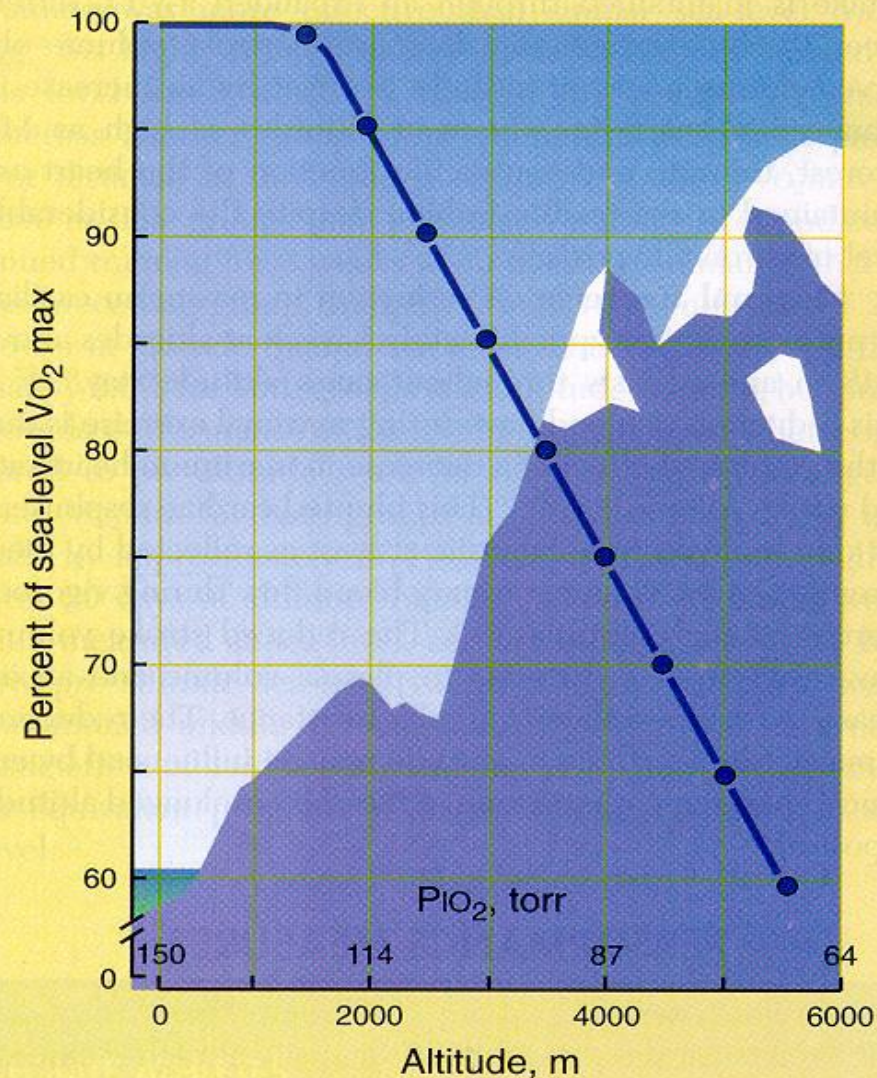
- **Ερυθρά αιμοσφαίρια:** είναι ο πιο πολυπληθής τύπος κυττάρου του αίματος και ο βασικός μηχανισμός που διαθέτουν τα σπονδυλωτά για τη μεταφορά οξυγόνου (**O₂**) στους διάφορους ιστούς του οργανισμού μέσω της ροής του αίματος εντός του κυκλοφορικού συστήματος.

- **Αιμοσφαιρίνη:** είναι πρωτεΐνη του αίματος η οποία προσδένει οξυγόνο
- **Αιματοκρίτης:** ονομάζεται η εκατοστιαία αναλογία του όγκου του αίματος που καταλαμβάνεται από τα ερυθροκύτταρα, δηλαδή τα ερυθρά αιμοσφαιρία ανά μονάδα όγκου αίματος.

VO_2max & υψόμετρο

- Λόγω της μειωμένης PO_2 στο αρτηριακό αίμα, οι μύες δέχονται λιγότερο O_2 με αποτέλεσμα η αερόβια ικανότητα (VO_2max) να μειώνεται στο υψόμετρο.

- Η μείωση της **$\dot{V}O_2max$** εξαρτάται από την πτώση της βαρομετρικής πίεσης.
- Πάνω από τα 1.200 μ. η **$\dot{V}O_2max$** μειώνεται περίπου κατά 10% για κάθε 1.000 μ



- Έτσι, είναι αναμενόμενο η **VO_{2max}** ενός ατόμου που κινείται σε υψόμετρο 2.700 m, να έχει μία μείωση ~15%, δηλαδή να μπορεί να χρησιμοποιήσει μέχρι το 85% της τιμής που ο ίδιος έχει στο επίπεδο της θάλασσας.

$$(VO_{2max}: 70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} \Rightarrow 59,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$$

$$(VO_{2max}: 55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} \Rightarrow 46,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$$

- Στην κορυφή του Έβερεστ (8.848 μ.) η ***VO₂ max*** ενός μέσου ορειβάτη είναι μόλις 15 ml.kg⁻¹.min⁻¹, ή περίπου το 27 % της τιμής στο επίπεδο της θάλασσας.

(West et al., 1983).



- Με την ολοκλήρωση του εγκλιματισμού μετά από **2-3 εβδομάδες** σε μέτριο υψόμετρο, η **ΚΣ** επανέρχεται στα αρχικά της επίπεδα πριν την ανάβαση.



- Με τον εγκλιματισμό η **VO₂max** βελτιώνεται και σταθεροποιείται σε ένα καλύτερο επίπεδο, αλλά παραμένει χαμηλότερη σε σχέση με τις τιμές στο επίπεδο της θάλασσας.

Σε τι υψόμετρο?

Δεν ισχύει το «όσο πιο ψηλά, τόσο πιο καλά».

Η πίεση του οξυγόνου μειώνεται κατά 30% πάνω από 3000 μέτρα (Όλυμπος 2918μ) και καθιστά δύσκολη την προπόνηση, ενώ στο επίπεδο των 1500 περίπου μέτρων (Πάρνηθα 1413μ) το υψόμετρο, δεν θεωρείται αρκετά μεγάλο για να προκληθούν προσαρμογές.

(Bailey & Davies 1997)

Living High - Training Low

- Εγκλιματισμό σε μέτριο υψόμετρο **(2.500 μ.)**
προπόνηση σε χαμηλό υψόμετρο **(1.250 μ.)**
- **4 εβδομάδες** βελτίωσαν την απόδοση σε επίπεδο θάλασσας σε εκπαιδευμένους δρομείς λόγω του εγκλιματισμού σε υψόμετρο.