



Λειτουργική οργάνωση του ανθρωπίνου σώματος και ρύθμιση του «εσωτερικού περιβάλλοντος»

Η φυσιολογία είναι η επιστήμη που επιδιώκει να ερμηνεύσει τους φυσιολογικούς και χημικούς μηχανισμούς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη γένεση, την ανάπτυξη και την εξέλιξη της ζωής. Κάθε μορφή ζωής, από τον πιο απλό ίο έως το μεγαλύτερο δέντρο ή τον πολύπλοκο ανθρώπινο οργανισμό, έχει τα δικά της λειτουργικά χαρακτηριστικά. Γ' αυτό, το απέραντο πεδίο της φυσιολογίας διακρίνεται σε φυσιολογία των ιών, φυσιολογία των μικροβίων, κυτταρική φυσιολογία, φυσιολογία των φυτών, φυσιολογία των ασπόνδυλων, φυσιολογία των σπονδυλωτών, φυσιολογία των θηλαστικών, φυσιολογία του ανθρώπου και σε πολλές άλλες υποδιαιρέσεις.

Η φυσιολογία του ανθρώπου. Η επιστήμη της φυσιολογίας του ανθρώπου επιχειρεί να ερμηνεύσει τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και τους μηχανισμούς του ανθρωπίνου οργανισμού που τον καθιστούν έμβιο ον. Το γεγονός ότι παραμένουμε ζωντανοί είναι το αποτέλεσμα περίπλοκων ελεγκτικών μηχανισμών. Η πείνα μάς αναγκάζει να αναζητήσουμε τροφή, ενώ ο φόβος μάς τρέπει σε αναζήτηση καταψύγιου. Το αίσθημα του ψύχους μάς ωθεί σε αναζήτηση ζεστασίας, ενώ άλλες δυνάμεις μάς οδηγούν σε αναζήτηση συντροφιάς και σε αναπαραγώγη. Το γεγονός ότι είμαστε όντα με αισθήσεις, συναισθήματα και διαθέτουμε την ικανότητα να μαθαίνουμε αποτελεί μέρος αυτής της αλληλουχίας αυτοματισμών της ζωής. Οι μοναδικές αυτές ιδιότητες μάς επιτρέπουν τη διαβίωση υπό πολλές και ποικιλες συνθήκες, οι οποίες σε διαφορετικές συνθήκες θα καθιστούσαν αδύνατη την ύπαρξη ζωής.

ΤΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΕΙΝΑΙ ΕΜΒΙΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Η βασική έμβια μονάδα του οργανισμού είναι το κύτταρο και κάθε άργανο αποτελεί άθροισμα πολλών διαφορετικών κυττάρων, τα οποία συγκρατούνται με μεσοκυττάρια δομικά στοιχεία στρίχης.

Κάθε είδος κυττάρου είναι ειδικά προσαρμοσμένο για την επιτέλεση μιας ιδιαίτερης λειτουργίας. Για παράδειγμα, τα ερυθρά αιμοσφαίρια, που στο σύνολό τους είναι περίπου 25 τρισεκατομμύρια, μεταφέρουν οξυγόνο από τους πνεύμονες στους ιστούς. Μολονότι αυτά τα ερυθροκύτταρα είναι τα επικρατέστερα, υπάρχουν στον ανθρώπινο οργανισμό άλλα 75 περίπου τρισεκατομμύρια κύτταρα με διαφορετική λειτουργία από αυτή των ερυθροκυττάρων. Έτσι, σε ολόκληρο τον ανθρώπινο οργανισμό περιέχονται 100 περίπου τρισεκατομμύρια κύτταρα.

Μολονότι πολλά από τα κύτταρα μας συχνά εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, όλα έχουν ορισμένα βασικά, κοινά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, σε όλα τα κύτταρα, το οξυγόνο αντιδρά με τους υδατάνθρακες, τα λίπτη και τις πρωτεΐνες, ώστε να απελευθερωθεί η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του κυττάρου. Επιπρόσθετώς, οι γενικοί χημικοί μηχανισμοί μετατροπής των θρεπτικών ουσιών σε ενέργεια είναι ουσιαστικά ίδιοι σε όλα τα κύτταρα, τα οποία αποδίδουν τα τελικά προϊόντα των χημικών τους αντιδράσεων προς τα υγρά που τα περιβάλλουν.

Σχεδόν όλα τα κύτταρα έχουν την ικανότητα να αναπαράγονται, και όταν ορισμένα κύτταρα καταστρέφονται, τα υπόλοιπα κύτταρα του ίδιου τύπου συνήθως υφίστανται αλλεπάλληλες διαιρέσεις μέχρι την αποκατάσταση του κανονικού αριθμού τους.

ΕΞΩΚΥΤΤΑΡΙΟ ΥΓΡΟ – «ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

Περίπου το 60% του σώματος ενός ενηλίκου αποτελείται από υγρό, το οποίο ουσιαστικά είναι ένα υδάτινο διάλυμα ίοντων και άλλων ουσιών. Μολονότι το μεγαλύτερο μέρος αυτού του υγρού βρίσκεται μέσα στα κύτταρα και λέγεται ενδοκυττάριο υγρό, το ένα-τρίτο περίπου βρίσκεται σε χώρους έξω από τα κύτταρα και λέγεται εξωκυττάριο υγρό. Το εξωκυττάριο αυτό υγρό βρίσκεται σε συνεχή κίνηση, μεταφέρεται ταχύτατα με την κυκλοφορία του αίματος και ανταλλάσσεται μεταξύ του αίματος και των ιστικών υγρών με διάχυση, μέσα από τα τοιχώματα των τριχοειδών αγγείων.

Στο εξωκυττάριο υγρό περιέχονται τα ίοντα και οι θρεπτικές ουσίες που χρειάζονται τα κύτταρα για τη διατήρηση της ζωής. Κατά συνέπεια, όλα τα κύτταρα ουσιαστικά ζουν μέσα στο ίδιο περιβάλλον, το εξωκυττάριο υγρό χαρακτηρίζεται ως το εσωτερικό περιβάλλον του οργανισμού, ή *milieu intérieur*, όρος που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά, περισσότερα από 150 χρόνια πριν, από τον μεγάλο Γάλλο φυσιολόγο του 19ου αιώνα Claude Bernard (1813-1878).

Τα κύτταρα έχουν την ικανότητα να ζουν και να επιτελούν τις ειδικές τους λειτουργίες, εφόσον είναι διαθέσιμες οι κατάλληλες συγκεντρώσεις οξυγόνου, γλυκόζης, ιόντων, αμινοξέων και λιπών στο εσωτερικό αυτό περιβάλλον.

Διαφορές μεταξύ εξωκυττάριων και ενδοκυττάριων υγρών. Στο εξωκυττάριο υγρό περιέχονται μεγάλες ποσότητες νατρίου, χλωρίου, διπτανθρακικών ιόντων και επιπλέον θρεπτικές ουσίες για τα κύτταρα, όπως ο οξυγόνος, γλυκόζη, λιπαρά οξέα και αμινοξέα. Περιέχεται, επίσης, διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο μεταφέρεται από τα κύτταρα στους πνεύμονες για να αποβληθεί, καθώς και άλλα κυτταρικά προϊόντα, τα οποία μεταφέρονται στους νεφρούς για απέκκριση.

Το ενδοκυττάριο υγρό διαφέρει σημαντικά από το εξωκυττάριο υγρό. Για παράδειγμα, περιέχει μεγάλες ποσότητες καλίου, μαγνησίου και φωσφορικών ιόντων, αντί των ιόντων νατρίου και χλωρίου που περιέχονται στο εξωκυττάριο υγρό. Οι διαφορές αυτές διατηρούνται με τους ειδικούς μηχανισμούς διακίνησης ιόντων μέσα από την κυτταρική μεμβράνη. Οι μηχανισμοί αυτοί εξετάζονται στο Κεφάλαιο 4.

ΟΜΟΙΟΣΤΑΣΙΑ – ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΕΝΟΣ ΣΧΕΔΟΝ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Το 1929, ο Αμερικανός φυσιολόγος Walter Cannon (1871-1945) δημιούργησε τον όρο ομοιοστασία για την περιγραφή της διατήρησης σχεδόν σταθερών συνθηκών στο εσωτερικό περιβάλλον. Ουσιαστικά, όλα τα όγανα και οι ιστοί του σώματος επιτελούν λειτουργίες που συμβάλλουν στη διατήρηση αυτών των σχετικά σταθερών συνθηκών. Για παράδειγμα, οι πνεύμονες παρέχουν οξυγόνο στο εξωκυττάριο υγρό για συνεχή αναπλήρωση του οξυγόνου που χρησιμοποιείται από τα κύτταρα, οι νεφροί διατηρούν σταθερές τις συγκεντρώσεις των ιόντων και το γαστρεντερικό σύστημα προμηθεύει τις θρεπτικές ουσίες.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, τα διάφορα ιόντα, οι θρεπτικές ουσίες, τα κατάλοιπα και άλλα συστατικά του σώματος ρυθμίζονται εντός ενός εύρους τιμών και όχι σε σταθερές τιμές. Για ορισμένα συστατικά του οργανισμού, το εύρος αυτό είναι εξαιρετικά μικρό. Παραδείγματος χάριν, οι διακυμάνσεις στη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου στο αίμα είναι κατά κανόνα λιγότερο από 5 νανογραμμούρια (nanomoles) ανά λίτρο (0.00000005 γραμμούρια ανά λίτρο). Η συγκέντρωση νατρίου στο αίμα ρυθμίζεται, επίσης, αυστηρά, εμφανίζοντας διακυμάνσεις της τάξης των λίγων χιλιοστογραμμούριων (millimoles) ανά λίτρο, ακόμη και στην περίπτωση εκτενών μεταβολών στην πρόσληψη νατρίου. Ωστόσο, οι εν λόγω διακυμάνσεις στη συγκέντρωση νατρίου είναι τουλάχιστον 1 εκατομμύριο φορές μεγαλύτερες απ' ότι στα ιόντα υδρογόνου.

Υπάρχουν ισχυρά συστήματα ελέγχου για τη διατήρηση των συγκεντρώσεων του νατρίου και του υδρογόνου, όπως επίσης και για τα περισσότερα ιόντα, θρεπτικά συστατικά και τις ουσίες του οργανισμού, σε επίπεδα που επιτρέπουν στα κύτταρα, στους ιστούς και στα όργανα να εκτελούν τις φυσιολογικές λειτουργίες παρά τις ευρείες περιβαλλοντικές μεταβολές και προκλήσεις, όπως είναι τα ατυχήματα και οι νόσοι.

Ένα μεγάλο μέρος αυτού του συγγράμματος αφορά στον τρόπο με τον οποίο το κάθε όργανο ή ο κάθε ιστός συμβάλλει στην ομοιοστασία. Οι φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού απαιτούν τις ενοποιημένες ενέργειες των κυττάρων, των ιστών, των οργάνων και των πολλαπλών νευρικών, ορμονικών και τοπικών συστημάτων ελέγχου, τα οποία συμβάλλουν ως σύνολο στην ομοιοστασία και στην καλή υγεία.

Η νόσος θεωρείται συχνά ως κατάσταση διαταραγμένης ομοιοστασίας. Ωστόσο, ακόμη και επί παρουσίας νόσου, οι ομοιοστατικοί οργανισμοί συνεχίζουν να λειτουργούν και να διατηρούν τις ζωτικές λειτουργίες μέσω πολλαπλών αντισταθμίσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εν λόγω αντισταθμίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε μειζονες αποκλίσεις των λειτουργιών του οργανισμού από το φυσιολογικό, καθιστώντας δύσκολο τον διαχωρισμό της πρωτογενούς αιτίας της νόσου από τις αντισταθμιστικές αποκρίσεις. Για παράδειγμα, τα νοσήματα που διαταράσσουν την ικανότητα του νεφρού να αποβάλλει άλατα και νερό μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλή αρτηριακή πίεση η οποία, αρχικά, βοηθά την επαναφορά της απέκκρισης στο φυσιολογικό, ώστε να διατηρηθεί η ισορροπία ανάμεσα στην πρόσληψη και στη νεφρική απέκκριση. Η ισορροπία αυτή είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ζωής, όμως όταν η υψηλή αρτηριακή πίεση παραμένει για μεγάλα χρονικά διαστήματα μπορεί να προκληθεί βλάβη σε διάφορα όργανα, συμπεριλαμβανομένων των νεφρών, προκαλώντας ακόμη μεγαλύτερες αυξήσεις στην αρτηριακή πίεση και περισσότερη νεφρική βλάβη. Συνεπώς, οι ομοιοστατικές αντισταθμίσεις που ακολουθούν έναν τραυματισμό, μια νόσο, ή μείζονες περιβαλλοντικές προκλήσεις στον οργανισμό μπορεί να αντιρρωστεύουν έναν συμβιβασμό που είναι απαραίτητος για τη διατήρηση των ζωτικών λειτουργιών του οργανισμού ο οποίος, όμως, μπορεί μακροπρόθεσμα να συμβάλει σε επιπρόσθετες ανωμαλίες της λειτουργίας του οργανισμού. Ο κλάδος της παθοφυσιολογίας επιχειρεί να εξηγήσει τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται οι διάφορες φυσιολογικές διαδικασίες κατά τη διάρκεια μιας νόσου ή ενός τραυματισμού.

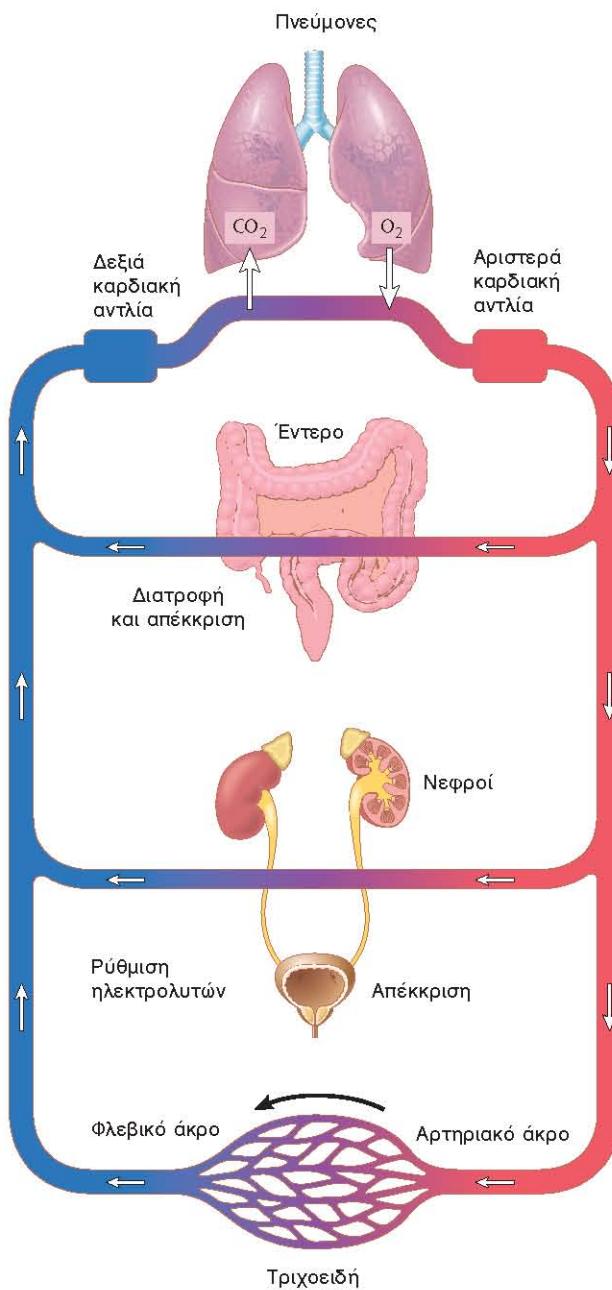
Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει συνοπτικά τα διάφορα λειτουργικά συστήματα του οργανισμού και τη συμβολή τους στην ομοιοστασία. Στη συνέχεια, εξετάζεται οι συντομία η βασική θεωρία των συστημάτων ελέγχου, που εξασφαλίζουν την αρμονική συνεργασία των λειτουργιών συστημάτων του οργανισμού.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΜΕΙΧΗΣ ΤΟΥ ΕΞΩΚΥΤΤΑΡΙΟΥ ΥΓΡΟΥ – ΤΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

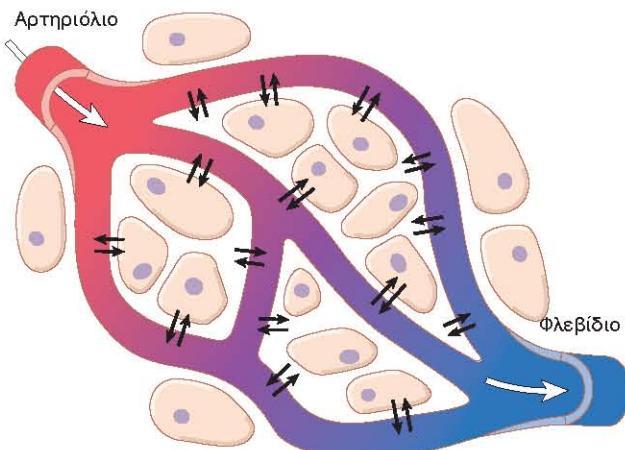
Το εξωκυττάριο υγρό διακινείται σε όλο τον οργανισμό σε δύο διαφορετικές φάσεις. Η πρώτη φάση συνίσταται στη συνεχή κίνηση του αίματος μέσα στα αιμοφόρα αγγεία του κυκλοφορικού συστήματος και η δεύτερη φάση στη διακίνηση υγρού μεταξύ των αιμοφόρων τριχοειδών αγγείων και του μεσοκυττάριου χώρου.

Στην **Εικόνα 1-1** παριστάνεται η συνολική κυκλοφορία του αίματος. Το αίμα που περιέχεται στο κυκλοφορικό σύστημα διέρχεται από ολόκληρο το κύκλωμα, κατά μέσο όρο μία φορά το λεπτό, όταν το άτομο βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, και μέχρι έξι φορές το λεπτό, όταν το άτομο επιτελεί έντονη μυϊκή εργασία.

Καθώς το αίμα διέρχεται από τα τριχοειδή αγγεία, πραγματοποιείται η συνεχής ανταλλαγή εξωκυττάριου υγρού μεταξύ του πλάσματος του αίματος και του μεσοκυττάριου υγρού, που βρίσκεται στα μεταξύ των κυττάρων διαστήματα (μεσοκυττάρια διαστήματα). Η διεργασία αυτή παριστάνεται στην **Εικόνα 1-2**. Σημειώνουμε ότι τα τριχοειδή είναι διαπερατά για τα περισσότερα μόρια, με εξαιρεση τις πρωτεΐνες του πλάσματος, οι οποίες είναι πολύ μεγάλες για να διαπεράσουν το τοίχωμα των τριχοειδών. Με αυτόν τον τρόπο μεγάλες ποσότητες υγρού και οι διαλυμένες σε αυτό ουσίες διαχέονται από και προς το αίμα και τους ιστικούς χώρους, όπως δείχνουν τα βέλη. Η διεργασία της διάχυσης οφείλεται στην κινητική ενέργεια των μορίων του πλάσματος και του μεσοκυττάριου υγρού. Δηλαδή, το υγρό και τα διαλυμένα σε αυτό μόρια κινούνται συνεχώς προς



Εικόνα 1-1. Η γενική οργάνωση του κυκλοφορικού συστήματος.



Εικόνα 1-2. Η διάχυση του υγρού και των διαλυμένων σε αυτό ουσιών διαμέσου των τοιχώματων των τριχοειδών και μέσα από τους μεσοκυττάριους χώρους.

όλες τις κατευθύνσεις μέσα στο πλάσμα και το υγρό των μεσοκυττάριων χώρων, καθώς και μέσα από τους τριχοειδικούς πόρους. Λίγα κύτταρα απέχουν περισσότερο από 50 μμ από κάποιο τριχοειδές, γεγονός που εξασφαλίζει τη διάχυση σχεδόν κάθε ουσίας από το τριχοειδές προς το κύτταρο, μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Το αποτέλεσμα είναι ότι το εξωκυττάριο υγρό, τόσο αυτό που βρίσκεται με τη μορφή του πλάσματος του αίματος όσο και αυτό που βρίσκεται στα μεσοκυττάρια διαστήματα, αναμειγνύεται συνεχώς, με συνέπεια τη διατήρηση της ομοιογένειάς του σε όλο τον οργανισμό.

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΟ ΕΞΩΚΥΤΤΑΡΙΟ ΥΓΡΟ

Αναπνευστικό σύστημα. Από την Εικόνα 1-1 φαίνεται ότι κάθε φορά που το αίμα διατρέχει το σώμα διέρχεται επίσης και μέσα από τους πνεύμονες. Το αίμα προσλαμβάνει οξυγόνο από τις κυψελίδες και έτσι αποκτά το οξυγόνο που χρειάζεται για τα κύτταρα. Η μεμβράνη που παρεμβάλλεται μεταξύ των κυψελίδων και του αιλού των πνευμονικών τριχοειδών αγγείων ονομάζεται κυψελιδική μεμβράνη, έχει πάχος μόνο 0,4 έως 2,0 μμ, και το οξυγόνο διαχέεται ταχέως με μοριακή κίνηση μέσα από τη μεμβράνη προς το αίμα.

Γαστρεντερικός σωλήνας. Ένα μεγάλο μέρος του αίματος που αντλείται από την καρδιά διέρχεται επίσης μέσα από τα τοιχώματα του γαστρεντερικού σωλήνα. Εδώ, διάφορες διαλυμένες θρεπτικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των υδατανθράκων, λιπαρών οξέων, αμινοξέων και άλλων που περιέχονται στην τροφή απορροφώνται προς το εξωκυττάριο υγρό.

Το ήπαρ και άλλα όργανα που επιτελούν τις κύριες μεταβολικές λειτουργίες. Όλες οι ουσίες που απορροφώνται από τον γαστρεντερικό σωλήνα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπό την απορροφήσιμη μορφή τους από τα κύτταρα. Το ήπαρ μεταβάλλει τη χημική σύσταση των ουσιών αυτών σε χρησιμότερη μορφή, ενώ άλλοι ιστοί –τα λιποκύτταρα, ο εντερικός βλεννογόνος, οι νεφροί και οι ενδοκρίνεις αδένες– βοηθούν στη μετατροπή των ουσιών που έχουν απορροφηθεί, ή στην αποθήκευσή τους. Επίσης, το ήπαρ καταστρέφει άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού και τοξικές ουσίες που έχουν καταναλωθεί.

Μυοσκελετικό σύστημα. Πώς συνεισφέρει το μυοσκελετικό σύστημα στην ομοιοστασία του οργανισμού; Η απάντηση είναι προφανής και απλή: Χωρίς αυτό το σύστημα ο οργανισμός δεν θα μπορούσε να κινηθεί για να παραλάβει την τροφή που χρειάζεται για τη θρέψη του. Το μυοσκελετικό σύστημα παρέχει, επίσης, την απαραίτητη κινητικότητα για την προστασία έναντι ενός δυσμενούς περιβάλλοντος. Χωρίς αυτή, ολόκληρος ο οργανισμός και μαζί του

βέβαια και όλοι οι ομοιοστατικοί του μηχανισμοί θα κινδύνευαν να καταστραφούν.

ΑΠΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ

Αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα από τους πνεύμονες. Την ίδια στιγμή που το αίμα προσλαμβάνει οξυγόνο από τους πνεύμονες, το διοξειδίο του άνθρακα απελευθερώνεται από το αίμα προς τις κυψελίδες και μέσω των αναπνευστικών κινήσεων, που διακινούν τον αέρα προς και από τις κυψελίδες, αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα. Το διοξειδίο του άνθρακα είναι το πιο άφθονο προϊόν του μεταβολισμού.

Νεφροί. Κατά τη διέλευση του αιματος από τους νεφρούς, απομακρύνονται από το πλάσμα οι περισσότερες από τις άχρηστες για τα κύτταρα ουσίες, εκτός από το διοξειδίο του άνθρακα. Στις ουσίες αυτές συμπεριλαμβάνονται διάφορα τελικά προϊόντα του μεταβολισμού των κυττάρων, όπως είναι η ουρία και το ουρικό οξύ, καθώς και η περίσσεια των ιόντων και του νερού της τροφής, που έχει συσσωρευτεί στο εξωκυττάριο υγρό.

Οι νεφροί επιπλέον τη λειτουργία τους αρχικά με τη διήθηση μεγάλης ποσότητας πλάσματος διά μέσου των σπειραματικών τριχοειδών προς τα σωληνάρια και την επαναπορρόφηση προς το αίμα όλων των ουσιών που είναι απαραίτητες στον οργανισμό, όπως είναι η γλυκόζη, τα αμινοξέα, καθώς και οι απαραίτητες ποσότητες νερού και ιόντων. Όμως, οι περισσότερες άχρηστες για τον οργανισμό ουσίες και ιδίως τα κατάλοιπα του μεταβολισμού, όπως η ουρία, επαναπορροφώνται ελάχιστα, διέρχονται από τα νεφρικά σωληνάρια και αποβάλλονται στα ούρα.

Γαστρεντερική οδός. Οι μη απορροφήσιμες ουσίες που εισέρχονται στη γαστρεντερική οδό και ορισμένα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού απομακρύνονται με τα κόπρανα.

Ήπαρ. Ανάμεσα στις λειτουργίες του ήπατος είναι και η αποτελεσματική απομάκρυνση πολλών φαρμάκων και χημικών ουσιών που καταναλώνονται. Το ήπαρ εκκρίνει πολλές από αυτές τις άχρηστες ουσίες στη χολή για να απομακρυνθούν τελικά με τα κόπρανα.

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Νευρικό σύστημα. Το νευρικό σύστημα αποτελείται από τρία μεγάλα τμήματα: το αισθητικό τμήμα, το κεντρικό νευρικό σύστημα (ή τημάτα ολοκλήρωσης) και το κινητικό τμήμα. Οι αισθητικοί υποδοχείς ενεργοποιούνται από την κατάσταση του οργανισμού, ή την κατάσταση του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, οι υποδοχείς που βρίσκονται στο δέρμα ειδοποιούν τον ανθρώπινο οργανισμό κάθε φορά που ένα αντικείμενο έχεται σε επαφή με οποιοδήποτε σημείο του δέρματος. Τα μάτια είναι αισθητήρια όργανα που παρέχουν στον ανθρώπινο οργανισμό την οπτική εικόνα του εξωτερικού του περιβάλλοντος. Τα αφτιά είναι, επίσης, αισθητήρια όργανα. Το κεντρικό νευρικό σύστημα αποτελείται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Ο εγκέφαλος μπορεί να αποθηκεύει πληροφορίες, να διαμορφώνει σκέψεις, να γεννά φιλοδοξίες και να καθορίζει τις αντιδράσεις του οργανισμού προς τα διάφορα αισθήματα. Ακολουθεί η διαβίβαση των κατάλληλων εντολών προς το κινητικό τμήμα του νευρικού συστήματος, για την πραγματοποίηση των επιθυμιών του απόμουτο.

Ένα σημαντικό τμήμα του νευρικού συστήματος χαρακτηρίζεται ως αυτόνομο νευρικό σύστημα. Η λειτουργία του επιπλέονται σε υποσυνείδητο επίπεδο και ρυθμίζει πολλές από τις λειτουργίες των εσωτερικών οργάνων, όπως της αντλητικής λειτουργίας της καρδιάς, της κινητικότητας του γαστρεντερικού σωλήνα και της εκκριτικής λειτουργίας των αδένων.

Ορμονικά συστήματα. Στο σώμα υπάρχουν οκτώ κύριοι ενδοκρινείς αδένες και αρκετά όργανα και ιστοί που εκκρίνουν χημικές ουσίες οι οποίες αποκαλούνται ορμόνες. Οι ορμόνες μεταφέρονται μέσω του εξωκυττάριου υγρού σε όλα τα σημεία του οργανισμού για να υποθήσουν στη ρύθμιση της κυτταρικής λειτουργίας. Για παράδειγμα,

οι θυρεοειδικές ορμόνες επιταχύνουν τις περισσότερες χημικές αντιδράσεις σε όλα τα κύτταρα. Με αυτόν τον τρόπο, συμβάλλουν στον καθορισμό του ρυθμού της σωματικής δραστηριότητας. Επίσης, η ινσουλίνη ρυθμίζει τον μεταβολισμό της γλυκόζης, οι ορμόνες του φλοιού των επινεφρίδων ελέγχουν τον μεταβολισμό των ιόντων νατρίου, καλίου και των πρωτεΐνων, ενώ η παραθορμόνη ελέγχει το ασβέστιο και τα φωσφορικά ιόντα των οστών. Έτσι, οι ορμόνες παρέχουν ένα ρυθμιστικό σύστημα, συμπληρωματικό του νευρικού συστήματος. Το νευρικό σύστημα, γενικά, ρυθμίζει πολλές μυϊκές και εκκριτικές δραστηριότητες του οργανισμού, ενώ το ορμονικό σύστημα ρυθμίζει πολλές μεταβολικές λειτουργίες. Κατά κανόνα, τα νευρικά και ορμονικά συστήματα συνεργάζονται με συντονισμένο τρόπο, ώστε να ελέγχουν τα οργανικά συστήματα του σώματος.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Ανοσοποιητικό σύστημα. Το ανοσοποιητικό σύστημα αποτελείται από τα λευκά αιμοσφαίρια, τα ιστικά κύτταρα που προέρχονται από λευκά αιμοσφαίρια, τον θύμο αδένα, τους λεμφαδένες και τα λεμφαγγεία, που προστατεύουν τον οργανισμό από παθογόνα, όπως είναι τα βακτήρια, οι ιοί, τα παράσιτα και οι μύκητες. Το ανοσοποιητικό σύστημα παρέχει ένα μηχανισμό στον οργανισμό για (1) να ξεχωρίζει τα δικά του κύτταρα από τα ξένα κύτταρα και ουσίες και (2) να καταστρέψει τους εισβολείς με την φαγοκυττάρωση ή με την παραγωγή ευαισθητοποιημένων λεμφοκυττάρων ή εξειδικευμένων πρωτεΐνων (π.χ. αντισώματα) που είτε καταστρέφουν είτε ουδετεροποιούν τον εισβολέα.

Καλυπτήριο σύστημα. Το δέρμα και τα διάφορα εξαρτήματά του, συμπεριλαμβανομένων των τριχών, των νυχιών, των αδένων και άλλων δομών, καλύπτουν, προφυλάσσουν και προστατεύουν τους βαθύτερους ιστούς και τα όργανα του σώματος και γενικώς παρέχουν ένα όριο μεταξύ του εσωτερικού περιβάλλοντος του σώματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Το καλυπτήριο σύστημα είναι επίσης σημαντικό για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και την απέκκριση άχρηστων ουσιών, καθώς επίσης παρέχει έναν αισθητηριακό σύνδεσμο μεταξύ του οργανισμού και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Το δέρμα γενικά αποτελεί περίπου το 12–15% του σωματικού βάρους.

ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ

Γενικά, η αναπαραγωγή δεν θεωρείται ομοιοστατική λειτουργία. Ωστόσο, με την αναπαραγωγή επιτυγχάνεται η διατήρηση της ομοιοστασίας με τη δημιουργία νέων όντων, που αντικαθιστούν αυτά που πεθαίνουν. Αυτό ίσως να αποτελεί εξεζητημένη χρήση της έννοιας της ομοιοστασίας, αλλά υπογραμμίζεται το γεγονός ότι, σε τελική ανάλυση, ουσιαστικά όλα τα δομικά στοιχεία του οργανισμού είναι οργανωμένα, ώστε να συμβάλλουν στη διατήρηση του αυτοματισμού και στη συνέχεια της ζωής.

ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΝΩΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

Θεωρητικά, το ανθρώπινο σώμα διαθέτει χιλιάδες ρυθμιστικά συστήματα. Ορισμένα από τα πιο περίπλοκα των εν λόγω συστημάτων είναι τα ρυθμιστικά συστήματα του γενετικού υλικού που υπάρχουν σε όλα τα κύτταρα και ελέγχουν τις ενδοκυττάριες και εξωκυττάριες λειτουργίες τους, θέμα που περιγράφεται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 3.

Πολλά ρυθμιστικά συστήματα συμμετέχουν στη ρύθμιση της λειτουργίας μεμονωμένων τμημάτων των οργάνων, ενώ άλλα δρουν σε ολόκληρο το σώμα, για τη ρύθμιση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων οργάνων. Για παράδειγμα, το αναπνευστικό σύστημα, σε συνεργασία με το νευρικό σύστημα, ρυθμίζει τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εξωκυττάριο υγρό. Επίσης, το ήπαρ και το πάγκρεας ρυθμίζουν τη συγκέντρωση της γλυκόζης στο εξωκυττάριο υγρό, ενώ οι νεφροί ρυθμίζουν τις συγκέντρωσεις

των ιόντων υδρογόνου, νατρίου, καλίου, φωσφορικών και άλλων στο εξωκυττάριο υγρό.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ρύθμιση των συγκεντρώσεων του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα στο εξωκυττάριο υγρό. Επειδή το οξυγόνο είναι μία από τις σημαντικότερες ουσίες που απαιτούνται για τις χημικές αντιδράσεις των κυττάρων, το σώμα διαθέτει ειδικό μηχανισμό ελέγχου για τη διατήρηση, με ακρίβεια, μιας σταθερής συγκέντρωσης οξυγόνου στο εξωκυττάριο υγρό. Ο μηχανισμός αυτός εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από τα χημικά χαρακτηριστικά της αιμοσφαιρίνης που βρίσκεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Η αιμοσφαιρίνη συνδέεται με το οξυγόνο καθώς το αίμα διέρχεται από τους πνεύμονες. Κατά την επακολούθιο υστέρηση του αίματος από τα ιστικά τριχοειδή, η αιμοσφαιρίνη, λόγω της ισχυρής τάσης της να συνδέεται με το οξυγόνο, δεν απελευθερώνει οξυγόνο στα ιστικά υγρά όταν ήδη υπάρχει περίσσεια οξυγόνου σε αυτά. Εντούτοις, εάν η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι μικρότερη από τη φυσιολογική, τότε απελευθερώνεται επαρκές οξυγόνο για την αποκατάσταση της ιστικής συγκέντρωσης του στο φυσιολογικό επίπεδο. Έτσι, η ρύθμιση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στους ιστούς εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από τις χημικές ιδιότητες της αιμοσφαιρίνης και χαρακτηρίζεται ως ρυθμιστική λειτουργία της αιμοσφαιρίνης για το οξυγόνο.

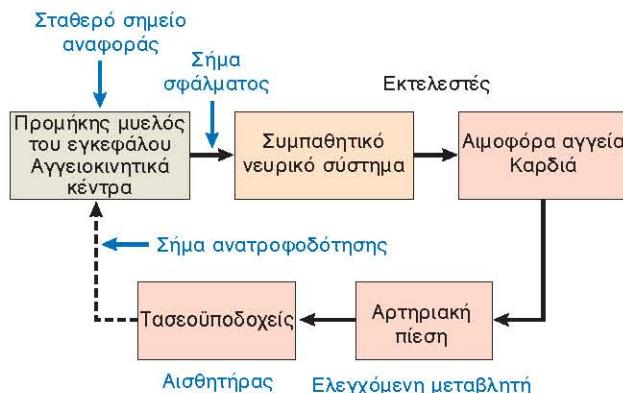
Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εξωκυττάριο υγρό ρυθμίζεται με έναν εντελώς διαφορετικό τρόπο. Το διοξειδίο του άνθρακα είναι ένα από τα σημαντικότερα τελικά προϊόντα των οξειδωτικών αντιδράσεων που επιτελούνται στα κύτταρα. Εάν όλο το διοξειδίο του άνθρακα που σχηματίζεται στα κύτταρα εξακολουθούσε να συσσωρεύεται στο ιστικό υγρό, όλες οι κυτταρικές αντιδράσεις παραγωγής ενέργειας θα έπαυαν. Ευτυχώς, η μεγαλύτερη του φυσιολογικού συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα διεγέρει το αναπνευστικό κέντρο, προκαλώντας αύξηση της συχνότητας και του εύρους των αναπνευστικών κινήσεων. Αυτή η βαθιά, ταχεία διαδικασία αναπνοής αυξάνει την αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα, με αποτέλεσμα την αυξημένη απομάκρυνσή του από το αίμα και το εξωκυττάριο υγρό. Η διεργασία αυτή εξακολουθεί μέχρι την αποκατάσταση της συγκέντρωσης στο φυσιολογικό επίπεδο.

Ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης. Διάφορα συστήματα συμβάλλουν στη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης. Ένα από αυτά, το σύστημα των τασεούποδοχών, αποτελεί ένα απλό και άριστο παράδειγμα ενός ακαριαίου ρυθμιστικού μηχανισμού (**Εικόνα 1-3**). Στα τοιχώματα του διχασμού των καρωτίδων στον λαιμό και στο αορτικό τόξο, υπάρχουν πολλοί νευρικοί υποδοχείς, που λέγονται τασεούποδοχείς, οι οποίοι διεγέρονται με τη διάταση του αρτηριακού τοιχώματος. Όταν η αρτηριακή πίεση αυξάνεται, οι τασεούποδοχείς διεγέρονται και μεταβιβάζουν νευρικές ωσεις στον προμήκη μυελό του εγκεφάλου όπου αναστέλλουν το αγγειοκινητικό κέντρο, που με τη σειρά του ελαττώνει τον αριθμό των νευρικών ωσεων που άγονται με το συμπαθητικό νευρικό σύστημα προς την καρδιά και τα αιμοφόρα αγγεία. Η ελάττωση αυτών των ωσεων συνεπάγεται τον περιορισμό της αντλητικής δραστηριότητας της καρδιάς και τη διαστολή των περιφερικών αιμοφόρων αγγείων που επιτρέπει τη διέλευση του αίματος μέσα από τα αγγεία με μεγαλύτερη ευκολία. Άμφοτες, οι επιδράσεις ελαττώνουν την αρτηριακή πίεση, επαναφέροντάς τη στο φυσιολογικό επίπεδο.

Αντίθετα, η ελάττωση της αρτηριακής πίεσης αναστέλλει τη δραστηριότητα των τασεούποδοχών, επιτρέποντας τη διέγρηση του αγγειοκινητικού κέντρου. επομένως προκαλεί αγγειοσυστολή και αυξημένη αντλητική λειτουργία της καρδιάς. Επίσης, η πτώση της αρτηριακής πίεσης πυροδοτεί και την επαναφορά της σε φυσιολογικά επίπεδα.

Φυσιολογικά επίπεδα και φυσικά χαρακτηριστικά των σημαντικότερων συστατικών του εξωκυττάριου υγρού

Στον **Πίνακα 1-1** αναγράφονται ορισμένα από τα σημαντικότερα συστατικά και φυσικά χαρακτηριστικά του εξωκυττάριου υγρού, οι



Εικόνα 1-3. Αρνητική ανατροφοδοτική ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης μέσω των αρτηριακών τασεούποδοχέων. Αποστέλλονται σήματα από τον αισθητήρα (τασεούποδοχείς) στον πομήκη μυελό του εγκεφάλου, όπου συγκρίνονται με ένα σταθερό σημείο αναφοράς. Όταν η αρτηριακή πίεση αυξηθεί άνω του φυσιολογικού, η εν λόγω ανώμαλη πίεση αυξάνει τις νευρικές ώσεις από τους τασεούποδοχείς προς τον μυελό του εγκεφάλου, όπου τα εισερχόμενα σήματα συγκρίνονται με ένα σταθερό σημείο, παράγοντας ένα σήμα σφάλματος που οδηγεί σε μειωμένη δραστηριότητα του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Η μειωμένη συμπαθητική δραστηριότητα προκαλεί διαστολή των αιμοφόρων αγγείων και μειωμένη αντλητική δραστηριότητα της καρδιάς, επαναφέροντας την αρτηριακή πίεση στο φυσιολογικό.

φυσιολογικές τους τιμές, το φυσιολογικό τους εύρος τιμών και τα μέγιστα επιπρεπόμενα, για βραχύ χρονικό διάστημα, όρια διακύμανσής τους. Σημειώνεται ιδίως το περιορισμένο εύρος διακύμανσης γύρω από το φυσιολογικό επίπεδο αυτών των τιμών. Τιμές που βρίσκονται έξω από αυτό το εύρος είναι συχνά αποτέλεσμα νόσου, τραυματισμού, ή σημαντικών περιβαλλοντικών αλλαγών.

Μεγαλύτερη σημασία έχουν τα όρια πέρα από τα οποία η διαταραχή μπορεί να είναι θανατηφόρα. Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά μόνον 11°F (7°C) πέρα από τη φυσιολογική της τιμή συχνά οδηγεί σε έναν φαύλο κύκλο αύξησης του κυτταρικού μεταβολισμού και θεωρητικά καταλήγει σε κυτταρική καταστροφή. Σημειώνεται, επίσης, το πολύ στενό εύρος της οξεοβασικής ισορροπίας του οργανισμού, με φυσιολογική τιμή $\text{pH} 7,4$, και περιθώριο διακύμανσης μόνο 0,5 προς τα πάνω ή προς τα κάτω, προτού η εκτροπή καταστεί θανατηφόρα. Άλλος σημαντικός παράγοντας είναι τα ιόντα καλίου: όταν η συγκέντρωσή τους ελαττώνται στο ένα-τρίτο της φυσιολογικής τιμής, το άτομο διατρέχει άμεσο κίνδυνο παράλυσης, εξαιτίας της αδυναμίας των νεύρων να άγουν νευρικές ώσεις. Αντιθέτως, όταν η συγκέντρωσή

τους αυξηθεί στο διπλάσιο ή και παραπάνω της φυσιολογικής τιμής, δημιουργείται άμεσος κίνδυνος σοβαρής καταστολής του μυοκαρδίου. Επίσης, όταν η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου ελαττώνεται στο μισό της φυσιολογικής τιμής, το άτομο καταλαμβάνεται από γενικευμένους τετανικούς μυϊκούς σπασμούς, λόγω αυτόματης γένεσης νευρικών ώσεων στα περιφερικά νεύρα. Όταν η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα ελαττώνεται στο μισό της φυσιολογικής της τιμής, το άτομο συχνά εμφανίζει νευρική υπερδιέγερση που μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε σπασμούς.

Από τα παραδείγματα αυτά συνάγεται η μεγάλη αξία ή ακόμη και η αναγκαιότητα της παρουσίας μεγάλου αριθμού ρυθμιστικών συστημάτων, τα οποία διατηρούν την υγεία του οργανισμού. Σε περίπτωση που ένα οποιοδήποτε ρυθμιστικό σύστημα πάψει να λειτουργεί, προκαλείται βαριάς μορφής δυσλειτουργία ή και θάνατος.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα παραπάνω παραδείγματα των ομοιοστατικών μηχανισμών ελέγχου αποτελούν μικρό μόνο δείγμα των πολλών εκατοντάδων έως και χιλιάδων που υπάρχουν στο σώμα. Όλα όμως έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, που εξετάζονται στις επόμενες σελίδες αυτού του κεφαλαίου.

Η αρνητική ανατροφοδοτική φύση των περισσότερων ρυθμιστικών συστημάτων

Τα περισσότερα ρυθμιστικά συστήματα του οργανισμού δρουν βάσει του μηχανισμού της αρνητικής ανατροφοδότησης (ή αρνητικής επιστροφοδοσίας ή *negative feedback*). Τον μηχανισμό αυτόν μπορούμε να εξηγήσουμε καλύτερα αναφερόμενοι σε μερικά από τα ρυθμιστικά συστήματα της ομοιοστασίας, τα οποία θίξαμε πρωτύτερα. Κατά τη ρύθμιση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα, π.χ. υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο εξωκυττάριο υγρό προκαλεί αύξηση του αερισμού των πνευμόνων, η οποία με τη σειρά της προκαλεί ελάττωση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στο εξωκυττάριο υγρό, γιατί οι πνεύμονες υπ' αυτές τις συνθήκες αποβάλλουν μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από το σώμα. Με άλλα λόγια, η υψηλή συγκέντρωση προκαλεί ελάττωση της συγκέντρωσης, κάτι που είναι αρνητικό ως προς τις αρχικές συνθήκες. Αντιθέτως, η εξαιρετικά χαμηλή συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα οδηγεί σε ανατροφοδοτική αύξηση της συγκέντρωσής του. Η απάντηση αυτή είναι, επίσης, αρνητική ως προς τις αρχικές συνθήκες.

Στους μηχανισμούς ρύθμισης της αρτηριακής πίεσης, η υψηλή πίεση προκαλεί μια σειρά αντιδράσεων που προάγουν την ελάττωσή της, όπως και η χαμηλή πίεση προκαλεί μια σειρά αντιδράσεων που προάγουν την αύξησή της. Και στις δύο περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι αρνητικά ως προς τις αρχικές συνθήκες.

Γενικότερα, όταν ένας παράγοντας βρίσκεται σε περίσσεια ή σε έλλειψη, το ρυθμιστικό του σύστημα καταφεύγει στον μηχανισμό της

Πίνακας 1-1 Κύρια συστατικά και φυσικά χαρακτηριστικά του εξωκυττάριου υγρού

Φυσιολογική τιμή	Φυσιολογικό εύρος διακύμανσης	Βραχυπρόθεσμη επιτρεπτή διακύμανση (μη θανατηφόρα όρια)	Μονάδες
Οξυγόνο	40	35–45	10–1.000
Διοξειδίο άνθρακα	40	35–45	5–80
Ιόντα νατρίου	142	138–146	115–175
Ιόντα καλίου	4,2	3,8–5,0	1,5–9,0
Ιόντα ασβεστίου	1,2	1,0–1,4	0,5–2,0
Ιόντα χλωρίου	108	103–112	70–130
Διπτανθρακικά ιόντα	28	24–32	8–45
Γλυκόζη	85	75–95	20–1.500
Θερμοκρασία σώματος	98,4 (37,0)	98–98,8 (37,0)	65–110 (18,3–43,3) °F (°C)
Οξεοβασική ισορροπία	7,4	7,3–7,5	6,9–8,0 pH