



Η συντήρηση της θερμοκρασίας του σώματος είναι ένα παράδειγμα ομοιόστασης

1

Ομοιόσταση:

Η ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Ο σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να δώσει ένα προσανατολισμό στο αντικείμενο της Φυσιολογίας του Ανθρώπου και να αναδείξει τον κεντρικό ρόλο της Ομοιόστασης για την μελέτη αυτής της επιστήμης. Η κατανόηση της λειτουργίας του σώματος απαιτεί την γνώση της δομής και της σχέσης των διαφόρων μερών του σώματος. Γι' αυτό το λόγο, στο κεφάλαιο αυτό εισάγεται ο τρόπος με τον οποίο το σώμα είναι οργανωμένο σε κύτταρα, ιστούς, όργανα και συστήματα οργάνων. Τέλος εισάγονται πολλές «Θεμελιώδεις Έννοιες της Φυσιολογίας». Αυτές λειτουργούν σαν ενωτικά θέματα για όλο το βιβλίο, και οι φοιτητές παροτρύνονται να ανατρέχουν σε αυτές και να βλέπουν πώς εφαρμόζονται στο υλικό που θα καλυφθεί στα επόμενα κεφάλαια.

1.1 Σκοπός της φυσιολογίας του ανθρώπου

1.2 Πώς είναι οργανωμένο το ανθρώπινο σώμα;

Μυϊκά κύτταρα και Ιστός

Νευρικά κύτταρα και νευρικός ιστός

Επιθηλιακά κύτταρα και

επιθηλιακός ιστός

Κύτταρα συνδετικού ιστού και

συνδετικός ιστός

Όργανα και συστήματα οργάνων

1.3 Διαμερισματοποίηση των υγρών του σώματος

1.4 Ομοιόσταση: Μια κεντρική έννοια της Φυσιολογίας

1.5 Γενικά χαρακτηριστικά συστημάτων ομοιοστατικού ελέγχου

Συστήματα ανατροφοδότησης

Επανατοποθέτηση λειτουργικού σημείου

Προτροφοδοτική ρύθμιση

1.6 Συστατικά τμήματα συστημάτων ομοιοστατικού ελέγχου

Αντανακλαστικά

Τοπικές ομοιοστατικές αποκρίσεις

1.7 Ο ρόλος των διακυτταρικών χημικών αγγελιαφόρων στην ομοιόσταση

1.8 Διαδικασίες που σχετίζονται με την ομοιόσταση

Εγκλιματισμός και προσαρμογή

Βιολογικοί ρυθμοί

Ομοιόσταση και ισοζύγιο χημικών ουσιών στο σώμα

1.9 Γενικές αρχές φυσιολογίας

Κεφάλαιο 1 Μελέτη Κλινικής Περίπτωσης

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Φυσιολογία είναι η μελέτη του τρόπου λειτουργίας των ζώντων οργανισμών. Σε ό,τι αφορά τον άνθρωπο, οι στόχοι της είναι ποικίλοι. Από τη μια μεριά, περιλαμβάνει τη μελέτη μεμονωμένων μορίων. Για παράδειγμα, εξετάζεται πώς το συγκεκριμένο σχήμα και οι ηλεκτρικές ιδιότητες μιας πρωτεΐνης της επιτρέπουν να λειτουργεί ως διάλυτος, επιτρέποντας στα ιόντα νατρίου να εισέρχονται ή να εξέρχονται από το κύτταρο. Από την άλλη, η φυσιολογία ασχολείται με πολύπλοκες διαδικασίες που εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση μεταξύ πολλών οργάνων του σώματος. Για παράδειγμα, πώς η καρδιά, ο εγκέφαλος και οι διάφοροι αδένες συνεργάζονται, ώστε να αυξάνεται η αποβολή του νατρίου στα ούρα, όταν καταναλώνονται αλμυρά φαγητά.

Οι φυσιολόγοι ενδιαφέρονται για την λειτουργία και την ολοκλήρωση. Δηλαδή, ενδιαφέρονται πώς συνεργάζονται οι διάφορες λειτουργικές μονάδες, σε διάφορα επίπεδα οργάνωσης και, κυρίως, στον οργανισμό ως σύνολο. Έτσι, οι φυσιολόγοι, ακόμα και όταν μελετούν τμήματα ενός οργανισμού, μέχρι και του επιπέδου μεμονωμένων μορίων, απώτερος στόχος τους είναι η εφαρμογή της οποιασδήποτε πληροφορίας αποκόμισαν στην διερεύνηση της λειτουργίας ολόκληρου του οργανισμού. Όπως το έθεσε ο Claude-Bernard, φυσιολόγος του 19^{ου} αιώνα: «Μετά την ανάλυση των φαινομένων πρέπει... πάντα να ανασκευάζουμε την φυσιολογική μας σύνθεση, έτσι ώστε να δούμε την συλλογική δράση των τμημάτων που πρωτίτερα απομονώσαμε...».

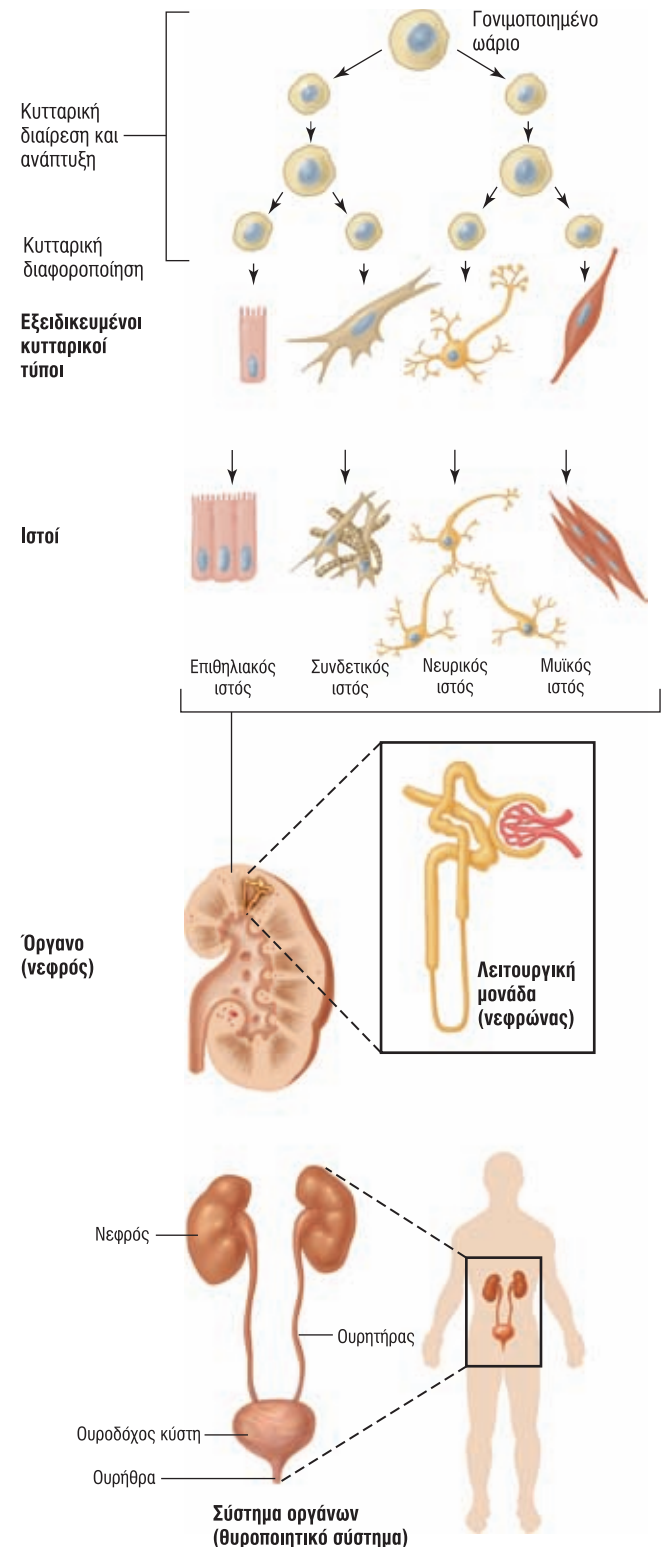
Με βάση τα παραπάνω, πρέπει να γίνει μια πολύ σημαντική παρατήρηση γύρω από το παρόν και το μέλλον της φυσιολογίας. Είναι πολύ εύκολο ο φοιτητής από το παρόν εγχειρίδιο να αποκομίσει την εσφαλμένη εντύπωση ότι σχεδόν τα πάντα είναι γνωστά γύρω από ένα συγκεκριμένο θέμα, για την φυσιολογία όμως, δεν μπορεί να υπάρξει μεγαλύτερη αυταπάτη από αυτή. Πολλοί λειτουργικοί τομείς είναι ακόμα ελάχιστα γνωστοί (π.χ. πως η λειτουργία του εγκέφαλου παράγει τα φαινόμενα της συνείδησης και της μνήμης).

Τέλος, σε πολλά σημεία του βιβλίου αναφέρονται κάποια στοιχεία για την σχέση της φυσιολογίας με την ιατρική. Μια νόσος μπορεί να θεωρηθεί ως στρέβλωση ενός φυσιολογικού φαινομένου και γι' αυτό ονομάζεται **παθοφυσιολογία**. Έτσι, η κατανόηση της φυσιολογίας θεωρείται απολύτως αναγκαία για την σπουδή και την άσκηση της ιατρικής. Πολλοί φυσιολόγοι ασχολούνται ενεργά με έρευνες γύρω από την φυσιολογική βάση μιας μεγάλης ποικιλίας νόσων. Στο κείμενο αυτό, θα δώσουμε αρκετά παραδείγματα παθοφυσιολογίας, πάντα με στόχο να τονίσουμε την βασική φυσιολογία που υπόκειται της νόσου. Ένα ευρετήριο με όλες τις ασθένειες και τις ιατρικές καταστάσεις που αναφέρονται στο βιβλίο βρίσκεται στο Παράρτημα Β. Η μελέτη της φυσιολογίας ξεκινά με την περιγραφή της οργάνωσης της δομής του ανθρώπινου σώματος.

1.2 ΠΩΣ ΕΙΝΑΙ ΟΡΓΑΝΩΜΕΝΟ ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ

Πριν μελετηθεί πως λειτουργεί το ανθρώπινο σώμα είναι απαραίτητο να γίνει κατανοητή η δομή των λειτουργικών μονάδων και η ανατομική τους σχέση. Οι απλούστερες δομικές μονάδες, στις οποίες μπορεί να διαιρεθεί ένας οργανισμός χωρίς να χάσει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της

ζωής, λέγονται **κύτταρα** (Σχήμα 1.1). Κάθε ανθρώπινος οργανισμός ξεκινά ως ένα κύτταρο, το γονιμοποιημένο ωάριο, το οποίο στη συνέχεια διαιρείται δίνοντας δύο νέα κύτταρα, καθένα από τα οποία διαιρείται επίσης σε δύο κύτταρα με αποτέλεσμα να προκύπτουν τέσσερα νέα κύτταρα κ.ο.κ. Αν η κυτταρική διαίρεση ήταν το μόνο γεγονός



Σχήμα 1.1 Επίπεδα κυτταρικής οργάνωσης. Η σχεδίαση του νεφρώνα είναι εκτός κλίμακας.

που συνέβαινε στη ζωή των κυττάρων, το τελικό αποτέλεσμα θα ήταν μια σφαιρική μάζα από πανομοιότυπα κύτταρα. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, όμως, κάθε κύτταρο εξειδικεύεται για την επιτέλεση μιας συγκεκριμένης λειτουργίας, όπως για παράδειγμα, η παραγωγή δύναμης και κίνησης (μυϊκά κύτταρα) ή η παραγωγή ηλεκτρικών σημάτων (νευρικά κύτταρα) κλπ. Η διαδικασία μετατροπής ενός «ανειδίκευτου» κυττάρου σε διαφοροποιημένο (δηλαδή εξειδικευμένο), λέγεται **κυτταρική διαφοροποίηση**, η μέλητη της οποίας αποτελεί σήμερα ένα από τα πλέον συναρπαστικά πεδία της μοριακής βιολογίας. Τα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος θα μπορούσαν, με βάση τις ιδιαιτερότητες στη δομή και τη λειτουργία τους, να διακριθούν σε 200 περίπου διαφορετικά είδη. Εξετάζοντας, όμως, την ευρύτερη λειτουργία κάθε είδους κυττάρων, προκύπτουν τέσσερις μεγάλες κατηγορίες: (1) τα μυϊκά κύτταρα, (2) τα νευρικά κύτταρα, (3) τα επιθηλιακά κύτταρα και (4) τα κύτταρα του συνδετικού ιστού. Είναι αυτονόητο ότι σε καθεμιά από αυτές τις τέσσερις κατηγορίες υπάρχουν τύποι κυττάρων που επιτελούν παραλλαγές της ίδιας βασικής λειτουργίας. Για παράδειγμα, υπάρχουν τρεις τύποι μυϊκών κυττάρων (σκελετικά μυϊκά κύτταρα, καρδιακά μυϊκά κύτταρα και λεία μυϊκά κύτταρα) που διαφέρουν στο σχήμα, το μηχανισμό συστολής, αλλά και τη θέση τους στα διάφορα όργανα του σώματος.

Παράλληλα με τη διαδικασία της διαφοροποίησης, τα κύτταρα μεταναστεύουν σε νέες θέσεις κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, συναθροίζονται επιλεκτικά με άλλα κύτταρα και σχηματίζουν πολυκυτταρικές δομές. Με αυτό τον τρόπο, τα κύτταρα του σώματος διατάσσονται σε διάφορους συνδυασμούς σχηματίζοντας μια ιεραρχία οργανωμένων δομών. Σύνολα διαφοροποιημένων κυττάρων με παρόμοιες ιδιότητες σχηματίζουν τους **ιστούς**. Κατ'αντιστοιχία με τις τέσσερις γενικές κατηγορίες διαφοροποιημένων κυττάρων, υπάρχουν τέσσερις γενικές κατηγορίες ιστών: (1) ο **μυϊκός ιστός**, (2) ο **νευρικός ιστός**, (3) ο **επιθηλιακός ιστός** και (4) ο **συνδετικός ιστός**. Πρέπει να επισημανθεί, ότι ο όρος «ιστός», αν και τυπικά δηλώνει το σύνολο πολλών διαφοροποιημένων κυττάρων της ίδιας κατηγορίας, στην πράξη χρησιμοποιείται και για να δηλώσει το σύνολο των κυττάρων που συναποτελούν ένα όργανο ή μια δομή του σώματος. Για παράδειγμα, ο ιστός των νεφρών ή ο ιστός των πνευμόνων, που στην πραγματικότητα αποτελείται και από τα τέσσερα είδη ιστών.

Ένα είδος ιστού συνδυάζεται με άλλους ιστούς και σχηματίζονται τα **όργανα** (η καρδιά, οι πνεύμονες, οι νεφροί κλπ.), τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται μεταξύ τους δημιουργώντας **συστήματα οργάνων** όπως το ουροποιητικό σύστημα (βλ. Σχήμα 1-1). Στη συνέχεια θα αναπτύξουμε συνοπτικά τα τέσσερα είδη κυττάρων και ιστών από τα οποία αποτελούνται τα όργανα του ανθρώπινου σώματος.

Μυϊκά κύτταρα και ιστός

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως υπάρχουν τρία είδη μυϊκών κυττάρων που σχηματίζουν το σκελετικό, καρδιακό και λείο μυϊκό ιστό. Όλα τα **μυϊκά κύτταρα** είναι εξειδικευμένα στην παραγωγή δυνάμεων που επιτελούν τις μηχανικές κινήσεις και αναπτύσσουν μηχανικές τάσεις. Τα σκελετικά μυϊκά κύτταρα μπορεί να προσφύονται στα οστά και να προκαλούν τις κινήσεις των άκρων και του κορμού, αλλά μπορεί και να προσφύονται στο δέρμα, όπως οι μιμητικοί

μύες που προσδίδουν έκφραση στο πρόσωπο. Η μυϊκή συστολή των σκελετικών μυών βρίσκεται συνήθως κάτω από εθελούσιο έλεγχο που σημαίνει ότι ο μπορείς να επιλέξεις πότε θα κάνει μυϊκή συστολή ένας σκελετικός μυς. Τα καρδιακά μυϊκά κύτταρα βρίσκονται μόνο στην καρδιά. Όταν τα κύτταρα του καρδιακού μυός παράγουν δύναμη, η καρδιά συστέλλεται και κατά συνέπεια αντλεί αίμα στην κυκλοφορία. Τα λεία μυϊκά κύτταρα περιβάλλουν τους περισσότερους αυλούς στο εσωτερικό του σώματος, όπως τα αγγεία ή το γαστρεντερικό αυλό, διαμορφώνοντας με τη συστολή ή την διαστολή τους τη διάμετρο αυτών των αυλών. Για παράδειγμα η συστολή των λείων μυών κατά μήκος του οισοφάγου (ο αυλός που ενώνει το φάρυγγα με το στομάχι) προωθεί το περιεχόμενο της κατάποσης στο στομάχι. Ο καρδιακός και ο λείος μυϊκός ιστός δεν υπόκεινται σε εθελούσιο έλεγχο γιατί δεν γίνεται συνειδητά να αλλάξει η δραστηριότητά τους. Στο Κεφάλαιο 9 αναφέρεται η δομή και λειτουργία των τριών ειδών των μυϊκών κυττάρων.

Νευρώνες και νευρικός ιστός

Οι **νευρώνες** είναι τα κύτταρα του νευρικού συστήματος εξειδικευμένα στη δημιουργία ηλεκτρικών σημάτων, τα οποία άγονται ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις. Κάθε τέτοιο σήμα μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία ενός νέου ηλεκτρικού σήματος σε άλλους νευρώνες, την έκκριση ουσιών από τα κύτταρα των ενδοκρινών αδένων ή τη συστολή κάποιων μυϊκών κυττάρων. Επομένως, οι νευρώνες αποτελούν τον κύριο φορέα ρύθμισης της δραστηριότητας άλλων κυττάρων. Η πολυπλοκότητα των συνδέσεων μεταξύ των νευρώνων αποτελεί τη βάση φαινομένων όπως η συνείδηση και η αντίληψη. Ένα σύνολο νευρώνων σχηματίζουν το νευρικό ιστό, όπως του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού. Σε μερικά σημεία του σώματος, σύνολο νευρώνων μαζί με συνδετικό ιστό (όπως αναφέρθηκε) σχηματίζουν τα νεύρα. Τα νεύρα μεταφέρουν μηνύματα μεταξύ νευρώνων του νευρικού συστήματος και άλλων σημείων του σώματος. Νευρώνες, νευρικός ιστός και νευρικό σύστημα θα καλυφθούν στο Κεφάλαιο 6.

Επιθηλιακά κύτταρα και επιθηλιακός ιστός

Τα **επιθηλιακά κύτταρα** είναι εξειδικευμένα στην προστασία, καθώς και στην επιλεκτική απορρόφηση και έκκριση ιόντων και οργανικών μορίων. Τα κύτταρα αυτά χαρακτηρίζονται και παίρνουν το όνομά τους από το ξεχωριστό τους σχήμα: κυβοειδές, ατρακτοειδές, πλακοειδές (πεπλατυσμένο) και κροσσοί. Ο επιθηλιακός ιστός, γνωστός και ως επιθήλιο, μπορεί να σχηματιστεί από κάθε είδος επιθηλιακών κυττάρων. Τα επιθηλιακά κύτταρα σχηματίζουν είτε μονή στιβάδα κυττάρων ή πολλές στιβάδες κυττάρων. Το είδος του επιθηλίου που σχηματίζεται σε κάθε περιοχή του σώματος αντανακλά την λειτουργία του συγκεκριμένου ιστού. Για παράδειγμα το επιθήλιο που βρίσκεται στην εσωτερική επιφάνεια των αεραγωγών, π.χ. την τραχεία, αποτελείται από κροσσούς (βλ. Κεφάλαιο 13). Οι κροσσοί εμφανίζουν συνεχή κίνηση μεταφέροντας τη βλέννα προς τα επάνω μέσα στο στόμα προλαμβάνοντας έτσι σωματίδια και βλαπτικούς παράγοντες να φτάσουν στον ευαίσθητο ιστό των πνευμόνων.

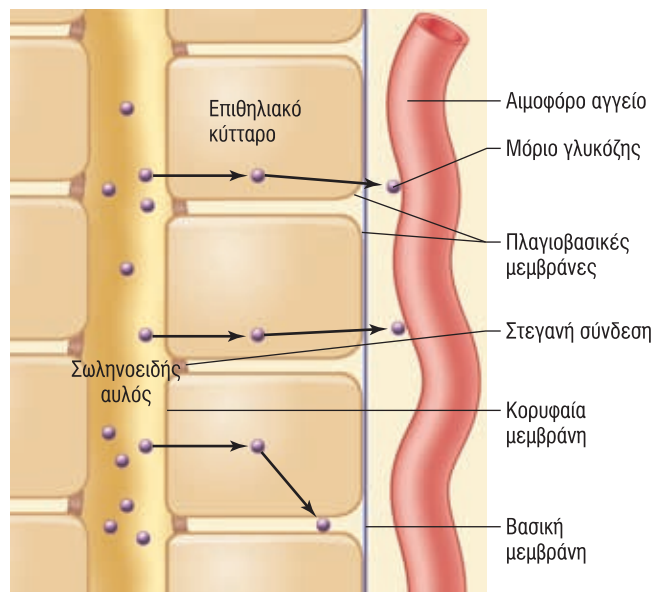
Τα επιθηλιακά κύτταρα βρίσκονται στις καλυπτήριες επιφάνειες του σώματος και των οργάνων, καθώς και στα

τοιχώματα κοιλοτήτων και αυλών στο εσωτερικό του σώματος όπως η τραχεία. Τα επιθηλιακά κύτταρα προσκολλώνται επάνω σε ένα ομοιογενές στρώμα εξωκυτταρικών πρωτεϊνών, τη **βασική μεμβράνη**, που μεταξύ άλλων η κύρια λειτουργία της είναι να σταθεροποιεί τον ιστό (Σχήμα 1.2). Η πλευρά του κυττάρου που προσδένεται στη βασική μεμβράνη λέγεται πλαγιοβασική, και η αντίθετη πλευρά που ουσιαστικά βλέπει το εσωτερικό του αυλού, όπως στην τραχεία ή στα σωληνάκια των νεφρών (βλ. Σχήμα 1.1) ονομάζεται κορυφαία μεμβράνη. Ένα χαρακτηριστικό των επιθηλιακών κυττάρων είναι ότι οι δύο πλευρές τους στον επιθηλιακό ιστό επιτελούν τελείως διαφορετικές φυσιολογικές λειτουργίες. Επιπλέον τα γειτονικά κύτταρα έρχονται σε άμεση επαφή μεταξύ τους με διακυτταρικές συνδέσεις που ονομάζονται στεγανές συνδέσεις (βλ. Σχήμα 3.9β και γ για την απεικόνιση στεγανής σύνδεσης). Οι στεγανές συνδέσεις συντελούν ώστε τα επιθήλια να σχηματίζουν διαχωριστικές γραμμές και να λειτουργούν ως επιλεκτικοί φραγμοί που ρυθμίζουν τις ανταλλαγές μορίων μεταξύ των διαφόρων διαμερισμάτων. Για παράδειγμα, τα επιθηλιακά κύτταρα του δέρματος σχηματίζουν έναν κυτταρικό φραγμό, ο οποίος εμποδίζει τις περισσότερες ουσίες του εξωτερικού περιβάλλοντος να εισέλθουν στο σώμα μέσω του δέρματος. Επίσης στα σωληνάκια των νεφρών, η μεμβράνη στην πλευρά του αυλού επιτρέπει την μεταφορά, χρήσιμων διαλυμένων ουσιών, όπως η γλυκόζη από τον αυλό μέσα στο επιθηλιακό κύτταρο, ενώ η πλαγιοβασική μεμβράνη του κυττάρου μεταφέρει την γλυκόζη έξω από το επιθηλιακό κύτταρο μέσα στο μεσοκυττάριο υγρό και έτσι μπορεί να φτάσει στο αίμα. Οι στεγανές συνδέσεις προλαμβάνουν την διαρροή της γλυκόζης πίσω στα επιθηλιακά κύτταρα.

Κύτταρα συνδετικού ιστού και συνδετικός ιστός

Τα **κύτταρα του συνδετικού ιστού**, όπως υπονοεί και το όνομά τους, έχουν ως κύρια λειτουργία τους να συνδέουν, να σταθεροποιούν και να στηρίζουν τις διάφορες δομές του σώματος. Μερικοί κυτταρικοί τύποι συναντώνται στο χαλαρό δίκτυο κυττάρων και ινών που εδράζεται ακριβώς κάτω από τις στιβάδες των επιθηλιακών κυττάρων και σχηματίζουν τον χαλαρό συνδετικό ιστό. Κάποιο άλλοι κυτταρικοί τύποι σχηματίζουν τον πυκνό συνδετικό ιστό όπως οι τένοντες και οι σύνδεσμοι. Άλλοι τύποι συνδετικού ιστού είναι τα οστά, οι χόνδροι και ο αποθηκευτικός λιπώδης ιστός. Επίσης το αίμα είναι ένα είδος υγρού συνδετικού ιστού και αυτό γιατί τα κύτταρα του αίματος προέρχονται από τα ίδια εμβρυονικά κύτταρα με τα άλλα είδη κυττάρων συνδετικού ιστού. Το αίμα συνδέει τα διάφορα όργανα και ιστούς του σώματος μεταφέροντας θρεπτικά συστατικά και απομακρύνοντας απόβλητα, καθώς επίσης και με τη μεταφορά χημικών μηνυμάτων από το ένα σημείο του σώματος στο άλλο.

Μια σημαντική λειτουργία του συνδετικού ιστού είναι να σχηματίζει **εξωκυττάρια θεμέλια ουσία** γύρω από τα κύτταρα. Το άμεσο περιβάλλον γύρω από οποιοδήποτε κύτταρο του σώματος λέγεται **εξωκυττάριο υγρό**. Αυτό το υγρό που είναι ειδικό για κάθε ιστό και γεμίζει τα διάκενα της εξωκυτταρικής θεμέλιας ουσίας, αποτελείται από ένα μίγμα πρωτεϊνών, πολυσακχαριτών (αλυσίδα από μόρια γλυκόζης) και σε μερικές περιπτώσεις από άλατα. Η θεμέλια ουσία επιτελεί δύο σπουδαίες λειτουργίες: (1) παρέχει το κατάλληλο υπόστρωμα για να προσφύθουν επάνω του τα κύτταρα και (2)



Σχήμα 1.2 Επιθηλιακός ιστός στο εσωτερικό σωληναρίων όπως εκείνων του νεφρού. Η πλαγιοβασική πλευρά των κυττάρων είναι προσδεμένη στην βασική μεμβράνη. Κάθε πλευρά των κυττάρων εκτελεί διαφορετικές λειτουργίες, όπως στο παράδειγμα εδώ όπου η γλυκόζη μετακινείται πρώτα μέσα στο κύτταρο κατά μήκος του επιθηλίου και στη συνέχεια μετακινείται έξω από το κύτταρο.

επιτρέπει την μεταξύ των κυττάρων διακίνηση ειδικών χημικών μηνυμάτων, που είναι απαραίτητα για τη ρύθμιση σημαντικών κυτταρικών διεργασιών, όπως η κυτταρική μετανάστευση, η ανάπτυξη και η διαφοροποίηση.

Οι πρωτεΐνες της εξωκυτταρικής θεμέλιας ουσίας αποτελούνται από **ίνες** (σχοινόμορφες **ίνες κολλαγόνου** και ελαστικές **ίνες ελαστίνης**), καθώς επίσης και από ένα μίγμα πρωτεϊνών που περιέχουν υδατάνθρακες. Η εξωκυτταρική θεμέλια ουσία είναι κάτι ανάλογο με το οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι ίνες του πλέγματος (και ιδιαίτερα το κολλαγόνο) λειτουργούν ενισχυτικά, όπως τα πλέγματα σιδήρου στο εσωτερικό των δοκών. Τα μόρια των υδατανθρακοφόρων πρωτεϊνών παίζουν το ρόλο του τσιμέντου που περιβάλλει τον σιδερένιο σκελετό του σκυροδέματος. Πράγματι, αυτές οι ουσίες δεν είναι μόνο ένα υλικό που γεμίζει τα κενά αλλά λειτουργούν ως μόρια διακυτταρικής αναγνώρισης και συνοχής, καθώς επίσης συμβάλλουν στην επικοινωνιακή σύνδεση των εξωκυττάρων μηνυμάτων με τα κύτταρα.

Όργανα και συστήματα οργάνων

Όλα τα όργανα αποτελούνται από δύο ή περισσότερα από τα τέσσερα είδη ιστών. Η αναλογία συμμετοχής κάθε ιστού, όμως, ποικίλλει από όργανο σε όργανο, όπως άλλωστε ποικίλλει και το σχήμα που μπορεί να πάρει ένας ιστός π.χ. έχουμε αυλούς, στιβάδες και δεσμίδες. Για παράδειγμα οι νεφροί διακρίνονται: (1) από ένα μεγάλο αριθμό σωληναρίων, το τοίχωμα των οποίων αποτελείται από μία μονή στιβάδα επιθηλιακών κυττάρων, (2) από αγγεία του αίματος, το τοίχωμα των οποίων περιέχει ποικίλου πάχους χιτώνες λείων μυϊκών κυττάρων και συνδετικού ιστού, (3) απολήξεις νευρικών κυττάρων, οι οποίες διεισδύουν μέχρι το χιτώνα των λείων μυϊκών κυττάρων και τα επιθηλιακά κύτταρα, (4) ένα χαλαρό δίκτυο συνδετικού ιστού που βρί-

σκεται διασκορπισμένο σε όλη την έκταση των νεφρών και περιβάλλει όλες τις προαναφερθείσες δομές.

Πολλά όργανα αποτελούνται από πολλές μικρές όμοιες μονάδες, τις **λειτουργικές μονάδες**, καθεμιά από τις οποίες επιτελεί την ίδια βασική λειτουργία που επιτελεί και ολόκληρο το όργανο. Για παράδειγμα, τα δύο εκατομμύρια των λειτουργικών υπομονάδων των νεφρών λέγονται νεφρώνες (και περιέχουν όλες το ίδιο σύστημα σωληναρίων και αγγείων που αναφέρθηκαν προηγουμένως), ενώ η ολική παραγωγή ούρων από τους νεφρούς δεν είναι παρά το άθροισμα των ούρων που σχηματίζει ο κάθε μεμονωμένος νεφρώνας.

Τέλος, έχουμε τα συστήματα οργάνων, δηλαδή ένα σύνολο οργάνων που μαζί επιτελούν μια κοινή λειτουργία. Για παράδειγμα, τα νεφρά, η ουροδόχος κύστη, οι ουρητήρες (που οδηγούν τα σχηματισθέντα από τα νεφρά ούρα στην ουροδόχο κύστη) και η ουρήθρα (που οδηγεί τα ούρα από την κύστη στο εξωτερικό περιβάλλον), συνι-

στούν όλα μαζί το ουροποιητικό σύστημα. Στον **Πίνακα 1-1** παρουσιάζονται τα συστατικά μέρη και οι λειτουργίες των συστημάτων οργάνων.

Συνοψίζοντας, θα μπορούσε να θεωρήσει κανείς το ανθρώπινο σώμα ως μια πολύπλοκη κοινωνία διαφοροποιημένων κυττάρων, τα οποία συνδυάζονται δομικά και λειτουργικά μεταξύ τους με τρόπο ώστε να επιτελούν όλες τις ζωτικές λειτουργίες για την επιβίωση του οργανισμού. Κάθε μεμονωμένο κύτταρο αποτελεί τη βασική μονάδα αυτής της κοινωνίας, ενώ όλα σχεδόν τα κύτταρα εμφανίζονται, σε ατομικό επίπεδο, τις ίδιες βασικές δραστηριότητες που εμφανίζει κάθε μορφή ζωής, όπως μεταβολισμό και αναπαραγωγή. Σημαντικό για την επιβίωση όλων των κυττάρων είναι το **εσωτερικό περιβάλλον** του σώματος: αυτό αναφέρεται στο υγρό που περικλείει τα κύτταρα και το υγρό διαμέρισμα του αίματος. Αυτή η διαμερισματοποίηση των υγρών του σώματος και ακόμη ένα διαμέρισμα υγρού που υπάρχει μέσα στα κύτταρα θα αναπτυχθούν στη συνέχεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Συστήματα του σώματος		
Σύστημα	Κυριότερα όργανα και ιστοί	Κύριες λειτουργίες
Αναπαραγωγικό	Στους άρρενες: όρχις, πέος και οι σχετικοί πόροι και αδένες. Στις γυναίκες: ωθήκες, ωαγωγοί, μήτρα, κόλπος, μαζικοί αδένες	Άρρενες: Παραγωγή σπέρματος και έγχυσή του στο θηλυκό όργανο. Γυναίκες: παραγωγή ωαρίων, σχηματισμός θρεπτικού περιβάλλοντος για το αναπτυσσόμενο έμβρυο, θρέψη του νεογνού
Αναπνευστικό	Μύτη, φάρυγγας, λάρυγγας τραχεία, βρόγχοι, πνεύμονες	Ανταλλαγή CO ₂ και O ₂ , ρύθμιση της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου στα σωματικά υγρά
Ανοσοποιητικό	Λευκά αιμοσφαίρια, και τα όργανα παραγωγής τους	Άμυνα έναντι ξένων εισβολέων (παθογόνων)
Ενδοκρινικό	Όλοι οι ορμονοεκκριτικοί αδένες: πάγκρεας, όρχις, ωθήκες, υποθάλαμος, νεφροί, υπόφυση, θυρεοειδής, παραθυρεοειδείς, φλοιός επινεφριδίων, έντερο, καρδιά, επίφυση, στόμαχος, ήπαρ, λιπώδης ιστός και ενδοκρινή κύτταρα σε άλλα όργανα	Ρύθμιση και συντονισμός πληθώρας σωματικών δραστηριοτήτων περιλαμβανομένων της ανάπτυξης του μεταβολισμού, της αναπαραγωγής, της πίεσης, του ισοζυγίου νερού-ηλεκτρολυτών και άλλων
Καλυπτήριο	Δέρμα	Προστασία έναντι των τραυματισμών και της αφυδάτωσης, άμυνα έναντι ξένων εισβολέων, θερμορύθμιση
Κυκλοφορικό	Καρδιά, αιμοφόρα αγγεία, αίμα	Μεταφορά του αίματος σε όλους τους ιστούς του σώματος
Λεμφικό	Λεμφαγγεία, λεμφαδένες	Συλλογή εξωκυττάρου υγρού για να επιστραφεί στην κυκλοφορία. Συμμετοχή στην άμυνα του ανοσοποιητικού, απορρόφηση λιπαρών από το πεπτικό σύστημα
Μυοσκελετικό	Χόνδροι, οστά, σύνδεσμοι, τένοντες, αρθρώσεις, σκελετικοί μύες	Υποστήριξη, προστασία και κίνηση του σώματος, παραγωγή των κυττάρων του αίματος
Νευρικό	Εγκέφαλος, νωτιαίος μυελός, περιφερικά νεύρα και γάγγλια, ειδικά αισθητήρια όργανα	Ρύθμιση και συντονισμός πληθώρας σωματικών δραστηριοτήτων, ανίχνευση μεταβολών στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον του σώματος, συνειδησιακή κατάσταση, μάθηση, μνήμη, συναίσθημα και άλλα
Ουροποιητικό	Νεφροί, ουρητήρες, κύστη, ουρήθρα	Ρύθμιση της σύνθεσης του πλάσματος με τον έλεγχο της απέκκρισης αλάτων, ύδατος και οργανικών αποβλήτων
Πεπτικό	Στόμα, φάρυγγας, οισοφάγος, στόμαχος, λεπτό έντερο, πρωκτός, σιελογόνοι αδένες, πάγκρεας, ήπαρ, χολή	Πέψη και απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, αλάτων και ύδατος. Αποβολή άχρηστων προϊόντων

1.3 ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

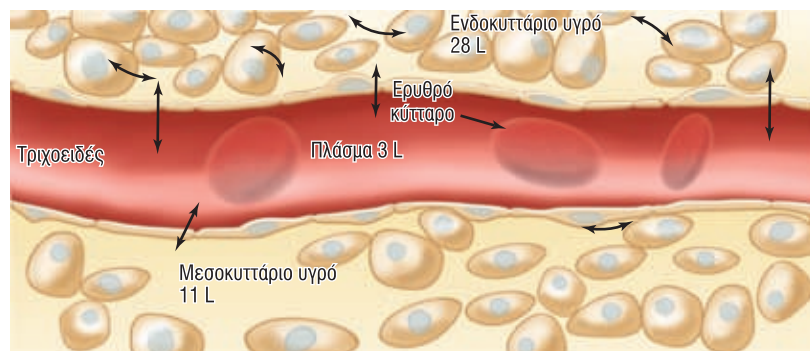
Νερό υπάρχει μέσα και γύρω από τα κύτταρα του σώματος καθώς και μέσα σε όλα τα αγγεία του σώματος. Ο όρος 'υγρά του σώματος' αναφέρεται σε υδαρή διαλύματα με διαλυμένες ουσίες όπως οξυγόνο, θρεπτικά συστατικά, και άχρηστα υπολείμματα. Τα υγρά του σώματος χωρίζονται σε δύο διαμερίσματα, το ενδοκυττάριο και το εξωκυττάριο υγρό. Το **ενδοκυττάριο υγρό** υπάρχει στο εσωτερικό όλων των κυττάρων και είναι περίπου το 67% του συνολικού υγρού του σώματος. Το υγρό που βρίσκεται στο αίμα και γύρω από τα κύτταρα λέγεται **εξωκυττάριο υγρό** και είναι όλο το υγρό που βρίσκεται έξω από τα κύτταρα. Από αυτό το 20%-25% είναι το υγρό μέρος του αίματος, το **πλάσμα**, μέσα στο οποίο αιωρούνται τα κύτταρα του αίματος. Το υπόλοιπο 75%-80% του εξωκυττάριου υγρού περιβάλλει τα διάφορα κύτταρα του σώματος και λέγεται **μεσοκυττάριο υγρό**. Ο χώρος που περιέχει το μεσοκυττάριο υγρό λέγεται **διάμεσος χώρος**. Έτσι ο συνολικός όγκος του εξωκυττάριου υγρού είναι το άθροισμα του όγκου του μεσοκυττάριου και του πλάσματος. Στο **Σχήμα 1.3** συνοψίζονται οι όγκοι που καταλαμβάνει το νερό σε κάθε διαμέρισμα του σώματος. Το νερό συνιστά το 55%-60% του βάρους του σώματος ενός ενήλικα.

Με την κυκλοφορία του αίματος στα μικρότερα αγγεία, ανταλλάσσεται μεταξύ του πλάσματος και του μεσοκυττάριου υγρού διαρκώς οξυγόνο, θρεπτικά υλικά, άχρηστα υπολείμματα και άλλα προϊόντα του κυτταρικού μεταβολισμού. Η διαρκής ανταλλαγή μεταξύ του πλάσματος και του μεσοκυττάριου υγρού έχει ως αποτέλεσμα να διατηρούνται πρακτικά ίδιες συγκεντρώσεις των διαλυμένων ουσιών στα δύο διαμερίσματα με εξαίρεση τη συγκέντρωση των διαλυμένων πρωτεϊνών (περισσότερα στο Κεφάλαιο 12). Η συγκέντρωση πρωτεϊνών είναι υψηλότερη στο πλάσμα απ' ότι στο μεσοκυττάριο υγρό των ιστών. Με αυ-

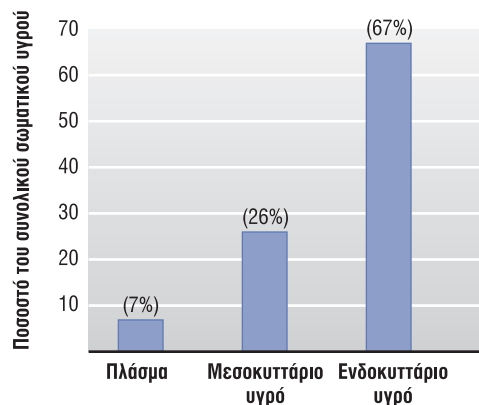
τή την εξαίρεση θα μπορούσε να θεωρήσει κανείς, ότι η σύνθεση του εξωκυττάριου υγρού είναι ομοιογενής. Η σύνθεση όμως του εξωκυττάριου υγρού είναι πολύ διαφορετική σε σχέση με τη σύνθεση του ενδοκυττάριου υγρού, του υγρού δηλαδή που υπάρχει στο εσωτερικό των κυττάρων. Η διατήρηση αυτής της διαφορετικής σύνθεσης είναι σημαντική για την ρύθμιση των λειτουργιών τους. Για παράδειγμα το ενδοκυττάριο υγρό περιέχει πολλές διαφορετικές πρωτεΐνες που είναι σημαντικές για λειτουργίες όπως η ανάπτυξη και ο μεταβολισμός.

Η διαμερισματοποίηση αποτελεί μια πολύ σημαντική έννοια στη φυσιολογία και επιτυγχάνεται με ειδικούς φραγμούς μεταξύ των διαμερισμάτων. Οι ιδιότητες των φραγμών καθορίζουν ποιές ουσίες μπορούν να μετακινηθούν από το ένα διαμέρισμα στο άλλο και ποιές όχι. Με τη σειρά τους αυτές οι μετακινήσεις καθορίζουν τη σύνθεση του υγρού σε κάθε διαμέρισμα. Στην περίπτωση των υγρών του σώματος, ο διαχωρισμός του ενδοκυττάριου από το εξωκυττάριο υγρό επιτελείται από την κυτταροπλασματική μεμβράνη που περιβάλλει το κύτταρο. Οι ιδιότητες αυτών των μεμβρανών καθώς και ο τρόπος με τον οποίο διατηρούν τις σημαντικές διαφορές μεταξύ εξωκυττάριου και ενδοκυττάριου υγρού περιγράφονται στο Κεφάλαιο 3 και 4. Σε αντιδιαστολή, τα δύο επιμέρους τμήματα του εξωκυττάριου υγρού, δηλαδή το μεσοκυττάριο υγρό και το πλάσμα, διαχωρίζονται από το τοίχωμα που συνιστούν τα κύτταρα των τριχοειδών (των πιο μικρών αγγείων του αίματος). Το πώς ακριβώς αυτός ο κυτταρικός φραγμός καταφέρνει να συγκρατεί το 75%-80% του εξωκυττάριου υγρού στο μεσοκυττάριο διαμέρισμα και ταυτόχρονα, τις πρωτεΐνες κυρίως στο πλάσμα, θα το δούμε στο Κεφάλαιο 12.

Με την κατανόηση της δομικής οργάνωσης του σώματος στη συνέχεια θα περιγραφεί πώς διατηρείται σταθερό το εσωτερικό περιβάλλον του σώματος.



(α)



(β)

Σχήμα 1.3 Τα διαμερίσματα υγρών στο σώμα. Οι όγκοι αναφέρονται σε έναν άνδρα βάρους 70 kg. (α) Τα βελάκια διπλής κατεύθυνσης δηλώνουν ότι το υγρό μπορεί να κινείται ανάμεσα στα δύο διαμερίσματα. Το ολικό νερό σώματος είναι περίπου 42 L και αποτελεί το 55-60% του σωματικού βάρους. (β) Το ποσοστό του ολικού νερού του σώματος που βρίσκεται φυσιολογικά σε κάθε διαμέρισμα.

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

- Τι ποσοστό του ολικού νερού του σώματος είναι το εξωκυττάριο υγρό; Υποθέστε ότι το νερό αποτελεί το 60% του βάρους του σώματος ενός ατόμου. Τι ποσοστό του σωματικού βάρους αυτού του ατόμου οφείλεται στο εξωκυττάριο υγρό;

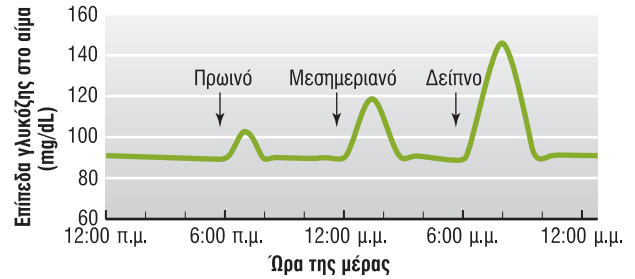
Η απάντηση υπάρχει στο τέλος του κεφαλαίου.

1.4 ΟΜΟΙΟΣΤΑΣΗ: ΕΝΑ ΒΑΣΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΤΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

Από τα χρόνια του Αριστοτέλη αναγνωρίστηκε ότι η καλή υγεία σχετίζεται με την ισορροπία ζωτικών δυνάμεων στο σώμα. Θα έπαιρνε χρόνια στους ερευνητές να ορίσουν τι είναι αυτό που βρίσκεται σε ισορροπία και πως επιτυγχάνεται. Η σύγχρονη επιστήμη με τα σύγχρονα εργαλεία συμπεριλαμβανομένου και του μικροσκοπίου οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από τρισεκατομμύρια κύτταρα που στο καθένα η κυτταρική μεμβράνη είναι διαπερατή σε κάποιες ουσίες, όχι όμως σε κάποιες άλλες. Με το πέρασμα των αιώνων (19^{ου}-20^{ου}) έγινε γνωστό ότι τα περισσότερα κύτταρα είναι σε επαφή με το μεσοκυττάριο υγρό. Το μεσοκυττάριο υγρό είναι σε κατάσταση συνεχούς ροής νερού και διαλυμένων ουσιών όπως ιόντα και αέρια, από το ενδοκυττάριο υγρό και το αίμα στα τριχοειδή αγγεία (βλ. Σχήμα 1.3).

Με προσεκτική παρατήρηση διαπιστώθηκε ότι φυσιολογικές παράμετροι στον άνθρωπο όπως η πίεση, η θερμοκρασία σώματος και παράγοντες του αίματος όπως για παράδειγμα οξυγόνο, γλυκόζη και ιόντα νατρίου διατηρούνται σχετικά σταθερά, κυμαινόμενα μέσα σε προβλεπόμενα όρια. Αυτό συμβαίνει άσχετα με το αν οι εξωτερικές συνθήκες αλλάζουν. Έτσι ο Γάλλος φυσιολόγος Claude Bernard πρώτος περιέγραψε με σαφήνεια την κομβική σημασία του σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος που είναι προαπαιτούμενο για την καλή υγεία του ανθρώπου, κάτι που στην συνέχεια όπως τόνισε και ένας αμερικανός φυσιολόγος, ο Walter B. Cannon, λέγεται *ομοιόσταση*.

Αρχικά, η **ομοιόσταση** ορίστηκε ως η κατάσταση μιας σχετικής ισορροπίας μεταξύ φυσιολογικών παραμέτρων. Όμως ένας τέτοιος ορισμός δεν μπορεί να περιγράψει πλήρως την ομοιόσταση. Πιθανότατα δεν υπάρχει παράμετρος που να διατηρείται σταθερή για μεγάλες χρονικές περιόδους. Μάλιστα μερικές παράμετροι μπορεί να έχουν μεγάλο εύρος διακύμανσης γύρω από τη μέση τιμή σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, και παρόλα αυτά να θεωρείται ότι είναι σε ισορροπία. Αυτό συμβαίνει γιατί η ομοιόσταση είναι μια *δυναμική* και όχι στατική διαδικασία. Για παράδειγμα ας δούμε τη διακύμανση της γλυκόζης κατά τη διάρκεια της μέρας (Σχήμα 1.4). Μετά από ένα γεύμα, οι υδατάνθρακες των τροφών διασπώνται στον εντερικό σωλήνα σε μόρια γλυκόζης, τα οποία στην συνέχεια απορροφούνται από το εντερικό επιθήλιο και ελευθερώνονται μέσα στο αίμα. Συνεπώς, η συγκέντρωση της γλυκόζης μέσα στο αίμα αυξάνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά το γεύμα. Είναι φανερό ότι τέτοια μεγάλη αλλαγή στη συγκέντρωση της γλυκόζης δεν είναι συμβατή με την έννοια του σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος. Αυτό όμως που είναι σημαντικό είναι ότι με το που θα αυξηθεί η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα, οι ομοιοστατικοί μηχανισμοί θα την επαναφέρουν σε επίπεδα που ήταν πριν το γεύμα. Ωστόσο, αυτοί οι ομοιοστατικοί μηχανισμοί δεν αλλάζουν σημαντικά την συγκέντρωση σε αντίθετη κατεύθυνση, που σημαίνει ότι η γλυκόζη του αίματος συνήθως δεν μειώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτό που ήταν πριν το γεύμα ή τουλάχιστον όχι σημαντικά. Στην περίπτωση της γλυκόζης το ενδοκρινικό σύστημα είναι το κύριο σύστημα που ρυθμίζει τη συγκέντρωσή της, αλλά υπάρχουν και άλλα συστήματα που διεγείρονται και ρυθμίζουν άλλες διαδικασίες. Σε επόμενα κεφάλαια θα εξετάσουμε πως κάθε όργανο και ιστός



Σχήμα 1.4 Αλλαγές στη συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα κατά την διάρκεια ενός τυπικού 24ώρου. Παρατηρείστε ότι αυξάνει η συγκέντρωση της γλυκόζης μετά από κάθε γεύμα, περισσότερο μετά από μεγάλα γεύματα, και στη συνέχεια σε μικρό χρονικό διάστημα επιστρέφει σε επίπεδα προγεύματος. Το άτομο που παρουσιάζεται εδώ μπορεί να ρυθμίσει ομοιοστατικά τα επίπεδα της γλυκόζης στο αίμα παρά το γεγονός ότι η συγκέντρωση της γλυκόζης ποικίλει σημαντικά κατά τη διάρκεια της ημέρας.

του σώματος συμβάλλει στην ομοιόσταση και μερικές φορές μάλιστα με διαφορετικό τρόπο και σε συνεργασία μεταξύ τους.

Η ομοιόσταση δεν προϋποθέτει ότι μια φυσιολογική παράμετρος ή λειτουργία είναι αυστηρά σταθερή σε σχέση με τον χρόνο, αλλά μπορεί να διακυμαίνεται μέσα σε στενά προβλεπόμενα όρια. Όταν διαταράσσεται όμως προς τα πάνω ή κάτω του εύρους τότε επαναφέρεται σε φυσιολογικά όρια.

Τι εννοούμε όταν λέμε ότι κάτι κυμαίνεται σε φυσιολογικό εύρος τιμών; Αυτό εξαρτάται από τι καταγράφουμε. Αν μετράται το οξυγόνο στο αίμα ενός υγιούς ανθρώπου που αναπνέει φυσιολογικό αέρα σε επίπεδο θαλάσσης, τότε δεν αλλάζει σχεδόν καθόλου στη διάρκεια όλης της μέρας, ακόμα και αν το άτομο γυμνάζεται. Τότε λέγεται ότι το σύστημα ελέγχει την παράμετρο αυστηρά και δείχνει πολύ μικρή διακύμανση γύρω από τον μέση τιμή. Έχουμε δει ότι η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα διακυμαίνεται αρκετά κατά την διάρκεια της ημέρας. Ωστόσο, εάν υπολογισθεί ο ημερήσιος μέσος όρος συγκέντρωσης γλυκόζης στο αίμα στο ίδιο άτομο για αρκετές συνεχόμενες μέρες, τότε θα δούμε ότι είναι προβλέψιμη η συγκέντρωση της γλυκόζης για μια τυχαία μέρα ακόμα και σε τυχαία μέρα μέσα στον χρόνο. Δηλαδή μπορεί να έχουμε σημαντική διακύμανση της συγκέντρωσης της γλυκόζης στο αίμα για μικρή περίοδο χρόνου αλλά μικρότερη διακύμανση για μεγάλες περιόδους χρόνου. Αυτό οδήγησε στην έννοια ότι η ομοιόσταση είναι μια κατάσταση **δυναμικής σταθερότητας**. Σε μια τέτοια κατάσταση η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα μπορεί να ποικίλει μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα αλλά είναι σταθερή όταν υπολογίζεται ο μέσος όρος μεγάλου χρονικού διαστήματος.

Πρέπει να καταλάβουμε ότι ένα άτομο μπορεί να διατηρεί την ομοιόσταση για μία παράμετρο αλλά όχι για κάποια άλλη. Επομένως, η ομοιόσταση θα πρέπει να οριστεί διαφορετικά για κάθε παράμετρο. Για παράδειγμα, η συγκέντρωση ιόντων νατρίου στο αίμα είναι σε ομοιόσταση όταν διατηρείται με μικρή ποσοστιαία απόκλιση από το μέσο όρο. Όμως ένα άτομο μπορεί να έχει την συγκέντρωση του νατρίου σε ομοιόσταση αλλά να υποφέρει από άλλες διαταραχές όπως υψηλή μη φυσιολογική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα, που μπορεί να είναι και θανάσιμη, σαν αποτέλεσμα κάποιας ασθένειας στον πνεύμονα. Αυτό είναι ένα παράδειγμα ανάμεσα σε πολλά μιας

μη ομοιοστατικής ρύθμισης μιας παραμέτρου που μπορεί να είναι επικίνδυνη για τη ζωή. Πολύ συχνά όταν μια παράμετρος είναι εκτός ισορροπίας μπορεί να προκαλέσει και άλλες παραμέτρους να αποκλίνουν από την κατάσταση ομοιόστασής τους. Για παράδειγμα, όταν κάποιος κάνει παρατεταμένη άσκηση και αρχίζει να ζεσταίνεται αρχίζει και να ιδρώνει για να βοηθηθεί να διατηρήσει την ομοιότητα στην θερμοκρασία του σώματος. Αυτό είναι σημαντικό γιατί πολλά κύτταρα (νευρικά κύτταρα κυρίως) δυσλειτουργούν όταν αυξηθεί η θερμοκρασία. Ωστόσο το νερό που χάνεται με τον ιδρώτα δημιουργεί μια κατάσταση κατά την οποία η ομοιότητα του νερού σώματος διαταράσσεται. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι αν όλα τα κύρια συστήματα του ανθρώπου λειτουργούν για την ομοιοστατική κατάσταση του οργανισμού τότε το άτομο είναι σε καλή υγεία. Κάποια συγκεκριμένα είδη ασθενειών, στην πραγματικότητα μπορεί να ορισθούν σαν απώλεια της ομοιότητας ενός ή περισσότερων συστημάτων. Για να εμπλουτίσουμε λοιπόν τον ορισμό της φυσιολογίας, μπορούμε να πούμε ότι όταν διατηρείται ομοιότητα αναφερόμαστε στην φυσιολογία ενώ, όταν δεν διατηρείται τότε αναφερόμαστε στην παθοφυσιολογία.

1.5 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΜΟΙΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η δραστηριότητα των κυττάρων, των ιστών και των οργάνων πρέπει να ρυθμίζεται και να ολοκληρώνεται κατά τέτοιο τρόπο στον οργανισμό, ώστε οποιαδήποτε αλλαγή του εξωκυττάρου υγρού να θέτει σε κίνηση μηχανισμούς που αντιδρούν και ελαχιστοποιούν αυτήν την αλλαγή. Οι αντισταθμιστικές αποκρίσεις επιτελούνται από τα **συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου του οργανισμού**.

Ας εξετάσουμε, για παράδειγμα, τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στο σώμα ενός άνδρα που είναι ελαφρά ντυμένος και βρίσκεται σε ένα δωμάτιο με θερμοκρασία 20°C και μέτρια υγρασία. Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος του δοκιμαζόμενου είναι 37°C, επομένως ο δοκιμαζόμενος αποβάλλει διαρκώς θερμότητα προς το χαμηλότερης θερμοκρασίας εξωτερικό περιβάλλον. Ωστόσο, η θερμότητα που παράγεται από τις χημικές αντιδράσεις στο εσωτερικό των κυττάρων του δοκιμαζόμενου, είναι ίση σε ποσότητα και ρυθμό παραγωγής με τη θερμότητα που χάνεται. Κάτω από τέτοιες συνθήκες το σώμα δεν έχει ούτε καθαρές απώλειες, ούτε καθαρά κέρδη σε θερμότητα με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του σώματος να παραμένει σταθερή. Σε μια τέτοια περίπτωση το σύστημα βρίσκεται σε **κατάσταση ισοστάθμισης**. Ως ισοσταθμισμένη ορίζεται μια κατάσταση στην οποία μια συγκεκριμένη παράμετρος (η θερμοκρασία του σώματος, εδώ) διατηρείται αμετάβλητη, χάρη στη διαρκή προσθήκη ενέργειας (εν προκειμένου, θερμότητας). (Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατάσταση ισοστάθμισης δεν ταυτίζεται με την **κατάσταση ισορροπίας**, καθώς στην τελευταία διατηρείται μεν αμετάβλητη κάποια παράμετρος, αλλά αυτό δεν απαιτεί την προσθήκη ενέργειας στο σύστημα). Στο παραπάνω παράδειγμα, η θερμοκρασία σε κατάσταση ισοστάθμισης ονομάζεται **λειτουργικό σημείο**, του θερμορυθμιστικού συστήματος.

Το παράδειγμα αυτό δείχνει μια σημαντική γενική αρχή της ομοιότητας, δηλαδή, ότι η σταθερότητα μιας παραμέτρου του εσωτερικού περιβάλλοντος επιτυγχάνεται

όταν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ εισερχομένων και εξερχομένων μεγεθών. Σε μια τέτοια περίπτωση, η παράμετρος (η θερμοκρασία του σώματος) παραμένει αμετάβλητη, επειδή η θερμότητα που παράγεται από το μεταβολισμό (εισερχόμενο μέγεθος ή έσοδο) είναι ίση με τη θερμότητα που χάνεται από το σώμα (εξερχόμενο μέγεθος ή έξοδο).

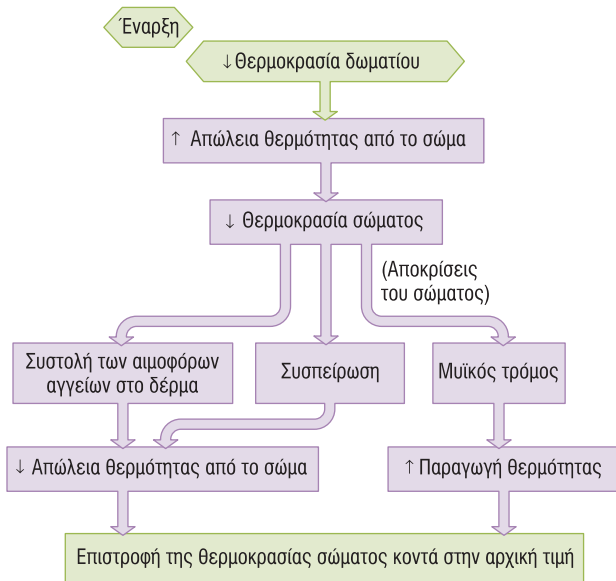
Ας υποθέσουμε τώρα, ότι η θερμοκρασία στο δωμάτιο του δοκιμαζόμενου πέφτει στους 5°C και διατηρείται σε αυτή την τιμή. Μια τέτοια μεταβολή προκαλεί άμεση αύξηση των απωλειών θερμότητας από το θερμό δέρμα του δοκιμαζόμενου και επομένως διαταράσσεται η δυναμική ισορροπία ανάμεσα στα θερμικά έσοδα και τα θερμικά έξοδα. Θα αρχίσει, επομένως, να πέφτει και η θερμοκρασία του σώματος. Πολύ γρήγορα, πάντως, ενεργοποιούνται οι ομοιοστατικοί μηχανισμοί που παρουσιάζονται στο **Σχήμα 1.5** και περιορίζουν αυτήν την πτώση. Οι αναγνώστες καλούνται να μελετήσουν προσεκτικά το Σχήμα 1.5, καθώς αποτελεί τυπικό παράδειγμα οργανογράμματος ενός ομοιοστατικού συστήματος και θα συναντάται συχνά από εδώ και στο εξής. Επιπλέον, στην επεξήγηση του Σχήματος περιγράφονται οι ιδιαίτεροι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα οργανογράμματα.

Στο παράδειγμά μας, η πρώτη ομοιοστατική απόκριση είναι η συστολή των αιμοφόρων αγγείων του δέρματος, γεγονός που μειώνει τη ροή του θερμού αίματος στο δέρμα κι επομένως μειώνει τις απώλειες θερμότητας. Όταν η θερμοκρασία δωματίου, πάντως, είναι μόλις 5°C, η συστολή των αιμοφόρων αγγείων δεν αρκεί από μόνη της για να εκμηδενίσει την πρόσθετη ποσότητα θερμότητας που χάνεται μέσω του δέρματος. Ο δοκιμαζόμενος του παραδείγματος συσπειρώνεται προκειμένου να μειώσει τη διαθέσιμη επιφάνεια μέσω της οποίας χάνεται η θερμότητα. Αυτό βοηθά σε κάποιο βαθμό, αλλά η ποσότητα θερμότητας που χάνεται εξακολουθεί να είναι σημαντική με αποτέλεσμα να εξακολουθεί να πέφτει η θερμοκρασία στο σώμα, αν και η πτώση τώρα επιτελείται με μικρότερο ρυθμό. Επομένως, η μόνη διέξοδος για να αποκατασταθεί το ισοζύγιο θερμικών εσόδων και εξόδων είναι να αυξηθούν τα έσοδα. Και πραγματικά αυτό ακριβώς συμβαίνει. Ο δοκιμαζόμενος αρχίζει να τρέμει με αποτέλεσμα να παράγονται μεγάλες ποσότητες θερμότητας από τις χημικές αντιδράσεις που υποστηρίζουν τις συστολές των σκελετικών μυών κατά τον μυϊκό τρόπο.

Συστήματα ανατροφοδότησης

Το θερμορυθμιστικό σύστημα που μόλις περιγράφηκε αποτελεί ένα κλασικό παράδειγμα **συστήματος αρνητικής ανατροφοδότησης**, στο οποίο οι αλλαγές (αυξήσεις ή μειώσεις) της ρυθμιζόμενης παραμέτρου προκαλούν αποκρίσεις που κινούν την παράμετρο σε αντίθετη, «αρνητική», κατεύθυνση από εκείνη της αρχικής αλλαγής. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η πτώση της θερμοκρασίας σώματος οδηγεί σε αποκρίσεις που τείνουν να προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας σώματος, με άλλα λόγια, τείνουν να μετακινήσουν την παράμετρο προς την αρχική της τιμή.

Χωρίς την αρνητική ανατροφοδότηση αποκλίσεις σαν και αυτές που αναφέρθηκαν προηγούμενα στο κεφάλαιο θα ήταν πολύ μεγαλύτερες και συνεπώς θα αυξανόταν η διακύμανση σε ένα σύστημα. Επίσης, η αρνητική ανατροφοδότηση προλαμβάνει την απώλεια της ομοιότητας με



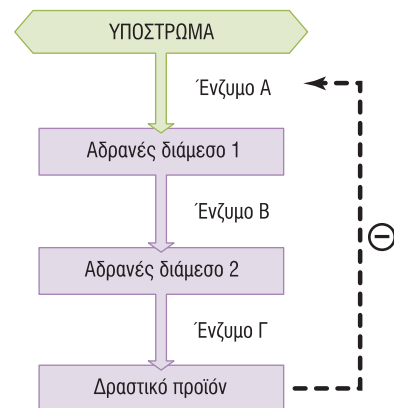
Σχήμα 1.5 Οργανόγραμμα του συστήματος ομοιοστατικού ελέγχου για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος σε σχετικά σταθερή τιμή, ενώ ελαττώνεται η θερμοκρασία δωματίου. Η παρουσίαση των συστημάτων ομοιοστατικού ελέγχου θα γίνετε στο εξής με παρόμοιο διαγραμματικό τρόπο και επομένως καλό θα ήταν να διευκρινιστούν τώρα ορισμένες ενδείξεις. Η ένδειξη «έναρξη» δηλώνει το σημείο αφετηρίας της διαδικασίας. Τα βέλη δίπλα σε κάθε όρο δηλώνουν αύξηση ή μείωση. Τα λευκά βέλη που συνδέουν δύο επιμέρους τμήματα του οργανογράμματος δηλώνουν ότι η σχέση μεταξύ των τμημάτων είναι σχέση αίτιου-αποτελέσματος, με άλλα λόγια ένα βέλος μπορεί να αντικατασταθεί με τη λέξη «προκαλεί» ή «οδηγεί» (για παράδειγμα, η μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος «προκαλεί» αύξηση της απώλειας θερμότητας από το σώμα). Γενικά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι για να είναι ακριβής η περιγραφή παρόμοιων αιτιακών σχέσεων θα πρέπει το ρήμα «προκαλεί» να αντικατασταθεί με τη φράση «τείνει να προκαλέσει». Για παράδειγμα «η μείωση της θερμοκρασίας δωματίου τείνει να προκαλέσει αύξηση της απώλειας θερμότητας από το σώμα» ή «η συσπείρωση του σώματος τείνει να προκαλέσει μείωση της απώλειας θερμότητας από το σώμα». Η προσθήκη τέτοιων προσήμων στην περιγραφή της αιτιακής σχέσης είναι απαραίτητη, επειδή ορισμένες παράμετροι, όπως η παραγωγή ή απώλεια θερμότητας, επηρεάζονται από πολλούς και ενίοτε αλληλοαναιρούμενους παράγοντες.

συνεχείς αντισταθμίσεις. Λεπτομέρειες μηχανισμών και χαρακτηριστικών της αρνητικής ανατροφοδότησης στα διάφορα συστήματα θα συζητηθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί η ζωτική σημασία της αρνητικής ανατροφοδότησης στην ισορροπία των περισσότερων φυσιολογικών παραμέτρων.

Η αρνητική ανατροφοδότηση μπορεί να πραγματοποιείται σε ένα όργανο, κύτταρο ή σε μοριακό επίπεδο. Για παράδειγμα, η αρνητική ανατροφοδότηση είναι αυτή που ρυθμίζει πολλές ενζυματικές αντιδράσεις, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.6**. (Ένα ένζυμο, που είναι μια πρωτεΐνη, καταλύει χημικές αντιδράσεις). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το τελικό προϊόν, που σχηματίστηκε από αυτό το υπόστρωμα με τη βοήθεια ενός ενζύμου, τώρα δρα αρνητικά και αναστέλλει κάθε επόμενη δράση του ενζύμου. Αυτό μπορεί να συμβεί σε πολλές διαδικασίες, όπως η χημική τροποποίηση του ενζύμου από το προϊόν μιας αντίδρασης. Η παραγωγή τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) μέσα στα κύτταρα είναι ένα καλό παράδειγμα μιας χημικής διαδικασίας που ρυθμίζεται με αρνητική ανατροφοδότηση. Συνήθως, η διά-

σπαση των μορίων γλυκόζης γίνεται ενζυματικά μέσα στα κύτταρα για να ελευθερωθεί ένα μέρος της χημικής ενέργειας που περικλείεται μέσα στους δεσμούς του μορίου. Αυτή η ενέργεια στη συνέχεια αποθηκεύεται μέσα στους δεσμούς του ATP, και είναι αυτή η ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί από τα κύτταρα για να γίνει η μυϊκή συστολή, η έκκριση κυττάρων, και η μεταφορά μορίων διαμέσου της μεμβράνης. Ωστόσο, καθώς το ATP συσσωρεύεται στα κύτταρα, αυτό το ίδιο απαγορεύει την δραστηριότητα κάποιων ενζύμων που συμμετέχουν στη διάσπαση της γλυκόζης. Συνεπώς, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση ATP μέσα στο κύτταρο, μειώνεται ο ρυθμός παραγωγής του ATP και αυτό οφείλεται στην αρνητική ανατροφοδότηση. Αντίθετα αν η συγκέντρωση ATP μέσα στο κύτταρο μειωθεί, αποσύρεται η αρνητική ανατροφοδότηση και περισσότερη γλυκόζη διασπάται έτσι ώστε να σχηματιστεί και άλλο ATP.

Η συντριπτική πλειοψηφία των ομοιοστατικών μηχανισμών που συναντώνται στο σώμα είναι συστήματα ελέγχου αρνητικής ανατροφοδότησης, αλλά υπάρχει και μια άλλη μορφή ανατροφοδοτικού μηχανισμού, η **θετική ανατροφοδότηση**. Σε αυτήν, η απόκλιση της παραμέτρου από την αρχική τιμή ενεργοποιεί ακολουθίες γεγονότων που αυξάνουν την απόκλιση της ακόμη περισσότερο. Στην φύση η θετική ανατροφοδότηση δεν είναι τόσο συνηθισμένη. Ωστόσο έχουμε παραδείγματα στην φυσιολογία όπου η θετική ανατροφοδότηση είναι πολύ σημαντική. Ένα καλό παράδειγμα που θα μάθουμε σχετικά στο Κεφάλαιο 17, είναι η διαδικασία του τοκετού. Καθώς οι μύες της μήτρας συσπώνται και το κεφάλι του μωρού πιέζεται στον τράχηλο της μήτρας της μητέρας κατά την διάρκεια του τοκετού, σήματα μεταφέρονται με νευρώνες από τον τράχηλο στο εγκέφαλο της μητέρας. Ο εγκέφαλος ξεκινά να εκκρίνει στο αίμα ένα μόριο, από την υπόφυση του εγκεφάλου της μητέρας, που λέγεται ωκυτοκίνη. Η ωκυ-



Σχήμα 1.6 Υποθετικό παράδειγμα αρνητικής ανατροφοδότησης (όπως σημειώνεται και με το πρόσημο μέσα στο κύκλο και τη διακεκομμένη γραμμή) που συμβαίνει μετά από μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Αναστέλλοντας τη δραστηριότητα του πρώτου ενζύμου που σχετίζεται με την παραγωγή του προϊόντος, αυτό το προϊόν μπορεί να ρυθμίζει το ρυθμό της δικής του παραγωγής.

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

- Ποιό θα είναι το αποτέλεσμα αν αφαιρεθεί η αρνητική ανατροφοδότηση από το παράδειγμα;

Η απάντηση υπάρχει στο τέλος του κεφαλαίου.

τοκίνη είναι πολύ ισχυρό διεγερτικό και προκαλεί επιπλέον συσπάσεις της μήτρας. Καθώς η μήτρα συσπάται ισχυρότερα, τόσο περισσότερο το κεφάλι του μωρού πιέζει τον τράχηλο της μήτρας, προκαλώντας μεγαλύτερη διάτασή του τραχήλου. Αυτό στέλνει πρόσθετα μηνύματα στον εγκέφαλο της μητέρας που σαν αποτέλεσμα έχει να εκκρίνεται και άλλη ωκυτοκίνη, και αυτό συνεχίζεται μέχρι τελικά το μωρό να περάσει μέσα από τον τράχηλο της μητέρας και να γεννηθεί.

Επανατοποθέτηση λειτουργικού σημείου

Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, οι διακυμάνσεις των εξωτερικών συνθηκών μπορούν να μετατοπίσουν μια παράμετρο από το λειτουργικό της σημείο. Επιπλέον, το λειτουργικό σημείο πολλών ρυθμιζόμενων παραμέτρων μπορεί να μετατεθεί φυσιολογικά ή ακόμη και να επανατοποθετηθεί σε νέα τιμή. Ένα κοινό παράδειγμα είναι ο πυρετός, η αύξηση δηλαδή της θερμοκρασίας του σώματος κατά την απόκριση του οργανισμού σε μια λοίμωξη. Ως φαινόμενο, ο πυρετός μοιάζει με αυτό που συμβαίνει όταν ανεβάζουμε το θερμοστάτη στο σπίτι μας. Στον πυρετό, το θερμορυθμιστικό σύστημα του σώματος εξακολουθεί να λειτουργεί, αλλά διατηρεί τη θερμοκρασία σε μια ανώτερη λειτουργική τιμή από το φυσιολογικό της σημείο. Αυτή η ρυθμιζόμενη αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος αποτελεί έναν προσαρμοστικό μηχανισμό καταπολέμησης της λοίμωξης επειδή, η αυξημένη θερμοκρασία αναστέλλει τον πολλαπλασιασμό μερικών βακτηρίων. Στην πραγματικότητα γι αυτό συνήθως οι κρυάδες και ο μυϊκός τρόμος προηγείται του πυρετού. Το λειτουργικό σημείο της θερμοκρασίας του σώματος επανατοποθετείται σε υψηλότερες τιμές και ο οργανισμός πια προκαλεί τον μυϊκό τρόπο για να δημιουργήσει θερμότητα.

Τα παραδείγματα του πυρετού ίσως να δημιουργεί την εντύπωση ότι επανατοποθέτηση του μέσου λειτουργικού σημείου μιας παραμέτρου μπορεί να συμβεί μόνο ως απόκριση έναντι κάποιου εξωτερικού ερεθίσματος, όπως για παράδειγμα είναι τα παθογόνα. Αλλά τα πράγματα δεν είναι έτσι. Όπως θα φανεί και σε μια από τις επόμενες παραγράφους, το λειτουργικό σημείο πολλών ρυθμιζόμενων παραμέτρων μεταβάλλεται περιοδικά σε ημερήσια βάση. Για παράδειγμα, η μέση λειτουργική τιμή της θερμοκρασίας του σώματος είναι υψηλότερη την ημέρα, σε σχέση με τη νύχτα.

Παρόλο που η επανατοποθέτηση του λειτουργικού συστήματος είναι προσαρμοστική σε μερικές περιπτώσεις, σε άλλες απλά αντικατοπτρίζει τις αντικρουόμενες απαιτήσεις των διαφόρων ρυθμιστικών συστημάτων. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μια άλλη γενική αρχή. Ένα σύστημα ομοιοστατικού ελέγχου δεν μπορεί να διατηρεί συνεχώς το σύνολο των παραμέτρων σε σχετική σταθερότητα. Στο παράδειγμα με τη θερμορύθμιση, η θερμοκρασία του σώματος παρέμεινε μεν σχετικά σταθερή, αλλά αυτό συνέβη, επειδή επήλθαν μεγάλες μεταβολές από το θερμορυθμιστικό ομοιοστατικό σύστημα στην αιμάτωση του δέρματος και την ενεργοποίηση των σκελετικών μυών. Επιπλέον, επειδή οι παράμετροι του εσωτερικού περιβάλλοντος που αλληλοσυνδέονται, και μάλιστα στενά, είναι πολλές, μπορεί συχνά να διατηρείται μια ιδιότητα σχετικά σταθερή, με ταυτόχρονη απομάκρυνση κάποιων άλλων από το δικό τους μέσο επίπεδο λειτουργίας.

Αυτή ήταν η έννοια της έκφρασης ανταγωνιστικές ανάγκες που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως και εξηγεί το φαινόμενο που αναφέρθηκε νωρίτερα σχετικά με θερμοκρασία του σώματος και την ισορροπία υγρών στο σώμα κατά την άσκηση.

Οι γενικές αρχές που διατυπώθηκαν μέχρι στιγμής συνοψίζονται στον **Πίνακα 1.2**. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί, ότι, όπως φάνηκε και κατά τη θερμορύθμιση, μια και μόνο μεταβλητή μπορεί να ελέγχεται ταυτόχρονα από πολλά συστήματα. Η προσαρμοστική αξία αυτού του λειτουργικού πλεονασμού είναι μεγάλη και έγκειται στο ότι επιτρέπει, αφενός, ακριβέστερες ρυθμίσεις μιας κομβικής παραμέτρου, αφετέρου εγγυάται, ότι η απαιτούμενη ρύθμιση επί της κομβικής παραμέτρου θα επιτευχστεί, ακόμη και όταν, εξαιτίας μιας ασθένειας, δεν λειτουργεί σωστά κάποιο από τα επιμέρους συστήματα.

Προτροφοδοτική ρύθμιση

Η *προκαταβολική τροφοδότηση* είναι ένα άλλο είδος ρυθμιστικού μηχανισμού (προτροφοδοτική ρύθμιση) που πολλές φορές χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα συστήματα αρνητικής ανατροφοδότησης. Πριν οριστεί το φαινόμενο, όμως, ας δούμε ένα παράδειγμα προτροφοδότησης. Οι ειδικοί θερμοευαίσθητοι νευρώνες που βρίσκονται στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος καταγράφουν τη σωματική θερμοκρασία και σε περίπτωση πτώσης της, εκκινούν κατάλληλους ομοιοστατικούς μηχανισμούς αρνητικής ανατροφοδότησης. Επιπλέον, υπάρχει στο δέρμα μια δεύτερη ομάδα θερμοευαίσθητων αισθητήριων νευρώνων, οι οποίοι ουσιαστικά καταγράφουν την εξωτερική θερμοκρασία, με άλλα λόγια τη

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2

Γενικές αρχές των συστημάτων ομοιοστατικού ελέγχου

Η σταθερότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος επιτυγχάνεται με την εξισορρόπηση εισερχομένων και εξερχομένων μεγεθών. Σημασία δεν έχει η απόλυτη τιμή της εκάστοτε εισόδου και εξόδου, αλλά η ισορροπία μεταξύ τους.

Σε ένα σύστημα ελέγχου αρνητικής ανατροφοδότησης, η απόκλιση της ρυθμιζόμενης παραμέτρου από το λειτουργικό σημείο επιφέρει αποκρίσεις, οι οποίες αντιδρούν σε περαιτέρω απόκλιση της παραμέτρου και τείνουν να την επαναφέρουν στην αρχική της τιμή.

Στα συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου, καμία παράμετρος του εσωτερικού περιβάλλοντος δεν είναι δυνατό να διατηρηθεί εντελώς σταθερή. Αυτό σημαίνει ότι, οι τιμές που παίρνει μια ρυθμιζόμενη παράμετρος του εσωτερικού περιβάλλοντος αποκλίνουν γύρω από το λειτουργικό επίπεδο. Το μέγεθος της απόκλισης εξαρτάται από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Το ελεγχόμενο, από τα συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου, λειτουργικό σημείο ορισμένων παραμέτρων είναι δυνατόν να επανατοποθετηθεί εκ νέου, δηλαδή να αυξηθεί ή να μειωθεί φυσιολογικά.

Ένα σύστημα ομοιοστατικού ελέγχου δεν μπορεί πάντα να διατηρεί σε σχετικά σταθερές τιμές το σύνολο των ρυθμιζόμενων παραμέτρων σαν απάντηση στην περιβαλλοντική πρόκληση. Υπάρχει διαβάθμιση προτεραιοτήτων, κατά τις οποίες είναι πιθανό να αλλάξει σημαντικά η τιμή μιας παραμέτρου, προκειμένου να διατηρηθεί σχετικά σταθερή η τιμή κάποιας άλλης σημαντικότερης.

θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αν πέσει η εξωτερική θερμοκρασία, όπως συνέβη στο θάλαμο με το δοκιμαζόμενο, οι δερματικοί αισθητήριοι νευρώνες καταγράφουν αμέσως τη μεταβολή αυτή και μεταδίδουν την πληροφορία στο κεντρικό νευρικό σύστημα, το οποίο στη συνέχεια στέλνει εντολές προς τα αιμοφόρα αγγεία και τους μυς προκαλώντας εξοικονόμηση θερμότητας αλλά και αύξηση της παραγωγής της. Με τον τρόπο αυτό, οι θερμορρυθμιστικοί μηχανισμοί ενεργοποιούνται προκαταβολικά, δηλαδή πριν η πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας προκαλέσει πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Ένα άλλο οικείο παράδειγμα είναι η μυρωδιά φαγητού που ερεθίζει τους αισθητήρες όσφρησης της μύτης και προκαλεί διέγερση νευρώνων προς τα κύτταρα του πεπτικού συστήματος. Το αποτέλεσμα είναι να προετοιμαστεί το πεπτικό σύστημα για την πέψη πριν ακόμα γίνει κατάποση της τροφής, όπως η έκκριση σάλιου στο στόμα και οξέων στο στομάχι. Έτσι, με αυτήν την **προκαταβολική τροφοδότηση** προλαμβάνεται η μεταβολή μιας ρυθμιζόμενης παραμέτρου (όπως η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος), βελτιώνεται η ταχύτητα των ομοιοστατικών αντιδράσεων του σώματος και ελαχιστοποιούνται οι διακυμάνσεις της ρυθμιζόμενης παραμέτρου, δηλαδή μειώνονται οι αποκλίσεις από το εκάστοτε λειτουργικό σημείο.

Στο προηγούμενο παράδειγμα, ο προτροφοδοτικός μηχανισμός χρησιμοποιεί ένα σύνολο αισθητήρων που ανιχνεύουν τις μεταβολές του εξωτερικού ή εσωτερικού περιβάλλοντος. Είναι πολύ πιθανό πάντως, πολλοί από τους προτροφοδοτικούς μηχανισμούς να είναι αποτέλεσμα ενός άλλου φαινομένου, της μάθησης. Προφανώς, οι διακυμάνσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος κατά τα πρώτα στάδια της εξωμήτριας ζωής προκαλούν μεγάλες μεταβολές στις ρυθμιζόμενες παραμέτρους του εσωτερικού περιβάλλοντος. Έτσι, κατά την απόκριση του οργανισμού, το νευρικό σύστημα μαθαίνει να αναμένει αυτές τις μεταβολές και να τις αντισταθμίζει προκαταβολικά και αποτελεσματικότερα. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι η αύξηση της καρδιακής συχνότητας που γίνεται στον αθλητή πριν ο αγώνας αρχίσει.

1.6 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΜΟΙΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Αντανακλαστικά

Τόσο το σύστημα θερμορρύθμισης που περιγράφηκε προηγουμένως, όσο και πολλά άλλα συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου ανήκουν στη γενική κατηγορία απόκρισης των **αντανακλαστικών**, δηλαδή σε μια ιδιαίτερη αλληλουχία γεγονότων ανάμεσα στο ερέθισμα και την απόκριση. Σε ορισμένα αντανακλαστικά έχουμε συνείδηση του ερεθίσματος ή/και της απόκρισης, ενώ σε πολλά άλλα η ρύθμιση του εσωτερικού περιβάλλοντος συμβαίνει χωρίς να επιτελείται συνειδητή αντίληψη.

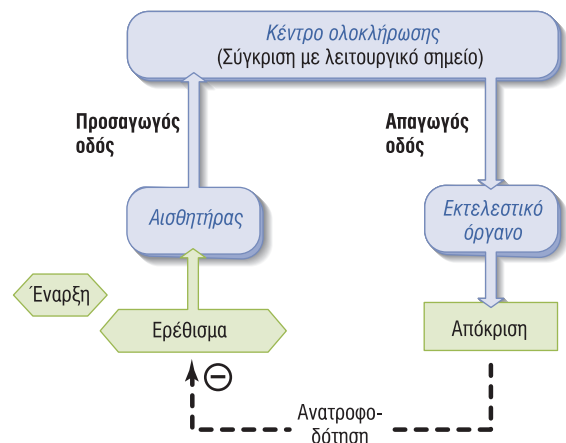
Με τη στενότερη σημασία του όρου, **αντανακλαστικό** είναι μια ακούσια, απροσχεδίαστη, αμάθητη και εγγεγραμμένη αντίδραση του οργανισμού έναντι ενός συγκεκριμένου ερεθίσματος. Κλασικά παραδείγματα τέτοιων αντανακλαστικών είναι η απότομη απόσυρση του χεριού όταν έρθει σε επαφή με ένα θερμό αντικείμενο, ή το κλείσιμο των βλεφάρων όταν ένα αντικείμενο προσεγγίζει το πρόσωπο

με υψηλή ταχύτητα. Υπάρχουν πάντως, και πολλές άλλες αποκρίσεις που εκ πρώτης όψεως φαίνεται να είναι αυτόματες και στερεότυπες, αλλά στην πραγματικότητα οφείλονται στη μάθηση και την εξάσκηση. Ας εξετάσουμε για παράδειγμα τις περίπλοκες κινήσεις που κάνει ένας πεπειραμένος οδηγός κατά την οδήγηση. Για τον ίδιο τον οδηγό, οι κινήσεις αυτές είναι εν μέρει αυτόματες, στερεότυπες και απροσχεδίαστες, αλλά ουσιαστικά υπάρχουν επειδή έχει δαπανηθεί σημαντικός χρόνος και προσπάθεια για την εκμάθησή τους. Τέτοιου είδους αντανακλαστικά ονομάζονται **επίκτητα ή μαθημένα**. Γενικά μπορεί να πει κανείς ότι, όλα τα αντανακλαστικά, όσο βασικά ή περίπλοκα κι αν φαίνονται, μπορούν να μεταβληθούν με τη μάθηση.

Η οδός επί της οποίας επιτελείται το αντανακλαστικό λέγεται **αντανακλαστικό τόξο** και τα διάφορα επιμέρους τμήματά της παρουσιάζονται στο **Σχήμα 1.7**. Ως **ερέθισμα** ορίζεται οποιαδήποτε ανιχνεύσιμη μεταβολή του εσωτερικού ή του εξωτερικού περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα, η μεταβολή της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης καλίου στο πλάσμα, ή της πίεσης του αίματος. Ως **υποδοχέας** ή **αισθητήρας** ορίζεται το κύτταρο ή το όργανο που ανιχνεύει την μεταβολή του περιβάλλοντος. Το ερέθισμα επενεργεί στον αισθητήριο υποδοχέα, προκαλώντας ένα σήμα, το οποίο άγεται σε ένα **κέντρο ολοκλήρωσης**. Η οδός που διανύει το σήμα από τον αισθητήριο υποδοχέα προς το κέντρο ολοκλήρωσης λέγεται **κεντρομόλος οδός** ή **προσαγωγός** (η οδός που προσάγει τα σήματα στα ανώτερα κέντρα ολοκλήρωσης).

Συχνά, ένα κέντρο ολοκλήρωσης λαμβάνει σήματα από πολλούς αισθητήρες, κάποιιοι από τους οποίους μπορεί να αποκρίνονται σε διαφορετικά είδη ερεθισμάτων. Επομένως, το εξερχόμενο σήμα του κέντρου ολοκλήρωσης θα πρέπει να αντανακλά τη συνισταμένη όλων των αισθητηριακών εισερχόμενων σημάτων, δηλαδή να αντιπροσωπεύει την ολοκλήρωση πολλών βασικών μονάδων πληροφορίας.

Το εξερχόμενο σήμα (ή σήματα) του κέντρου ολοκλήρωσης στέλνεται στο τελευταίο τμήμα του συστήματος, τη συσκευή εκείνη, η αλλαγή δραστηριότητά της οποίας συνιστά τη συνολική απόκριση του συστήματος. Αυτό το τμήμα του συστήματος ονομάζεται **εκτελεστικό όργανο** ή **όργανο δράσης**. Οι πληροφορίες που μεταφέρονται από το



Σχήμα 1.7 Τα στοιχεία ενός αντανακλαστικού τόξου αρνητικής ανατροφοδότησης. Η απόκριση του συστήματος αντισταθμίζει ή αναφεί πλήρως τις επιπτώσεις του ερεθίσματος. Η αρνητική ανατροφοδότηση αυτού του είδους συμβολίζεται με το σημείο μείον (−) στον ανατροφοδοτικό βρόχο.

κέντρο ολοκλήρωσης στο εκτελεστικό όργανο, συνιστούν ένα είδος εντολής που μεταβάλλει τη δραστηριότητα του εκτελεστικού οργάνου. Η οδός επί της οποίας άγεται αυτή η πληροφορία λέγεται **απαγωγός** ή **φυγόκεντρη οδός** (η οδός που *απάγει*, που απομακρύνει σήματα από το κέντρο ολοκλήρωσης).

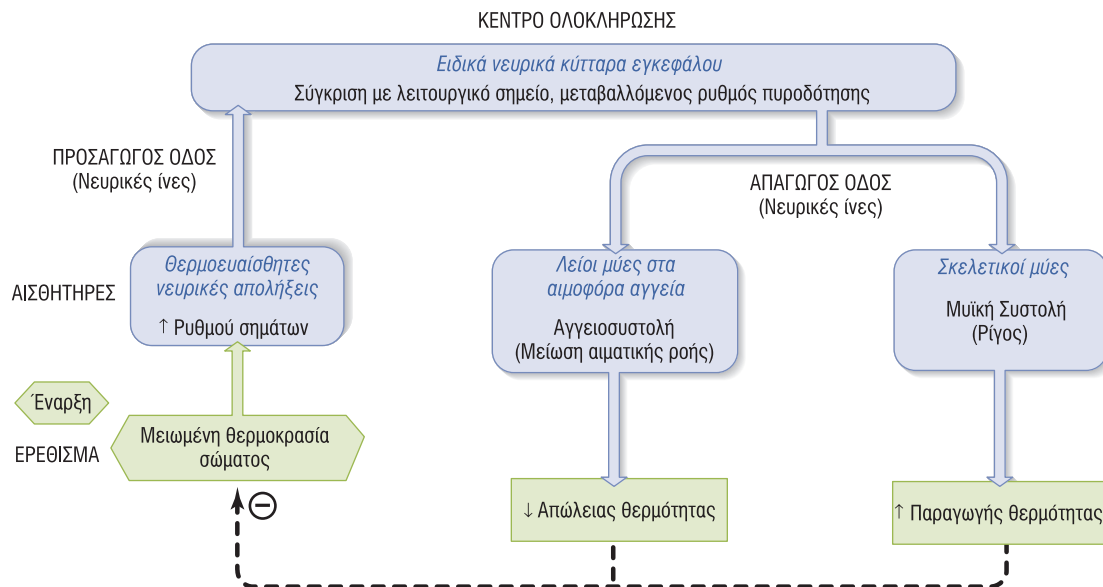
Μέχρι στιγμής το αντανakλαστικό τόξο αντιμετωπίστηκε ως μια αλληλουχία γεγονότων που συνδέουν το ερέθισμα με την απόκριση. Όταν η απόκριση του εκτελεστικού οργάνου μειώνει το μέγεθος του ερεθίσματος που προκαλεί την αλληλουχία γεγονότων, τότε το αντανakλαστικό τόξο λειτουργεί με αρνητική ανατροφοδότηση και το αντίστοιχο σύστημα είναι ένα κλασικό σύστημα ομοιοστατικού ελέγχου. Δεν διαθέτουν όμως όλα τα αντανakλαστικά τέτοιου είδους ανατροφοδότηση. Για παράδειγμα, οι οσμές της τροφής διεγείρουν την έκκριση μιας γαστρικής ορμόνης, η δράση της οποίας όμως, δεν προκαλεί ελάττωση ή εξαφάνιση αυτών των οσμών (το ερέθισμα).

Το **Σχήμα 1.8** παρουσιάζει τα συστατικά τμήματα του αντανakλαστικού τόξου αρνητικής ανατροφοδότησης που χαρακτηρίζει το ομοιοστατικό σύστημα της θερμορύθμισης. Στο σύστημα αυτό ως θερμοαισθητήρες λειτουργούν οι απολήξεις αισθητήρων νευρώνων σε διάφορα μέρη του σώματος. Οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να παράγουν ηλεκτρικά σήματα επί των αντιστοιχών νευρώνων, τα οποία έχουν συχνότητα ανάλογη της θερμοκρασίας. Τα παραχθέντα ηλεκτρικά σήματα άγονται από τις νευρικές ίνες, (η προσαγωγός οδός) σε μια ειδική περιοχή του εγκεφάλου, το κέντρο ολοκλήρωσης της θερμορύθμισης. Το κέντρο ολοκλήρωσης με τη σειρά του, καθορίζει τη δρα-

στηριότητα των νευρώνων που παράγουν το μυϊκό τρόπο ή προκαλούν συστολή των μυών γύρω από τα αιμοφόρα αγγεία του δέρματος. Οι νευρικές ίνες που νευρώνουν τους μυς συνιστούν την απαγωγό οδό και οι μύες τα εκτελεστικά όργανα. Η διακεκομμένη γραμμή και το αρνητικό σημείο (–) δηλώνουν ότι πρόκειται για ένα αντανakλαστικό αρνητικής ανατροφοδότησης.

Όλα σχεδόν τα κύτταρα του σώματος συνιστούν, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, εκτελεστικά όργανα των ομοιοστατικών αντανakλαστικών. Υπάρχουν, πάντως, δύο εξειδικευμένες κατηγορίες ιστών (οι μύες και οι αδένες) που αποτελούν τα κύρια εκτελεστικά όργανα των βιολογικών συστημάτων. Για παράδειγμα στην περίπτωση των αδένων, το εκτελεστικό όργανο μπορεί εμμέσως να είναι μία ορμόνη που εκκρίνεται στο αίμα. Η **ορμόνη** είναι ένα είδος χημικού μηνυματοφόρου μορίου που εκκρίνεται στο αίμα από κύτταρο του ενδοκρινικού συστήματος (βλ. Πίνακα 1.1). Οι ορμόνες μπορούν να δρουν ταυτόχρονα σε διαφορετικά κύτταρα αφού κυκλοφορούν με το αίμα σε όλο το σώμα.

Παραδοσιακά, ο όρος «αντανakλαστικό» περιοριζόταν σε εκείνη την κατηγορία αντανakλαστικών, όπου όλα τα επιμέρους τμήματα του συστήματος (αισθητήρες, προσαγωγές οδοί, κέντρο ολοκλήρωσης και απαγωγές οδοί) είναι μέρη του νευρικού συστήματος, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στην περίπτωση του συστήματος θερμορύθμισης. Σήμερα, πάντως, ο όρος δεν χρησιμοποιείται τόσο περιορισμένα και αναγνωρίζεται ότι οι ομοιοστατικές αρχές είναι ίδιες και στην περίπτωση που τη θέση των απαγωγών νευρικών ινών παίρνουν οι ορμόνες (ορισμένα χη-



Σχήμα 1.8 Αντανakλαστικό ελαχιστοποίησης της απώλειας θερμότητας κατά την έκθεση του σώματος σε περιβάλλον με χαμηλή θερμοκρασία. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται εδώ είναι τα εσωτερικά στοιχεία του αντανakλαστικού τόξου του Σχήματος 1.5. Το βέλος με τη διακεκομμένη γραμμή και το αρνητικό πρόσημο συμβολίζουν ότι πρόκειται για ένα σύστημα αρνητικής ανατροφοδότησης, καθώς και ότι η απόκριση του αντανakλαστικού προκαλεί επαναφορά της μειωμένης θερμοκρασίας σώματος πολύ κοντά στη φυσιολογική της τιμή. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζεται επιπλέον: τα μπλε κουτιά που αφορούν πάντα σε γεγονότα που συμβαίνουν σε ανατομικές δομές (οι οποίες αναγράφονται με έντονους χαρακτήρες στο άνω τμήμα του τετραγώνου).

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

- Τι θα συμβεί στην απαγωγό οδό σε αυτό το σύστημα ελέγχου αν η θερμοκρασία του σώματος αυξηθεί πέραν του φυσιολογικού;

Η απάντηση υπάρχει στο τέλος του κεφαλαίου.

μικά μηνυματοφόρα μόρια του αίματος) και τη θέση του κέντρου ολοκλήρωσης τα ορμονοεκκριτικά κύτταρα (ενδοκρινής αδένες).

Στο παρόν βιβλίο, ο όρος «αντανακλαστικό» θα χρησιμοποιηθεί με την ευρεία έννοια και οι ορμόνες θα αντιμετωπίζονται και αυτές ως τμήματα (αντίστοιχων) αντανακλαστικών τόξων. Επιπλέον, αναλόγως της φύσης του αντανακλαστικού μπορεί το κέντρο ολοκλήρωσης να βρίσκεται είτε στο νευρικό σύστημα, είτε σε κάποιο ενδοκρινή αδέν. Επιπλέον, ένας ενδοκρινής αδένας μπορεί να λειτουργήσει και ως υποδοχέας, αλλά και ως κέντρο ολοκλήρωσης ενός αντανακλαστικού. Για παράδειγμα, τα ενδοκρινή κύτταρα που εκκρίνουν την ορμόνη ινσουλίνη ανιχνεύουν μόνο τους τις αλλαγές της συγκέντρωσης της γλυκόζης στο πλάσμα.

Τοπικές ομοιοστατικές αποκρίσεις

Εκτός από τα αντανακλαστικά πάντως, υπάρχει και μια άλλη κατηγορία βιολογικών αποκρίσεων που έχει μεγάλη σημασία στη διατήρηση της ομοιόστασης. Πρόκειται για τις **τοπικές ομοιοστατικές αποκρίσεις**. Αυτές εκκινούνται από μια μεταβολή του εξωτερικού ή εσωτερικού περιβάλλοντος (δηλαδή από ένα ερέθισμα) και μεταβάλλουν τη δραστηριότητα των κυττάρων, με τρόπο ώστε να αντισταθμίζεται η δράση του ερεθίσματος. Όπως και τα αντανακλαστικά, επομένως, οι τοπικές αποκρίσεις είναι το αποτέλεσμα μιας ακολουθίας γεγονότων που έπονται ενός ερεθίσματος. Σε αντίθεση με τα αντανακλαστικά, όμως, η όλη διαδικασία περιορίζεται μόνο στην περιοχή δράσης του ερεθίσματος. Για παράδειγμα, όταν κύτταρα ενός ιστού αυξήσουν τον μεταβολισμό τους εκκρίνουν ουσίες στο ενδοκυττάριο υγρό που προκαλούν αγγειοδιαστολή των τριχοειδών αγγείων τοπικά. Η αυξημένη ροή του αίματος αυξάνει και το ρυθμό που μεταφέρονται στον ιστό θρεπτικά συστατικά και οξυγόνο καθώς και τον ρυθμό με τον οποίο απομακρύνονται τα μεταβολικά προϊόντα. Η οπουδαιότητα των τοπικών αποκρίσεων έγκειται στο γεγονός ότι παρέχουν σε μεμονωμένες περιοχές του σώματος μηχανισμούς για την τοπική αυτορρύθμιση.

1.7 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΓΓΕΛΙΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΟΜΟΙΩΣΤΑΣΗ

Βασικό στοιχείο των αντανακλαστικών και των τοπικών ομοιοστατικών αποκρίσεων, κι επομένως βασικό στοιχείο της ίδιας της ομοιόστασης είναι η ικανότητα των κυττάρων να επικοινωνούν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, με αυτό τον τρόπο τα κύτταρα στον εγκέφαλο ενημερώνονται για την κατάσταση και την δραστηριότητα του οργανισμού έξω από τον εγκέφαλο, όπως της καρδιάς και βοηθάει στο να ρυθμιστεί η λειτουργία της ώστε να διατηρείται η ομοιόσταση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτή η μεταξύ των κυττάρων επικοινωνία, λέγεται διακυτταρική και επιτελείται από χημικά μηνυματοφόρα μόρια. Υπάρχουν 3 κατηγορίες μηνυματοφόρων μορίων: οι ορμόνες, οι νευροδιαβιβαστές και οι παρακρινείς/αυτοκρινείς παράγοντες (Σχήμα 1.9).

Έτσι, η ορμόνη λειτουργεί ως χημικό μήνυμα που επιτρέπει στο ορμονοεκκριτικό κύτταρο να επικοινωνεί με τα κύτταρα επί των οποίων μπορεί να δράσει η ορμόνη, τα **κύτταρα-στόχους**. Σε αυτή τη διαδικασία το αίμα δεν είναι

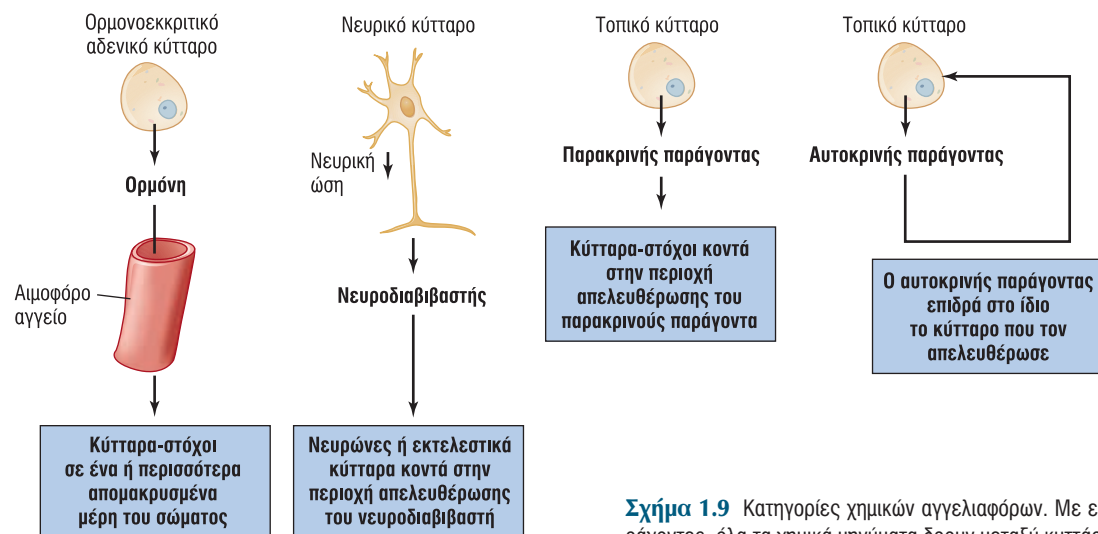
παρά η υπηρεσία παραλαβής και παράδοσης. Οι ορμόνες παράγονται και εκκρίνονται από τους **ενδοκρινείς αδένες** ή από διάσπαρτα κύτταρα τα οποία κατανέμονται σε άλλα όργανα. Παίζουν ουσιαστικό ρόλο σχεδόν σε όλες τις φυσιολογικές λειτουργίες όπως ανάπτυξη, αναπαραγωγή, μεταβολισμό, ισορροπία ιχνοστοιχείων, και την πίεση του αίματος και συχνά παράγονται όταν διαταράσσεται η ομοιόσταση.

Σε αντίθεση με τις ορμόνες, οι **νευροδιαβιβαστές** είναι χημικά μηνυματοφόρα μόρια που ελευθερώνονται από τις απολήξεις των νευρικών κυττάρων για να επικοινωνήσουν με άλλα νευρικά, μυϊκά ή αδενικά κύτταρα. Τα μόρια του νευροδιαβιβαστή διαχέονται στη συνέχεια στον μεταξύ των δύο κυττάρων εξωκυττάριο χώρο και επιδρούν στο κύτταρο στόχο. Δεν ελευθερώνονται μέσα στο αίμα όπως οι ορμόνες. Οι νευροδιαβιβαστές και ο ρόλος στην μεταφορά μηνύματος και τη λειτουργία του εγκεφάλου θα εξεταστούν στο Κεφάλαιο 6. Στα πλαίσια της ομοιόστασης οι νευροδιαβιβαστές αποτελούν τη βάση για την μεταφορά μηνύματος και για κάποια αντανακλαστικά, όπως επίσης παίζουν σημαντικό αντισταθμιστικό ρόλο σε αποκρίσεις της καρδιακής συχνότητας και πνευμονικού αερισμού κατά την διάρκεια της άσκησης.

Τα χημικά μηνύματα δεν παίρνουν μέρος μόνο στα αντανακλαστικά, αλλά και στις τοπικές αποκρίσεις. Οι κατηγορίες χημικών μηνυμάτων που συμμετέχουν στις τοπικές αποκρίσεις είναι γνωστές ως **παρακρινείς παράγοντες**. Οι παρακρινείς παράγοντες συνθέτονται στα κύτταρα και απελευθερώνονται, με το κατάλληλο ερέθισμα, στο εξωκυττάριο υγρό. Στη συνέχεια διαχέονται στα γειτονικά κύτταρα, μερικά από τα οποία αποτελούν στόχους του εκάστοτε παρακρινούς παράγοντα. (Με βάση αυτόν τον ευρύ ορισμό, θα μπορούσαν να ταξινομηθούν ως υποκατηγορία των παρακρινών παραγόντων και οι νευροδιαβιβαστές, αλλά κάτι τέτοιο δεν γίνεται για συμβατικούς λόγους). Κατά κανόνα οι παρακρινείς παράγοντες αδρανοποιούνται ταχύτατα από ένζυμα της περιοχής, με αποτέλεσμα να είναι μικρές οι ποσότητες τους που εισέρχονται στην αιματική κυκλοφορία. Παρακρινείς παράγοντες παράγονται σε όλο το σώμα και παράδειγμα για τον ρόλο τους στην ομοιόσταση και την ικανότητα τους να ρυθμίζουν την έκκριση οξέων από τα κύτταρα στο στομάχι με την κατάποση φαγητού, θα το μάθουμε στο Κεφάλαιο 15.

Υπάρχει επίσης, και μια άλλη κατηγορία τοπικών χημικών μηνυμάτων, τα οποία δεν είναι ακριβώς διακυτταρικά μηνύματα, δηλαδή δεν αποτελούν το μέσο επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών κυττάρων. Αντί γι' αυτό, το χημικό μήνυμα εκκρίνεται από το κύτταρο στον εξωκυττάριο χώρο και ακολούθως δρα επί του ίδιου του κυττάρου, απ' όπου εκκρίθηκε. Τέτοιου είδους χημικά μηνύματα λέγονται **αυτοκρινείς παράγοντες (Σχήμα 1.9)**. Πολλές φορές τα μόρια ενός χημικού μηνύματος μπορεί να λειτουργούν τόσο ως παρακρινείς, όσο και ως αυτοκρινείς παράγοντες. Τα μόρια, δηλαδή, που απελευθερώνονται από ένα κύτταρο δρουν τοπικά επί γειτονικών κυττάρων, αλλά και επί του ίδιου του κυττάρου που τα απελευθέρωσε.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ένα δεδομένο εξαιρετικής σημασίας ώστε να αποφευχθούν οι συγχύσεις αργότερα: Ένα νευρικό κύτταρο, ένα ενδοκρινικό κύτταρο ή κάποιος άλλος τύπος κυττάρου μπορεί να εκκρίνουν το ίδιο χημικό μηνυματοφόρο μόριο. Έτσι, το ίδιο μόριο μπορεί άλλες φορές να δρα ως νευροδιαβιβαστής, ως ορμόνη



Σχήμα 1.9 Κατηγορίες χημικών αγγελιαφόρων. Με εξαίρεση τους αυτοκρινείς παράγοντες, όλα τα χημικά μηνύματα δρουν μεταξύ κυττάρων, δηλαδή διακυτταρικά.

ή ως παρακρινής/αυτοκρινής παράγοντας. Η νορεπινεφρίνη για παράδειγμα, δεν είναι μόνο νευροδιαβιβαστής στο κεντρικό νευρικό σύστημα, αλλά και ορμόνη που παράγεται από κύτταρα των επινεφριδίων.

Όλοι οι τύποι διακυτταρικής επικοινωνίας που περιγράφθηκαν ως τώρα αφορούν στην έκκριση ενός μηνυματοφόρου μορίου στο εξωκυτταριο υγρό. Υπάρχουν, όμως, δύο τύποι χημικής επικοινωνίας μεταξύ των κυττάρων που δεν απαιτούν τέτοια έκκριση. Στον πρώτο τύπο, που επισυμβαίνει μέσω των χασματικών συνδέσεων (φυσικές συνδέσεις που συνδέουν το κυτοσόλιο μεταξύ δύο κυττάρων, βλ. Κεφάλαιο 3) τα χημικά μόρια μετακινούνται από το ένα κύτταρο στο γειτονικό του χωρίς να χρειαστεί να διέλθουν από το εξωκυτταριο υγρό. Στον δεύτερο τύπο, το χημικό μηνυματοφόρο μόριο ουσιαστικά δεν απελευθερώνεται από το κύτταρο που το παράγει. Στην πράξη, το μηνυματοφόρο μόριο αποτελεί τμήμα της κυτταροπλασματικής μεμβράνης του κυττάρου. Όταν το κύτταρο αυτό έρθει σε επαφή με κάποιο άλλο κύτταρο, ικανό να ανταποκριθεί στο μήνυμα, τα δύο κύτταρα συνδέονται μέσω του μηνυματοφόρου μορίου της μεμβράνης. Αυτός ο τύπος επικοινωνίας (που κάποιες φορές αποκαλείται «συνδεσμοκρινής») έχει ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη και τη διαφοροποίηση των ιστών, καθώς και στη λειτουργία των κυττάρων που προστατεύουν τον οργανισμό από τα μικρόβια και άλλα ξένα κύτταρα (βλ. Κεφάλαιο 18).

1.8 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΟΜΟΙΟΣΤΑΣΗ

Προσαρμογή και εγκλιματισμός

Ο όρος **προσαρμογή** αναφέρεται στις ιδιότητες εκείνες που ευνοούν την επιβίωση σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Οι μηχανισμοί ομοιοστατικού ελέγχου ουσιαστικά δεν είναι παρά εγγενείς, δηλαδή κληρονομικές βιολογικές προσαρμογές. Η ικανότητα ενός ατόμου να αποκρίνεται σε μια συγκεκριμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση πάντως, δεν είναι προκαθορισμένη αλλά μπορεί να ενισχυθεί, με παρατεταμένη έκθεση στον εντασιογόνο παράγοντα. Αυτού του είδους η προσαρμογή, η βελτίωση, δηλαδή, της αποτελεσματικότητας ενός ήδη υπάρχοντος ομοιοστατικού συστήματος, λέγεται **εγκλιματισμός**.

Στο σημείο αυτό, ας κάνουμε ένα απλό πείραμα για να εξετάσουμε την εφίδρωση, ένα από τα συστατικά της φυσιολογικής απόκρισης του οργανισμού, κατά τη διάρκεια μιας παρατεταμένης έκθεσης σε θάλαμο υψηλής θερμοκρασίας. Την πρώτη ημέρα εκτίθεται ένα άτομο σε υψηλή θερμοκρασία για 30 λεπτά και εκτελεί μια συγκεκριμένη σωματική δοκιμασία. Η θερμοκρασία του σώματος αυξάνει και από μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και μετά, αρχίζει η εφίδρωση. Η εξάτμιση του παραγόμενου ιδρώτα παρέχει ένα μηχανισμό αύξησης των απωλειών θερμότητας από το σώμα κι επομένως τείνει να ελαχιστοποιήσει την αύξηση που προκαλεί, στη θερμοκρασία του σώματος, η έκθεση στο θερμό περιβάλλον. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, μετράται ο όγκος του παραγόμενου ιδρώτα. Στη συνέχεια και για μια εβδομάδα, το άτομο εισέρχεται και ασκείται στο θάλαμο για 1 ή 2 ώρες ημερησίως. Την όγδοη ημέρα, μετρούνται η σωματική θερμοκρασία και ο ρυθμός εφίδρωσης με το ίδιο πειραματικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε και την πρώτη ημέρα. Το εντυπωσιακό αποτέλεσμα είναι ότι το άτομο αρχίζει να ιδρώνει πολύ νωρίτερα και πολύ πιο έντονα σε σχέση με την πρώτη ημέρα. Όπως είναι αναμενόμενο, η θερμοκρασία του σώματος δεν θα ανέβει στο ίδιο σημείο με αυτό της πρώτης ημέρας, καθώς το άτομο έχει εγκλιματισθεί στην υψηλή θερμοκρασία, με άλλα λόγια έχει υποστεί μια προσαρμοστική μεταβολή που προκάλεσε η έκθεση στην υψηλή θερμοκρασία και η οποία έχει βελτιώσει την ικανότητα απόκρισης του συγκεκριμένου οργανισμού στο θερμό περιβάλλον.

Τα φαινόμενα εγκλιματισμού είναι συνήθως αναστρέψιμα. Έτσι, αν στο προηγούμενο πείραμα διακοπεί η καθημερινή έκθεση στο θερμό περιβάλλον, τότε ο ρυθμός εφίδρωσης του δοκιμαζόμενου επιστρέφει στα προ του εγκλιματισμού επίπεδα σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Οι ανατομικές και φυσιολογικές αλλαγές που πραγματοποιούνται κατά τον εγκλιματισμό είναι ποικίλες. Συνήθως αυξάνεται ο αριθμός, το μέγεθος και η ευαισθησία των κυττάρων του ομοιοστατικού μηχανισμού που προκαλεί τη βασική προσαρμογή.

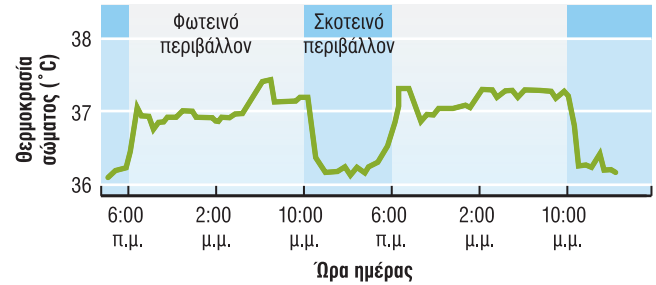
Βιολογικοί ρυθμοί

Ένα εντυπωσιακό χαρακτηριστικό πολλών λειτουργιών του

σώματος είναι το γεγονός ότι εμφανίζουν περιοδικές διακυμάνσεις. Η συχνότερη μορφή είναι οι επονομαζόμενοι **περι-εικοσπετράωροι** ή **κιρκάδιοι ρυθμοί**, αφού ο κύκλος αυτών των βιορυθμών διαρκεί σχεδόν 24 ώρες. Οι περίοδοι ύπνου και εγρήγορσης, η θερμοκρασία του σώματος, η συγκέντρωση των ορμονών στο αίμα, η απέκκριση ιόντων στα ούρα και πάρα πολλές άλλες λειτουργίες, υπόκεινται σε αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια του 24ώρου (**Σχήμα 1.10**).

Τι επίδραση, όμως, μπορεί να έχουν οι βιολογικοί ρυθμοί στην ομοιοστάση; Αυτό που κάνουν είναι να προσθέτουν ένα επιπλέον συστατικό στα συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου που θα μπορούσε να ονομαστεί συστατικό “εν αναμονή”. Στην πράξη κάτι τέτοιο ισοδυναμεί με ένα σύστημα προτροφοδότησης χωρίς όμως ερέθισμα από αισθητήρες. Οι ομοιοστατικές αποκρίσεις αρνητικής ανατροφοδότησης που έχουν περιγραφεί μέχρι στιγμής στο κεφάλαιο, είναι όλες διορθωτικές αποκρίσεις, δηλαδή εκδηλώνονται αφού *αρχίσει* το σύστημα να αποκλίνει από την κατάσταση ισοστάθμισης. Σε αντιδιαστολή, οι βιολογικοί ρυθμοί επιτρέπουν στα ομοιοστατικά συστήματα να χρησιμοποιούνται άμεσα και αποτελεσματικά ενεργοποιούμενοι εκείνα τα χρονικά διαστήματα, κατά τη διάρκεια των οποίων είναι πιθανότερο να επιδράσει η περιβαλλοντική ένταση, χωρίς ωστόσο να έχει ακόμη συμβεί. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία του σώματος ενός ανθρώπου αυξάνεται πριν ξυπνήσει από τον συνηθισμένο κύκλο ύπνου-εγρήγορσης, επιτρέποντας έτσι στη μηχανή του μεταβολισμού του σώματος να είναι πιο αποδοτική αμέσως μόλις ξυπνήσει, αφού ο μεταβολισμός (χημικές αντιδράσεις) είναι άμεσα εξαρτημένος από την θερμοκρασία. Κατά την διάρκεια του ύπνου ο μεταβολισμός είναι πιο χαμηλός, συνεπώς και η θερμοκρασία του σώματος μειώνεται από ότι κατά τη διάρκεια μιας δραστηριότητας. Μια πολύ σημαντική ιδιότητα των βιορυθμών είναι το γεγονός ότι ο έλεγχός τους γίνεται εσωτερικά. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες δεν εκκινούν τους βιολογικούς ρυθμούς, αλλά παρέχουν τα απαραίτητα χρονικά σημάδια που καθορίζουν το **χρονισμό** του ρυθμού (δηλαδή, καθορίζουν τη συγκεκριμένη ώρα της ημέρας που θα αρχίσει η λειτουργική μεταβολή). Υπάρχει ένα κλασικό πείραμα που θα αποσαφηνίσει γιατί γίνεται η παραπάνω διάκριση.

Μέσα σε θαλάμους που οπτικά είναι εντελώς απομονωμένοι από το εξωτερικό περιβάλλον, τοποθετούνται κάποιοι δοκιμαζόμενοι. Τις πρώτες ημέρες, οι δοκιμαζόμενοι εκτίθενται σε έναν 24ωρο κύκλο ύπνου-εγρήγορσης, πράγμα που σημαίνει ότι ο φωτισμός στο θάλαμο αυτό ανοίγει και κλείνει την ίδια πάντα ώρα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, ο κύκλος ύπνου-εγρήγορσης διαρκεί 24 ώρες. Μετά, αφαιρούνται όλα τα στοιχεία που μαρτυρούν την ακριβή ώρα του εξωτερικού περιβάλλοντος (π.χ. ωρολόγια) και κάθε δοκιμαζόμενος αφήνεται να ανοίξει και να κλείσει το φωτισμό, όποτε επιθυμεί ο ίδιος. Το ρυθμικό πρότυπο ύπνου-εγρήγορσης αρχίζει αμέσως να μεταβάλλεται. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι πηγαίνουν για ύπνο κατά μέσον όρο 30 λεπτά αργότερα κάθε μέρα, ενώ παρόμοια μετατόπιση συμβαίνει και στην ώρα αφύπνισης. Έτσι, ο κύκλος ύπνου-εγρήγορση διατηρείται, παρά την πλήρη απουσία πληροφοριών σχετικά με τον πραγματικό χρόνο του εξωτερικού περιβάλλοντος. Τέτοιοι ρυθμοί καλούνται **ελεύθεροι ρυθμοί**. Η διάρκεια του κύκλου πάντως αυξήθηκε από 24 σε 24,5 ώρες, γεγονός που σημαίνει ότι οι πληροφορίες από το εξωτερικό περιβάλλον είναι απαραί-



Σχήμα 1.10 Ο βιόρυθμος της θερμοκρασίας σώματος σε ένα άτομο που ζει σε ένα δωμάτιο που φωτίζεται για 16 ώρες (στηλες γκρι), και για 8 ώρες είναι σε σκοτάδι (στηλες μπλε). Παρατηρείστε πως αυξάνεται η θερμοκρασία σώματος λίγο πριν ανοίξουν τα φώτα, με την πρόβλεψη ότι θα ανοίξουν τα φώτα αυξάνεται η δραστηριότητα και ο μεταβολισμός όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια των ωρών εγρήγορσης.

τητες για να χρονίσουν και να συμπαρασύρουν τον περί 24ωρο ρυθμό ακριβώς στις 24 ώρες.

Ο κύκλος φως-σκοτάδι είναι η πιο σημαντική περιβαλλοντική πληροφορία στη ζωή του οργανισμού, αλλά δεν είναι η μόνη. Άλλες πληροφορίες με επίδραση στους βιορυθμούς είναι επίσης η θερμοκρασία, η ώρα των γευμάτων καθώς και πολλές πληροφορίες κοινωνικών περιεχομένου. Για παράδειγμα, αν στο πείραμα με το θάλαμο απομόνωσης ο κάθε δοκιμαζόμενος παραμένει ξεχωριστά από τον άλλο, τότε ο ελεύθερος ρυθμός του καθενός διαφέρει από τον αντίστοιχο των άλλων δοκιμαζόμενων, ενώ αν βρίσκονται όλοι μαζί στον ίδιο θάλαμο, τότε οι κοινωνικές παράμετροι των συνθηκών συγχρονίζουν τους βιορυθμούς σε όλους τους δοκιμαζόμενους.

Οι περιβαλλοντικές παράμετροι μπορούν επίσης να προκαλέσουν **μετατόπιση φάσης** στους ρυθμούς, με άλλα λόγια να αναχρονίσουν το εσωτερικό ρολόι. Έτσι, αν κάποιος μεταβεί αεροπορικά σε μια ανατολικότερη ή δυτικότερη περιοχή του πλανήτη με διαφορετική ζώνη ώρας, σταδιακά προσαρμόζεται τόσο ο κύκλος ύπνου-εγρήγορσης όσο και οι υπόλοιποι περί 24ωροι ρυθμοί και επομένως μετατοπίζονται σύμφωνα με τον κύκλο φως-σκοτάδι του νέου τόπου. Για να ολοκληρωθούν, όμως, αυτές οι μετατοπίσεις φάσης χρειάζεται κάποιο χρονικό διάστημα, κατά τη διάρκεια του οποίου υπάρχει διάσταση ανάμεσα στον εξωτερικό και τον εσωτερικό χρόνο. Αυτή η διάσταση θεωρείται η κυριότερη αιτία συμπτωμάτων στην επονομαζόμενη βιορυθμική μετάθεση (jet lag), η οποία εκδηλώνεται σε άτομα που κάνουν μακρινά αεροπορικά ταξίδια και αφορούν κυρίως διαταραχές στον ύπνο και τη γαστρεντερική λειτουργία, μείωση της ικανότητας εγρήγορσης και προσοχής, καθώς και ένα αίσθημα γενικής κακοδιαθεσίας.

Παρόμοια συμπτώματα εκδηλώνονται σε άτομα που εργάζονται μόνιμα ή περιοδικά σε νυχτερινές βάρδιες. Κατά κανόνα, τα άτομα αυτά ακόμη και μετά από αρκετά χρόνια δεν προσαρμόζονται σε κάποιο συγκεκριμένο ρυθμό σύμφωνα με τις βάρδιες τους. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι τα άτομα αυτά ποτέ δεν εκτίθενται στο συνηθισμένο κύκλο εξωτερικού φωτός-σκότους (ο ηλεκτρικός φωτισμός των εσωτερικών χώρων έχει πολύ μικρή ένταση για να λειτουργήσει ως χρονιστής). Σε πιο πρόσφατα πειράματα, εργαζόμενοι σε νυχτερινές βάρδιες εκτέθηκαν σε συνθήκες ιδιαίτερα έντονου φωτισμού στο χώρο εργασίας τους και μετά σε συνθήκες απόλυτου σκότους για τις 8

ώρες της ημέρας που πηγαιναν για ύπνο. Με ένα τέτοιο πρόγραμμα, οι εργαζόμενοι προσαρμόστηκαν απόλυτα στο ρυθμό της νυχτερινής βάρδιας, μέσα σε 5 μέρες.

Ποιό είναι, όμως, το νευρικό υπόβαθρο των σωματικών βιορυθμών; Η περιοχή του εγκεφάλου που εδράζεται και λειτουργεί ο κύριος **βηματοδότης** (ρολόι) των περιεκκρι- τετρώρων ρυθμών είναι ο υποθάλαμος και πιο συγκεκρι- μένα ένας ιδιαίτερος πυρήνας νευρώνων (ο υπερχιασματι- κός πυρήνας) του υποθαλάμου. Το πώς ακριβώς ο βημα- τοδότης κατορθώνει να διατηρεί τον εσωτερικό του ρυθμό και μάλιστα, χωρίς να χρειάζεται για αυτό πληροφορίες από το εξωτερικό περιβάλλον, είναι άγνωστο, μάλλον όμως σχετίζεται με τη ρυθμική λειτουργία βασικών γονι- δίων των βηματοδοτικών κυττάρων.

Ο βηματοδότης λαμβάνει προσαγωγή ερεθίσματα από τους οφθαλμούς και πολλά άλλα τμήματα του νευρικού συστήματος. Τα ερεθίσματα αυτά αποτελούν το μέσο με το οποίο το εξωτερικό περιβάλλον ελέγχει τον χρονισμό. Ο βηματοδότης, με τη σειρά του, αποστέλλει νευρικά σή- ματα σε άλλα τμήματα του εγκεφάλου που επιδρούν σε διάφορα συστήματα του οργανισμού, διεγείροντας κάποια και αναστέλλοντας κάποια άλλα. Ένα από τα απαγωγά ερεθίσματα του βηματοδότη αποστέλλεται στο **κωνάριο**, μια απόφυση του εγκεφάλου που εκκρίνει την ορμόνη **με- λατονίνη**. Τα νευρικά αυτά σήματα του βηματοδότη κά- νουν το κωνάριο να εκκρίνει μελατονίνη το βράδυ και όχι κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχει, λοιπόν, διατυπωθεί η υπόθεση ότι η μελατονίνη πιθανόν να δρα ως σημαντικός διαμεσολαβητής, επηρεάζοντας άλλα όργανα είτε άμεσα είτε αλλάζοντας τη δραστηριότητα των τμημάτων του εγ- κεφάλου που ελέγχουν αυτά τα όργανα.

Ομοίωση και ισοζύγιο μιας χημικής ουσίας

Τα ομοιοστατικά συστήματα του σώματος που ασχολού- νται με την ισορροπία ανάμεσα στις προσλαμβανόμενες και τις απεκκρινόμενες ποσότητες μιας χημικής ουσίας εί- ναι πολλά. Στο **Σχήμα 1.11** παρουσιάζεται ένα γενικό σχε- διάγραμμα των οδών που συμμετέχουν σε τέτοιου είδους ισορροπίες. Η **δεξαμενή** καταλαμβάνει κομβική θέση στη ζυγαριά της ισορροπίας. Είναι η ποσότητα της ουσίας που είναι άμεσα διαθέσιμη στο σώμα και συχνά ταυτίζεται με την ποσότητα της ουσίας στο εξωκυττάριο υγρό. Τέλος, στη δεξαμενή καταλήγουν και από τη δεξαμενή τροφοδο- τούνται όλες οι οδοί.

Οι οδοί στην αριστερή πλευρά του Σχήματος 1.11 δη- λώνουν τις πηγές καθαρού κέρδους της ουσίας στο σώμα. Μια ουσία μπορεί να εισέλθει στον ανθρώπινο οργανισμό από το γαστρεντερικό σωλήνα ή τους πνεύμονες. Εναλλακτικά, μια ου- σία μπορεί να συντίθεται στο σώ- μα από άλλα υλικά.

Οι οδοί στη δεξιά πλευρά του σχήματος αντιπροσωπεύουν τις αιτίες καθαρών απωλειών της ου- σίας από το σώμα. Μια ουσία απομακρύνεται από το σώμα με τα ούρα, τα κόπρανα, τον εκπνεό- μενο αέρα και τα υγρά της εμμή- νου ρύσης, αλλά και μέσω της επιφάνειας του σώματος με το

δέρμα, τις τρίχες, τα νύχια, τον ιδρώτα και τα δάκρυα. Ο- ρισμένες ουσίες μπορούν επίσης να μεταβάλλονται χημικά από ορισμένα ένζυμα και να απομακρύνονται από τον με- ταβολισμό.

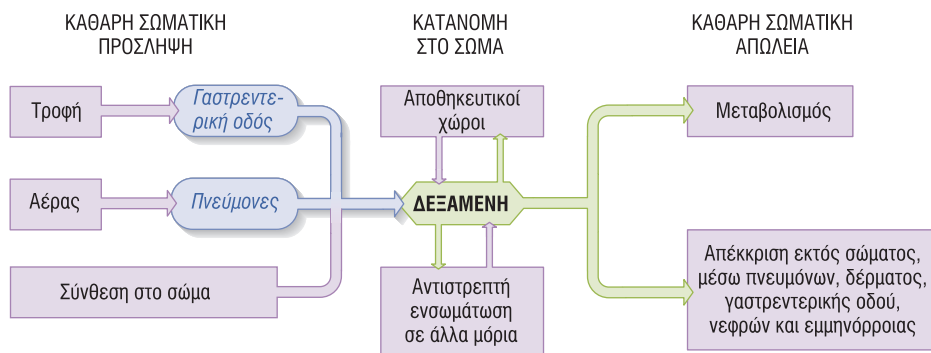
Στο κεντρικό τμήμα του σχήματος παρουσιάζεται η κα- τανομή μιας ουσίας στο εσωτερικό του σώματος. Μια ου- σία μπορεί να αφαιρείται από τη δεξαμενή και να συσσω- ρεύεται σε ειδικές αποθηκευτικές δομές, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τη συσσώρευση λίπους στο λιπώδη ιστό. Αντίστροφα, μια ουσία μπορεί να μετακινείται από τις αποθηκευτικές δομές και να επανέρχεται στη δεξαμενή. Τέλος, μερικές ουσίες ενσωματώνονται αντιστρεπτά σε άλλες, πολυπλοκότερες μοριακές δομές, όπως για παρά-δειγμα συμβαίνει με την ενσωμάτωση των λιπών στις μεμ- βράνες, ή του ιωδίου στη θυροξίνη. Η αντιστρεψιμότητα της ενσωμάτωσης ισχύει με την έννοια ότι η ουσία απε- λευθερώνεται και πάλι όταν διασπαστεί η πολύπλοκη δομή που την περιέχει. Αυτή η οδός διαφέρει από την αποθή- κευση δεδομένου ότι η ενσωμάτωση της ουσίας σε άλλες ενώσεις παράγει νέα μόρια με ειδικές λειτουργίες.

Πρέπει να τονιστεί ότι δεν ισχύουν όλες οι οδοί για το σύνολο των ουσιών. Για παράδειγμα, οι μεταλλικοί ηλε- κτρολύτες όπως τα ιόντα νατρίου, δεν μπορούν ούτε να συντεθούν, ούτε να εισέλθουν (υπό φυσιολογικές συνθή- κες) μέσω των πνευμόνων, ενώ δεν μπορούν να απομα- κρυνθούν με το μεταβολισμό.

Επίσης, η φορά που έχουν τα βέλη στο Σχήμα 1.11 κα- ταδεικνύει δύο σημαντικά συμπεράσματα σε ό,τι αφορά την έννοια του ισοζυγίου: (1) Το ολικό ισοζύγιο μιας ου- σίας στο σώμα εξαρτάται από τη σχέση των ρυθμών καθα- ρής πρόσληψης και καθαρής απώλειας και (2) η συγκέ- ντρωση της ουσίας στη δεξαμενή δεν εξαρτάται μόνο από το ολικό ισοζύγιο της ουσίας στο σώμα, αλλά και από τις ανταλλαγές της μέσα στο ίδιο το σώμα.

Το ολικό ισοζύγιο μιας ουσίας στο σώμα μπορεί να βρί- σκεται σε μία από τις τρεις ακόλουθες καταστάσεις. (1) Σε **αρνητικό ισοζύγιο**, όταν ο ρυθμός καθαρών απωλειών υπερβαίνει το ρυθμό κέρδους της ουσίας σε τέτοιο βαθ- μό, ώστε να μειώνεται η συνολική ποσότητα της ουσίας στο σώμα, (2) σε **θετικό ισοζύγιο**, όταν το κέρδος υπερ- βαίνει τις απώλειες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ποσό- τητα της ουσίας στο σώμα και (3) σε **σταθερό ισοζύγιο**, όταν το κέρδος είναι ίσο με τις απώλειες.

Είναι προφανές ότι ένα σταθερό ισοζύγιο μιας ουσίας μπορεί να διαταραχτεί εύκολα, αν, σε οποιαδήποτε από τις οδούς του γενικού σχήματος, μεταβληθεί η ποσότητα της ουσίας που προσλαμβάνεται ή χάνεται. Για παράδειγ-



Σχήμα 1.11 Διάγραμμα ισοζυγίου μιας χημικής ουσίας

μα, είναι δυνατό να προκληθεί επικίνδυνα αρνητικό ισοζύγιο νερού από την αυξημένη εφίδρωση. Το ισοζύγιο αποκαθίσταται με τον ομοιοστατικό έλεγχο των προσλαμβανόμενων και αποβαλλόμενων ποσοτήτων νερού.

Ας εξετάσουμε ένα άλλο παράδειγμα, το ισοζύγιο των ιόντων ασβεστίου. Η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) στο εξωκυττάριο υγρό είναι σημαντική για την καλή λειτουργία των κυττάρων, όπως μυϊκών κυττάρων και νευρώνων, αλλά και για το σχηματισμό και τη διατήρηση των οστών του σκελετού. Η μεγαλύτερη ποσότητα των Ca^{2+} του σώματος βρίσκεται στα οστά. Τα συστήματα ελέγχου του ισοζυγίου του Ca^{2+} στοχεύουν το γαστρεντερικό σωλήνα και τα νεφρά, έτσι ώστε η ποσότητα Ca^{2+} που απορροφάται από το γαστρεντερικό σωλήνα να ισορροπεί την ποσότητα που αποβάλλεται από τα νεφρά μέσω των ούρων. Ωστόσο κατά τη διάρκεια της νηπιακής και παιδικής, το ισοζύγιο Ca^{2+} είναι θετικό, παρόλη την σκελετική ανάπτυξη. Αργότερα στη ζωή και ειδικά στις γυναίκες μετά την εμμηνοπαυση (βλ. Κεφάλαιο 17), το Ca^{2+} ελευθερώνεται από τα οστά με μεγαλύτερο ρυθμό απ' ό,τι προσλαμβάνεται και επιπλέον Ca^{2+} χάνεται με τα ούρα. Συνεπώς, το αποθηκευμένο Ca^{2+} στα οστά μειώνεται σε σχέση με το προσλαμβανόμενο και συντελεί σε αρνητικό ισοζύγιο Ca^{2+} .

Συμπερασματικά, η ομοιόσταση είναι μια περίπλοκη και δυναμική διαδικασία που ρυθμίζει τις προσαρμοστικές αποκρίσεις του σώματος σε αλλαγές του εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος. Για να λειτουργήσουν κατάλληλα τα ομοιοστατικά ρυθμιστικά συστήματα χρειάζονται ένα αισθητήρα που ανιχνεύει την περιβαλλοντική αλλαγή και ένα μέσο για να προκαλέσει την αντισταθμιστική απόκριση. Επειδή η αντισταθμιστική απόκριση απαιτεί συνήθως μυϊκή δραστηριότητα, αλλαγή συμπεριφοράς, ή σύνθεση χημικών μηνυματοφόρων μορίων, όπως οι ορμόνες, για να έχουμε την ομοιόσταση χρειάζεται να δαπανηθεί ενέργεια. Τα θρεπτικά συστατικά που παρέχουν αυτή την ενέργεια, όπως και κυτταρικές δομές και χημικές αντιδράσεις που ελευθερώνουν την ενέργεια από τους χημικούς δεσμούς των θρεπτικών συστατικών θα μελετηθούν στα επόμενα δύο Κεφάλαια.

1.9 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

Όταν μελετάται η λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, πολλές βασικές και γενικές αρχές παρατηρούνται συνεχώς. Αναγνωρίζοντας αυτές τις αρχές και πως αυτές αναπτύσσονται στα διάφορα συστήματα οργάνων μπορεί να γίνει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση για το πώς λειτουργεί το ανθρώπινο σώμα. Για να γίνει αυτό κατανοητό, αρχίστε με το Κεφάλαιο 2, ωστόσο η εισαγωγή κάθε Κεφαλαίου επισημαίνει τις γενικές αρχές που σημειώνονται σε αυτό το κεφάλαιο. Η εκτίμηση για το πόσο έγινε κατανοητή η εφαρμογή αυτών των αρχών της Φυσιολογίας που ακολουθούν σε κάθε Κεφάλαιο εξετάζεται με αξιολόγηση στο τέλος του κεφαλαίου.

1. **Η ομοιόσταση είναι βασική για την υγεία και την επιβίωση.** Η ικανότητα του οργανισμού να διατηρεί φυσιολογικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία και η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα σε φυσιολογικά επίπεδα, είναι η αρχή που στηρίζεται όλη η φυσιολογία. Το κλειδί για αυτή την αρχή είναι διαδικασίες όπως η

ανατροφοδότηση και προτροφοδότηση, έννοιες που εισήχθησαν σε αυτό το κεφάλαιο. Πρόκληση στην ομοιόσταση μπορεί να γίνει από κάποια ασθένεια ή από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως πείνα ή έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες.

2. **Οι λειτουργίες των συστημάτων οργάνων συγχρονίζονται μεταξύ τους.** Οι φυσιολογικοί μηχανισμοί λειτουργούν και αλληλεπιδρούν σε επίπεδο κυττάρων, ιστών, αλλά και συστημάτων οργάνων. Επιπλέον τα διάφορα συστήματα οργάνων στον ανθρώπινο οργανισμό δεν λειτουργούν αυτόνομα αλλά συνεργάζονται μεταξύ τους για να διατηρούν την ομοιόσταση. Ένα καλό παράδειγμα είναι στα Κεφάλαια 12 και 14 σχετικά με την συγχρονισμένη λειτουργία του κυκλοφορικού και ουροποιητικού συστήματος για την ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης. Αυτή η συγχρονισμένη λειτουργία συχνά αναφέρεται και ως ενσωμάτωση των λειτουργιών στα πλαίσια της φυσιολογίας.
3. **Οι περισσότερες φυσιολογικές λειτουργίες ελέγχονται από πολλαπλά ρυθμιστικά συστήματα, που συχνά εργάζονται και σε αντίθετη κατεύθυνση.** Συνήθως τα συστήματα ελέγχου στον ανθρώπινο οργανισμό λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε μια παράμετρος, όπως η καρδιακή συχνότητα, να δέχεται και διεγερτικά και ανασταλτικά σήματα. Όπως θα δούμε αναλυτικά και στο Κεφάλαιο 6, για παράδειγμα το αυτόνομο νευρικό σύστημα στέλνει και τα δύο είδη μηνυμάτων στην καρδιά. Έτσι ρυθμίζοντας την αναλογία διέγερσης – αναστολής, γίνεται μικρορύθμιση της καρδιακής συχνότητας καθώς αλλάζουν οι συνθήκες, όπως από ηρεμία σε άσκηση.
4. **Η μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ των κυττάρων, ιστών, και οργάνων είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό της ομοιόστασης που επιτρέπει να γίνεται ενσωμάτωση των φυσιολογικών διαδικασιών.** Τα κύτταρα επικοινωνούν με τα κύτταρα που είναι δίπλα τους με χημικά μηνύματα, που εκκρίνονται τοπικά· ένα καλό παράδειγμα είναι τα κύτταρα στο στομάχι που εκκρίνουν οξέα που είναι σημαντικά για την πέψη των πρωτεϊνών (βλ. Κεφάλαιο 15). Επίσης κύτταρα από ένα σημείο μπορούν να επικοινωνήσουν σε απόσταση με άλλα κύτταρα με ηλεκτρικά μηνύματα ή χημικά μηνυματοφόρα μόρια όπως οι ορμόνες. Ηλεκτρικά και ορμονικά σήματα θα συζητηθούν στην συνέχεια διεξοδικά στα Κεφάλαια 6, 7 και 11.
5. **Έλεγχος ανταλλαγής προϊόντων μεταξύ των διαμερισμάτων των υγρών του σώματος αλλά και της κυτταρικής μεμβράνης.** Η κίνηση του νερού και των διαλυμένων ουσιών, όπως ιόντων, σακχάρων, και άλλων μορίων, ανάμεσα στο εξωκυττάριο και ενδοκυττάριο υγρό είναι κρίσιμη για την επιβίωση όλων των κυττάρων, ιστών και οργάνων. Με αυτό τον τρόπο σημαντικά μόρια μεταφέρονται στα κύτταρα και απόβλητα απομακρύνονται από το σώμα. Η κίνηση των ιόντων μάλιστα, δημιουργεί ηλεκτρικές ιδιότητες που είναι κρίσιμες για την λειτουργία πολλών κυττάρων. Αυτές οι ανταλλαγές γίνονται μέσω αρκετών διαφορετικών μηχανισμών που θα συζητηθούν στο Κεφάλαιο 4.
6. **Οι φυσιολογικές διαδικασίες υπακούουν στους νόμους της φυσικής και της χημείας.** Σε όλο το σύγγραμμα θα συναντήσουμε απλές χημικές αντιδράσεις, όπως η αντιστρέψιμη σύνδεση του οξυγόνου με την πρωτεΐνη της αιμοσφαιρίνης στα ερυθροκύτταρα (Κεφάλαιο 13). Ο βασικός μηχανισμός που ρυθμίζει τέτοι-

ες αντιδράσεις περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3. Φυσικοί νόμοι, όπως η βαρύτητα, ο ηλεκτρομαγνητισμός και η σχέση ανάμεσα στη διάμετρο ενός σωλήνα και της ροής ενός υγρού μέσα σε αυτό τον σωλήνα, βοηθά να εξηγήσουμε γιατί αισθανόμαστε ζάλη όταν σηκωνόμαστε πολύ απότομα (Κεφάλαιο 12), πώς ο οφθαλμός ανιχνεύει φως (Κεφάλαιο 7), και πως γεμίζουν οι πνεύμονες με αέρα (Κεφάλαιο 13).

7. **Οι φυσιολογικές διαδικασίες απαιτούν μεταφορά και ισορροπία ύλης και ενέργειας.** Η ανάπτυξη και η διατήρηση της ομοιότητας απαιτεί ρύθμιση της μεταφοράς και μετατροπής των ενεργειακών θρεπτικών συστατικών και των δομικών μορίων ανάμεσα στο σώμα και το περιβάλλον και ανάμεσα στις διάφορες περιοχές του σώματος. Μετά την πέψη των θρεπτικών ουσιών (Κεφάλαιο 15) αυτές αποθηκεύονται με διαφορετικές μορφές (Κεφάλαιο 16) και τελικά μεταβολίζονται για να ελευθερώσουν ενέργεια η οποία μπορεί να αποθηκευτεί στους δεσμούς του ATP (Κεφάλαια 2, 3, και 16). Επίσης, ρυθμίζεται και η συγκέντρωση αρκετών μορίων ανόργανων ουσιών για την διατήρηση της δομής και της λειτουργίας του σώματος για παράδειγμα, το ασβέστιο που βρίσκεται στα οστά (Κεφάλαιο 11). Μια από τις πολύ σημαντικές λειτουργίες του σώματος είναι να αντιδρά στις αλλαγές των απαιτήσεων, όπως όταν αυξάνονται οι απαιτήσεις σε θρεπτικές ουσίες και οξυγόνο κατά την άσκηση των μυών. Αυτό χρήζει συντονισμό της τοποθεσίας με τις πηγές ενέργειας και της περιοχής που χρειάζεται ενέργεια αυτή την συγκεκριμένη στιγμή. Ο μηχανισμός με τον οποίον τα συστήματα αναγνωρίζουν και αντιδρούν στις αλλαγές των απαιτήσεων είναι ένα θέμα που θα αναπτυχθεί στα Κεφάλαια 6-19.

8. **Η δομή είναι καθοριστική και γι' αυτό συνεξελίσσεται με την λειτουργία.** Το είδος και η σύνθεση των κυττάρων, των ιστών, των οργάνων και των συστημάτων καθορίζουν πως σχετίζονται μεταξύ τους. Στη συνέχεια θα δούμε παραδείγματα για το πώς διαφορετικά τμήματα του σώματος συγκλίνουν στη δομή τους για να επιτευχθεί παρόμοια λειτουργία. Για παράδειγμα, υπάρχει τεράστια επεξεργασία στην επιφάνεια των μεμβρανών για να διευκολυνθεί η μεταφορά και να γίνει η διάχυση που παρατηρείται στο κυκλοφορικό (Κεφάλαιο 12), αναπνευστικό (Κεφάλαιο 13), ουροποιητικό (Κεφάλαιο 14), πεπτικό (Κεφάλαιο 15), και το αναπαραγωγικό σύστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της Φυσιολογίας του ανθρώπου

1. Φυσιολογία είναι η μελέτη του τρόπου λειτουργίας των ζώντων οργανισμών. Οι φυσιολόγοι ενδιαφέρονται πάντα για τη ρύθμιση των λειτουργιών του σώματος.
2. Στρεβλώσεις των φυσιολογικών λειτουργιών αναφέρονται ως νόσοι και εξετάζονται από την παθοφυσιολογία.

Πως είναι οργανωμένο το ανθρώπινο σώμα;

1. Το κύτταρο είναι η απλούστερη δομική μονάδα που μπορεί να απομονωθεί από έναν πολυκύτταρο οργανισμό, χωρίς να χάσει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ζωής.
2. Η κυτταρική διαφοροποίηση οδηγεί στη δημιουργία εξειδικευμένων κυττάρων τεσσάρων κατηγοριών:

- α. τα μυϊκά κύτταρα, που επιτελούν μηχανικό έργο και παράγουν δύναμη και κίνηση,
 - β. τα νευρικά κύτταρα, που παράγουν και άγουν ηλεκτρικά σήματα,
 - γ. τα επιθηλιακά κύτταρα, που εκκρίνουν και απορροφούν επιλεκτικά διάφορα οργανικά μόρια και,
 - δ. τα κύτταρα του συνδετικού ιστού, που συνδέουν, σταθεροποιούν και στηρίζουν τις διάφορες δομές του σώματος.
3. Εξειδικευμένα κύτταρα παρόμοιων ιδιοτήτων ομαδοποιούνται και σχηματίζουν τους ιστούς. Υπάρχουν τέσσερις κύριοι ιστοί: ο μυϊκός ιστός, ο νευρικός ιστός, ο επιθηλιακός ιστός και ο συνδετικός ιστός.
 4. Τα όργανα αποτελούνται από δυο ή περισσότερα είδη ιστών, από τα τέσσερα είδη, οι οποίοι σε κάθε διαφορετικό όργανο διατάσσονται σε διάφορες αναλογίες και σχήματα. Πολλά όργανα αποτελούνται από πολλές μικρές παρόμοιες λειτουργικές μονάδες.
 5. Σύστημα είναι ένα σύνολο οργάνων που επιτελούν μια κοινή συνολική λειτουργία.

Διαμερισματοποίηση των υγρών του σώματος

1. Τα υγρά του σώματος περικλείονται σε διαμερίσματα.
 - α. Το εξωκυττάριο υγρό αποτελείται από το μεσοκυττάριο υγρό (το υγρό μεταξύ των κυττάρων ενός ιστού) και το πλάσμα του αίματος. Το 75%-80% του εξωκυτταρίου υγρού είναι μεσοκυττάριο υγρό και το 20%-25% πλάσμα.
 - β. Το μεσοκυττάριο υγρό και το πλάσμα έχουν ουσιαστικά την ίδια σύνθεση, με τη μόνη διαφορά, ότι το πλάσμα περιέχει πολύ υψηλότερη συγκέντρωση πρωτεϊνών.
 - γ. Η σύνθεση του εξωκυτταρίου υγρού διαφέρει σημαντικά από τη σύνθεση του ενδοκυτταρίου υγρού στο εσωτερικό των κυττάρων.
 - δ. Από το σύνολο του νερού που υπάρχει στο σώμα, περίπου το ένα τρίτο είναι στο εξωκυττάριο διαμέρισμα και τα δύο τρίτα ενδοκυτταρικά.
2. Η διαφορετική σύνθεση δύο υγρών διαμερισμάτων που γειτονεύουν, αντανάκλα τη λειτουργία του φραγμού που τα διαχωρίζει.

Ομοίωση: Καθοριστικό χαρακτηριστικό της Φυσιολογίας

1. Το εσωτερικό περιβάλλον του σώματος είναι το εξωκυττάριο υγρό.
2. Η λειτουργία των συστημάτων των οργάνων είναι η διατήρηση του εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερού (αυτό είναι η ομοίωση).
3. Πολυάριθμες παράμετροι διατηρούνται ομοιοστατικά σταθερές μέσα στο σώμα. Όταν διαταράσσεται η ομοίωση μιας παραμέτρου, δύναται να ενεργοποιηθούν μια σειρά από αλλαγές σε άλλες παραμέτρους.

Γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ομοιοστατικού ελέγχου

1. Ομοίωση είναι η σταθερότητα συνθηκών στο εσωτερικό περιβάλλον του οργανισμού που προκύπτει από τη δράση αντισταθμιστικών συστημάτων ομοιοστατικού ελέγχου.
 - α. Στα συστήματα ελέγχου αρνητικής ανατροφοδότησης, μια αλλαγή στη ρυθμιζόμενη παράμετρο επιφέρει αποκρίσεις, οι οποίες αντιδρούν στην κατεύθυνση αλλαγής της παραμέτρου και τείνουν να την επαναφέρουν προς τα αρχικά της επίπεδα. Τα συστήματα αρνητικής ανατροφοδότησης ελαχιστοποιούν τις αποκλίσεις από το λειτουργικό σημείο και οδηγούν σε σταθερότητα.
 - β. Τα συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου ελαχιστοποιούν τις μεταβολές του εσωτερικού περιβάλλοντος, αλλά δεν εξασφαλίζουν πλήρη σταθερότητα.
 - γ. Ο μηχανισμός της προτροφοδότησης προεξοφλεί τις μετα-

βολές και ελαχιστοποιεί τις διακυμάνσεις της ελεγχόμενης παραμέτρου, ενώ παράλληλα βελτιώνει την ταχύτητα των ομοιοστατικών αποκρίσεων του σώματος.

Συστατικά τμήματα των συστημάτων ομοιοστατικού ελέγχου

1. Τα συστατικά τμήματα ενός αντανakλαστικού τόξου είναι ο αισθητήρας, η προσαγωγός οδός, το κέντρο ολοκλήρωσης, η απαγωγός οδός και το εκτελεστικό όργανο. Οι οδοί μπορεί να είναι νευρικές ή ορμονικές.
2. Οι τοπικές ομοιοστατικές αποκρίσεις είναι και αυτές ακολουθίες του τύπου ερέθισμα-απόκριση, αλλά συμβαίνουν μόνο στην περιοχή που εμφανίζεται το ερέθισμα, ενώ δεν παίρνουν μέρος σε αυτές νεύρα ή ορμόνες.

Ο ρόλος των διακυτταρικών χημικών αγγελιαφόρων στην ομοιόσταση

1. Η διακυτταρική επικοινωνία αποτελεί ουσιώδες προαπαιτούμενο των αντανakλαστικών τόξων και των τοπικών αποκρίσεων και επιτελείται με τους νευροδιαβιβαστές, τις ορμόνες και τους παρακρινείς παράγοντες. Ένα πολύ μικρό τμήμα της διακυτταρικής επικοινωνίας επιτελείται ανάμεσα σε κύτταρα που συνδέονται με χασματικές συνδέσεις ή διαθέτουν ειδικά μηνυματοφόρα μόρια στη μεμβράνη τους.

Διαδικασίες που σχετίζονται με την ομοιόσταση

1. Εγκλιματισμός λέγεται η βελτίωση της ικανότητας ενός οργανισμού να αποκρίνεται σε εντάσεις περιβαλλοντικής προέλευσης. Η βελτιωμένη ικανότητα απόκρισης επάγεται από την παρατεταμένη έκθεση του οργανισμού στον εντασιογόνο παράγοντα, χωρίς να απαιτούνται κάποια ιδιαίτερα γενετικά χαρακτηριστικά.
2. Οι βιολογικοί ρυθμοί συνιστούν στοιχεία προτροφοδότησης των συστημάτων ομοιοστατικού ελέγχου.
 - α. Οι ρυθμοί εκκινούνται εσωτερικά, από βηματοδότες του εγκεφάλου, αλλά τροποποιούνται από περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως είναι το φως, οι οποίες επιπλέον μπορούν να μετατοπίσουν την φάση ενός ρυθμού (αναχρονισμός).
 - β. Αν απουσιάζουν οι εξωτερικές παράμετροι, τότε οι ρυθμοί εμφανίζονται με δική τους εσωτερική (πρωτογενή) συχνότητα και ονομάζονται ελεύθεροι.
3. Το ισοζύγιο ουσιών στο σώμα επιτυγχάνεται με τον ισοσκελισμό εισερχομένων και εξερχομένων ποσοτήτων τους. Το ολικό ισοζύγιο μιας ουσίας στο σώμα μπορεί να είναι αρνητικό, θετικό ή σταθερό.

Γενικές αρχές της Φυσιολογίας

1. Πολλές είναι οι βασικές και γενικές αρχές της Φυσιολογίας που είναι σημαντικές για την κατανόηση της λειτουργίας του ανθρώπινου σώματος σε όλα τα επίπεδα, από το κύτταρο μέχρι ολόκληρο σύστημα οργάνων. Αυτό συμπεριλαμβάνει μεταξύ άλλων την ομοιόσταση, την ροή πληροφοριών, των συντονισμό λειτουργίας διαφόρων συστημάτων και την διατήρηση ισορροπίας ανάμεσα στην ύλη και την ενέργεια.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

1. Περιγράψτε τα επίπεδα κυτταρικής οργάνωσης και αναφέρατε τα τέσσερα είδη διαφοροποιημένων κυττάρων και ιστών.
2. Αναφέρατε ονομαστικά τα δέκα συστήματα οργάνων του σώματος και περιγράψτε σε μια γραμμή τις λειτουργίες τους.
3. Αναφέρατε δύο υγρά που αποτελούν το εξωκυττάριο υγρό. Ποιές είναι οι σχετικές τους αναλογίες στο σώμα, και σε τι διαφέρουν στη σύνθεσή τους;

4. Αναφέρατε το σχετικό όγκο νερού στα διάφορα διαμερίσματα υγρών του σώματος.
5. Περιγράψτε διάφορες σημαντικές γενικεύσεις που ισχύουν σε όλα τα συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου.
6. Συγκρίνετε τα συστήματα θετικής και αρνητικής ανατροφοδότησης.
7. Αναφέρατε τα επιμέρους τμήματα ενός αντανakλαστικού τόξου.
8. Ποιά είναι η βασική διαφορά ανάμεσα σε μια τοπική ομοιοστατική απόκριση και ένα αντανakλαστικό;
9. Αναφέρατε τις γενικές κατηγορίες ενδοκυττάρων μηνυματοφόρων μορίων.
10. Περιγράψτε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες εμφανίζεται η διαδραστικότητα του εγκλιματισμού. Πότε δεν είναι αναστρέψιμος ο εγκλιματισμός; Ο εγκλιματισμός που συμβαίνει σε ένα άτομο μεταβιβάζεται στους απογόνους του;
11. Κάτω από ποιές συνθήκες αποδεσμεύονται από τον εικοσιπτάωρο κύκλο τους και αποκτούν τη δική τους πρωτογενή συχνότητα οι περι24ωροι ρυθμοί;
12. Πότε και πώς συμβαίνει μετατόπιση φάσης;
13. Ποιές παράμετροι του περιβάλλοντος παίζουν ρόλο στην εμφάνιση των σωματικών βιορυθμών;
14. Σχεδιάστε ένα διάγραμμα που να δείχνει την έννοια της ισορροπίας στην ομοιόσταση.
15. Σημειώστε μια λίστα με τις βασικές αρχές της φυσιολογίας. Εξηγήστε τι σημαίνει η κάθε αρχή.

ΟΡΟΙ-ΚΛΕΙΔΙΑ

αντανakλαστικό, 45	κυτταρική διαφοροποίηση, 37
αντανakλαστικό τόξο, 45	κύτταρο, 36
απαγωγοί οδοί, 46	κύτταρο συνδετικού ιστού, 38
αρνητικό ισοζύγιο, 50	κύτταρο-στόχος (στοχοθετημένο κύτταρο), 47
αυτοκρινής παράγοντας, 47	κωνάριο, 50
βασική μεμβράνη, 38	λειτουργική μονάδα, 39
βηματοδότης, 50	λειτουργικό σημείο ή ομοιοστατικό σημείο ή σταθερό σημείο ή επιθυμητή τιμή, 42
δεξαμενή, 50	μελατονίνη, 50
δυναμική ισορροπία, 41	μεσοκυττάριο ή διάμεσο υγρό, 40
εγκλιματισμός, 48	μυϊκό κύτταρο, 37
εκτελεστικό όργανο ή	μυϊκός ιστός, 37
όργανο-δράσης, 45	νευρικός ιστός, 37
ελεύθερος ρυθμός, 49	νευροδιαβιβαστής, 47
ενδοκρινής αδένας, 47	ομοιόσταση, 41
ενδοκυττάριο υγρό, 40	όργανο, 37
εξωκυττάρια θεμέλια ουσία, 38	ορμόνη, 46
εξωκυττάριο υγρό, 38, 40	παθοφυσιολογία, 36
επιθηλιακό κύτταρο, 37	παρακρινής παράγοντας, 47
επιθηλιακός ιστός, 37	πλάσμα, 40
επίκτητο αντανakλαστικό	προσαρμογή, 48
εσωτερικό περιβάλλον, 39	σταθερό ισοζύγιο, 50
θετική ανατροφοδότηση, 43	συνδετικός ιστός, 37
θετικό ισοζύγιο, 50	σύστημα ομοιοστατικού ελέγχου, 42
ίνα, 38	σύστημα οργάνων, 37
ίνα ελαστίνης, 38	τοπική ομοιοστατική απόκριση, 47
ίνα κολλαγόνου, 38	υποδοχέας, 45
ιστός, 37	φυσιολογία, 51
κατάσταση ισοστάθμισης ή	χρονισμός, 49
σταθερή κατάσταση, 42	
κέντρο ολοκλήρωσης ή	
λειτουργικός ελεγκτής, 45	
κirkάδιος ρυθμός, 49	



Σε αυτό το τμήμα του κάθε κεφαλαίου θα βρείτε ένα θέμα το οποίο ονομάζεται «μελέτη κλινικής περίπτωσης». Αυτά τα τμήματα σας προτρέπουν να χρησιμοποιήσετε αυτά που μάθατε σε κάθε κεφάλαιο, εφαρμόζοντάς τα σε παραδείγματα της καθημερινής ζωής, και κάτω από διαφορετικές ιατρικές συνθήκες. Οι μελέτες κλινικών περιπτώσεων θα αυξάνουν σε πολυπλοκότητα καθώς θα προχωράτε στη μελέτη του βιβλίου και θα σας δώσουν την δυνατότητα να συν-

δυάσετε τα υλικά από το κάθε κεφάλαιο με πληροφορίες που μάθατε σε προηγούμενα κεφάλαια. Σε αυτή την πρώτη μελέτη κλινικής περίπτωσης θα εξετάσουμε μια σοβαρή και δυνητικά επικίνδυνη για τη ζωή κατάσταση που μπορεί να συμβεί σε άτομα στα οποία διαταράσσεται η ομοιόσταση στη θερμοκρασία του σώματος. Όλα τα υλικά που παρουσιάζονται σε αυτή τη μελέτη κλινικής περίπτωσης θα εξερευνηθούν σε βάθος στα επόμενα κεφάλαια, καθώς θα μαθαίνετε τους βαθύτερους μηχανισμούς που δημιουργούν παθολογική κατάσταση και τις αντισταθμιστικές ενέργειες του οργανισμού που εδώ παρουσιάζονται εν συντομία. Καθώς διαβάζετε, προσέξτε ότι οι δύο πρώτες γενικές αρχές της φυσιολογίας που περιγράφηκαν νωρίτερα είναι ιδιαίτερα σχετικές με αυτή την περίπτωση. *Συνιστάται έντονα, να επιστρέψετε σε αυτή την περίπτωση σαν οδηγό σημείο στο τέλος του εξαμήνου. Είμαστε σίγουροι ότι θα εκπλαγείτε από το πόσο πολύ θα έχετε κατανοήσει την φυσιολογία μέχρι εκείνο το χρονικό σημείο.*

Ένας άνδρας 64 ετών χωρίς παθολογία στο δέρμα και με καλή γενική υγεία ξόδεψε μια πολύ ζεστή και υγρή καλοκαιρινή ημέρα κάνοντας εργασίες κηπουρικής στο κήπο του. Μετά από πολλές ώρες στον ήλιο άρχισε να αισθάνεται ελαφρύ πονοκέφαλο και σύγχυση καθώς γονάτισε προς τα εμπρός στο κομμάτι με τα λαχανικά. Παρότι προηγουμένως ίδρωνε κανονικά, προοδευτικά η εφίδρωση σταμάτησε. Επειδή επίσης αισθάνθηκε σύγχυση και αποπροσανατολισμό δεν μπορούσε να θυμηθεί για πόσο χρονικό διάστημα δεν είχε εφίδρωση, ή ακόμα για πόσο χρονικό διάστημα δεν είχε πει νερό. Φώναξε την γυναίκα του, η οποία ανησύχησε όταν είδε ότι το δέρμα του είχε αποκτήσει ένα απαλό μπλε χρώμα. Είπε στον άνδρα της να μπει στο σπίτι, αλλά αυτός λιποθύμησε αμέσως μόλις προσπάθησε να σταθεί. Η γυναίκα κάλεσε ασθενοφόρο και ο άνδρας μεταφέρθηκε στο νοσοκομείο και διαγνώστηκε με μία κατάσταση που ονομάζεται θερμοπληξία. Τι συμβαίνει σε αυτόν τον άνδρα που μπορεί να εξηγήσει την κατάσταση του; Πως αυτό σχετίζεται με την ομοιόσταση;

Όπως διδαχτήκατε σε αυτό το κεφάλαιο η θερμοκρασία του σώματος είναι μια φυσιολογική λειτουργία που υπόκειται σε ομοιοστατικό έλεγχο. Αν η θερμοκρασία του σώματος μειωθεί, αυξάνεται η παραγωγή θερμότητας και μειώνεται η απώλεια θερμότητας όπως φαίνεται στα Σχήματα 1.5 και 1.8. Αντίθετα, όπως και στο παράδειγμά μας αν η θερμοκρασία του σώματος αυξηθεί, μειώνεται η παραγωγή θερμότητας και αυξάνεται η απώλεια της. Όταν ο ασθενής μας ξεκίνησε να ασχολείται με τον κήπο του μια ζεστή και υγρή ημέρα, η θερμοκρασία του σώματός του ξεκίνησε να αυξάνει. Αρχικά είχε έντονη εφίδρωση. Όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 16, η εφίδρωση είναι ένας σημαντικός μηχανισμός με τον οποίο το σώμα αποβάλλει θερμότητα. Χρειάζεται ικανοποιητική θερμότητα στο δέρμα για να εξατμιστεί το νερό από την επιφάνειά του, και η πηγή αυτής της θερμότητας προέρχεται από το σώμα. Ωστόσο, όπως πιθανά να γνωρίζετε από προσωπική εμπειρία, η εξάτμιση του νερού από το σώμα είναι λιγότερο αποτελεσματική σε υγρό περιβάλλον. Το γεγονός αυτό καθιστά την άσκηση περισσότερο επικίνδυνη για την πρόκληση θερμογενών διαταραχών σε περίπτωση που κάποιος ασκείται όχι μόνο σε θερμό αλλά και σε υγρό περιβάλλον.

Οι πηγές παραγωγής ιδρώτα είναι οι ιδρωτοποιοί αδένες οι οποίοι εντοπίζονται κάτω από το δέρμα και εκκρίνουν ένα αλμυρό διάλυ-

μα μέσω των πόρων στην επιφάνεια του δέρματος. Το υγρό στον ιδρώτα προέρχεται από το μεσοκυττάριο υγρό, το οποίο όπως είδαμε αποτελείται από πλάσμα και στοιχεία διάμεσου υγρού (βλ. Σχήμα 1.3). Συνεπώς, ο ιδρώτας που παρήχθη αρχικά σε αυτόν τον άνδρα προκάλεσε τη μείωση των επιπέδων του εξωκυττάριου υγρού. Στην πραγματικότητα, τα υγρά του σώματος μειώθηκαν τόσο δραματικά, ώστε μειώθηκε η ποσότητα του αίματος που αντλείτο από την καρδιά σε κάθε καρδιακό παλμό. Όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 12, η σχέση των υγρών του σώματος και της αρτηριακής πίεσης είναι σημαντική. Γενικά, αν τα επίπεδα του εξωκυττάριου υγρού μειωθούν, σαν συνέπεια μειώνεται και η πίεση. Αυτό εξηγεί γιατί ο ασθενής μας ένοιωσε ζαλάδα, ιδιαίτερα όταν προσπάθησε να σηκωθεί. Καθώς μειωνόταν η αρτηριακή του πίεση, μειωνόταν και η δυνατότητα της καρδιάς για παροχή αίματος στον εγκέφαλο ενάντια στη βαρύτητα. Όταν τα εγκεφαλικά κύτταρα δεν λαμβάνουν αίμα, αρχίζουν να υπολειπονται. Η ξαφνική όρθια θέση έκανε τα πράγματα χειρότερα. Πιθανά έχετε νιώσει την εμπειρία μιας ζαλάδας καθώς σηκώνεστε γρήγορα από ύπτια ή καθιστή θέση. Κανονικά, όπως θα δούμε στα Κεφάλαια 6 και 12, το νευρικό σύστημα ανταποκρίνεται γρήγορα με αντισταθμιστικές ενέργειες στην αλλαγή της θέσης του σώματος ενάντια στη μείωση της αιματικής ροής στον εγκέφαλο λόγω βαρύτητας. Παρόλα αυτά, σε ένα άτομο με μειωμένη πίεση και όγκο αίματος οι αντισταθμιστικές ενέργειες μπορεί να μην είναι αποτελεσματικές και το άτομο να χάσει τις αισθήσεις του. Μετά την πτώση του στο έδαφος, ο άνδρας είχε στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο την καρδιά και το κεφάλι, επομένως το αίμα μπορούσε να φτάσει ευκολότερα στον εγκέφαλο.

Μια άλλη ανησυχία, είναι η αλλαγή στην συγκέντρωση αλατιού στα υγρά του σώματος. Αν ποτέ έχετε γευτεί τον ιδρώτα σας με το άνω χέιλος σας μια ζεστή ημέρα, θα γνωρίζετε ότι είναι αλμυρός. Αυτό συμβαίνει επειδή ο ιδρώτας προέρχεται από το εξωκυττάριο υγρό, το οποίο όπως είδαμε είναι ένα διάλυμα νερού και ιόντων (που προέρχονται από το αλάτι, όπως το NaCl) και άλλες ουσίες. Ο ιδρώτας, παρόλα αυτά, είναι λίγο περισσότερο διαλυτός από το εξωκυττάριο υγρό, επειδή εκκρίνεται περισσότερο νερό και λιγότερα ιόντα από τους ιδρωτοποιούς αδένες. Συνεπώς, όσο περισσότερο ιδρώνουμε, τόσο πιο πυκνό γίνεται το εξωκυττάριο υγρό. Με άλλα λόγια, το συνολικό ποσό νερού και ιόντων μειώνεται με την εφίδρωση, αλλά το εξωκυττάριο υγρό που απομένει είναι πιο «αλμυρό». Η έντονη εφίδρωση επομένως, όχι μόνο διαταράσσει την ομοιόσταση των υγρών του σώματος και της πίεσης, αλλά έχει επίδραση και στην ισορροπία ιόντων στα υγρά του σώματος όπως των Na^+ , K^+ και Cl^- . Η διατήρηση της ομοιόστασης στα ιόντα στα υγρά του σώματος είναι πολύ σημαντική για την κανονική λειτουργία της καρδιάς και του εγκεφάλου, όπως θα δούμε στα κεφάλαια 4 και 6. Καθώς τα ιόντα άλλαξαν συγκέντρωση στον ασθενή μας, αυτό είχε επίδραση και στη λειτουργία του εγκεφάλου του.

Γιατί ο άνδρας σταμάτησε να ιδρώνει και γιατί το δέρμα του έγινε χλωμό; Για να κατανοήσουμε αυτό το φαινόμενο, πρέπει να σκεφτούμε ότι αρκετές ομοιοστατικές παράμετροι διαταράχθηκαν από τις δραστηριότητές του. Αυξήθηκε η θερμοκρασία του σώματός του η οποία είχε αρχικά σαν αποτέλεσμα την αθρόα εφίδρωση. Η συνεχιζόμενη εφίδρωση προκάλεσε διαταραχή της ισορροπίας στα υγρά του σώματος και στην συγκέντρωση των ιόντων. Συνέπεια ήταν η διαταραχή στην πνευματική λειτουργία και η πρόκληση σύγχυσης. Καθώς τα υγρά του σώματος συνέχιζαν μειούμενα, επήλθε πτώση στην αρτηριακή πίεση και επιπλέον διαταραχή στις πνευματικές λειτουργίες. Σε αυτό το σημείο, ο ανταγωνισμός των συστημάτων για την ρύθμιση της ομοιόστασης είναι σημαντικός. Αν και η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος είναι δυνητικά απειλητική για τη ζωή, είναι επίσης απειλητική και η πτώση της αρτηριακής πίεσης. Τελικά, πολλά από τα αγγεία σε περιοχές που δεν λειτουργούν για τη διατήρηση της επιβίωσης, όπως στο δέρμα, αρχίζουν να κλείνουν. Κάνοντάς το, το αίμα οδηγείται σε πιο ζωτικά όργανα – όπως ο εγκέφαλος – για την διατήρηση της αιματικής ροής. Για αυτό το λόγο το δέρμα του

άνδρα έγινε ωχρό και μπλε, γιατί το ποσό του οξυγονωμένου αίματος στην επιφάνεια του δέρματος μειώθηκε. Δυστυχώς, αν και αυτός ο αντισταθμιστικός μηχανισμός βοήθησε να σωθούν ο εγκέφαλος και άλλα ζωτικά όργανα του άνδρα, η μείωση της ροής του αίματος στην επιδερμίδα κατέστησε αδύνατο για τους ιδρωτοποιούς αδένες να αποδίδουν εξωκυττάριο υγρό και να παράγουν περισσότερο ιδρώτα. Ο άνδρας αυτός επομένως σταμάτησε να ιδρώνει και έχασε έναν σημαντικό μηχανισμό ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος. Σε αυτό το σημείο η θερμοκρασία του σώματός του βγήκε εκτός ελέγχου και η διακομίστηκε στο νοσοκομείο.

Αυτή η περίπτωση παρουσιάζει ένα σημαντικό μηχανισμό ομοίωσης που θα συναντήσετε σε όλο το βιβλίο και που δίνεται έμφαση

ση σε αυτό το κεφάλαιο. Συχνά, όταν μια φυσιολογική μεταβλητή όπως η θερμοκρασία του σώματος διαταράσσεται, οι αντισταθμιστικές ανταποκρίσεις που θα διορθώσουν αυτή τη διαταραχή, δημιουργούν διαταραχές σε άλλες μεταβλητές. Αυτές οι δευτερογενείς διαταραχές πρέπει επίσης να διορθωθούν, και η κάθε ανισορροπία έχει την βαρύτητά της ενάντια των άλλων. Στην παρούσα περίπτωση, δόθηκε στον άνδρα αλατούχο διάλυμα ενδοφλεβίως, για την επαναφορά των υγρών και ιόντων στο σώμα. Επίσης βυθίστηκε σε μια δεξαμενή και του δόθηκαν υγρές κομπρέσες για να μειωθεί η θερμοκρασία του σώματός του. Αν και ο άνδρας συνήλθε, σε πολλές άλλες περιπτώσεις ο οργανισμός δεν επιβιώνει από μια θερμοπληξία, λόγω της ισχυρής της επιρροής στην ομοίωση.

Δείτε το Κεφάλαιο 19 για πιο ολοκληρωμένες, ενοποιημένες μελέτες περίπτωσης

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Οι απαντήσεις βρίσκονται στο Παράρτημα Α

- Ποιο από τα επόμενα είναι μία από τις κατηγορίες των βασικών ειδών κυττάρων στο σώμα;
 - Αναπνευστικό
 - Επιθηλιακό
 - Ενδοκρινικό
 - Καλυπτήριο
 - Ανοσοποιητικό
- Ποιο από τα παρακάτω είναι λάθος;
 - Η ισορροπία χρειάζεται σταθερή είσοδο ενέργειας.
 - Η θετική ανατροφοδότηση είναι λιγότερο συνηθισμένη στη φύση από την αρνητική ανατροφοδότηση.
 - Η ομοίωση δεν υποθέτει ότι μία παράμετρος δεν μεταβάλλεται.
 - Ο πυρετός είναι ένα παράδειγμα επανατοποθέτησης λειτουργικού σημείου
 - Απαγωγές οδοί σ' ένα ανακλαστικό τόξο μεταφέρουν πληροφορίες από το κέντρο ολοκλήρωσης.
- Σε ένα ανακλαστικό τόξο που αρχίζει με το άγγιγμα του χεριού σε μία ζεστή εστία κουζίνας, σε ποια κατηγορία ιστού ανήκει το εκτελεστικό όργανο;
 - Νευρικό
 - Συνδετικό
 - Μυϊκό
 - Επιθηλιακό
- Σε απουσία οποιασδήποτε περιβαλλοντικής πληροφορίας, ο καρδιακός ρυθμός λέγεται ότι είναι:
 - Χρονισμένος
 - Σε φάση
 - Ελεύθερος
 - Σε μετατόπιση φάσης
 - Δεν υπάρχει
- Το περισσότερο νερό του ανθρώπινου σώματος βρίσκεται στο:
 - Στο μεσοκυττάριο διαμέρισμα
 - Στο ενδοκυττάριο διαμέρισμα
 - Στο πλάσμα
 - Στο ολικό εξωκυττάριο υγρό διαμέρισμα

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΡΙΣΕΩΣ

Οι απαντήσεις βρίσκονται στο Παράρτημα Α

- Οι Inuit της Αλάσκας και του Καναδά έχουν αξιοθαύμαστη ικανότητα να δουλεύουν στο κρύο χωρίς γάντια και δεν υποφέρουν από μειωμένη ροή αίματος στο δέρμα. Δηλώνει αυτό ότι υπάρχει γενετική διαφορά ανάμεσα στους Inuit και τους άλλους ανθρώπους σχετικά με αυτό το χαρακτηριστικό;
- Εξηγήστε πως διατάραξη της ισορροπίας σε μια φυσιολογική παράμετρο προκαλεί αλλαγή σε μία οι περισσότερες παραμέτρους.

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Σχήμα 1.3 Περίπου το $\frac{1}{3}$ του συνολικού νερού του σώματος είναι στο εξωκυττάριο διαμέρισμα. Εάν το νερό είναι το 60% του σωματικού βάρους του ανθρώπου, τότε το νερό στο εξωκυττάριο διαμέρισμα είναι το 20% του σωματικού βάρους ($0.33 \times 0.60 = 0.20$).

Σχήμα 1.6 Αφαιρώντας την αρνητική ανατροφοδότηση από το παράδειγμα θα έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί το προϊόν που σχηματίζεται και τελικά θα εξαντληθεί η ποσότητα του διαθέσιμου υποστρώματος.

Σχήμα 1.8 Εάν αυξηθεί η θερμοκρασία, οι απαγωγές οδοί που φαίνονται σ' αυτό το διάγραμμα θα σταματήσουν ή θα αναστραφούν. Για παράδειγμα, ο μυϊκός τρόμος δεν θα συμβεί (οι μύες μπορεί να γίνουν πιο χαλαροί από ότι συνήθως), και τα αγγεία αίματος στο δέρμα δεν θα συσταλούν. Αντίθετα σε μια τέτοια κατάσταση, τα αγγεία του δέρματος θα διασταλούν για να φέρουν το ζεστό αίμα στην επιφάνεια του δέρματος, από όπου μπορεί να αποβληθεί θερμότητα. Συνεπώς, θα αυξηθεί η απώλεια θερμότητα.