



Παραδείγματα εισροής και εκροής ενέργειας. Για να διατηρηθεί το ισοζύγιο ενέργειας και το σωματικό βάρος, η εισροή ενέργειας (πρόσληψη τροφής) θα πρέπει να ισούται με την ενεργειακή εκροή (ενεργειακές δαπάνες και απώλειες), η οποία περιλαμβάνει εξωτερικές δραστηριότητες (όπως η ποδηλασία) και εσωτερικές διεργασίες (όπως η προώθηση του αίματος στα αγγεία της κυκλοφορίας). Ο υποθάλαμος ελέγχει την πρόσληψη τροφής για τη διατήρηση του ισοζυγίου ενέργειας. Οι νέοι που απεικονίζονται εδώ απολαμβάνουν τη δημόσια παραλία El Capitan στην Καλιφόρνια.

17

Ισοζύγιο ενέργειας και θερμορρύθμιση

ΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΜΕ ΜΙΑ ΜΑΤΙΑ

17.1 Ισοζύγιο ενέργειας

17.2 Θερμορρύθμιση

Ομοιόσταση: Μια σφαιρική άποψη



Η πρόσληψη τροφής είναι απαραίτητη για τις δραστηριότητες του κυττάρου. Για να παραμείνει το σωματικό βάρος σταθερό, το θερμιδικό περιεχόμενο της τροφής θα πρέπει να είναι ίσο με τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες. Το **ισοζύγιο ενέργειας** και κατ' επέκταση το σωματικό βάρος διατηρούνται πρωτίστως από τη ρύθμιση της πρόσληψης τροφής.

Η κατανάλωση ενέργειας παράγει θερμότητα, η οποία είναι σημαντική για τη **θερμορρύθμιση**. Οι άνθρωποι, επειδή βρίσκονται συνήθως σε περιβάλλοντα ψυχρότερα του σώματός τους, θα πρέπει συνεχώς να παράγουν θερμότητα, ώστε να διατηρούν τη θερμοκρασία τους. Επίσης, πρέπει να έχουν μηχανισμούς για να ελαττώνουν τη θερμοκρασία του σώματός τους όταν αυτή αυξάνεται, όπως συμβαίνει κατά την έντονη μυϊκή δραστηριότητα ή την έκθεση σε ένα θερμό εξωτερικό περιβάλλον. Η θερμοκρασία του σώματος πρέπει να ρυθμίζεται επειδή ο ρυθμός των κυτταρικών αντιδράσεων εξαρτάται από τη θερμοκρασία και επειδή η υπερθέρμανση καταστρέφει τις κυτταρικές πρωτεΐνες.

Ο υποθάλαμος αποτελεί το κύριο κέντρο ενσωμάτωσης (απαρτίωσης) και συντονισμού των πληροφοριών για τη διατήρηση τόσο του ενεργειακού ισοζυγίου όσο και της θερμοκρασίας του σώματος.

17.1 | Ισοζύγιο ενέργειας

Κάθε κύτταρο του σώματος χρειάζεται ενέργεια για να πραγματοποιήσει τις απαραίτητες λειτουργίες για την επιβίωσή του (όπως είναι η ενεργός μεταφορά ουσιών διά μέσου των μεμβρανών και η κυτταρική επιδιόρθωση) και να φέρει εις πέρας τις εξειδικευμένες λειτουργίες μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η ομοιόσταση (όπως είναι η αδενική έκκριση ή η μυϊκή συστολή). Όλη η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τα κύτταρα παρέχεται τελικά με την πρόσληψη της τροφής.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της τροφής μετατρέπεται τελικά στο σώμα σε θερμότητα.

Σύμφωνα με τον **πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής** (first law of thermodynamics), η ενέργεια ούτε δημιουργείται εκ του μηδενός ούτε καταστρέφεται. Συνεπώς η ενέργεια υπόκειται σε ισοζύγιο εισροής-εκροής, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα χημικά συστατικά του σώματος, π.χ. νερό (H_2O) και ηλεκτρολύτες (βλ. Ενότητα 15.1).

ΕΙΣΡΟΗ ΚΑΙ ΕΚΡΟΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Η ενέργεια που εμπεριέχεται στην προσλαμβανόμενη τροφή συνιστά *ενεργειακή εισροή* στο σώμα. Η ενέργεια που βρίσκεται εγκλωβισμένη στους χημικούς δεσμούς των ενώσεων στα θρεπτικά συστατικά της τροφής απελευθερώνεται όταν αυτά αποικοδομούνται στο σώμα. Τα κύτταρα δεσμεύουν ένα μέρος αυτής της ενέργειας των θρεπτικών συστατικών στους υψηλής ενέργειας φωσφορικούς δεσμούς της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP· βλ. Ενότητες 2.7 και Α-13). Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη βιοχημική επεξεργασία των προσλαμβανόμενων θρεπτικών συστατικών είτε χρησιμοποιείται άμεσα για την τέλεση βιολογικού έργου είτε αποθηκεύεται στο σώμα για να χρησιμοποιηθεί καταλλήλως αργότερα σε περιόδους αστίας και έλλειψης απορρόφησης θρεπτικών συστατικών.

Η *ενεργειακή εκροή* ή *κατανάλωση* από το σώμα εμπίπτει σε δύο κατηγορίες: εξωτερικό έργο και εσωτερικό έργο (► Εικόνα 17-1). Το **εξωτερικό έργο** (external work) είναι η ενέργεια που καταναλώνεται όταν οι σκελετικοί μύες συστέλλονται για να μετακινήσουν διάφορα αντικείμενα ή για να κινηθεί το σώμα στο εξωτερικό περιβάλλον. Το **εσωτερικό έργο** (internal work) περιλαμβάνει όλες τις υπόλοιπες μορφές κατανάλωσης ενέργειας πλην αυτών που σχετίζονται με την εκτέλεση

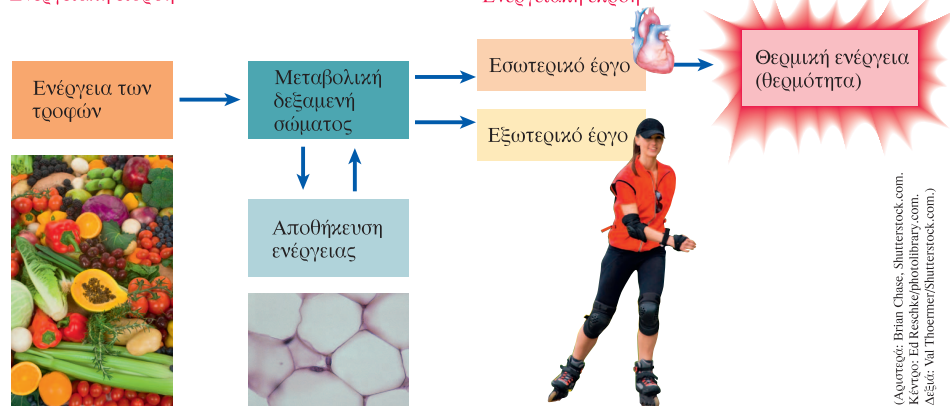
εξωτερικού μηχανικού έργου. Το εσωτερικό έργο περιλαμβάνει δύο τύπους ενεργοβόρων δραστηριοτήτων: (1) δραστηριότητα σκελετικών μυών η οποία χρησιμοποιείται για σκοπούς εκτός εξωτερικού έργου, όπως η σύσπαση των μυών για τη διατήρηση της στάσης του σώματος και το ρίγος, και (2) όλες τις ενεργοβόρες δραστηριότητες που πρέπει να πραγματοποιούνται αδιαλείπτως για τη διατήρηση της ζωής. Στις τελευταίες περιλαμβάνονται το έργο της προώθησης του αίματος στα αγγεία και η αναπνοή, η απαιτούμενη ενέργεια για την ενεργό μεταφορά ουσιών διά μέσου της πλασματικής μεμβράνης των κυττάρων και η ενέργεια που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια αναβολικών (βιοσυνθετικών) αντιδράσεων απαραίτητων για τη διατήρηση, ανάπτυξη (επιδιόρθωση) και αύξηση των κυτταρικών δομών – εν συντομία, το «μεταβολικό κόστος της ζωής».

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση όλης της ενέργειας των θρεπτικών συστατικών της τροφής για την παραγωγή βιολογικού έργου. Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί εκ του μηδενός ή να καταστραφεί, αλλά μπορεί να μετατραπεί από μία μορφή σε μία άλλη. Η ενέργεια των θρεπτικών συστατικών που δε χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει έργο μετατρέπεται σε **θερμική ενέργεια** (thermal energy) ή **θερμότητα** (heat). Κατά τη διάρκεια της βιοχημικής επεξεργασίας, μόνο 50% περίπου της ενέργειας των θρεπτικών συστατικών μετατρέπεται σε ATP, ενώ το υπόλοιπο 50% χάνεται αμέσως ως θερμότητα. Όταν τα κύτταρα καταναλώνουν ATP, άλλο ένα 25% της ενέργειας που προέρχεται από την τροφή μετατρέπεται σε θερμότητα. Επειδή το σώμα δεν είναι θερμική μηχανή, δεν μπορεί να μετατρέψει τη θερμότητα σε έργο. Γι' αυτόν τον λόγο, μόλις 25% της προσλαμβανόμενης ενέργειας είναι διαθέσιμο για έργο, είτε εξωτερικό είτε εσωτερικό. Το υπόλοιπο 75% χάνεται ως θερμότητα κατά τη διαδοχική μεταφορά ενέργειας από τα θρεπτικά συστατικά σε ATP και τελικά στα κυτταρικά συστήματα.

Επιπλέον, από την ενέργεια που πραγματικά χρησιμοποιείται από το σώμα, σχεδόν όλη μετατρέπεται τελικά σε θερμότητα. Για παράδειγμα, η ενέργεια που καταναλώνεται από την καρδιά για την προώθηση του αίματος στα αγγεία της κυκλοφορίας μετατρέπεται σταδιακά σε θερμότητα λόγω τριβής, καθώς το αίμα ρέει μέσα στα αγγεία. Επίσης, η ενέργεια που καταναλώνεται για τη σύνθεση δομικών πρωτεϊνών τελικά χάνεται ως θερμότητα, όταν οι πρωτεΐνες αποικοδομούνται κατά τη φυσιολογική πορεία αναπλήρωσης (turnover) των κυτταρικών συστατικών. Ακόμα και κατά την εκτέλεση εξωτερικού έργου, οι σκελετικοί μύες μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε μηχανικό έργο ανεπαρκώς, καθώς το 75% της ενέργειας που καταναλώνεται χάνεται τελικά ως θερμότητα. Συνεπώς όλη η ενέργεια που απελευθερώνεται από την προσλαμβανόμενη τροφή και δε χρησιμοποιείται άμεσα για τη μετακίνηση εξωτερικών αντικειμένων ή δεν αποθηκεύεται ως λίπος στον λιπώδη ιστό (ή ως πρωτεΐνη κατά το στάδιο ανάπτυξης) τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα. Ωστόσο, αυτή η

Ενεργειακή εισροή



► Εικόνα 17-1 Πρόσληψη και αποβολή ενέργειας.

θερμότητα δεν είναι εντελώς χαμένη ενέργεια, αφού μεγάλο μέρος της χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος.

Ο μεταβολικός ρυθμός είναι ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας.

Ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια καταναλώνεται από το σώμα κατά τη διάρκεια εξωτερικού και εσωτερικού έργου είναι γνωστός ως **μεταβολικός ρυθμός** (metabolic rate):

$$\text{Μεταβολικός ρυθμός} = \frac{\text{κατανάλωση ενέργειας/μονάδα χρόνου}}$$

Επειδή το μεγαλύτερο μέρος της καταναλισκόμενης ενέργειας στο σώμα τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα, ο μεταβολικός ρυθμός συνήθως εκφράζεται με όρους ρυθμού παραγωγής θερμότητας σε χιλιοθερμίδες (kilocalories) ανά ώρα. Η βασική μονάδα μέτρησης της θερμικής ενέργειας είναι η **θερμίδα** (calorie), η οποία είναι η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για την άνοδο της θερμοκρασίας 1 γραμμαρίου (g) νερού κατά 1 °C. Αυτή η μονάδα είναι πολύ μικρή και όχι τόσο κατάλληλη όταν γίνεται αναφορά στο ανθρώπινο σώμα, λόγω του μεγέθους της εμπλεκόμενης θερμότητας. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται η **χιλιοθερμίδα** (kilocalorie) ή **Θερμίδα** (Calorie), η οποία ισούται με 1.000 θερμίδες. Ωστόσο, όταν οι διατροφολόγοι χρησιμοποιούν τον όρο «θερμίδες» για την ποσοτικοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου των διαφόρων τροφίμων, στην πραγματικότητα αναφέρονται σε χιλιοθερμίδες ή Θερμίδες. Τέσσερις Θερμίδες (kcal) θερμικής ενέργειας απελευθερώνονται όταν 1 g γλυκόζης οξειδώνεται ή «καίγεται», ανεξάρτητα από το αν η οξείδωση γίνεται εντός ή εκτός σώματος.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

Ο μεταβολικός ρυθμός, και κατ' επέκταση ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας, ποικίλλει εξαρτώμενος από πολλούς παράγοντες, όπως η άσκηση, το άγχος, το ρίγος και η πρόσληψη τροφής. Ο παράγοντας που μπορεί να αυξήσει τον μεταβολικό ρυθμό στο μέγιστο είναι η αυξημένη δραστηριότητα των σκελετικών μυών. Ακόμα και μικρές αυξήσεις του μυϊκού τόνου αυξάνουν ιδιαίτερα τον μεταβολικό ρυθμό και διαφορετικά επίπεδα φυσικής δραστηριότητας τροποποιούν σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση και την παραγωγή θερμότητας (Πίνακας 17-1). Γι' αυτόν τον λόγο, ο μεταβολικός ρυθμός ενός ατόμου υπολογίζεται υπό πρότυπες βασικές συνθήκες, ώστε να ελέγχονται όσο το δυνατόν περισσότερες παράμετροι οι οποίες μπορούν να τον τροποποιήσουν. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να προσδιοριστεί η μεταβολική δραστηριότητα που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των βασικών σωματικών λειτουργιών σε ηρεμία. Ο **βασικός μεταβολικός ρυθμός** (BMR, Basal Metabolic Rate) αντικατοπτρίζει τη λειτουργία του σώματος υπό αργό και χαλαρό ρυθμό («στο ρελαντί»), ή τον ελάχιστο ρυθμό εσωτερικής κατανάλωσης ενέργειας όταν το άτομο είναι ξύπνιο. Ο BMR μετριέται υπό τις παρακάτω πρότυπες συνθήκες:

1. Το άτομο θα πρέπει να βρίσκεται σε σωματική ηρεμία, απέχοντας από κάθε άσκηση τα τελευταία 30 λεπτά τουλάχιστον, ώστε να εξαλειφθεί οποιαδήποτε παραγωγή θερμότητας από μυϊκή προσπάθεια.
2. Το άτομο θα πρέπει να είναι σε νοητική ηρεμία, ώστε να μειωθεί ο μυϊκός τόνος (οι άνθρωποι «σφίγγονται» όταν είναι νευρικοί) και να παρεμποδιστεί η αύξηση των επιπέδων της

ΠΙΝΑΚΑΣ 17-1 Ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας για άτομο 70 κιλών κατά τη διάρκεια διαφορετικών δραστηριοτήτων

Δραστηριότητα	Κατανάλωση ενέργειας (kcal/ώρα)
Ύπνος	65
Ξύπνιος, ακίνητος	77
Καθισμένος, σε ηρεμία	100
Όρθιος, σε ηρεμία	105
Ντύσιμο	118
Δακτυλογράφηση	140
Αργό περπάτημα σε επίπεδο χωρίς κλίση (2,6 λεπτά/ώρα)	200
Ξυλουργική ή βάρη σπιτιού	240
Σεξουαλική δραστηριότητα	280
Ποδηλασία σε επίπεδο χωρίς κλίση (5,5 λεπτά/ώρα)	304
Φτυάρισμα χιονιού ή κοπή ξύλων	480
Κολύμβηση	500
Χαλαρό τρέξιμο (5,3 μίλια/ώρα)	570
Κωπηλασία (20 κινήσεις/λεπτό)	828
Ανέβασμα σκάλας	1100

επινεφρίνης (αδρεναλίνης), δηλαδή της ορμόνης που εκκρίνεται ως απόκριση στο άγχος και η οποία αυξάνει τον μεταβολικό ρυθμό.

3. Η μέτρηση θα πρέπει να πραγματοποιείται σε μια «ευχάριστη» θερμοκρασία δωματίου, ώστε το άτομο να μην κρυώνει και τρέμει. Το ρίγος μπορεί να αυξήσει σημαντικά την παραγωγή θερμότητας.

4. Ο εξεταζόμενος δε θα πρέπει να έχει καταναλώσει οποιαδήποτε τροφή για τουλάχιστον 12 ώρες πριν από τον καθορισμό του BMR, ώστε να αποφευχθεί η **θερμογένεση λόγω τροφής** (diet-induced thermogenesis), δηλαδή η αναπόφευκτη αύξηση του μεταβολικού ρυθμού που παρατηρείται ως επακόλουθο της πρόσληψης τροφής. Αυτή η βραχυπρόθεσμη (σε λιγότερο από 12 ώρες) αύξηση του μεταβολικού ρυθμού δε σχετίζεται με την πέψη της τροφής, αλλά είναι αποτέλεσμα της αύξησης της μεταβολικής δραστηριότητας κατά την επεξεργασία και αποθήκευση των προσλαμβανόμενων θρεπτικών συστατικών, ιδιαίτερα στο ήπαρ, το οποίο είναι το κύριο βιοχημικό εργοστάσιο του οργανισμού.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας για την εκτίμηση του BMR μπορεί να μετρηθεί είτε άμεσα είτε έμμεσα. Κατά τον άμεσο τρόπο προσδιορισμού παραγωγής θερμότητας, το άτομο κλείνεται σε έναν απομονωμένο κλωβό, με νερό να κυκλοφορεί μέσα από τα τοιχώματα. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχόμενου και του εξερχόμενου νερού αντικατοπτρίζει το ποσό της θερμότητας που απελευθερώνεται από το άτομο και προσλαμβάνεται από το νερό καθώς αυτό περνά

μέσα από τον κλωβό. Ωστόσο, επειδή η παραπάνω μέθοδος δεν είναι ιδιαιτέρως απλή στην πράξη, έχει αναπτυχθεί μια πιο εύχρηστη μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού του ρυθμού παραγωγής θερμότητας. Κατά τον έμμεσο τρόπο προσδιορισμού μετριέται απλώς η πρόσληψη οξυγόνου από το άτομο ανά μονάδα χρόνου, η οποία αποτελεί μια απλή διαδικασία που απαιτεί ελάχιστο εξοπλισμό. Θυμηθείτε ότι:

Τροφή + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{ενέργεια}$ (που μετατρέπεται κυρίως σε **θερμότητα**)

Δηλαδή υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του όγκου του οξυγόνου που καταναλώνεται και της ποσότητας της παραγόμενης θερμότητας. Αυτή η σχέση εξαρτάται από τον τύπο της διαίτας και το είδος των θρεπτικών συστατικών που καταναλώνονται και οξειδώνονται. Οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη απαιτούν διαφορετικές ποσότητες οξυγόνου για την πλήρη οξείδωσή τους και αποδίδουν διαφορετικές ποσότητες θερμίδων όταν οξειδώνονται. Ωστόσο, για μια τυπική διαίτα μπορεί να υπολογιστεί μια μέση τιμή της ποσότητας της παραγόμενης ενέργειας ανά λίτρο καταναλισκόμενου οξυγόνου. Αυτή η κατά προσέγγιση τιμή, γνωστή και ως **ενεργειακό ισοδύναμο O_2** (energy equivalent of O_2), ισοδυναμεί με 4,8 kcal απελευθερούμενης ενέργειας ανά λίτρο καταναλισκόμενου οξυγόνου. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, ο μεταβολικός ρυθμός ενός ατόμου που καταναλώνει 15 λίτρα οξυγόνο ανά ώρα μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\begin{array}{lcl} 15 & \text{λίτρα/ώρα} & = \text{κατανάλωση οξυγόνου} \\ \times 4,8 & \text{kcal/λίτρο} & = \text{ενεργειακό ισοδύναμο } O_2 \\ \hline 72 & \text{kcal/ώρα} & = \text{εκτιμώμενος μεταβολικός ρυθμός} \end{array}$$

Αφού υπολογιστεί ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας υπό τις πρότυπες συνθήκες μέτρησης του BMR που περιγράφηκαν παραπάνω, θα πρέπει ακολούθως να συγκριθεί με τις φυσιολογικές τιμές για ανθρώπους ίδιου φύλου, ηλικίας, ύψους και βάρους, καθώς αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά τον βασικό ρυθμό ενεργειακής κατανάλωσης. Για παράδειγμα, ένας μεγαλόσωμος άντρας έχει μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής θερμότητας απ' ό,τι ένας μικρόσωμος. Ωστόσο, αν ληφθεί υπόψη το συνολικό εμβαδόν του σώματος (το οποίο αντικατοπτρίζει το ύψος και το βάρος του ατόμου), η ενεργειακή κατανάλωση εκφραζόμενη σε kcal ανά ώρα ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας είναι περίπου η ίδια.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΒΑΣΙΚΟ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟ ΡΥΘΜΟ Οι θυρεοειδικές ορμόνες είναι ο κύριος αλλά όχι ο μοναδικός ρυθμιστής του βασικού μεταβολικού ρυθμού. Αύξηση των συγκεντρώσεων των θυρεοειδικών ορμονών στην κυκλοφορία οδηγεί σε ανάλογη αύξηση του BMR. Ομοίως, όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση των επιπέδων της επινεφρίνης στην κυκλοφορία αυξάνει τον BMR.

Αντίθετα απ' ό,τι θα ανέμενε κανείς, ο BMR δεν είναι ο ελάχιστος μεταβολικός ρυθμός του σώματος. Ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του ύπνου είναι 10% έως 15% μειωμένος σε σχέση με τον BMR, πιθανόν λόγω της πλήρους χαλάρωσης των μυών που παρατηρείται κατά τη διάρκεια του ύπνου (βλ. Ενότητα 5.9).

Η ενεργειακή εισροή θα πρέπει να είναι ίση με την εκροή, ώστε να διατηρείται το ισοζύγιο ενέργειας.

Αφού η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί εκ του μηδενός ή να καταστραφεί, η ενεργειακή εισροή θα πρέπει να είναι ίση με την ενεργειακή εκροή, σύμφωνα με τα παρακάτω:

Ενεργειακή εισροή = ενεργειακή εκροή

Ενέργεια που = εξωτερικό + εσωτερικό έργο ± αποθη-
προσλαμβάνεται από την τροφή είναι ακριβώς ίση
νεται από (παραγωγή) κευμένη
την τροφή σωματικής ενέργειας
θερμότητας)

Υπάρχουν τρεις πιθανές καταστάσεις ενεργειακής ισορροπίας:

- **Ουδέτερο ισοζύγιο ενέργειας.** Αν η ποσότητα της ενέργειας που προσλαμβάνεται από την τροφή είναι ακριβώς ίση με αυτή που καταναλώνεται από τους μυς για την εκτέλεση εξωτερικού έργου συν αυτή που καταναλώνεται για εσωτερικό έργο, η οποία τελικά εμφανίζεται ως σωματική θερμότητα, τότε η εισροή και η εκροή ενέργειας είναι εντελώς ισορροπημένες και το σωματικό βάρος παραμένει σταθερό.

- **Θετικό ισοζύγιο ενέργειας.** Αν η ποσότητα της ενέργειας που προσλαμβάνεται από την τροφή είναι μεγαλύτερη από αυτή που καταναλώνεται, η πρόσθετη ενέργεια που προσλαμβάνεται αλλά δε χρησιμοποιείται αποθηκεύεται στο σώμα, πρωτίστως ως λίπος στον λιπώδη ιστό, οπότε το σωματικό βάρος αυξάνεται.

- **Αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας.** Αντίθετα, αν η ενέργεια που προσλαμβάνεται από την τροφή είναι λιγότερη από αυτή που χρειάζεται ο οργανισμός για να καλύψει τις βασικές ενεργειακές του ανάγκες, τότε το σώμα θα πρέπει να χρησιμοποιήσει αποθηκευμένη ενέργεια για να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες, με αποτέλεσμα το σωματικό βάρος να μειώνεται αναλόγως.

Για να διατηρήσει ένα άτομο σταθερό το βάρος του σώματός του (με εξαίρεση μικρές αυξομειώσεις που προκαλούνται από αλλαγές στην ποσότητα νερού του σώματος), η προσλαμβανόμενη από την τροφή ενέργεια θα πρέπει να ισούται με την καταναλισκόμενη ενέργεια στο σώμα. Το γεγονός ότι ο μέσος ενήλικας διατηρεί σχετικά σταθερό το βάρος του για μεγάλες χρονικές περιόδους υποδεικνύει ότι υπάρχουν «αυστηρά ρυθμιζόμενοι» (ακριβείς) ομοιοστατικοί μηχανισμοί που εξασφαλίζουν μακροχρόνια την ισορροπία μεταξύ προσλαμβανόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας. Θεωρητικά, το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο του σώματος θα μπορούσε να διατηρηθεί σε σταθερό επίπεδο ρυθμίζοντας την ποσότητα της προσλαμβανόμενης τροφής, τη φυσική δραστηριότητα ή το εσωτερικό έργο και την παραγωγή θερμότητας. Ο έλεγχος της πρόσληψης της τροφής έτσι ώστε να εξυπηρετούνται οι μεταβαλλόμενες μεταβολικές δαπάνες του οργανισμού αποτελεί τον κύριο τρόπο διατήρησης ενός ουδέτερου ισοζυγίου ενέργειας. Οι αλλαγές των επιπέδων φυσικής δραστηριότητας υπόκεινται κυρίως σε εκούσιο έλεγχο και οι μηχανισμοί που τροποποιούν τον βαθμό εσωτερικού έργου και παραγωγής θερμότητας στοχεύουν πρωτίστως στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος παρά στο συνολικό ισοζύγιο ενέργειας.

Ωστόσο, ακόμη και μετά από αρκετές εβδομάδες μειωμένης ή αυξημένης πρόσληψης τροφής με σκοπό την επίτευξη του ιδανικού βάρους, μικρές μόνο αντισταθμιστικές αλλαγές στον μεταβολισμό μπορεί να συμβούν. Για παράδειγμα, μετά από περιορισμό της ενεργειακής πρόσληψης ο οργανισμός χρησιμοποιεί αντισταθμιστικά τα ενεργειακά του αποθέματα πιο αποδοτικά, γεγονός που εξηγεί εν μέρει γιατί άτομα που ακολουθούν δίαιτα απώλειας βάρους δυσκολεύονται να χάσουν επιπλέον βάρος μετά τη σχετικά εύκολη απώλεια των πρώτων 10 περίπου κιλών. Ομοίως, σε απόκριση στον υπερσatiσμό ο οργανισμός μπορεί να χρησιμοποιεί αντισταθμιστικά τα ενεργειακά του

αποθέματα λιγότερο αποδοτικά, γεγονός που εξηγεί εν μέρει τη δυσκολία πολύ αδύνατων ατόμων να αυξήσουν ηθελήμένα το βάρος τους. Παρά αυτές τις μέτριες αντισταθμιστικές μεταβολές στον μεταβολισμό, η ρύθμιση της πρόσληψης τροφής αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα στη μακροχρόνια διατήρηση του ενεργειακού ισοζυγίου και του σωματικού βάρους.

Η πρόσληψη τροφής ρυθμίζεται πρωτίστως από τον υποθάλαμο.

Η πρόσληψη τροφής ρυθμίζεται κατά τρόπο που να αντισταθμίζεται η ενεργειακή κατανάλωση. Ωστόσο, δεν υπάρχουν «υποδοχείς θερμίδων» για τον έλεγχο της ενεργειακής εισροής και εκροής ή του συνολικού ενεργειακού περιεχομένου του σώματος. Αντ' αυτού, στη ρύθμιση της πρόσληψης τροφής σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν διάφορα χημικά μόρια που απελευθερώνονται στην κυκλοφορία και χρησιμεύουν ως αγγελιοφόρα μόρια που πληροφορούν για τη διατροφική κατάσταση του οργανισμού, όπως η ποσότητα του αποθηκευμένου λίπους ή η κατάσταση θρέψης του σώματος. Η ρύθμιση της πρόσληψης τροφής δεν είναι αποτέλεσμα μεταβολών στη συγκέντρωση ενός μόνο αγγελιοφόρου μορίου στην κυκλοφορία, αλλά καθορίζεται από την ενσωμάτωση πολλών πληροφοριών που φτάνουν από διάφορα σημεία σχετικά με τα ενεργειακά αποθέματα του σώματος, τόσο αυτών που βρίσκονται αποθηκευμένα όσο και των καύσιμων θρεπτικών μορίων που βρίσκονται στην κυκλοφορία. Πολλά αγγελιοφόρα μόρια μαζί διασφαλίζουν ότι η διατροφική συμπεριφορά ανταποκρίνεται στις βραχυπρόθεσμες αλλά και στις μακροχρόνιες ενεργειακές ανάγκες του σώματος. Κάποιες πληροφορίες χρησιμοποιούνται στη βραχυπρόθεσμη ρύθμιση της πρόσληψης τροφής, συμβάλλοντας στον έλεγχο της ποσότητας και της συχνότητας των γευμάτων. Εντούτοις, η ενέργεια από την προσλαμβανόμενη τροφή στη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου σπάνια αντιστοιχεί στην καταναλισκόμενη ενέργεια αυτής της ημέρας. Μακροπρόθεσμα, ωστόσο, η συσχέτιση μεταξύ συνολικής θερμιδικής πρόσληψης και συνολικής κατανάλωσης ενέργειας είναι πολύ καλή. Ως εκ τούτου, το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο του σώματος –και κατ' επέκταση το σωματικό βάρος– παραμένει σχετικά σταθερό για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συνεπώς η ενεργειακή ομοιόσταση, δηλαδή το ισοζύγιο ενέργειας, ρυθμίζεται πολύ προσεκτικά.

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΤΟΞΟΕΙΔΟΥΣ ΠΥΡΗΝΑ: ΝΕΥΡΟΠΕΠΤΙΔΙΟ Υ (NPY) ΚΑΙ ΜΕΛΑΝΟΚΟΡΤΙΝΕΣ Ο τοξοειδής πυρήνας (arcuate nucleus) του υποθαλάμου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο τόσο στη μακροπρόθεσμη ρύθμιση του ισοζυγίου ενέργειας και του σωματικού βάρους όσο και στη βραχυπρόθεσμη ρύθμιση της πρόσληψης τροφής από γεύμα σε γεύμα. Ο τοξοειδής πυρήνας είναι μια τοξοειδούς σχήματος περιοχή συνάθροισης νευρώνων στη βάση του υποθαλάμου, δίπλα στην τρίτη κοιλία. Πολλαπλές, υψηλής ενσωμάτωσης, επαναλαμβανόμενες νευρωνικές οδοί (πορείες) διασταυρώνονται εντός και εκτός του τοξοειδούς πυρήνα, ενδεικτικό των πολύπλοκων συστημάτων που εμπλέκονται στην πρόσληψη τροφής και στον κορεσμό. **Μηνύματα πρόσληψης τροφής** (feeding signals) ή **σήματα όρεξης** (appetite signals) επάγουν την εμφάνιση αισθήματος πείνας, οδηγώντας μας να φάμε. Αντίθετα, ο **κορεσμός** (satiety) είναι το αίσθημα πληρότητας. Τα **σήματα κορεσμού** (satiety signals) μας λένε ότι έχουμε φάει αρκετά και καταστέλλουν την επιθυμία για φαγητό.

Ο τοξοειδής πυρήνας περιλαμβάνει δύο υποομάδες νευρώνων, οι οποίες λειτουργούν ανταγωνιστικά. Η μία υπο-

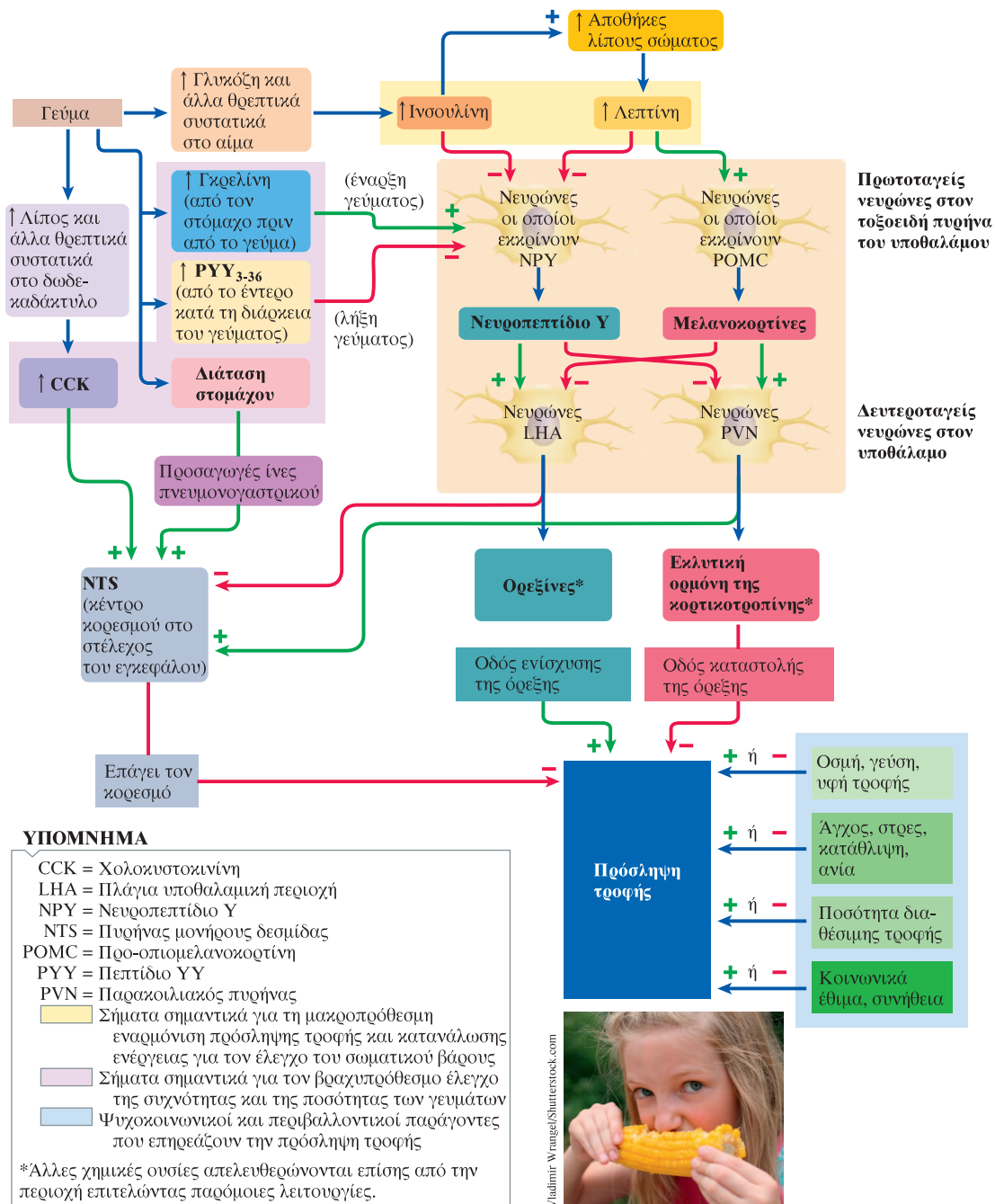
ομάδα εκκρίνει το *νευροπεπτίδιο Υ* και η άλλη απελευθερώνει τις *μελανοκορτίνες*, οι οποίες προέρχονται από την προ-οπιωμελανοκορτίνη (POMC, Pro-opiomelanocortin), ένα πρόδρομο μόριο που μπορεί να διασπαστεί με διαφορετικούς τρόπους ώστε να παράγει διάφορα ορμονικά παράγωγα (βλ. Ενότητα 18.2)*. Το **νευροπεπτίδιο Υ** (NPY, Neuropeptide Y), ένα από τα πιο ισχυρά διεγερτικά της όρεξης, οδηγεί σε αυξημένη πρόσληψη τροφής και κατά συνέπεια στην αύξηση του σωματικού βάρους. Οι *μελανοκορτίνες* (melanocortins), μια ομάδα ορμονών οι οποίες παραδοσιακά θεωρούνταν υπεύθυνες για τη μεταβολή του χρώματος του δέρματος σε ορισμένα είδη με σκοπό το καμουφλάζ, έχει βρεθεί ότι διαδραματίζουν έναν απροσδόκητο ρόλο στην ενεργειακή ομοιόσταση του ανθρώπου. Οι μελανοκορτίνες, και κυρίως η *α-μελανοτρόπος ορμόνη* (α-MSH, α-Melanocyte-Stimulating Hormone) που παράγεται στον υποθάλαμο, καταστέλλουν την όρεξη, επάγοντας τη μειωμένη πρόσληψη τροφής και την απώλεια βάρους. Στον άνθρωπο οι μελανοκορτίνες δεν εμπλέκονται στον γενετικό καθορισμό του χρώματος του δέρματος, αλλά η α-MSH που παράγεται στο δέρμα ως απόκριση στο υπεριώδες φως του ήλιου δρα τοπικά στα χρωμοφόρα κύτταρα που συνθέτουν μελανίνη (μελανοκύτταρα), προκαλώντας το μαύρισμα (βλ. Ενότητα 12.7). Ωστόσο, ο σημαντικότερος ρόλος των μελανοκορτινών στον άνθρωπο είναι ο ρόλος της υποθαλαμικής α-MSH στην καταστολή της όρεξης.

Όμως, το NPY και οι μελανοκορτίνες δεν αποτελούν τους τελικούς τελεστές στη ρύθμιση της όρεξης. Αυτά τα χημικά αγγελιοφόρα μόρια από τον τοξοειδή πυρήνα επηρεάζουν, με τη σειρά τους, την απελευθέρωση νευροπεπτιδίων σε άλλες περιοχές του εγκεφάλου που ασκούν πιο άμεσο ρόλο στη ρύθμιση της πρόσληψης τροφής. Οι επιστήμονες προσπαθούν να διαλευκάνουν τους υπόλοιπους παράγοντες που εμπλέκονται στις οδούς (πορείες) μεταγωγής του σήματος ανοδικά (ανάρρους) και καθοδικά (κατάρρους) του NPY και των μελανοκορτινών και συμβάλλουν στη ρύθμιση της όρεξης.

Σύμφωνα με τα πρόσφατα επιστημονικά δεδομένα, τα παρακάτω εισερχόμενα ρυθμιστικά σήματα στον τοξοειδή πυρήνα και περιφερικότερα αυτού είναι σημαντικά για τη διατήρηση του ισοζυγίου ενέργειας μακροπρόθεσμα και για τον έλεγχο της πρόσληψης τροφής βραχυπρόθεσμα (► Εικόνα 17-2).

ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΑ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΤΟΞΟΕΙΔΗ ΠΥΡΗΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΛΕΠΤΙΝΗ ΚΑΙ ΙΝΣΟΥΛΙΝΗ Η άποψη των επιστημόνων ότι τα **λιποκύτταρα** (adipocytes) στον λιπώδη ιστό αποτελούν αποκλειστικά χώρους αποθήκευσης τριγλυκεριδίων άλλαξε δραματικά τον τελευταίο αιώνα με την ανακάλυψη του ενεργού τους ρόλου στην ενεργειακή ομοιόσταση. Τα λιποκύτταρα εκκρίνουν διάφορες ορμόνες, οι οποίες συνολικά αποκαλούνται **λιποκυτταροκίνες** ή **λιποκίνες** (adipokines) και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο ισοζύγιο ενέργειας και στον μεταβολισμό. Ως εκ τούτου, ο

*Σ.τ.Σ.: Οι δύο υποομάδες νευρώνων στον τοξοειδή πυρήνα είναι ο πληθυσμός **NPY/AgRP** και ο πληθυσμός **POMC/CART**. *AgRP* (Agouti-Related Protein) σημαίνει *σχετιζόμενη με το αγκούτι πρωτεΐνη*. Τόσο το NPY όσο και η AgRP διεγείρουν την όρεξη. *CART* (Cocaine- and Amphetamine-Regulated Transcript) σημαίνει *ρυθμιζόμενο από την κοκαΐνη και την αμφεταμίνη μεταγράφο*. Τόσο οι μελανοκορτίνες όσο και το πεπτίδιο CART καταστέλλουν την όρεξη. Για λόγους απλούστευσης, θα αναφερθούμε μόνο στον ρόλο του NPY και των μελανοκορτινών, αλλά πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι και άλλοι χημικοί διαμεσολαβητές απελευθερώνονται από τον τοξοειδή πυρήνα επιτελώντας ανάλογες λειτουργίες.



➤ **Εικόνα 17-2 Παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσληψη τροφής.**

λιπώδης ιστός θεωρείται πλέον ενδοκρινής αδένας. Στον Πίνακα 17-2 καταγράφονται συνοπτικά οι δράσεις των πιο γνωστών λιποκυτταροκινών. Ορισμένες λιποκυτταροκίνες απελευθερώνονται μόνο από τις αποθήκες λίπους. Ως παράδειγμα θα μπορούσε να αναφερθεί η **λεπτίνη**, η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο ισοζύγιο ενέργειας. Άλλες κυτταροκίνες σχετιζόμενες με τη φλεγμονή, όπως ο **παράγοντας νέκρωσης των όγκων** και η **ιντερλευκίνη 6**, απελευθερώνονται από τον λιπώδη ιστό και από κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος και συμβάλλουν στη χρόνια, χαμηλής έντασης φλεγμονή που συνοδεύει την παχυσαρκία. Άλλες λιποκυτταροκίνες, όπως η **βισφατίνη**, απελευθερώνονται από το **σπλαχνικό λίπος** (visceral fat), το εν τω βάθει,

«κακό» λίπος που περιβάλλει τα ενδοκοιλιακά όργανα. Το σπλαχνικό λίπος είναι περισσότερο πιθανό να αποτελεί εστία χρόνιας φλεγμονής και έχει συσχετιστεί με αυξημένη πιθανότητα καρδιακής νόσου, σε αντίθεση με το πιο επιφανειακό και λιγότερο βλαβερό **υποδόριο λίπος** (subcutaneous fat), το οποίο εναποτίθεται κάτω από το δέρμα. (Υποδόριο είναι το λίπος που πιάνεται τσιμπώντας το δέρμα με τα δύο δάχτυλα.) Άλλες πάλι, όπως η **αδιπονεκτίνη** (ή **λιπονεκτίνη**), είναι «καλές» λιποκυτταροκίνες. Η αδιπονεκτίνη αυξάνει την ευαισθησία στην ινσουλίνη (συμβάλλοντας στην προστασία από τον σακχαρώδη διαβήτη τύπου-2), μειώνει το σωματικό βάρος και έχει αντιφλεγμονώδη δράση. Δυστυχώς, η παχυσαρκία έχει συσχετιστεί με μειωμένη έκκριση αδιπονεκτίνης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 17-2 Κύριες λιποκυτταροκίνες

Αντιποκίνη	Λειτουργία
Λεπτίνη	Απελευθερώνεται από τον λιπώδη ιστό· καταστέλλει την όρεξη· βασιικός ρυθμιστής του ενεργειακού ισοζυγίου και του σωματικού βάρους μακροπρόθεσμα
Αδιπονεκτίνη	Έκκριση από τα λιποκύτταρα η οποία καταστέλλεται στην παχυσαρκία· επάγει την οξείδωση των λιπαρών οξέων στους μυς· αυξάνει την ευαισθησία στην ινσουλίνη· μειώνει το σωματικό βάρος αυξάνοντας την κατανάλωση ενέργειας· έχει αντιφλεγμονώδη δράση
Ρεζιστίνη	Απελευθερώνεται πρωτίστως σε καταστάσεις παχυσαρκίας· οδηγεί σε αντίσταση στην ινσουλίνη
Βισφατίνη	Απελευθερώνεται πρωτίστως από τον σπλαχνικό λιπώδη ιστό· διεγείρει την πρόσληψη γλυκόζης· δεσμεύεται στους υποδοχείς της ινσουλίνης σε θέση διαφορετική από το σημείο πρόσδεσης της ινσουλίνης
Παράγοντας νέκρωσης όγκου α (TNF-α) και ιντερλευκίνη 6 (IL-6)	Προάγουν τη φλεγμονή στον λιπώδη ιστό και στους υπόλοιπους ιστούς του σώματος

Αντίθετα, ορισμένες λιποκυτταροκίνες, όπως η *ρεζιστίνη*, είναι «κακές» λιποκυτταροκίνες. Η *ρεζιστίνη*, η οποία απελευθερώνεται κυρίως σε καταστάσεις παχυσαρκίας, οδηγεί σε αντίσταση στην ινσουλίνη, αυξάνοντας κατά συνέπεια τον κίνδυνο για ανάπτυξη σακχαρώδους διαβήτη τύπου-2.

Μία από τις πιο σημαντικές λιποκυτταροκίνες είναι η **λεπτίνη** (leptin), μια ορμόνη απαραίτητη για τη ρύθμιση του φυσιολογικού βάρους (το όνομά της προέρχεται από την ελληνική λέξη *λεπτός*). Τα επίπεδα της λεπτίνης στο αίμα αποτελούν έναν εξαιρετικό δείκτη της συνολικής ποσότητας αποθηκευμένου λίπους (υπό μορφή τριγλυκεριδίων) στον λιπώδη ιστό. Όσο περισσότερο είναι το αποθηκευμένο λίπος στο σώμα τόσο μεγαλύτερες είναι οι ποσότητες λεπτίνης που απελευθερώνονται στην κυκλοφορία. Η λεπτίνη ανακαλύφθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1990 και ήταν το πρώτο αγγελιοφόρο μόριο που αναγνωρίστηκε ως ένα σήμα κορεσμού. Το εύρημα αυτό προκάλεσε έκρηξη στην επιστημονική έρευνα, χάρη στην οποία διευρύνθηκαν αρκετά τα τελευταία χρόνια οι γνώσεις μας αναφορικά με τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα διάφορα χημικά αγγελιοφόρα μόρια που συμμετέχουν στη ρύθμιση της πρόσληψης τροφής και του σωματικού βάρους.

Ο τοξοειδής πυρήνας αποτελεί τη σπουδαιότερη περιοχή δράσης της λεπτίνης. Αύξηση της συγκέντρωσης της λεπτίνης στην κυκλοφορία, ως αποτέλεσμα των αυξανόμενων αποθηκών λίπους στο σώμα, λειτουργεί μέσω μηχανισμού αρνητικής ανάδρασης ως σήμα για τη μείωση της ενεργειακής

πρόσληψης. Η λεπτίνη καταστέλλει την όρεξη, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την πρόσληψη τροφής και προάγοντας την απώλεια σωματικού βάρους. Αυτό το επιτυγχάνει αφενός αναστέλλοντας την υποθαλαμική έκκριση του ορεξιγόνου νευροπεπτιδίου NPY και αφετέρου διεγείροντας την απελευθέρωση των μελανοκορτινών που καταστέλλουν την όρεξη. Αντίθετα, η μείωση των αποθηκών λίπους και η επακόλουθη μείωση της έκκρισης λεπτίνης προκαλούν αύξηση της όρεξης, με αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους. Η λεπτίνη θεωρείται ευρέως ο κύριος παράγοντας που ευθύνεται για τη μακροπρόθεσμη εναρμόνιση της πρόσληψης τροφής με την κατανάλωση ενέργειας, προκειμένου το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο του σώματος να παραμένει ισορροπημένο και το σωματικό βάρος σταθερό.

Εκτός από τη λεπτίνη, ένα άλλο αγγελιοφόρο μόριο που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον μακροπρόθεσμο έλεγχο του σωματικού βάρους είναι η **ινσουλίνη** (insulin). Η ινσουλίνη, μια ορμόνη που εκκρίνεται από το πάγκρεας μεταγευματικά ως απόκριση στην αύξηση της συγκέντρωσης γλυκόζης και άλλων θρεπτικών συστατικών στο αίμα, διεγείρει την κυτταρική πρόσληψη, τη χρησιμοποίηση και την αποθήκευση αυτών των θρεπτικών συστατικών (βλ. Ενότητα 19.4). Συνεπώς η αυξημένη έκκριση ινσουλίνης που συνοδεύει την αυξημένη προσφορά, χρησιμοποίηση και αποθήκευση θρεπτικών συστατικών αναστέλλει την έκκριση του NPY από τους NPY-νευρώνες του τοξοειδούς πυρήνα, καταστέλλοντας έτσι την περαιτέρω πρόσληψη τροφής.

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΟΞΟΕΙΔΗ ΠΥΡΗΝΑ: ΟΡΕΞΙΝΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΜΟΡΙΑ

Στον υποθάλαμο υπάρχουν δύο περιοχές που δέχονται πλούσιες συνάψεις από τους νευρώνες του τοξοειδούς πυρήνα που εκκρίνουν NPY και μελανοκορτίνες. Αυτές οι δεύτερης τάξης νευρωνικές περιοχές, οι οποίες εμπλέκονται στη ρύθμιση του ισοζυγίου ενέργειας και της πρόσληψης τροφής, είναι η **πλάγια υποθαλαμική περιοχή** (LHA, Lateral Hypothalamic Area) και ο **παρακοιλιακός πυρήνας** (PVN, Paraventricular Nucleus). Οι νευρώνες των περιοχών αυτών, LHA και PVN, απελευθερώνουν χημικά αγγελιοφόρα μόρια ως απόκριση σε εισερχόμενα ερεθίσματα από τους νευρώνες του τοξοειδούς πυρήνα. Αυτά τα αγγελιοφόρα μόρια δρουν καθοδικά του NPY και της μελανοκορτίνης ρυθμίζοντας την όρεξη. Οι νευρώνες της LHA συνθέτουν και εκκρίνουν **ορεξίνες** (orexins), οι οποίες είναι ισχυροί διεγέρτες της πρόσληψης τροφής. Το NPY διεγείρει και οι μελανοκορτίνες αναστέλλουν την απελευθέρωση των ορεξινών. Αντίθετα, οι νευρώνες του PVN απελευθερώνουν χημικά αγγελιοφόρα μόρια, για παράδειγμα την **εκλυτική ορμόνη της κορτικοτροπίνης** (corticotropin-releasing hormone), τα οποία μειώνουν την όρεξη και την πρόσληψη τροφής. (Όπως υποδηλώνει το όνομά της, η εκλυτική ορμόνη της κορτικοτροπίνης είναι πιο γνωστή για τον ρόλο της ως ορμόνης· βλ. Ενότητα 19.2.) Οι μελανοκορτίνες διεγείρουν και το NPY αναστέλλει την απελευθέρωση αυτών των μορίων που καταστέλλουν την όρεξη.

Εκτός από τη σημασία της λεπτίνης, της ινσουλίνης και πιθανόν και άλλων «**σημάτων παχυσαρκίας**» (adiposity signals, σήματα που σχετίζονται με το μέγεθος των αποθηκών λίπους στον λιπώδη ιστό), καθώς και των κατάρρους διαμεσολαβητών τους, στον μακροπρόθεσμο έλεγχο του σωματικού βάρους άλλοι παράγοντες διαδραματίζουν ρόλο στον έλεγχο της συχνότητας και της ποσότητας των γευμάτων. Διάφορα αγγελιοφόρα μόρια που απελευθερώνονται στην κυκλοφορία από τον γαστρεντερικό σωλήνα είναι σημαντικά για το πόσο συχνά και πόσο πολύ τρώμε κάθε ημέρα.

ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ: ΕΚΚΡΙΣΗ ΓΚΡΕΛΙΝΗΣ ΚΑΙ ΡΥΥ₃₋₃₆

Στον βραχυπρόθεσμο έλεγχο της πρόσληψης τροφής σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν δύο πεπτίδια, η γκρελίνη και το πεπτίδιο YY₃₋₃₆ (PYY₃₋₃₆), τα οποία σηματοδοτούν την πείνα και τον κορεσμό αντίστοιχα. Και τα δύο πεπτίδια εκκρίνονται από τον γαστρεντερικό σωλήνα. Η γκρελίνη (ghrelin), η επονομαζόμενη ορμόνη της πείνας, είναι ένας ισχυρός διεγέρτης της όρεξης ο οποίος παράγεται στο στομάχι και ρυθμίζεται από τη διατροφική συμπεριφορά (ghrelin είναι η ινδουιστική λέξη για την «αύξηση»). Η έκκριση της γκρελίνης κορυφώνεται πριν από τα γεύματα και κάνει τους ανθρώπους να αισθάνονται την ανάγκη να φάνε, ενώ μειώνεται αμέσως μετά την κατανάλωση τροφής. Η γκρελίνη διεγείρει την όρεξη με την ενεργοποίηση των υποθαλαμικών νευρώνων που εκκρίνουν NPY.

Το ΡΥΥ₃₋₃₆ (Peptide YY₃₋₃₆) είναι ένα μόριο ομόλογο της γκρελίνης. Η έκκριση του ΡΥΥ₃₋₃₆, το οποίο παράγεται από το λεπτό και το παχύ έντερο, βρίσκεται στα χαμηλότερα επίπεδα πριν από το γεύμα, αλλά αυξάνεται κατά τη διάρκεια του γεύματος και σηματοδοτεί τον κορεσμό. Αυτό το πεπτίδιο δρα αναστέλλοντας την απελευθέρωση του ορεξιγόνου NPY από τους NPY-νευρώνες του τοξοειδούς πυρήνα. Αναστέλλοντας την όρεξη, το ΡΥΥ₃₋₃₆ πιστεύεται ότι σηματοδοτεί τον τερματισμό του γεύματος.

Άλλοι παράγοντες που επίσης εμπλέκονται στον έλεγχο της πείνας και του κορεσμού περιγράφονται στη συνέχεια.

ΚΕΝΤΡΟ ΚΟΡΕΣΜΟΥ Εκτός από τον υποθάλαμο που διαδραματίζει κομβικό ρόλο στη ρύθμιση του ισοζυγίου ενέργειας, υπάρχει ένα **κέντρο κορεσμού** (satiety center) στο στέλεχος του εγκεφάλου, γνωστό ως **πυρήνας μονήρους δεσμίδας** (NTS, Nucleus Tractus Solitarius), που επεξεργάζεται σημαντικά σήματα για το αίσθημα πληρότητας και ως εκ τούτου συμβάλλει στον βραχυπρόθεσμο έλεγχο των γευμάτων. Ο NTS λαμβάνει σήματα από ανώτερους υποθαλαμικούς νευρώνες που εμπλέκονται στην ενεργειακή ομοιόσταση, αλλά και προσαγωγά σήματα από τον γαστρεντερικό σωλήνα –για παράδειγμα, προσαγωγά (κεντρομόλα) σήματα σχετικά με τον βαθμό διάτασης του στομάχου– και από άλλα μέρη που σηματοδοτούν τον κορεσμό. Ας ασχοληθούμε τώρα με τη χολοκυστοκίνη, το πιο σημαντικό από αυτά τα σήματα κορεσμού.

Η ΧΟΛΟΚΥΣΤΟΚΙΝΙΝΗ ΩΣ ΑΓΓΕΛΙΟΦΟΡΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ Η **χολοκυστοκίνη** (CCK, Cholecystokinin), μία από τις γαστρεντερικές ορμόνες που απελευθερώνονται από τον βλεννογόνο του δωδεκαδακτύλου κατά τη διάρκεια της πέψης ενός γεύματος, είναι ταυτόχρονα ένα σημαντικό σήμα κορεσμού για τη ρύθμιση της ποσότητας των γευμάτων. Η CCK εκκρίνεται ως απόκριση στην παρουσία τροφής στο λεπτό έντερο. Μέσω πολλαπλών επιδράσεων στο πεπτικό σύστημα, η CCK διευκολύνει την πέψη και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών των τροφών (βλ. Ενότητα 16.8). Είναι πάντως σημαντικό ότι αυτή η ορμόνη, της οποίας ο ρυθμός απελευθέρωσης στην κυκλοφορία σχετίζεται με την ποσότητα της προσλαμβανόμενης τροφής, συμβάλλει στο αίσθημα πληρότητας μετά από ένα γεύμα που έχει καταναλωθεί αλλά πριν ολοκληρωθεί η πέψη και η απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Αισθανόμαστε ικανοποίηση όταν υπάρχει στον γαστρεντερικό σωλήνα ποσότητα τροφής επαρκής για να αναπληρωθούν οι αποθήκες ενέργειας του σώματος, παρόλο που οι αποθήκες αυτές δεν έχουν ακόμα γεμίσει. Αυτό εξηγεί γιατί σταματάμε να τρώμε προτού καλά καλά απορροφηθούν τα θρεπτικά συστατικά και διατεθούν για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες του σώματος.

Πρόσφατα έχουν ανακαλυφθεί και άλλα σχετικά εντερικά πεπτίδια, τα οποία απελευθερώνονται ως απόκριση στο γεύμα και δρουν ως σήματα κορεσμού, όπως είναι το **πεπτίδιο τύπου γλυκαγόννης 1** (GLP-1, Glucagon-Like Peptide 1) και η **οξεοτροποποιητίνη** (oxyntomodulin).

Στον **Πίνακα 17-3** παρουσιάζεται συνοπτικά η επίδραση των διαφόρων ρυθμιστικών σημάτων (ακούσιων) στην όρεξη.

ΨΥΧΟΣΩΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Μέχρι τώρα έχουμε περιγράψει ακούσια σήματα που εμφανίζονται αυτόματα και ρυθμίζουν την πρόσληψη τροφής. Ωστόσο, όπως συμβαίνει και με την πρόσληψη νερού, οι διατροφικές μας συνήθειες διαμορφώνονται και από ψυχολογικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Συχνά η απόφασή μας να φάμε ή να σταματήσουμε να τρώμε δεν καθορίζεται αποκλειστικά από το αν πεινάμε ή αν είμαστε χορτασμένοι. Πολλές φορές, τρώμε από συνήθεια (τρώμε τρία γεύματα την ημέρα με πρόγραμμα, ανεξάρτητα από το αίσθημα πείνας ή κορεσμού) ή λόγω κοινωνικών συνθηκών (το φαγητό συχνά διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο στη διασκέδαση, στον ελεύθερο χρόνο και στις επαγγελματικές δραστηριότητες). Ακόμα και οι καλές πρόθεσης οικογενειακές παραινήσεις του τύπου «καθάρισε το πιάτο σου πριν σηκωθείς από το τραπέζι» μπορεί να επηρεάσουν την ποσότητα φαγητού που καταναλώνεται.

Επιπλέον, ο βαθμός της ευχαρίστησης που προέρχεται από τη λήψη τροφής μπορεί να επηρεάσει τη διατροφική συμπεριφορά. Η κατανάλωση τροφής με ευχάριστη γεύση, μυρωδιά και υφή μπορεί να αυξήσει την όρεξη και την πρόσληψη τροφής. Αυτό έχει αποδειχτεί με ένα πείραμα στο οποίο

ΠΙΝΑΚΑΣ 17-3 Επιδράσεις των ακούσιων ρυθμιστικών σημάτων στην όρεξη

Ρυθμιστικό σήμα	Πηγή σήματος	Επίδραση σήματος στην όρεξη
Νευροπεπτίδιο Y	Τοξοειδής πυρήνας του υποθαλάμου	↑
Μελανοκορτίνες	Τοξοειδής πυρήνας του υποθαλάμου	↓
Λεπτίνη	Λιπώδης ιστός	↓
Ινσουλίνη	Ενδοκρινής μοίρα παγκρέατος	↓
Ορεξίνες	Πλάγιος υποθάλαμος	↑
Εκλυτική ορμόνη της κορτικοτροπίνης	Παρακωλιακός πυρήνας υποθαλάμου	↓
Γκρελίνη	Στόμαχος	↑
Πεπτίδιο YY₃₋₃₆	Λεπτό και παχύ έντερο	↓
Διάταση στομάχου	Στόμαχος	↓
Χολοκυστοκίνη (CCK)	Λεπτό έντερο	↓

προσφέρθηκε σε αρουραίους εξαιρετικά εύγευστη τροφή της επιλογής τους που προοριζόταν για ανθρώπους. Οι αρουραίοι εμφάνισαν κατά 70% έως 80% υπερφαγία και έγιναν παχύσαρκοι. Όταν όμως οι αρουραίοι επέστρεψαν στη συνηθισμένη, μονότονη, αλλά διατροφικά ισορροπημένη τροφή τους, το βάρος τους επανήλθε σε φυσιολογικά επίπεδα, καθώς η πρόσληψη τροφής ελεγχόταν και πάλι από φυσιολογικές ορμές και όχι από τις ηδονιστικές ορμές για πιο εύγευστη τροφή.

Το στρες, το άγχος, η κατάθλιψη και η ανία έχουν επίσης βρεθεί ότι τροποποιούν τη διατροφική συμπεριφορά με τρόπους που δε σχετίζονται με τις ενεργειακές ανάγκες, κάτι που έχει καταδειχθεί τόσο σε πειραματόζωα όσο και σε ανθρώπους. Οι άνθρωποι συχνά τρώνε για να ικανοποιήσουν ψυχολογικές ανάγκες παρά για να ικανοποιήσουν την πείνα τους. Επιπλέον, περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η ποσότητα της διαθέσιμης τροφής, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του βαθμού της πρόσληψης τροφής. Ως εκ τούτου, μια λεπτομερής επεξήγηση για το πώς ελέγχεται η πρόσληψη τροφής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και αυτές τις εκούσιες διατροφικές συμπεριφορές, οι οποίες μπορεί να ενισχύσουν ή να υπερβούν τους ενδογενείς αυτόνομους ελεγκτικούς μηχανισμούς της διατροφικής συμπεριφοράς που περιγράφηκαν προηγουμένως.

Η παχυσαρκία εκδηλώνεται όταν καταναλώνονται περισσότερες θερμίδες από όσες καίγονται.



Ως **παχυσαρκία** (obesity) ορίζεται η υπερβολικά αυξημένη εναπόθεση λίπους στις αποθήκες του λιπώδους ιστού. Παχύσαρκο θεωρείται κατά κανόνα ένα άτομο που είναι πάνω από 20% υπέρβαρο σε σύγκριση με ένα φυσιολογικό άτομο. Πάνω από τα δύο τρίτα των ενηλίκων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής είναι σήμερα κλινικά υπέρβαρα άτομα, με το ένα τρίτο να είναι κλινικά παχύσαρκα, ενώ περίπου ένα τρίτο των παιδιών είναι υπέρβαρα ή παχύσαρκα. Τα πράγματα γίνονται περισσότερο ανησυχητικά αν λάβει κανείς υπόψη ότι τα ποσοστά παχυσαρκίας συνεχώς αυξάνονται. Η αύξηση του βάρους ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 και συνεχίζεται με έντονες ανοδικές τάσεις. Σήμερα, ο αριθμός των παχυσάρκων ενηλίκων στις ΗΠΑ είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερος απ' ό,τι ήταν στις αρχές της δεκαετίας του 1970, με αύξηση από το 14% των ενηλίκων στο 34%, ενώ ο ρυθμός αύξησης (επιπολασμός) της παιδικής παχυσαρκίας είναι ακόμα μεγαλύτερος. Αυτή η αυξανόμενη τάση για παχυσαρκία παρατηρείται πλέον δυστυχώς σε μεγάλο αριθμό χωρών παγκοσμίως, γεγονός που οδήγησε τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας να επινοήσει τον όρο *globesity** για να περιγράψει την καθολικότητα του φαινομένου.

Η παχυσαρκία εκδηλώνεται όταν με την πάροδο του χρόνου προσλαμβάνονται περισσότερες θερμίδες με την τροφή από όσες χρειάζονται για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες του σώματος, με την πρόσθετη ενέργεια να αποθηκεύεται ως τριγλυκερίδια στον λιπώδη ιστό. Κατά τα πρώτα στάδια εκδήλωσης της παχυσαρκίας, τα υπάρχοντα λιποκύτταρα στον λιπώδη ιστό αρχίζουν να μεγαλώνουν σε μέγεθος. Ένας μέσος ενήλικας έχει 40 με 50 δισεκατομμύρια λιποκύτταρα και κάθε λιποκύτταρο μπορεί να αποθηκεύσει μέχρι περίπου 1,2 μg τριγλυκεριδίων. Σε αντίθεση με ό,τι πίστευαν παλιότερα οι επιστήμονες, όταν το άτομο συνεχίζει να λαμβάνει περισσότερες θερμίδες και τα ήδη υπάρχοντα λιποκύτταρα

είναι πλήρη σε τριγλυκερίδια, τότε αρχίζουν να παράγονται περισσότερα λιποκύτταρα.

Τα αίτια της παχυσαρκίας είναι πολλά και ορισμένα παραμένουν ασαφή. Μερικοί παράγοντες που εμπλέκονται στην εκδήλωση της παχυσαρκίας είναι οι ακόλουθοι:

- **Διαταραχές στη σηματοδοτική οδό της λεπτίνης.** Ορισμένες περιπτώσεις παχυσαρκίας έχουν συνδεθεί με αντίσταση στη δράση της λεπτίνης. Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα υποθαλαμικά κέντρα που εμπλέκονται στην ενεργειακή ομοιόσταση είναι «ρυθμισμένα σε υψηλότερο επίπεδο» στα παχύσαρκα άτομα. Για παράδειγμα, το πρόβλημα μπορεί να εντοπίζεται σε βλάβη των υποδοχέων της λεπτίνης στον εγκέφαλο, οι οποίοι δεν αποκρίνονται καταλλήλως παρά τις αυξημένες συγκεντρώσεις λεπτίνης στην κυκλοφορία που είναι απόρροια των άφθονων αποθηκών λίπους. Ως εκ τούτου, ο εγκέφαλος δεν ανιχνεύει τη λεπτίνη ως σήμα για να μειώσει την όρεξη, παρά μόνο όταν επιτευχθούν ακόμη υψηλότερες συγκεντρώσεις της (και κατ' επέκταση μεγαλώσουν περισσότερο οι αποθήκες λίπους). Αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει γιατί οι υπέρβαροι τείνουν να διατηρούν το βάρος τους, αλλά σε υψηλότερα από τα φυσιολογικά επίπεδα. Εκτός από τους υποδοχείς της λεπτίνης, άλλες διαταραχές στη σηματοδοτική οδό της λεπτίνης μπορεί να ευθύνονται για την εμφάνιση παχυσαρκίας, όπως η ελαττωματική μεταφορά της λεπτίνης διά μέσου του αιματοεγκεφαλικού φραγμού ή διαταραχές σε κάποια από τα άλλα αγγελιοφόρα μόρια στην οδό μεταγωγής του σήματος της λεπτίνης.

- **Έλλειψη άσκησης.** Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι κατά μέσο όρο τα άτομα αυξημένου βάρους δεν τρώνε περισσότερο από εκείνα που είναι αδύνατα. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι οι υπέρβαροι άνθρωποι δεν τρώνε παραπάνω, αλλά γυμνάζονται λιγότερο από το απαιτούμενο – το σύνδρομο του «λάτρη του καναπέ». Τα χαμηλά επίπεδα φυσικής δραστηριότητας συνήθως δε συνοδεύονται και από ανάλογα μειωμένη πρόσληψη τροφής. Υπεύθυνοι για τη μειωμένη φυσική δραστηριότητα και την επιδημία της παχυσαρκίας είναι εν μέρει ο σύγχρονος τρόπος ζωής και η τεχνολογία. Οι πρόγονοί μας έπρεπε να ασκήσουν σωματική προσπάθεια για να εξασφαλίσουν την επιβίωσή τους. Συγκριτικά, σήμερα χρησιμοποιούμε μηχανικά υποκατάστατα της χειρωνακτικής εργασίας, τηλεχειριστήρια για τον χειρισμό συσκευών που απαιτούν ελάχιστη σωματική προσπάθεια και υπολογιστές που ευνοούν την καθιστική δραστηριότητα. Πρέπει να κάνουμε συνειδητή προσπάθεια για να γυμναστούμε.

- **Διαφορές στον «παράγοντα αεικινήσις».** Η **μη σχετιζόμενη με άσκηση θερμογένεση** (NEAT, *Nonexercise Activity Thermogenesis*), ή «παράγοντας αεικινήσις», μπορεί να εξηγήσει ένα ποσοστό της διακύμανσης στην εναπόθεση λίπους μεταξύ των ανθρώπων. Η NEAT αναφέρεται στην ενέργεια που καταναλώνεται σε σωματικές δραστηριότητες διαφορετικές από την προγραμματισμένη άσκηση. Άτομα που εκδηλώνουν νευρικές κινήσεις των ποδιών ή άλλου τύπου επαναλαμβανόμενες, αυθόρμητες σωματικές δραστηριότητες καταναλώνουν αρκετές θερμίδες κατά τη διάρκεια της ημέρας χωρίς συνειδητή προσπάθεια.

- **Διαφορές στη χρησιμοποίηση της ενέργειας των τροφών.** Ένας άλλος λόγος για τον οποίο οι αδύνατοι και οι παχύσαρκοι άνθρωποι μπορεί να έχουν σημαντική διαφορά στο σωματικό βάρος παρά την κατανάλωση του ίδιου αριθμού θερμίδων μπορεί να βρίσκεται στην αποτελεσματικότητα με την οποία ο καθένας χρησιμοποιεί την ενέργεια των τροφών. Μελέτες καταδεικνύουν ότι οι λεπτότεροι άνθρωποι εκμεταλλεύονται

*Σ.τ.Ε.: Η λέξη *globesity* προέρχεται από τις λέξεις *global*, που σημαίνει παγκόσμιος, και *obesity*, που σημαίνει παχυσαρκία.

λιγότερο αποτελεσματικά την ενέργεια των θρεπτικών συστατικών που καταναλώνουν, γιατί μετατρέπουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της ενέργειας σε θερμότητα απ' ό,τι σε ενέργεια άμεσα διαθέσιμη για παραγωγή έργου ή για αποθήκευση. Για παράδειγμα, οι λεπτότεροι άνθρωποι έχουν στα κύτταρά τους περισσότερες *πρωτεΐνες αποσύνθεσης*, γεγονός που επιτρέπει στα κύτταρα να μετατρέπουν περισσότερη ενέργεια σε θερμότητα αντί να την αποθηκεύουν ως λίπος. Αυτοί είναι οι άνθρωποι που μπορεί να τρώνε πολύ χωρίς να παχύνουν. Αντίθετα, οι παχύσαρκοι άνθρωποι πιθανώς διαθέτουν αποτελεσματικότερα μεταβολικά συστήματα για την αξιοποίηση της ενέργειας των τροφών – αυτό το χαρακτηριστικό φαίνεται χρήσιμο σε περιόδους έλλειψης τροφής, αλλά είναι εμπόδιο στη διατήρηση του επιθυμητού βάρους όταν η τροφή είναι άφθονη.

- *Κληρονομικές τάσεις.* Συχνά, οι διαφορές στις ρυθμιστικές πορείες του ισοζυγίου ενέργειας, είτε αυτές ελέγχουν την πρόσληψη τροφής είτε επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας, είναι αποτέλεσμα γενετικών πολυμορφισμών. Για παράδειγμα, τα άτομα που έχουν ένα ελαττωματικό αντίγραφο ενός γονιδίου που ονομάζεται *FTO* (το ευγενικό ακρωνύμιο το οποίο χρησιμοποιείται πλέον στη θέση του λιγότερο κολακευτικού αρχικού ονόματος «γονίδιο του χοντρούλη» – «*fatso gene*») είναι 30% πιο πιθανό να γίνουν παχύσαρκα απ' ό,τι τα άτομα που έχουν δύο φυσιολογικά αντίγραφα του γονιδίου αυτού. Ο κίνδυνος εκδήλωσης παχυσαρκίας ανέρχεται στο 70% σε άτομα με δύο αντίγραφα του ελαττωματικού γονιδίου *FTO* (ομόζυγοι φορείς του *FTO* πολυμορφισμού). Οι επιστήμονες δε γνωρίζουν ακόμη τι ελέγχει το γονίδιο *FTO*.

- *Παραγωγή υπερβολικού αριθμού λιποκυττάρων ως αποτέλεσμα της υπερφαγίας.* Ένα από τα προβλήματα στην καταπολέμηση της παχυσαρκίας είναι ότι από τη στιγμή που θα δημιουργηθούν τα λιποκύτταρα δεν εξαφανίζονται με δίαιτα και απώλεια βάρους. Ακόμα και αν κάποιος που κάνει δίαιτα χάσει ένα μεγάλο μέρος των αποθηκευμένων σε αυτά τα κύτταρα τριγλυκεριδίων, τα άδεια κύτταρα παραμένουν, έτοιμα να ξαναγεμίσουν. Γι' αυτόν τον λόγο, η επανάκτηση βάρους μετά από απώλεια είναι δύσκολο να αποφευχθεί, γεγονός που κάνει το άτομο να αποθαρρύνεται.

- *Η αφθονία πρόχειρου, εύγεστου, ενεργειακά πλούσιου, σχετικά φθηνού φαγητού.* Η διαθεσιμότητα και η ευκολία πρόσβασης στο φαγητό που υπάρχει σήμερα σε σύγκριση με το μεγαλύτερο μέρος της ιστορίας του ανθρώπου κάνει την υπερφαγία ευκολότερη από ποτέ. Τα πράγματα γίνονται ακόμα χειρότερα από το επιθετικό μάρκετινγκ μέσω των ΜΜΕ των ανθυγιεινών φαγητών και φαγητών τύπου φαστφούντ.

- *Συγκεκριμένες ενδοκρινικές διαταραχές όπως ο υποθυρεοειδισμός* (βλ. Ενότητα 19.1). Ο υποθυρεοειδισμός χαρακτηρίζεται από μειωμένα επίπεδα θυρεοειδικών ορμονών, που είναι ο κύριος παράγοντας που προκαλεί αύξηση του BMR ώστε το σώμα να καίει περισσότερες θερμίδες σε κατάσταση ηρεμίας.

- *Συναισθηματικές διαταραχές κατά τις οποίες η υπερφαγία υποκαθιστά κάποια άλλη ικανοποίηση.*

- *Στρες.* Τα επιστημονικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι το χρόνιο στρες οδηγεί σε αυξημένη έκκριση ΝΡΥ από τα συμπαθητικά νεύρα, προκαλώντας με τη σειρά του αυξημένη εναπόθεση σπλαχνικού λίπους.

- *Πολύ λίγος ύπνος.* Ορισμένες μελέτες υποστηρίζουν ότι ο μειωμένος χρόνος ύπνου μπορεί να έχει συμβάλει στην πρόσφατη αύξηση της παχυσαρκίας. Κατά μέσο όρο, σήμερα οι άνθρωποι στις ΗΠΑ κοιμούνται 1 με 2 ώρες λιγότερο κάθε βράδυ απ' ό,τι 40 χρόνια πριν. Ερευνητές βρήκαν ότι αυτοί που

κοιμούνται συνήθως 6 ώρες κάθε βράδυ έχουν 23% περισσότερες πιθανότητες να είναι παχύσαρκοι, αυτοί που κοιμούνται κατά μέσο όρο 5 ώρες έχουν 50% περισσότερες πιθανότητες να είναι παχύσαρκοι και αυτοί που κοιμούνται 4 ώρες έχουν 75% περισσότερες πιθανότητες να είναι παχύσαρκοι σε σύγκριση με αυτούς που κοιμούνται 7 έως 8 ώρες. Μελέτες έχουν καταδείξει ότι τα επίπεδα λεπτίνης (η οποία σηματοδοτεί τη διακοπή της πρόσληψης τροφής) είναι χαμηλότερα και τα επίπεδα γκρελίνης (η οποία σηματοδοτεί την έναρξη της πρόσληψης τροφής) είναι υψηλότερα σε άτομα που κοιμούνται λιγότερο σε σχέση με αυτά που κοιμούνται το τυπικό οκτάωρο.

- *Πιθανή συσχέτιση με ιού.* Μια αξιοπερίεργη θεωρία συσχετίζει ένα σχετικά κοινό στέλεχος του ιού του κρουολογίματος με την προδιάθεση να γίνει κάποιος υπέρβαρος και σε αυτό πιθανώς οφείλεται εν μέρει η σύγχρονη επιδημία παχυσαρκίας. Σύμφωνα με τους ερευνητές, ο *αδενοϊός-36* θα μπορούσε να οδηγήσει σε παχυσαρκία, καθώς βρέθηκε ότι προκαλεί μετασχηματισμό των βλαστοκυττάρων διαφόρων ιστών ενηλίκων σε λιποκύτταρα.

- *Σύσταση της βακτηριακής χλωρίδας του παχέος εντέρου.* Αρκετές μελέτες καταδεικνύουν ότι οι παχύσαρκοι άνθρωποι, συγκριτικά με τους αδύνατους, διαθέτουν στο παχύ έντερο σε μεγαλύτερη αναλογία βακτήρια που αποικοδομούν πιο αποτελεσματικά τις άπεπτες διαιτητικές ίνες, ώστε αυτές να απορροφούνται στον πεπτικό σωλήνα. Λόγω αυτής της δράσης, τα βακτήρια αυτά βοηθούν τον ξενιστή τους να προσλαμβάνει περισσότερη από την ενέργεια των τροφών που καταναλώθηκαν, αντίθετα με τους αδύνατους ανθρώπους, στον εντερικό μικροβίοκοσμο των οποίων επικρατούν λιγότερο ενεργειακά αποδοτικά βακτήρια. Παρόλο που στο παχύ έντερο δεν παρατηρείται σημαντική απορροφητική δραστηριότητα, ακόμα και η ελάχιστη περισσότερη απορροφούμενη ενέργεια από τα «άπεπτα» συστατικά των τροφών, για τα οποία οι άνθρωποι δε διαθέτουν πεπτικά ένζυμα, μπορεί με την πάροδο του χρόνου να οδηγήσει σε αύξηση του βάρους.

- *Μητρικές επιδράσεις πριν από τη γέννηση.* Ανεξάρτητα από κληρονομικούς παράγοντες, το ενδομήτριο περιβάλλον στις παχύσαρκες γυναίκες φαίνεται πως προδιαθέτει τους απογόνους να γίνουν και αυτοί παχύσαρκοι. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται σε διαταραχές στην ανάπτυξη του συστήματος ελέγχου της όρεξης στον εγκέφαλο.

- *Συχνές λοιμώξεις των ωτών.* Μια μελέτη κατέδειξε ότι ασθενείς με ιστορικό λοιμώξεων των ωτών έχουν διπλάσιες πιθανότητες να γίνουν παχύσαρκοι. Σύμφωνα με την ερευνητική ομάδα, οι πολλαπλές λοιμώξεις των ωτών στους ασθενείς αυτούς μπορεί να προκάλεσαν βλάβη στο νεύρο της γεύσης, το οποίο διέρχεται από το μέσο ους, προκαλώντας μετατόπιση σε υψηλότερα επίπεδα των γευστικών ουδών (κατωφλίων) για το γλυκό και το λιπαρό. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα να καταναλώνουν οι ασθενείς μεγαλύτερες ποσότητες γλυκιάς και λιπαρής τροφής προτού επέλθει ικανοποίηση.

Παρά την παραπάνω εκτενή λίστα με τους παράγοντες που προδιαθέτουν σε παχυσαρκία, οι γνώσεις μας για τα αίτια και τον έλεγχο της παχυσαρκίας είναι ακόμα αρκετά περιορισμένες, όπως άλλωστε φανερώνει και ο μεγάλος αριθμός ανθρώπων που προσπαθούν συνεχώς να ανακτήσουν το επιθυμητό βάρος. Η επίτευξη του ιδανικού βάρους είναι βέβαια σημαντική όχι μόνο για αισθητικούς λόγους. Είναι γνωστό ότι η παχυσαρκία, ειδικά του ανδρικού τύπου, συσχετίζεται ισχυρά με τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα από μεγάλο

αριθμό νοσημάτων. (Για να μάθετε για τις διαφορές μεταξύ του ανδρικού και του γυναικείου τύπου παχυσαρκίας, δείτε το πλαίσιο της Ενότητας 17.1, ■ Μια πιο προσεκτική ματιά στη Φυσιολογία της άσκησης: Τι δε σας λένε οι κλίμακες.) Υπολογίζεται ότι το κόστος αντιμετώπισης της παχυσαρκίας

και των συνοδών προβλημάτων στο εθνικό σύστημα υγείας των ΗΠΑ ανέρχεται σε 147 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Η επιστημονική κοινότητα εργάζεται πλέον σε πολλαπλά μέτωπα, προκειμένου να βρεθούν τρόποι που θα βοηθήσουν να αναχαιτιστεί η επιδημία της παχυσαρκίας.

■ Μια πιο προσεκτική ματιά
στη Φυσιολογία της άσκησης

Τι δε σας λένε οι κλίμακες

Η σύσταση του σώματος είναι το ποσοστό του σωματικού βάρους που αποτελείται από άπαχο και λιπώδη ιστό. Η αξιολόγηση της σύστασης του σώματος αποτελεί ένα σημαντικό βοήθημα για την αποτίμηση της κατάστασης της υγείας ενός ανθρώπου. Ένας αδρός τρόπος εκτίμησης της σύστασης του σώματος είναι ο υπολογισμός του **δείκτη μάζας σώματος** (ΔΜΣ – BMI, Body Mass Index) χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta\text{ΜΣ} = \frac{(\text{βάρος σε κιλά}) \times 700}{(\text{ύψος σε μέτρα})^2}$$

Τιμές ΔΜΣ ίσες ή μικρότερες από 25 θεωρούνται φυσιολογικές, ενώ τιμές ΔΜΣ ίσες ή μεγαλύτερες από 30 συσχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο για διάφορα νοσήματα και πρόωγο θάνατο. Τιμές του ΔΜΣ μεταξύ των παραπάνω τιμών θεωρούνται οριακές.

Ο προσδιορισμός του ΔΜΣ και οι πίνακες ηλικίας-ύψους-βάρους που χρησιμοποιούνται από τις ασφαλιστικές εταιρείες μπορεί πάντως να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα ως προς το αν ένα άτομο έχει ή όχι «υγιές» σωματικό βάρος. Πολλοί αθλητές, για παράδειγμα, θα θεωρούνταν υπέρβαροι βάσει αυτών των διαγραμμάτων. Ένας ποδοσφαιριστής μπορεί να έχει ύψος 1,90 μέτρα και βάρος 130 κιλά, αλλά να έχει σωματικό λίπος μόνο 12%. Το παραπάνω βάρος αυτού του αθλητή δεν είναι λίπος αλλά μυς και κατά συνέπεια δεν είναι επιβλαβές για την υγεία του. Αντίθετα, ένας άνθρωπος που κάνει καθιστική ζωή μπορεί να έχει φυσιολογική τιμή ΔΜΣ, αλλά να έχει 30% σωματικό λίπος. Αυτός ο άνθρωπος θα πρέπει να διατηρήσει το βάρος του αυξάνοντας τη μυϊκή μάζα και μειώνοντας το λίπος. Ιδανικά, οι άνδρες θα πρέπει να έχουν σωματικό λίπος ίσο ή λιγότερο από 15% του βάρους τους και οι γυναίκες ίσο ή λιγότερο από 20% του βάρους τους.

Η πιο ακριβής μέθοδος για τον προσδιορισμό της σύστασης σώματος είναι η υποβρύχια ζύγιση. Αυτή η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι ένας άπαχος ιστός είναι πιο πυκνός από το νερό, ενώ ο λιπώδης ιστός είναι λιγότερο πυκνός από το νερό. (Μπορείτε εύκολα να το αντιληφθείτε αυτό και μόνοι σας ρίχνοντας ένα κομμάτι άπαχου κρέατος και ένα κομμάτι λίπους σε ένα ποτήρι νερό· το άπαχο κρέας θα βουλιάξει, ενώ το λίπος θα επιπλέυσει.) Στην υποβρύχια ζύγιση, το άτομο εκπνέει όσο το δυνατόν περισσότερο αέρα και στη συνέχεια βυθίζεται πλήρως σε μια δεξαμενή νερού ενώ κάθεται σε ένα κάθισμα που συνδέεται με ζυγαριά. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί η πυκνότητα του σώματος βάσει εξισώσεων που λαμβάνουν υπόψη την πυκνότητα του νερού, τη διαφορά μεταξύ του βάρους του ατόμου στον αέρα και κάτω από το νερό και τον υπολειπόμενο όγκο αέρα που παραμένει στους

πνεύμονες. Λόγω της διαφοράς στην πυκνότητα μεταξύ άπαχου και λιπώδους ιστού, άτομα με περισσότερο σωματικό λίπος έχουν χαμηλότερη πυκνότητα και σχετικά λιγότερο βάρος κάτω από το νερό απ' ό,τι στον αέρα σε σύγκριση με εκείνα που έχουν λιγότερο σωματικό λίπος. Η σύσταση του σώματος καθορίζεται στη συνέχεια μέσω ενός τύπου όπου το ποσοστό λίπους συσχετίζεται με την πυκνότητα του σώματος.

Ένας άλλος κοινός τρόπος αποτίμησης της σύστασης του σώματος είναι μετρώντας το πάχος των δερματικών πτυχών. Επειδή περίπου το μισό του συνολικού σωματικού λίπους βρίσκεται κάτω από το δέρμα, το συνολικό σωματικό λίπος μπορεί να υπολογιστεί από τις μετρήσεις του πάχους της δερματικής πτυχής σε διάφορα σημεία του σώματος. Το πάχος αυτό μετρείται πιάνοντας με τα δάχτυλα τις πτυχές του δέρματος σε ορισμένες προκαθορισμένες περιοχές του σώματος και μετρώντας το πάχος τους μέσω ενός ειδικού παχύμετρου*, ενός αρθρωτού οργάνου το οποίο εφαρμόζει στη δερματική πτυχή και είναι βαθμονομημένο να μετρά πάχος. Υπάρχουν συγκεκριμένοι μαθηματικοί τύποι για την ηλικία και το φύλο του ανθρώπου, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί το ποσοστό του σωματικού λίπους βάσει του πάχους των δερματικών πτυχών. Η κριτική που ασκείται σε αυτή τη συγκεκριμένη μέθοδο αφορά την ακρίβειά της που εξαρτάται από τη δεξιοτέχνητα και την εμπειρία του εξεταστή.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι παχυσαρκίας, αλλά ένας τύπος παχυσαρκίας είναι πιο βλαβερός για την υγεία απ' ό,τι κάποιος άλλος. Οι παχύσαρκοι ασθενείς μπορούν γενικά να κατηγοριοποιηθούν σε δύο σωματικούς τύπους με βάση την ανατομική κατανομή του λιπώδους ιστού – **ανδρικού τύπου** κατανομή και **γυναικείου τύπου** κατανομή, η οποία υπολογίζεται από τον λόγο της περιφέρειας της μέσης προς την περιφέρεια των γλουτών. Η **ανδρικού τύπου παχυσαρκία** (android obesity) χαρακτηρίζεται από κοιλιακή κατανομή του λίπους (σωματότυπος μήλου), ενώ η **γυναικείου τύπου παχυσαρκία** (gynoid obesity) χαρακτηρίζεται από κατανομή του λίπους στους γλουτούς και τους μηρούς (σωματότυπος αχλαδιού). Τόσο οι άνδρες όσο και οι γυναίκες μπορούν να εμφανίσουν και τους δύο τύπους παχυσαρκίας.

Η ανδρικού τύπου παχυσαρκία σχετίζεται με έναν αριθμό διαταραχών, όπως αντίσταση στην ινσουλίνη, σακχαρώδη διαβήτη τύπου-2 (ο οποίος εκδηλώνεται στην ενήλικη ζωή), αυξημένα επίπεδα λιπιδίων στο αίμα, υπέρταση, στεφανιαία νόσο και αγγειακά εγκεφαλικά. Άτομα με σωματότυπο μήλου έχουν μεγαλύτερο ποσοστό σπλαχνικού λίπους, γεγονός πιο ανησυχητικό απ' ό,τι η συσσώρευση υποδόριου λίπους, μιας και από

*Σ.τ.Ε.: Αυτό το ειδικό παχύμετρο ονομάζεται δερματοπτηχόμετρο.

το σπλαχνικό λίπος απελευθερώνονται περισσότερο «κακές» λιποκυτταροκίνες, οι οποίες προάγουν την αντίσταση στην ινσουλίνη και ενισχύουν τη χαμηλής έντασης φλεγμονή που αποτελεί το υπόστρωμα για την ανάπτυξη αθηροσκλήρωσης (βλ. Ενότητα 9.5). Η γυναικείου τύπου παχυσαρκία δε σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο από αυτά τα νοσήματα.

Τα αποτελέσματα ερευνών αναφορικά με την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων απώλειας βάρους δείχνουν ότι είναι αρκετά δύσκολο για κάποιον να χάσει βάρος, αλλά όταν αυτό επιτυγχάνεται, αφορά απώλεια βάρους από τις αποθήκες υψηλής ενέργειας του οργανισμού. Επειδή μια δίαιτα πολύ χαμηλών

θερμίδων είναι δύσκολο να ακολουθηθεί για μεγάλο διάστημα, μια εναλλακτική της μείωσης των προσλαμβανόμενων θερμίδων για απώλεια βάρους είναι η αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω της φυσικής άσκησης. Οι φυσιολόγοι της άσκησης συχνά προσδιορίζουν τη σύσταση του σώματος ως βοήθημα για να διαμορφώσουν και να αξιολογήσουν τα προγράμματα άσκησης. Η άσκηση γενικώς μειώνει το ποσοστό του σωματικού λίπους και, μέσω αύξησης της μυϊκής μάζας, αυξάνει το ποσοστό της μη λιπώδους μάζας του σώματος. Ένα αερόβιο πρόγραμμα άσκησης βοηθά περαιτέρω στη μείωση του κινδύνου από τις διαταραχές που σχετίζονται με την ανδρικού τύπου παχυσαρκία.

Οι άνθρωποι που πάσχουν από νευρική ανορεξία έχουν παθολογικό φόβο αύξησης του βάρους.



Το αντίθετο της παχυσαρκίας είναι η γενικευμένη ανεπαρκής θρέψη. Τα προφανή αίτια της μειωμένης πρόσληψης τροφής κάτω από τις ενεργειακές ανάγκες είναι: έλλειψη διαθεσιμότητας τροφής, διαταραχές στην κατάποση ή τη λειτουργία της πέψης και μειωμένη όρεξη.

Μία όχι καλά κατανοητή διαταραχή στην οποία η έλλειψη όρεξης αποτελεί το βασικό χαρακτηριστικό είναι η **νευρική ανορεξία** (anorexia nervosa). Οι ασθενείς με αυτή τη διαταραχή, συχνότερα κορίτσια στην εφηβεία και νεαρές γυναίκες, έχουν έναν νοσηρό φόβο ότι θα παχύνουν. Έχουν διαστρεβλωμένη εικόνα σώματος, δηλαδή βλέπουν τον εαυτό τους παχύτερο απ' ό,τι πραγματικά είναι. Επειδή έχουν αποστροφή προς το φαγητό, τρώνε λίγο και συνεπώς εμφανίζουν μεγάλη απώλεια βάρους, σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι του σημείου να πεθαίνουν από ασιτία. Στα συμπτώματα αυτής της κατάστασης συμπεριλαμβάνονται μεταβολές στην έκκριση πολλών ορμονών, αμηνόρροια και χαμηλή θερμοκρασία σώματος. Είναι ασαφές κατά πόσο αυτά τα συμπτώματα εμφανίζονται δευτερευόντως, ως αποτέλεσμα του γενικευμένου υποσιτισμού, ή προκαλούνται ανεξάρτητα από τη διατροφική διαταραχή του σώματος, ως αποτέλεσμα πρωτοπαθούς δυσλειτουργίας του υποθαλάμου. Αρκετοί ερευνητές θεωρούν ότι η γενεσιουργός αιτία του προβλήματος μπορεί να είναι περισσότερο ψυχολογικής φύσης παρά βιολογικής. Ορισμένοι ειδικοί πιστεύουν ότι τα ανορεκτικά άτομα μπορεί να πάσχουν από εθισμό στα ενδογενή οπιοειδή, ουσίες οι οποίες προσομοιάζουν στη μορφή και παράγονται από τον ίδιο τον οργανισμό (βλ. Ενότητα 6.2) και οι οποίες θεωρείται ότι εκκρίνονται σε περιόδους παρατεταμένης ασιτίας.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας 17.1

1. Δώστε τους ορισμούς των όρων *εξωτερικό έργο*, *εσωτερικό έργο*, *μεταβολικός ρυθμός*, *σήματα όρεξης*, *σήματα κορεσμού*, *σήματα παχυσαρκίας*, *λιποκυτταροκίνες*, *σπλαχνικό λίπος* και *υποδόριο λίπος*.
2. Εξηγήστε πώς μπορεί να προσδιοριστεί έμμεσα ο μεταβολικός ρυθμός.
3. Δημιουργήστε μια λίστα με τα ακούσια ρυθμιστικά σήματα της όρεξης και υποδείξτε την πηγή προέλευσης και την επίδραση καθενός από αυτά (δηλαδή αν αυξάνουν ή μειώνουν την όρεξη).

17.2 | Θερμορύθμιση

Οι άνθρωποι ζουν συνήθως σε περιβάλλοντα με χαμηλότερη θερμοκρασία από τη θερμοκρασία του σώματος, αλλά παράγουν διαρκώς θερμότητα ενδογενώς, η οποία βοηθά στη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος. Η παραγωγή θερμότητας εξαρτάται από την οξείδωση των μεταβολικών καυσίμων που προέρχονται από την τροφή.

Οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του σώματος μεταβάλλουν την κυτταρική δραστηριότητα ως εξής: η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις που διεξάγονται στα κύτταρα, ενώ η μείωση της θερμοκρασίας του σώματος τις επιβραδύνει. Επειδή η λειτουργία των κυττάρων επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας, οι άνθρωποι, μέσω της ομοιόστασης, διατηρούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή, προκειμένου να διασφαλίζεται ο κυτταρικός μεταβολισμός. Η υπερθερμία είναι πιο σοβαρή από την υποθερμία. Ακόμα και μια μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος αρχίζει να προκαλεί δυσλειτουργία των νευρικών κυττάρων και μη αντιστρεπτή αποδιάταξη των πρωτεϊνών. Οι περισσότεροι άνθρωποι υποφέρουν από σπασμούς όταν η εσωτερική τους θερμοκρασία φτάσει περίπου στους 41 °C, ενώ οι 43 °C θεωρούνται το ανώτερο όριο επιβίωσης.



Αντιθέτως, οι περισσότεροι ιστοί του σώματος μπορούν να αντέξουν στην παροδική υποθερμία. Αυτή η ιδιότητα αποδεικνύεται χρήσιμη κατά τη διάρκεια καρδιοχειρουργικών επεμβάσεων, όπου θα χρειαστεί να γίνει παύση της καρδιακής λειτουργίας. Σε τέτοιες χειρουργικές επεμβάσεις πραγματοποιείται σκόπιμη μείωση της θερμοκρασίας του σώματος του ασθενή. Οι ιστοί, όταν βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από τη φυσιολογική θερμοκρασία του σώματος, έχουν λιγότερες διατροφικές απαιτήσεις, επειδή ελαττώνεται η μεταβολική τους δραστηριότητα. Όμως, η έντονη, παρατεταμένη πτώση της θερμοκρασίας τους σώματος μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη επιβράδυνση του μεταβολισμού και τελικά σε θάνατο.

Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος διατηρείται ομοιοστατικά στους 37,8 °C.

Η θερμοκρασία του σώματος, όταν μετριέται στο στόμα, θεωρείται φυσιολογική στους 37 °C. Ωστόσο, πιο πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η φυσιολογική θερμοκρασία του σώματος εμφανίζει διακυμάνσεις ανάλογα με το άτομο και την ώρα της ημέρας και κυμαίνεται από 35,5 °C το πρωί μέχρι 37,7 °C το βράδυ, με συνθήκη μέση τιμή τους 36,7 °C.

Επιπλέον, δεν υπάρχει μόνο μία θερμοκρασία σώματος, καθώς η θερμοκρασία ποικίλλει σε κάθε όργανο του

σώματος. Από άποψη θερμορρύθμισης, το σώμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας *κεντρικός πυρήνας* που περιβάλλεται από ένα *εξωτερικό κέλυφος*. Η θερμοκρασία εντός του κεντρικού πυρήνα, ο οποίος αποτελείται από τα ενδοκοιλιακά και τα ενδοθωρακικά όργανα, το κεντρικό νευρικό σύστημα και τους σκελετικούς μυς, παραμένει σχετικά σταθερή. Αυτή η εσωτερική **θερμοκρασία πυρήνα** (core temperature) υπόκειται σε ακριβή ρύθμιση για τη διατήρηση της ομοιόστασης, καθώς οι εσωτερικοί ιστοί λειτουργούν καλύτερα σε σχετικά σταθερή θερμοκρασία (γύρω στους 37,8 °C).

Το δέρμα και το υποδόριο λίπος αποτελούν το εξωτερικό κέλυφος. Σε αντίθεση με τη σταθερά υψηλή θερμοκρασία του πυρήνα, η θερμοκρασία του κελύφους είναι σχετικά χαμηλότερη και μπορεί να εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία του δέρματος μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 20 °C και 40 °C χωρίς να προκαλούνται βλάβες στους ιστούς. Η θερμοκρασία του δέρματος μεταβάλλεται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία του πυρήνα.

ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΜΕΤΡΗΘΕΙ Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η θερμοκρασία μετριέται σε σημεία στο σώμα που είναι εύκολα προσβάσιμα. Η θερμοκρασία του στόματος είναι συγκρίσιμη με τη θερμοκρασία της μασχάλης, ενώ η θερμοκρασία του ορθού είναι υψηλότερη κατά 0,56 °C. Επίσης, υπάρχει μια συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας η οποία σαρώνει τη θερμότητα που εκλύει η τυμπανική μεμβράνη του αυτιού και τη μετατρέπει στην αντίστοιχη θερμοκρασία του στόματος. Μια πιο σύγχρονη συσκευή είναι το θερμόμετρο υπερύθρων, το οποίο μετρά τη θερμοκρασία του αίματος στην κροταφική αρτηρία. Ένα ψηφιακό όργανο πιέζει ελαφρά από τη μία πλευρά στην άλλη κατά μήκος του μετώπου πάνω από την κροταφική αρτηρία, η οποία σε αυτή την περιοχή εντοπίζεται σε λιγότερο από 2 mm κάτω από το δέρμα. Η κροταφική θερμοκρασία είναι πιο ενδεικτική της θερμοκρασίας του πυρήνα, γιατί είναι σχεδόν ταυτόσημη με τη θερμοκρασία του αίματος που εξέρχεται από την καρδιά. Ωστόσο, καμία από αυτές τις μετρήσεις δεν είναι απόλυτα ενδεικτική της εσωτερικής θερμοκρασίας του πυρήνα, η οποία είναι λίγο υψηλότερη, στους 37,8 °C, από τη θερμοκρασία που μετριέται στα διάφορα σημεία του σώματος.

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ Παρόλο που η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος διατηρείται σχετικά σταθερή, μπορεί να εμφανίζει διακυμάνσεις λόγω αρκετών παραγόντων:

1. Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος εμφανίζει στους περισσότερους ανθρώπους μια φυσιολογική διακύμανση της τάξεως του 1 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας, είναι δηλαδή χαμηλότερη νωρίς το πρωί (6-7 π.μ.) και υψηλότερη αργά το απόγευμα (5-7 μ.μ.). Αυτές οι διακυμάνσεις είναι αποτέλεσμα των έμφυτων βιορυθμών ή «βιολογικού ρολογιού» (βλ. Ενότητα 18.4).

2. Οι γυναίκες εμφανίζουν επίσης διακυμάνσεις στην εσωτερική θερμοκρασία του σώματος, οι οποίες σχετίζονται με τον καταμήνιο κύκλο. Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος είναι κατά μέσο όρο 0,5 °C υψηλότερη στο δεύτερο ήμισυ του καταμήνιου κύκλου, από τη στιγμή της ωορρηξίας μέχρι την έμμηνο ρύση. Παλαιότερα, θεωρούσαν ότι αυτή η μικρή και παρατεταμένη αύξηση στη θερμοκρασία του σώματος οφείλεται στην αυξημένη έκκριση προγεστερόνης, μιας από τις ωοθηκικές ορμόνες, αλλά αυτό δεν υποστηρίζεται πλέον. Η πραγματική αιτία όμως δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί.

3. Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται κατά τη διάρκεια της άσκησης, λόγω της σημαντικής αύξησης της θερμότητας που παράγεται κατά τη μυϊκή συστολή. Κατά τη διάρκεια της έντονης άσκησης, η θερμοκρασία του σώματος μπορεί να φτάσει και τους 40 °C. Σε άτομο σε ηρεμία αυτή η θερμοκρασία θα ήταν πυρετός, ενώ κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης θεωρείται φυσιολογική.

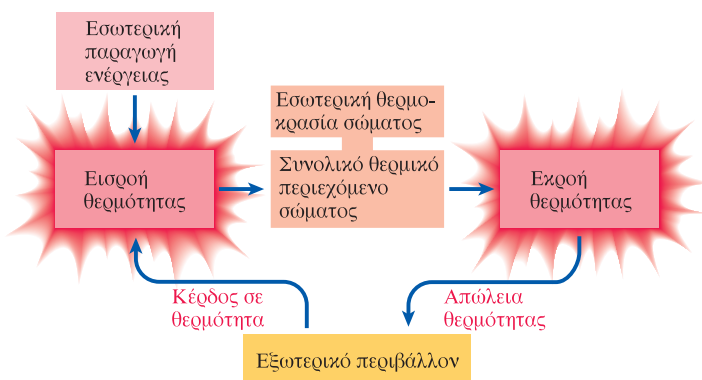
4. Οι ηλικιωμένοι έχουν φυσιολογικά χαμηλότερη θερμοκρασία, η οποία κατά μέσο όρο το μεσημέρι κυμαίνεται στους 36,4 °C.

5. Επειδή οι μηχανισμοί ρύθμισης της θερμοκρασίας δεν είναι 100% αποτελεσματικοί, η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος μπορεί να μεταβάλλεται σε ακραίες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, η εσωτερική θερμοκρασία σώματος μπορεί να ελαττωθεί αρκετά όταν κάνει πολύ κρύο ή να αυξηθεί λίγο όταν κάνει πολλή ζέστη.

Συνεπώς η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος μπορεί να εμφανίζει διακυμάνσεις από 35,5 °C έως 40 °C σε ακραίες περιπτώσεις, αλλά συνήθως εμφανίζει μικρές μόνο αποκλίσεις. Αυτή η σχετική σταθερότητα εξασφαλίζεται μέσω πολλών θερμορρυθμιστικών μηχανισμών, οι οποίοι συντονίζονται από τον υποθάλαμο.

Η εισροή θερμότητας πρέπει να εξισορροπείται από την εκροή θερμότητας, για να διατηρείται σταθερή η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος.

Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος αντικατοπτρίζει το συνολικό θερμικό περιεχόμενο του σώματος. Η θερμότητα που προσλαμβάνεται πρέπει να εξισορροπείται από τη θερμότητα που αποβάλλεται από το σώμα, για να διατηρείται ένα σταθερό συνολικό θερμικό περιεχόμενο και κατά συνέπεια μια σταθερή εσωτερική θερμοκρασία σώματος (► Εικόνα 17-3). Η *εισροή θερμότητας* προκύπτει από τη θερμότητα που προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον και από την ενδογενώς παραγόμενη θερμότητα που αποτελεί και την πιο σημαντική πηγή θερμότητας του σώματος. Να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας από το σώμα τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτή η θερμότητα είναι σημαντική για τη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος. Συνήθως παράγεται περισσότερη θερμότητα από αυτή που απαιτείται για τη διατήρηση της φυσιολογικής θερμοκρασίας του σώματος, με αποτέλεσμα η περισσευούμενη



► Εικόνα 17-3 Πρόσληψη και αποβολή θερμότητας.

θερμότητα να πρέπει να αποβληθεί. Η *εκροή θερμότητας* προέρχεται από τις απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Η ισορροπία μεταξύ εισροής και εκροής θερμότητας συχνά διαταράσσεται από (1) μεταβολές στην εσωτερική παραγωγή θερμότητας που δε σχετίζονται με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος –κυρίως λόγω άσκησης, η οποία αυξάνει σημαντικά την παραγωγή θερμότητας– και (2) μεταβολές στη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος που επηρεάζουν την πρόσληψη ή την αποβολή θερμότητας μεταξύ περιβάλλοντος και σώματος. Προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία του σώματος εντός στενών ορίων, θα πρέπει να λάβουν χώρα αντισταθμιστικές προσαρμογές στους μηχανισμούς πρόσληψης και αποβολής θερμότητας, ανεξάρτητα από τις μεταβολές στην παραγωγή θερμότητας λόγω του μεταβολισμού και ανεξάρτητα από τις μεταβολές στη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν οι αντισταθμιστικές αυτές προσαρμογές.

Η ανταλλαγή θερμότητας λαμβάνει χώρα μέσω ακτινοβολίας, αγωγής, μεταφοράς και εξάτμισης.

Κάθε πρόσληψη ή αποβολή θερμότητας μεταξύ του σώματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος πρέπει να λάβει χώρα μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και του χώρου που το περιβάλλει. Οι ίδιοι νόμοι που ισχύουν στη φύση και ορίζουν τη μεταφορά ενέργειας μεταξύ άψυχων σωμάτων ελέγχουν και τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία του σώματος είναι ένα μέτρο της συγκέντρωσης θερμότητας μέσα στο σώμα. Η θερμότητα μεταφέρεται σύμφωνα με την κλίση της **θερμικής διαβάθμισης** (thermal gradient) πάντα από τη θερμότερη προς την ψυχρότερη περιοχή. Το σώμα χρησιμοποιεί τέσσερις μηχανισμούς για τη μεταφορά θερμότητας: την *ακτινοβολία*, την *αγωγή*, τη *μεταφορά* και την *εξάτμιση*.

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ **Ακτινοβολία** (radiation) είναι η εκπομπή θερμικής ενέργειας από την επιφάνεια ενός θερμού σώματος υπό τη μορφή **ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων** (electromagnetic waves) ή **θερμικών κυμάτων** (heat waves), τα οποία διαδίδονται διά μέσου του χώρου (► Εικόνα 17-4α). Όταν η ενέργεια της ακτινοβολίας χτυπά ένα αντικείμενο και απορροφάται, η ενέργεια του κύματος μετατρέπεται σε θερμότητα εντός του αντικείμενου. Το ανθρώπινο σώμα εκπέμπει (πηγή απώλειας θερμότητας) και απορροφά (πηγή πρόσληψης θερμότητας) την ενέργεια της ακτινοβολίας. Κατά πόσο το σώμα κερδίζει ή χάνει θερμότητα από την ακτινοβολία εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος και των επιφανειών άλλων αντικειμένων στο εγγύς περιβάλλον του σώματος. Επειδή η καθαρή μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας λαμβάνει χώρα πάντα από τα πιο θερμά προς τα πιο ψυχρά αντικείμενα, το σώμα κερδίζει θερμότητα μέσω ακτινοβολίας από αντικείμενα θερμότερα από την επιφάνεια του δέρματος, όπως ο ήλιος, τα θερμαντικά σώματα ή τα ξύλα που καίγονται στο τζάκι. Αντίθετα, το σώμα χάνει θερμότητα μέσω ακτινοβολίας προς αντικείμενα του περιβάλλοντος των οποίων η επιφάνεια είναι ψυχρότερη από την επιφάνεια του δέρματος, όπως οι τοίχοι, τα έπιπλα ή τα δέντρα. Κατά μέσο όρο, οι άνθρωποι χάνουν, μέσω της ακτινοβολίας, σχεδόν τη μισή από τη θερμική ενέργειά τους.

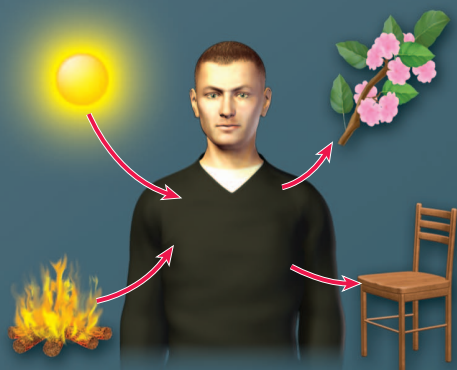
ΑΓΩΓΗ **Αγωγή** (conduction) είναι η μεταφορά θερμότητας μεταξύ αντικειμένων διαφορετικών θερμοκρασιών το οποίο βρίσκονται σε άμεση επαφή μεταξύ τους, με τη θερμότητα να μετακινείται σύμφωνα με την κλίση της θερμικής διαβάθμισης από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα αντικείμενα.

Ο ρυθμός μεταφοράς ενέργειας μέσω αγωγής εξαρτάται από τη *διαφορά θερμοκρασίας* μεταξύ των αντικειμένων που βρίσκονται σε επαφή και τη *θερμική αγωγιμότητα* των ουσιών που εμπλέκονται (δηλαδή πόσο εύκολα η θερμότητα άγεται από τις ουσίες). Η θερμότητα μπορεί να χαθεί ή να κερδηθεί μέσω αγωγής, όταν το δέρμα είναι σε επαφή με έναν καλό αγωγό (► Εικόνα 17-4β). Όταν, για παράδειγμα, κάποιος κρατάει μια χιονόμπαλα, το χέρι του γίνεται κρύο λόγω της θερμότητας που μετακινείται μέσω αγωγής από το χέρι του προς τη χιονόμπαλα. Αντίθετα, όταν εφαρμόζεται ένα θερμό επίθεμα σε ένα σημείο του σώματος, το σημείο αυτό ζεσταίνεται, καθώς θερμότητα μεταφέρεται άμεσα από το επίθεμα στο σώμα.

Ομοίως, ο οργανισμός χάνει ή κερδίζει θερμότητα μέσω αγωγής, στο στρώμα του αέρα που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το σώμα. Η κατεύθυνση της μεταφοράς ενέργειας εξαρτάται από το κατά πόσο ο αέρας είναι ψυχρότερος ή θερμότερος, αντίστοιχα, από το δέρμα. Ωστόσο, ένα μικρό μόνο ποσοστό της συνολικής θερμότητας ανταλλάσσεται αποκλειστικά μέσω αγωγής, γιατί ο αέρας δεν είναι καλός αγωγός της θερμότητας. (Γι' αυτόν τον λόγο, το νερό μιας πισίνας στους 26,7 °C δίνει ψυχρότερη αίσθηση απ' ό,τι ο αέρας στην ίδια θερμοκρασία. Η θερμότητα άγεται πιο γρήγορα από την επιφάνεια του σώματος προς το νερό, το οποίο είναι καλός αγωγός, απ' ό,τι προς τον αέρα, ο οποίος είναι κακός αγωγός θερμότητας).

ΜΕΤΑΦΟΡΑ Ο όρος **μεταφορά** (convection) αναφέρεται στη μεταφορά θερμικής ενέργειας από *αέρια* (ή *υδάτινα*) *ρεύματα*. Καθώς το σώμα χάνει θερμότητα μέσω αγωγής προς τον περιβάλλοντα ψυχρότερο αέρα, ο αέρας που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το δέρμα θερμαίνεται. Επειδή ο θερμός αέρας είναι ελαφρύτερος (λιγότερο πυκνός) από τον ψυχρό, ο αέρας που θερμαίνεται ανεβαίνει καθώς ο ψυχρότερος μετακινείται προς το δέρμα για να αντικαταστήσει τον απερχόμενο θερμό αέρα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς (► Εικόνα 17-4γ). Αυτές οι κινήσεις του αέρα, γνωστές ως *ρεύματα μεταφοράς*, βοηθούν στην απομάκρυνση της θερμότητας από το σώμα. Χωρίς τα ρεύματα *μεταφοράς*, δε θα ήταν δυνατή η περαιτέρω αποβολή θερμότητας από το δέρμα μέσω μεταφοράς, καθώς η θερμοκρασία του στρώματος του αέρα που περιβάλλει το σώμα θα εξισορροπούνταν με τη θερμοκρασία του δέρματος.

Η διαδικασία αποβολής θερμότητας από το σώμα μέσω του συνδυασμού αγωγής-μεταφοράς ενισχύεται από την εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα κατά μήκος της επιφάνειας του σώματος, είτε από κινήσεις του εξωτερικού αέρα, όπως αυτές που προκαλούνται από τον αέρα ή από ανεμιστήρα, είτε από κινήσεις του σώματος διά μέσου του αέρα, όπως κατά τη διάρκεια της ποδηλασίας. Επειδή η εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα σαρώνει τον αέρα που θερμάνθηκε μέσω αγωγής και τον αντικαθιστά ταχύτατα με πιο ψυχρό αέρα, μπορεί να απομακρυνθεί από το σώμα μεγαλύτερη συνολική ποσότητα θερμότητας σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Συνεπώς ο αέρας μάς κάνει να αισθανόμαστε πιο δροσερά τις ζεστές ημέρες, ενώ τις χειμωνιάτικες ημέρες με αέρα το αίσθημα του κρύου είναι πιο έντονο απ' ό,τι θα ήταν απουσία αέρα στην ίδια θερμοκρασία. Γι' αυτόν τον λόγο, οι μετεωρολόγοι έχουν



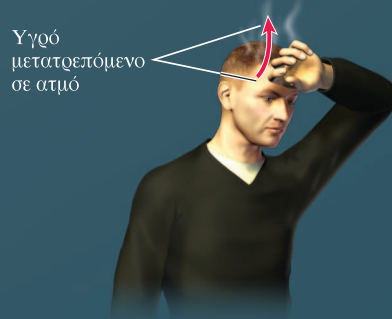
(α) **Ακτινοβολία** – η μεταφορά θερμικής ενέργειας από ένα πιο ζεστό αντικείμενο σε ένα πιο ψυχρό υπό τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων («θερμικά κύματα»), τα οποία ταξιδεύουν διά μέσου του χώρου.



(β) **Αγωγή** – η μεταφορά ενέργειας από ένα πιο θερμό σε ένα πιο ψυχρό αντικείμενο το οποίο είναι σε άμεση επαφή με το πιο ψυχρό. Η θερμότητα μεταφέρεται διά μέσου της μετακίνησης της θερμικής ενέργειας μεταξύ μορίων που γειτνιάζουν ή μεταξύ γειτονικών μορίων.



(γ) **Μεταφορά** – μεταφορά θερμικής ενέργειας μέσω αέριων ρευμάτων. Ο ψυχρός αέρας, ο οποίος θερμαίνεται από το σώμα μέσω επαγωγής, ανεβαίνει και αντικαθίσταται από πιο ψυχρό αέρα. Αυτή η διεργασία ενισχύεται από εξαναγκασμένες μετακινήσεις αέρα κατά μήκος της επιφάνειας του σώματος.



(δ) **Εξάτμιση** – μετατροπή ενός υγρού όπως ο ιδρώτας σε ατμό, μια διαδικασία που απαιτεί θερμότητα (θερμότητα εξάτμισης), η οποία απορροφάται από το δέρμα.

➤ **Εικόνα 17-4 Μηχανισμοί μεταφοράς ενέργειας.** Η κατεύθυνση των βελών υποδεικνύει τη φορά της ενεργειακής μεταφοράς.

καθιερώσει τον όρο *συντελεστής ψυχρότητας λόγω του αέρα* (πόσο κρύο αισθάνεται κανείς ότι κάνει).

ΕΞΑΤΜΙΣΗ Κατά την **εξάτμιση** (evaporation) από την επιφάνεια του δέρματος, η ενέργεια που απαιτείται για να περάσει το νερό από την υγρή στην αέρια κατάσταση απορροφάται από το δέρμα και κατά συνέπεια το σώμα ψυχραίνεται (➤ Εικόνα 17-4δ). Στην αποβολή θερμότητας μέσω εξάτμισης οφείλεται, για παράδειγμα, η αίσθηση του ψυχρού όταν το μαγιό είναι υγρό. Η απώλεια θερμότητας μέσω εξάτμισης λαμβάνει χώρα συνεχώς από την επιφάνεια των αεραγωγών του αναπνευστικού συστήματος και από την επιφάνεια του δέρματος. Συγκεκριμένα, θερμότητα χάνεται συνεχώς στον εκπνεόμενο αέρα ως αποτέλεσμα της εφύγρανσης του αέρα (εξάτμιση με κέρδος νερού) κατά τη διέλευση του αέρα από το αναπνευστικό σύστημα (βλ. Ενότητα 13.1). Ομοίως, επειδή το δέρμα δεν είναι εντελώς αδιάβροχο, μόρια νερού συνεχώς διαχέονται μέσω του δέρματος και εξατμίζονται. Η συνεχής αυτή εξάτμιση από το δέρμα είναι ανεξάρτητη από τη λειτουργία των ιδρωτοποιών αδένων. Αυτές οι παθητικές διεργασίες αποβολής θερμότητας μέσω εξάτμισης δεν υπόκεινται σε φυσιολογικό έλεγχο και συνεχίζονται ακόμα και

σε πολύ κρύες καιρικές συνθήκες, όταν το ζητούμενο είναι η διατήρηση της θερμότητας του σώματος.

Η εφίδρωση αποτελεί μια ελεγχόμενη διεργασία αποβολής θερμότητας μέσω εξάτμισης.

Η **εφίδρωση** (sweating) είναι μια ενεργητικά ελεγχόμενη διεργασία αποβολής θερμότητας μέσω εξάτμισης που υπάγεται στον έλεγχο του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Ο ρυθμός αποβολής θερμότητας μέσω εξάτμισης μπορεί να ρυθμιστεί τροποποιώντας το ποσοστό της εφίδρωσης, το οποίο αποτελεί έναν σημαντικό ομοιοστατικό μηχανισμό για την αποβολή της περίσσειας θερμότητας. Συγκεκριμένα, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος υπερβαίνει τη θερμοκρασία του δέρματος, η εφίδρωση αποτελεί τη μόνη οδό για την αποβολή θερμότητας, γιατί το σώμα υπό αυτές τις συνθήκες προσλαμβάνει θερμότητα μέσω της ακτινοβολίας αλλά και μέσω της αγωγής. Σε φυσιολογική θερμοκρασία, κατά μέσο όρο παράγονται 100 ml ιδρώτα ανά ημέρα. Αυτή η τιμή αυξάνεται στα 1,5 λίτρα ανά ημέρα όταν κάνει ζέστη, ενώ μπορεί να φτάσει στα 4 λίτρα κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης.

Ο **ιδρώτας** (sweat) είναι ένα αραιό (υποωσμωτικό) αλατούχο διάλυμα το οποίο ενεργητικά εξωθείται στην επιφάνεια του δέρματος από τους **εξωκρινείς ιδρωτοποιούς αδένες** (eccrine sweat glands) που βρίσκονται διάσπαρτοι σε όλο το σώμα. Αυτό το διαυγές, αλατούχο διάλυμα είναι πολύ σημαντικό για την ψύχρανση του σώματος. Οι **αποκρινείς ιδρωτοποιοί αδένες** (apocrine sweat glands), οι οποίοι εντοπίζονται στις μασχάλες και στη γεννητική περιοχή, παράγουν έναν παχύ, γαλακτώδη ιδρώτα, πλούσιο σε οργανικά συστατικά, όπως πρωτεΐνες και λιπίδια. Η σωματική οσμή δημιουργείται όταν τα βακτήρια της περιοχής αποικοδομούν αυτά τα οργανικά συστατικά. Δεν είναι γνωστός ο φυσιολογικός ρόλος των αποκρινών ιδρωτοποιών αδένων. Αποτελούν κατάλοιπα γεννητικών οσμογόνων αδένων οι οποίοι συναντώνται σε άλλα είδη.

Ο ιδρώτας που παράγεται από τους εξωκρινείς αδένες θα πρέπει να εξατμιστεί από το δέρμα, προκειμένου να αποβληθεί θερμότητα. Αν ο ιδρώτας στάξει από την επιφάνεια του δέρματος ή τον απομακρύνουμε σκουπίζοντάς τον, δεν επιτυγχάνεται αποβολή θερμότητας. Ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει το ποσοστό του εξατμιζόμενου ιδρώτα είναι η **σχετική υγρασία** του περιβάλλοντος αέρα (το ποσοστό του εξατμισμένου νερού που υπάρχει στην πραγματικότητα στον αέρα σε σχέση με το μέγιστο ποσοστό εξατμισμένου νερού που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας σε αυτή τη θερμοκρασία· για παράδειγμα, σχετική υγρασία 70% σημαίνει ότι ο αέρας περιέχει 70% του εξατμισμένου νερού το οποίο μπορεί να συγκρατήσει). Όταν η σχετική υγρασία είναι υψηλή, ο αέρας είναι σχεδόν πλήρως κορεσμένος με νερό και κατά συνέπεια έχει περιορισμένη ικανότητα να προσλάβει περαιτέρω υγρασία από το δέρμα. Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια μιας υγρής, ζεστής ημέρας μπορεί να επιτευχθεί μικρή αποβολή θερμότητας μέσω της εξάτμισης. Οι ιδρωτοποιοί αδένες συνεχίζουν να εκκρίνουν, αλλά ο ιδρώτας απλώς παραμένει στο δέρμα ή στάζει αντί να εξατμιστεί και να επιτευχθεί ψύχρανση. Ως μέτρο της δυσφορίας που σχετίζεται με τον συνδυασμό υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας, οι μετεωρολόγοι έχουν επινοήσει τον όρο **δείκτης θερμοκρασίας-υγρασίας** ή **δείκτης θερμοκρασιακής δυσφορίας** (πόση ζέστη αισθάνεται κανείς ότι κάνει).

Ο υποθάλαμος απαρτίζει πληθώρα θερμοαισθητικών ερεθισμάτων.

Ο υποθάλαμος είναι ο θερμοστάτης του σώματος. Ο οικιακός θερμοστάτης ελέγχει τη θερμοκρασία του δωματίου και θέτει σε λειτουργία έναν μηχανισμό θέρμανσης (τον καυστήρα) ή ψύξης (ένα κλιματιστικό), ώστε να παραμένει η θερμοκρασία του δωματίου στα επιθυμητά επίπεδα. Ομοίως, ο υποθάλαμος, ως κέντρο θερμορρυθμιστικής απαρτίωσης του σώματος, δέχεται προσαγωγές πληροφορίες αναφορικά με τη θερμοκρασία από διάφορες περιοχές του σώματος και ενεργοποιεί ιδιαίτερα περίπλοκους, συντονισμένους προσαρμοστικούς μηχανισμούς παραγωγής και απώλειας θερμότητας, ώστε να διορθωθεί κατάλληλα οποιαδήποτε απόκλιση της εσωτερικής θερμοκρασίας σώματος από το φυσιολογικό. Ο υποθάλαμος είναι πολύ πιο ευαίσθητος απ' ό,τι ο οικιακός θερμοστάτης. Μπορεί να ενεργοποιηθεί ακόμα και σε πολύ μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας του αίματος της τάξης των 0,01 °C.

Προκειμένου να ρυθμιστεί κατάλληλα η λεπτή ισορροπία μεταξύ των θερμορρυθμιστικών μηχανισμών θερμικής απώλειας και των θερμορρυθμιστικών μηχανισμών παραγωγής

και διατήρησης θερμότητας, ο υποθάλαμος πρέπει να δέχεται συνεχώς ερεθίσματα αναφορικά με τη θερμοκρασία τόσο του πυρήνα όσο και του δέρματος από ειδικούς θερμοευαίσθητους υποδοχείς, γνωστούς ως **θερμοαισθητήρες** (thermoreceptors). Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος ελέγχεται από **κεντρικούς θερμοαισθητήρες**, οι οποίοι εντοπίζονται στον ίδιο τον υποθάλαμο, στα ενδοκοιλιακά όργανα και αλλού. Οι **περιφερικοί θερμοαισθητήρες** ελέγχουν τη θερμοκρασία του δέρματος σε όλο το σώμα.

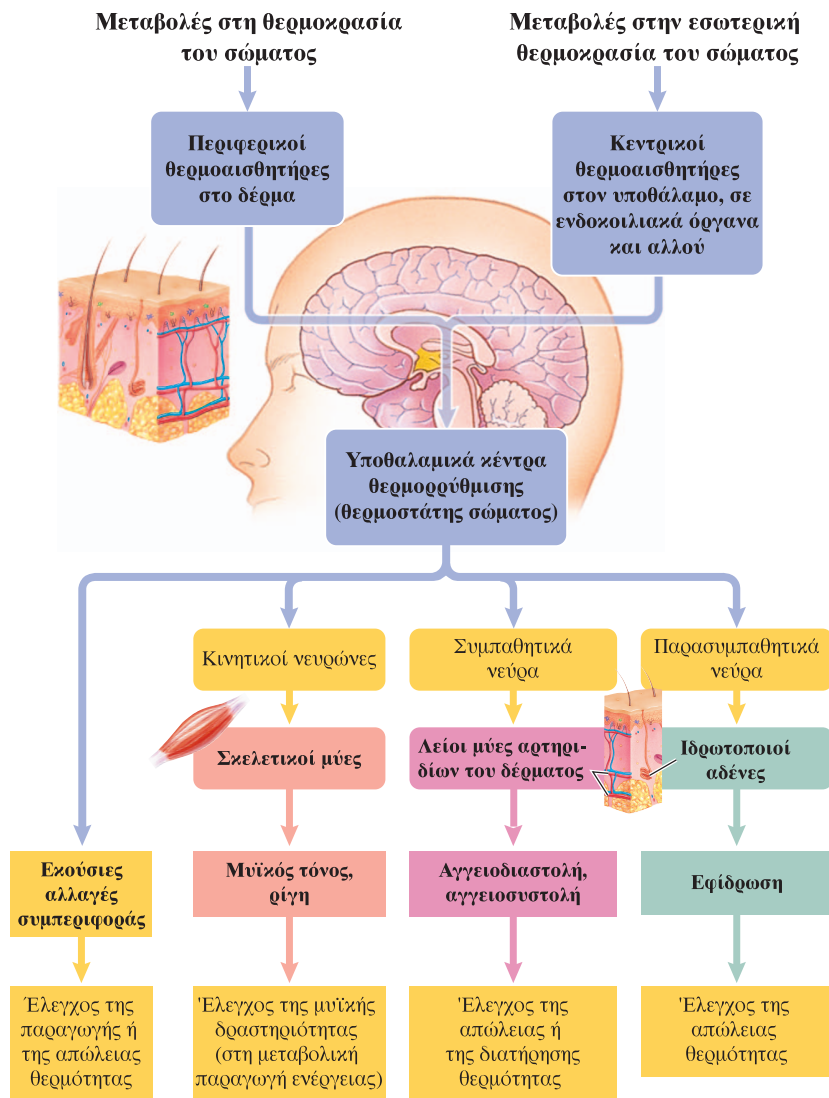
Στον υποθάλαμο συναντώνται δύο κέντρα ρύθμισης της θερμοκρασίας. Η **οπίσθια περιοχή**, η οποία ενεργοποιείται από το κρύο, επάγει αντανakλαστικά παραγωγής και διατήρησης της θερμότητας. Η **πρόσθια περιοχή**, η οποία ενεργοποιείται από τη ζέση, επάγει αντανakλαστικά αποβολής θερμότητας. Στη συνέχεια, θα αναφερθούν οι μηχανισμοί θερμορρύθμισης που διαθέτει ο υποθάλαμος (> Εικόνα 17-5).

Ο μυϊκός τρόμος αποτελεί τον κύριο αντανakλαστικό μηχανισμό για την αύξηση της παραγωγής θερμότητας.

Το σώμα μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία του είτε μέσω εσωτερικής παραγωγής θερμότητας, η οποία δημιουργείται από μεταβολική δραστηριότητα, είτε μέσω πρόσληψης από το εξωτερικό περιβάλλον, εφόσον η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος. Επειδή η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από την περιβαλλοντική, η μεταβολική παραγωγή θερμότητας αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας του σώματος. Όταν ένα άτομο είναι σε ηρεμία, η περισσότερη θερμότητα παράγεται από τα ενδοθωρακικά και ενδοκοιλιακά όργανα ως αποτέλεσμα των συνεχών και απαραίτητων για την επιβίωση μεταβολικών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας λόγω μεταβολισμού μπορεί να αυξηθεί, κυρίως μέσω αλλαγών στη συστατικότητα των σκελετικών μυών ή, σε μικρότερο βαθμό, μέσω συγκεκριμένων χημικών αντιδράσεων. Συνεπώς οι μεταβολές στη δραστηριότητα των σκελετικών μυών συνιστούν την κύρια οδό μέσω της οποίας ελέγχεται η παραγωγή θερμότητας για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος.

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥΣ ΜΥΣ Ως απόκριση στην πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας σώματος κατά την έκθεση στο κρύο, ο υποθάλαμος δίνει σήμα στους σκελετικούς μυς να αυξήσουν τη δραστηριότητά τους προκειμένου να παράγουν θερμότητα. Συγκεκριμένα, ο υποθάλαμος πρώτα αυξάνει σταδιακά τον τόνο των σκελετικών μυών μέσω απαγωγών οδών που καταλήγουν στους κινητικούς νευρώνες των σκελετικών μυών. (Ο μυϊκός τόνος αποτελεί το σταθερό επίπεδο τάσης των μυών.) Σύντομα αρχίζει το ρίγος. Ο **μυϊκός τρόμος** (shivering) αποτελείται από ρυθμικές ταλαντούμενες μυϊκές συστολές των σκελετικών μυών οι οποίες έχουν ταχύ ρυθμό της τάξης των 10 με 20 συσπάσεων ανά δευτερόλεπτο. Αυτός ο μηχανισμός είναι αποδοτικός και αποτελεσματικός για την αύξηση της παραγωγής θερμότητας. Όλη η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια του μυϊκού τρόμου μετατρέπεται σε θερμότητα, καθώς δεν επιτελείται κάποιο εξωτερικό έργο. Εντός δευτερολέπτων ή λεπτών, η εσωτερική παραγωγή θερμότητας μπορεί να αυξηθεί κατά δύο έως πέντε φορές ως αποτέλεσμα του ρίγους.

Συχνά αυτές οι αντανakλαστικές αλλαγές στη δραστηριότητα των σκελετικών μυών ενισχύονται από αύξηση των



► **Εικόνα 17-5** Κύρια θερμορρυθμιστικά μονοπάτια.

εκούσιων ενεργειών που παράγουν θερμότητα, όπως το χτύπημα των ποδιών και των χεριών. Ο υποθάλαμος επηρεάζει τόσο αυτές τις συμπεριφορικές αποκρίσεις όσο και τις ακούσιες φυσιολογικές αποκρίσεις. Ως μέρος του μεταίχμιου συστήματος (limbic system), ο υποθάλαμος εμπλέκεται ευρέως στον έλεγχο της υποκινούμενης συμπεριφοράς (βλ. Ενότητα 5.6).

Στην αντίθετη περίπτωση –σε αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας σώματος λόγω έκθεσης σε θερμότητα– δύο μηχανισμοί οδηγούν σε ελάττωση της δραστηριότητας των σκελετικών μυών, επομένως και σε ελάττωση της παραγωγής θερμότητας: Ο μυϊκός τόνος μειώνεται αντανakλαστικά και η εκούσια κινητικότητα σταματά. Όταν κάνει πολλή ζέστη, οι άνθρωποι συχνά παραπονούνται ότι «κάνει τόση ζέστη που ούτε να κουνηθούν δεν μπορούν».

ΘΕΡΜΟΓΕΝΕΣΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΤΟΥ ΡΙΓΟΥΣ Παρόλο που οι αντανakλαστικές και οι εκούσιες μεταβολές στη μυϊκή δραστηριότητα αποτελούν το κύριο μέσο αύξησης του ρυθμού παραγωγής θερμότητας, η **ανεξάρτητη του ρίγους (χημική) θερμογένεση** [nonshivering (chemical) thermogenesis]

διαδραματίζει επίσης ρόλο στη θερμορρύθμιση. Στα περισσότερα θηλαστικά, η χρόνια έκθεση στο κρύο επάγει μια αύξηση στη μεταβολική παραγωγή θερμότητας, ανεξάρτητη της μυϊκής συστολής, μέσω μεταβολών στη χημική δραστηριότητα η οποία οδηγεί σε παραγωγή θερμότητας. Σε έκθεση στο κρύο, η ανεξάρτητη του ρίγους θερμογένεση διαμεσολαβείται από το συμπαθητικό νευρικό σύστημα, το οποίο αυξάνει την παραγωγή θερμότητας διεγείροντας το **φαιό λίπος** (brown fat), έναν εξειδικευμένο τύπο λιπώδους ιστού που έχει την ικανότητα να μετατρέπει τη χημική ενέργεια των τροφών σε θερμότητα. Στον άνθρωπο, η ανεξάρτητη του ρίγους θερμογένεση είναι πιο σημαντική στα νεογνένητα, τα οποία έχουν μεγάλα αποθέματα φαιού λίπους, ιδιαίτερα υποδορίως στη ράχη. Σε αντίθεση με τον κοινό λευκό λιπώδη ιστό που αποθηκεύει ενέργεια με τη μορφή τριγλυκεριδίων, ο φαιός λιπώδης ιστός δρα ως ένας καυστήρας που καίει ενέργεια για να παράγει θερμότητα. Τα νεογνένητα χρησιμοποιούν το φαιό λίπος για να ζεσταθούν, επειδή δεν μπορούν να προκαλέσουν ρίγη. Το φαιό λίπος έχει φαιό χρώμα γιατί έχει πληθώρα μιτοχονδρίων πλούσιων σε σίδηρο, ο οποίος προσδίδει στον ιστό το χαρακτηριστικό καφέ-κόκκινο χρώμα. Τα μιτοχόνδρια του φαιού λίπους περιέχουν μια μοναδική **αποσυζευκτική πρωτεΐνη** (uncoupling protein), τη **θερμογενίνη** (thermogenin) («παραγωγός θερμότητας»), η οποία διαχωρίζει το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρονίων από τη διαδικασία παραγωγής ATP (βλ. Ενότητα 2.7). Κατ' αυτόν τον τρόπο, αντί μέρος της ενέργειας που απελευθερώνεται από το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρονίων να δεσμευτεί από το ATP μέσω χημειώσμωσης, όλη η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα.

Τα αποθέματα φαιού λίπους υποστρέφουν μετά τη βρεφική ηλικία και θεωρείται ότι εξαφανίζονται μετά τα δύο χρόνια. Ωστόσο, με τη βοήθεια νέων απεικονιστικών τεχνικών όπως ο σαρωτής PET (βλ. Ενότητα 5.4) φαίνονται μικρά, εναπομείναντα αποθέματα φαιού λίπους στον αυχένα, πάνω από την κλειδα και γύρω από τη σπονδυλική στήλη, σε διαφορετικές περιοχές από εκείνες που συναντάται το περισσότερο φαιό λίπος στα βρέφη. Το φαιό λίπος είναι πιο άφθονο στους λεπτούς ανθρώπους και μειώνεται με την πάροδο της ηλικίας. Όπως είναι αναμενόμενο, το φαιό λίπος έχει μεγαλύτερη σημασία στους ενήλικες κατά την έκθεση στο κρύο. Το φαιό λίπος δεν παράγει μόνο θερμότητα, αλλά συντελεί και στην κατανάλωση θερμίδων, καθώς όλες οι θερμίδες που προέρχονται από τη διατροφή και που καταναλώνονται από το φαιό λίπος μετατρέπονται σε θερμότητα. Για τον λόγο αυτό, οι ερευνητές αναζητούν τρόπους καταπολέμησης της παχυσαρκίας μέσω ενίσχυσης της ποσότητας ή της δραστηκότητας των αποθηκών φαιού λίπους των ενηλίκων ή τροποποιώντας τα λιποκύτταρα του λευκού λιπώδους ιστού να συμπεριφέρονται ως λιποκύτταρα του φαιού λιπώδους ιστού. Συγκεκριμένα, 50 γραμμάρια φαιού λίπους καταναλώνουν

500 θερμίδες (kcal) ανά ημέρα, χωρίς δαπάνη ενέργειας, ποσότητα ίση με αυτή που καταναλώνεται μετά από μία ώρα αεροβικής άσκησης.

Το μέγεθος της θερμικής απώλειας μπορεί να ελεγχθεί μεταβάλλοντας τη ροή του αίματος μέσω του δέρματος.

Οι μηχανισμοί θερμικής απώλειας υπόκεινται σε ρύθμιση, πάλι κυρίως από τον υποθάλαμο. Όταν ζεσταινόμαστε, χρειάζεται να αυξήσουμε την αποβολή θερμότητας προς το περιβάλλον, ενώ, όταν κρυώνουμε, χρειάζεται να μειώσουμε την αποβολή θερμότητας. Η ποσότητα της θερμότητας που χάνεται στο περιβάλλον μέσω της ακτινοβολίας και της διαιδικασίας αγωγής-μεταφοράς καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δέρματος και εξωτερικού περιβάλλοντος. Για να διατηρηθεί σταθερή η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος, μπορούν να ρυθμιστούν τόσο η μονωτική ικανότητα όσο και η θερμοκρασία του δέρματος προκειμένου να μεταβληθεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δέρματος και εξωτερικού περιβάλλοντος, επηρεάζοντας έτσι τον βαθμό αποβολής θερμότητας.

Η μονωτική ικανότητα του δέρματος μπορεί να τροποποιηθεί ρυθμίζοντας την ποσότητα του αίματος που ρέει διά μέσου αυτού. Η αιματική ροή στο δέρμα εξυπηρετεί δύο λειτουργίες. Πρώτον, παρέχει θρεπτικά συστατικά στο δέρμα. Δεύτερον, η μεγαλύτερη αιματική ροή στο δέρμα στοχεύει στη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Σε φυσιολογική θερμοκρασία δωματίου, η ροή του αίματος στο δέρμα είναι 20 με 30 φορές περισσότερη απ' ό,τι χρειάζεται για τη θρέψη του δέρματος. Κατά τη διαδικασία της θερμορρύθμισης, η αιματική ροή στο δέρμα μπορεί να ποικίλλει σημαντικά, από 400 έως 2500 ml ανά λεπτό. Όσο πιο πολύ αίμα φτάνει στο δέρμα από τον θερμό πυρήνα, τόσο πιο πολύ η θερμοκρασία του δέρματος πλησιάζει την εσωτερική θερμοκρασία σώματος. Τα αιμοφόρα αγγεία του δέρματος μειώνουν την αποτελεσματικότητα του δέρματος ως μονωτή, μεταφέροντας θερμότητα στην επιφάνεια του σώματος, από όπου μπορεί να χαθεί μέσω ακτινοβολίας και μέσω της διαδικασίας αγωγής-μεταφοράς. Κατ' αντιστοιχία, η διαστολή των δερματικών αρτηριδίων, η οποία επιτρέπει την αύξηση της ροής του αίματος μέσω του

δέρματος, αυξάνει την αποβολή θερμότητας. Αντίθετα, η αγγειοσυστολή, η οποία μειώνει τη ροή του αίματος στο δέρμα, μειώνει την αποβολή θερμότητας διατηρώντας το θερμό αίμα εντός του κεντρικού πυρήνα, όπου είναι μονωμένο από το εξωτερικό περιβάλλον. Η απόκριση αυτή διατηρεί τη θερμότητα, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα είχε χαθεί.

Αυτές οι αγγειοκινητικές αποκρίσεις του δέρματος συντονίζονται από τον υποθάλαμο μέσω του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Η αυξημένη συμπαθητική δραστηριότητα επάγει την αγγειοσυστολή των αρτηριδίων του δέρματος σε περιόδους ψύχους, η οποία διατηρεί τη θερμότητα, ενώ η μείωση της συμπαθητικής δραστηριότητας επάγει την αγγειοδιαστολή αρτηριδίων του δέρματος σε περιόδους ζέστης, με τελικό αποτέλεσμα την αποβολή θερμότητας.

Να σημειωθεί ότι το κέντρο καρδιαγγειακής ρύθμισης στον προμήκη μυελό ασκεί επίσης έλεγχο στα αρτηρίδια του δέρματος (αλλά και σε αρτηρίδια σε όλο το σώμα) μέσω ρύθμισης της συμπαθητικής διέγερσης αυτών των αγγείων με απώτερο στόχο τον έλεγχο της πίεσης (βλ. Ενότητα 10.3). Η υποθαλαμική ρύθμιση των αρτηριδίων του δέρματος με σκοπό τη ρύθμιση της θερμοκρασίας επικρατεί αυτής του κέντρου καρδιαγγειακού ελέγχου (βλ. Ενότητα 10.6). Συνεπώς μπορεί να προκύψουν αλλαγές στην αρτηριακή πίεση όταν προκληθούν έντονες θερμορρυθμιστικές αγγειοκινητικές αποκρίσεις στην επιφάνεια του δέρματος. Για παράδειγμα, η πίεση του αίματος μπορεί να ελαττωθεί μετά από έκθεση σε πολύ ζεστά περιβάλλοντα, καθώς η επιβαλλόμενη από τον υποθάλαμο θερμορρυθμιστική αγγειοδιαστολή υπερισχύει της αγγειοσυστολής που ορίζεται από το καρδιαγγειακό κέντρο ελέγχου του προμήκη.

Ο υποθάλαμος ρυθμίζει ταυτόχρονα τους μηχανισμούς παραγωγής και αποβολής θερμότητας.

Στον Πίνακα 17-4 φαίνονται συγκεντρωτικά οι συντονισμένες λειτουργίες παραγωγής ή απώλειας θερμότητας ως απόκριση στην έκθεση στο κρύο ή στη ζέση. (Τα αποτελέσματα της έκθεσης σε ακραίες καταστάσεις κρύου ή ζέστης αναλύονται στο πλαίσιο στην Ενότητα 17.2, ■ Νέες ιδέες, προκλήσεις και αμφιλεγόμενα ζητήματα: Οι ακραίες καταστάσεις κρύου και ζέστης μπορεί να αποβούν θανατηφόρες.)

ΠΙΝΑΚΑΣ 17-4 Συντονισμένες προσαρμογές ως απόκριση στην έκθεση σε κρύο ή σε ζέση

ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΟ ΚΡΥΟ (ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΟΠΙΣΘΙΟ ΥΠΟΘΑΛΛΑΜΟ)		ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΗ ΖΕΣΤΗ (ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΠΡΟΣΘΙΟ ΥΠΟΘΑΛΛΑΜΟ)	
Αυξημένη παραγωγή θερμότητας	Μειωμένη αποβολή θερμότητας (διατήρηση ενέργειας)	Μειωμένη παραγωγή θερμότητας	Αυξημένη αποβολή θερμότητας
Αυξημένος μυϊκός τόνος Ρίγος	Αγγειοσύσπαση αρτηριδίων δέρματος	Μειωμένος μυϊκός τόνος	Αγγειοδιαστολή αρτηριδίων δέρματος
Αυξημένη εκούσια άσκηση*	Αλλαγές στη στάση του σώματος για μείωση της εκτιθέμενης επιφάνειας (κύρτωση ώμων κτλ.)*	Μείωση εκούσιας άσκησης*	Εφίδρωση
Θερμογένεση ανεξάρτητη του ρίγους	Ζεστά ρούχα*		Δροσερά ρούχα*

*Συμπεριφορικές προσαρμογές

Τα αποτελέσματα της έκθεσης σε ακραίες καταστάσεις ζέστης ή κρύου μπορεί να είναι θανατηφόρα

Η παρατεταμένη έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες μπορεί να επιβαρύνει τους θερμορρυθμιστικούς μηχανισμούς του οργανισμού, οδηγώντας σε διαταραχές ή ακόμα και σε θάνατο.

Διαταραχές σχετιζόμενες με το κρύο

Ο οργανισμός μπορεί να υποστεί βλάβη από την έκθεση στο κρύο με δύο τρόπους: λόγω κρυοπαγήματος και λόγω γενικευμένης υποθερμίας. Στα **κρυοπαγήματα** (frostbite), η θερμοκρασία ενός συγκεκριμένου μέρους του σώματος μειώνεται τόσο, που ο ιστός της περιοχής καταστρέφεται. Αν ο εκτεθειμένος ιστός παγώσει, η βλάβη οφείλεται στη ρήξη των κυττάρων από τον σχηματισμό παγοκρυστάλλων ή από την έλλειψη νερού σε υγρή μορφή.

Η **υποθερμία** (hypothermia), δηλαδή η πτώση της θερμοκρασίας του σώματος, εμφανίζεται όταν η γενικευμένη έκθεση του σώματος στο κρύο υπερισχύει της ικανότητας των φυσιολογικών θερμορρυθμιστικών μηχανισμών να εξισορροπήσουν την εκτεταμένη αποβολή θερμότητας. Καθώς η υποθερμία εγκαθίσταται, ο ρυθμός όλων των μεταβολικών δραστηριοτήτων επιβραδύνεται λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας. Οι πιο σημαντικές εγκεφαλικές λειτουργίες είναι οι πρώτες που επηρεάζονται, οδηγώντας σε απώλεια κρίσης, απάθεια, αποπροσανατολισμό και κούραση, τα οποία ελαχιστοποιούν την ικανότητα του οργανισμού να ενεργοποιήσει εκούσιους μηχανισμούς για να αντιστραφεί η πτώση της θερμοκρασίας του σώματος. Καθώς αυτή η ελάττωση της θερμοκρασίας συνεχίζεται, καταστέλλεται η λειτουργία του αναπνευστικού κέντρου, με αποτέλεσμα η αναπνοή να καθίσταται αδύναμη και αργή. Επίσης, μειώνεται σταδιακά η λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος. Ο καρδιακός ρυθμός διαταράσσεται, οδηγώντας τελικά σε κοιλιακή μαρμαρυγή και θάνατο.

Διαταραχές σχετιζόμενες με τη ζέστη

Αντίθετα, η εκτεταμένη έκθεση στη ζέστη μπορεί να οδηγήσει σε θερμική εξάντληση και θερμοπληξία. Η **θερμική εξάντληση** (heat exhaustion) είναι μια κατάσταση κατάρτισης, η οποία συνήθως εκδηλώνεται με λιποθυμία, λόγω πτώσης της πίεσης από επιβάρυνση των μηχανισμών αποβολής θερμότητας. Η εκτεταμένη εφίδρωση προκαλεί ελάττωση της καρδιακής παροχής μειώνοντας τον όγκο του πλάσματος, ενώ η έντονη αγγειοδιαστολή των αρτηριδίων του δέρματος προκαλεί ελάττωση της συνολικής περιφερικής αντίστασης. Καθώς η αρτηριακή πίεση του αίματος καθορίζεται από την καρδιακή παροχή και τη συνολική περιφερική αντίσταση, όταν η πίεση του αίματος ελαττώνεται, παρατηρείται ανεπαρκής αιμάτωση του εγκεφάλου και τελικά επέρχεται λιποθυμία. Κατά συνέπεια η θερμική εξάντληση δεν είναι αποτέλεσμα της υπολειτουργίας των μηχανισμών αποβολής θερμότητας, αλλά της υπερδραστηριότητάς τους. Επειδή οι μηχανισμοί αποβολής θερμότητας υπερλειτουργούν, η θερμοκρασία του σώματος εμφανίζει μικρή μόνο άνοδο στην περίπτωση της θερμικής εξάντλησης. Όταν οι μηχανισμοί

αποβολής θερμότητας δεν μπορούν πλέον να αντισταθμίσουν την παραγωγή θερμότητας μέσω της άσκησης ή εφόσον ο οργανισμός βρεθεί σε θερμό περιβάλλον, διακόπτεται η μυϊκή δραστηριότητα, έτσι ώστε η θερμική εξάντληση να δρα ως βαλβίδα ασφαλείας για να αποτρέψει τις πιο σοβαρές συνέπειες της θερμοπληξίας.

Η **θερμοπληξία** (heat stroke) είναι μια εξαιρετικά σοβαρή κατάσταση που οφείλεται στην πλήρη κατάρρευση του υποθαλαμικού θερμορρυθμιστικού συστήματος. Η θερμική εξάντληση μπορεί να εξελιχθεί σε θερμοπληξία αν οι μηχανισμοί αποβολής θερμότητας εξακολουθούν να υφίστανται επιβάρυνση. Η θερμοπληξία είναι πιο πιθανό να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια παρατεταμένης έκθεσης σε ζεστό και υγρό περιβάλλον. Οι ηλικιωμένοι, στους οποίους οι θερμορρυθμιστικές αποκρίσεις είναι γενικά πιο αργές και λιγότερο αποτελεσματικές, είναι ιδιαίτερα ευπαθείς στη θερμοπληξία κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων καύσωνα. Το ίδιο ευπαθείς είναι και όσοι λαμβάνουν κάποια κοινά ηρεμιστικά, όπως το Βάλιουμ, γιατί αυτά τα φάρμακα παρεμβαίνουν στη νευροδιαβιβαστική δραστηριότητα των υποθαλαμικών θερμορρυθμιστικών κέντρων.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της θερμοπληξίας αποτελεί η έλλειψη αντισταθμιστικών μέτρων αποβολής θερμότητας, όπως είναι η εφίδρωση, στο πλαίσιο της ταχέως αυξανόμενης θερμοκρασίας του σώματος, η οποία ονομάζεται **υπερθερμία** (hyperthermia). Δεν παρατηρείται εφίδρωση, παρά τη σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, γιατί τα υποθαλαμικά θερμορρυθμιστικά κέντρα δε λειτουργούν σωστά και δεν μπορούν να πυροδοτήσουν τους μηχανισμούς αποβολής θερμότητας. Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της θερμοπληξίας, η θερμοκρασία του σώματος αρχίζει να ανεβαίνει, καθώς οι μηχανισμοί αποβολής θερμότητας τελικά υπερκεράζονται από την παρατεταμένη, υπερβολική πρόσληψη θερμότητας. Όταν η θερμοκρασία του πυρήνα φτάσει στο σημείο στο οποίο καταστρέφονται τα υποθαλαμικά θερμορρυθμιστικά κέντρα από τη ζέστη, η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται απότομα λόγω της πλήρους καταστολής των μηχανισμών αποβολής θερμότητας. Επιπλέον, καθώς η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται, αντίστοιχα αυξάνεται και ο μεταβολικός ρυθμός επειδή οι υψηλότερες θερμοκρασίες επιταχύνουν τον ρυθμό των χημικών αντιδράσεων, με αποτέλεσμα την ακόμα μεγαλύτερη παραγωγή θερμότητας. Αυτή η κατάσταση θετικής ανατροφοδότησης προκαλεί την απότομη άνοδο της θερμοκρασίας σε υψηλά επίπεδα. Η θερμοπληξία είναι πολύ επικίνδυνη, καθώς, αν δεν αντιμετωπιστεί έγκαιρα, μπορεί γρήγορα να οδηγήσει σε θάνατο. Ακόμα και αν το άτομο υποβληθεί σε θεραπεία για να σταματήσει και να αναστραφεί η ανεξέλεγκτη αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, τα ποσοστά θνησιμότητας παραμένουν υψηλά. Το ποσοστό μόνιμης ανικανότητας σε επιζήσαντες είναι επίσης υψηλό, λόγω της μη αναστρέψιμης αποδιάταξης των πρωτεϊνών που έχει προκληθεί από την υψηλή εσωτερική θερμότητα.

ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΤΟ ΚΡΥΟ

Ως απόκριση στο κρύο, η οπίσθια περιοχή του υποθαλάμου δίνει εντολή για αύξηση της παραγωγής θερμότητας, μέσω του ρίγους για παράδειγμα, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την αποβολή θερμότητας (δηλαδή διατηρεί τη θερμότητα) μέσω αγγειοσυστολής και άλλων μηχανισμών.

Επειδή υπάρχει περιορισμός στην ικανότητα του σώματος να μειώνει τη θερμοκρασία του δέρματος μέσω αγγειοσυστολής, ακόμα και η μέγιστη αγγειοσυστολή δεν είναι αρκετή για να παρεμποδίσει τη σημαντική αποβολή θερμότητας όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος πέφτει πολύ χαμηλά. Συνεπώς θα πρέπει να ενεργοποιηθούν άλλοι μηχανισμοί για να μειωθεί περαιτέρω η αποβολή θερμότητας. Σε ζώα με πυκνή γούνα ή φτερά, ο υποθάλαμος, δρώντας μέσω του συμπαθητικού νευρικού συστήματος, επάγει τη σύσπαση των μικρών λειών μυϊκών ινών που βρίσκονται στη βάση των τριχών ή των φτερών, η οποία με τη σειρά της ανασκάνει τις τρίχες ή τα φτερά από την επιφάνεια του δέρματος. Αυτό το ανασήκωμα παγιδεύει μια στιβάδα αέρα μικρής αγωγιμότητας μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος και του περιβάλλοντος, αυξάνοντας έτσι τον μονωτικό φραγμό μεταξύ του πυρήνα και του κρύου αέρα και μειώνοντας την αποβολή θερμότητας. Παρόλο που και στους ανθρώπους οι ανελεκτήρες μύες των τριχών συστέλλονται ως απόκριση στην έκθεση στο κρύο, αυτός ο μηχανισμός διατήρησης της ενέργειας είναι αναποτελεσματικός, αφού η σωματική τριχοφυΐα είναι αραιή και με λεπτή υφή. Οι προκαλούμενες επομένως *ανατριχίλες* δεν προσφέρουν τίποτα.

Αφού έχει επιτευχθεί μέγιστη αγγειοσυστολή των αρτηριδίων του δέρματος ως αποτέλεσμα της έκθεσης στο κρύο, η περαιτέρω αποβολή θερμότητας στους ανθρώπους μπορεί να αποφευχθεί μόνο με συμπεριφορικές προσαρμογές, όπως αλλαγές στη στάση του σώματος, οι οποίες μειώνουν, όσο είναι δυνατόν, την εκτιθέμενη επιφάνεια από όπου αποβάλλεται η θερμότητα. Αυτές οι προσαρμογές στη στάση του σώματος περιλαμβάνουν χειρισμούς όπως η κύρτωση των ώμων, η κάμψη των βραχιόνων μπροστά από το στήθος ή η συσπείρωση του σώματος.

Η ένδυση με ζεστά ρούχα αποτρέπει ακόμη περισσότερο την περαιτέρω απώλεια θερμότητας. Τα ρούχα παγιδεύουν στιβάδες μικρής αγωγιμότητας αέρα μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος, μειώνοντας έτσι την απώλεια θερμότητας μέσω αγωγής από το δέρμα προς τον κρύο εξωτερικό αέρα και εμποδίζοντας τη ροή των ρευμάτων μεταφοράς.

ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΤΗ ΖΕΣΤΗ

Στην αντίθετη περίπτωση, στην έκθεση στη ζέστη, η πρόσθια μοίρα του υποθαλάμου δίνει εντολή για ελάττωση της παραγωγής ενέργειας περιορίζοντας τη δραστηριότητα των σκελετικών μυών και επάγοντας την αύξηση της αποβαλλόμενης θερμότητας μέσω αγγειοδιαστολής από το δέρμα. Όταν η αγγειοδιαστολή δεν επαρκεί για την αποβολή της περίσσειας θερμότητας από το σώμα, ενεργοποιείται ο μηχανισμός της εφίδρωσης, για να επιτευχθεί περαιτέρω αποβολή θερμότητας μέσω εξάτμισης. Αν η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος υπερβεί τη θερμοκρασία του δέρματος κατά τη μέγιστη αγγειοδιαστολή, η μεταφορά θερμότητας αντιστρέφεται, με αποτέλεσμα να προσλαμβάνεται θερμότητα από το περιβάλλον. Υπό αυτές τις συνθήκες η εφίδρωση αποτελεί τον μόνο τρόπο αποβολής θερμότητας.

Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν επίσης άλλες μεθόδους, όπως είναι η χρήση ανεμιστήρα, η ύγρανση του σώματος, η κατανάλωση κρύων ποτών και ο δροσερός ρουχισμός, για να

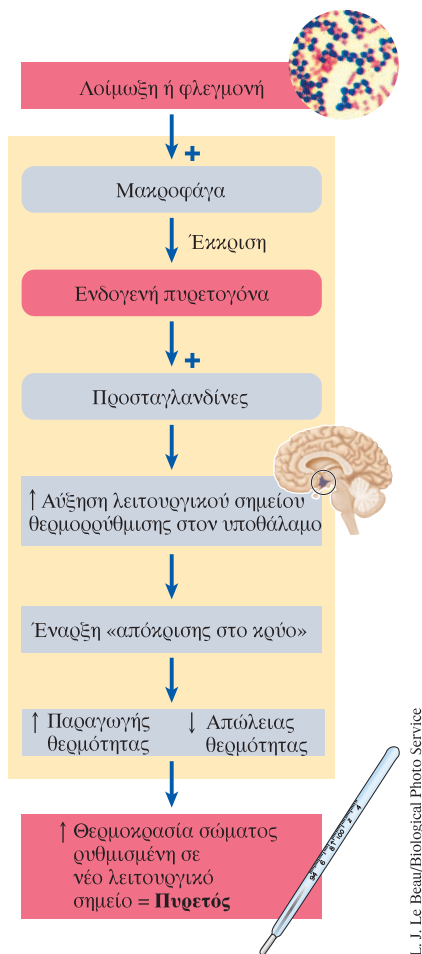
ενισχύσουν περαιτέρω την αποβολή θερμότητας. Αντίθετα απ' ό,τι πιστεύεται ευρέως, τα ανοιχτόχρωμα, φαρδιά ρούχα προσφέρουν μεγαλύτερη δροσιά απ' ό,τι αν είναι κάποιος γυμνός, καθώς το γυμνό δέρμα απορροφά σχεδόν όλη την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Συνεπώς, αν τα ανοιχτόχρωμα ρούχα είναι αρκετά φαρδιά και λεπτά για να επιτρέψουν την αποβολή θερμότητας μέσω των ρευμάτων μεταφοράς και εξάτμισης, είναι καλύτερα να φορά κανείς ρούχα παρά να εκθέτει το σώμα του απευθείας στον ήλιο.

ΘΕΡΜΟΟΥΔΕΤΕΡΗ ΖΩΝΗ Η αγγειοκινητική δραστηριότητα του δέρματος είναι πολύ αποτελεσματική στη ρύθμιση των απωλειών θερμότητας για θερμοκρασίες περιβάλλοντος οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 20 °C και 30 °C. Αυτό το εύρος, εντός του οποίου η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος μπορεί να παραμείνει σταθερή μόνο μέσω αγγειοκινητικών αποκρίσεων χωρίς την ανάγκη κινητοποίησης συμπληρωματικών μηχανισμών παραγωγής ή αποβολής θερμότητας, ονομάζεται **θερμοουδέτερη ζώνη** (thermoneutral zone). Όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος πέφτει κάτω από τα κατώτερα επίπεδα της ικανότητας του δέρματος για ελάττωση της αποβολής θερμότητας μέσω αγγειοσυστολής, καθίσταται απαραίτητη η παραγωγή θερμότητας, κυρίως μέσω του ρίγους, ώστε να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος υπερβαίνει τα ανώτερα όρια της ικανότητας του δέρματος για αύξηση της αποβολής θερμότητας μέσω αγγειοδιαστολής, η εφίδρωση γίνεται απαραίτητη προκειμένου να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος.

Κατά τη διάρκεια του πυρετού, ο υποθαλαμικός θερμοστάτης «αναπρογραμματίζεται» σε υψηλότερη θερμοκρασία.



Ο όρος **πυρετός** (fever) αναφέρεται σε αύξηση της θερμοκρασίας σώματος ως αποτέλεσμα μόλυνσης ή φλεγμονής. Ως απόκριση στη μικροβιακή εισβολή, ορισμένα φαγοκύτταρα (μακροφάγα) απελευθερώνουν **ενδογενή πυρετογόνα** (endogenous pyrogen), τα οποία δρουν στο θερμορυθμιστικό κέντρο του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τον θερμοστάτη σε υψηλότερη θερμοκρασία (► Εικόνα 17-6· βλ. επίσης Ενότητα 12.2). Ο υποθάλαμος τώρα διατηρεί τη θερμοκρασία στο νέο λειτουργικό σημείο αντί να διατηρεί τη φυσιολογική θερμοκρασία σώματος. Αν, για παράδειγμα, ένα ενδογενές πυρετογόνο θέτει το λειτουργικό σημείο θερμορρύθμισης στους 38,9 °C, ο υποθάλαμος αντιλαμβάνεται ότι η φυσιολογική προ πυρετού θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή και έτσι ενεργοποιεί τους μηχανισμούς απόκρισης στο κρύο για να αυξήσει τη θερμοκρασία στους 38,9 °C. Ειδικότερα, ενεργοποιεί το ρίγος ώστε να αυξηθεί γρήγορα η παραγωγή θερμότητας και επάγει την αγγειοσυστολή των αρτηριδίων του δέρματος ώστε να μειωθεί η αποβολή θερμότητας, μηχανισμοί οι οποίοι προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτές οι διαδικασίες είναι υπεύθυνες για το σύγκρυο, το οποίο συχνά εμφανίζεται με την έναρξη του πυρετού. Καθώς ο ασθενής αισθάνεται κρύο, σκεπάζεται με περισσότερες κουβέρτες στην προσπάθειά του να αυξήσει τη θερμοκρασία του σώματος μέσω διατήρησης της θερμότητας. Μόλις επιτευχθεί η νέα θερμοκρασία, η θερμοκρασία του σώματος ρυθμίζεται φυσιολογικά ως απόκριση στο κρύο και στη ζέστη, αλλά σε υψηλότερο λειτουργικό σημείο. Συνεπώς η εμφάνιση του πυρετού ως απόκριση στη λοίμωξη είναι μια εκούσια κατάληξη και δεν προκαλείται από αναποτελεσματικότητα του θερμορρυθμιστικού μηχανισμού. Παρόλο



► **Εικόνα 17-6** Μηχανισμός πρόκλησης πυρετού.

που η φυσιολογική σημασία του πυρετού είναι ακόμα ασαφής, πολύ ειδικοί πιστεύουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος έχει ευεργετική επίδραση στην αντιμετώπιση της λοίμωξης. Ο πυρετός ενισχύει τη φλεγμονώδη απόκριση και μπορεί να αναστείλει τον πολλαπλασιασμό των βακτηρίων.

Κατά την έναρξη του πυρετού, τα ενδογενή πυρετογόνα ρυθμίζουν τον υποθαλαμικό θερμοστάτη σε υψηλότερο λειτουργικό σημείο, πυροδοτώντας την τοπική απελευθέρωση χημικών διαμεσολαβητών οι οποίοι καλούνται *προσταγλανδίνες* και δρουν απευθείας στον υποθάλαμο. Η ασπιρίνη μειώνει τον πυρετό αναστέλλοντας τη σύνθεση των προσταγλανδινών, αλλά δε μειώνει τη θερμοκρασία σε άτομο που δεν έχει πυρετό, γιατί απουσία ενδογενούς πυρετογόνου οι προσταγλανδίνες δεν είναι παρούσες στον υποθάλαμο σε σημαντικές ποσότητες.

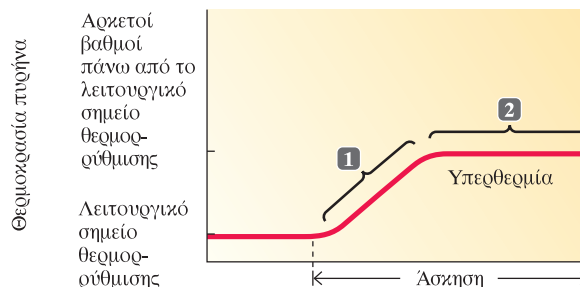
Το ακριβές αίτιο της ύφεσης του πυρετού σε μοριακό επίπεδο δεν είναι γνωστό, παρόλο που υποτίθεται ότι οφείλεται σε μείωση της έκκρισης πυρετογόνων ή σε μείωση της σύνθεσης προσταγλανδινών. Όταν το υποθαλαμικό λειτουργικό σημείο θερμορρύθμισης αναπρογραμματίζεται στα φυσιολογικά επίπεδα, η θερμοκρασία των 38,9 °C (σε αυτό το παράδειγμα) είναι πολύ υψηλή. Τότε ενεργοποιούνται οι θερμορρυθμιστικοί μηχανισμοί για να επέλθει ελάττωση της θερμοκρασίας του σώματος. Εμφανίζεται αγγειοδιαστολή και ξεκινά η εφίδρωση. Ο ασθενής αισθάνεται ζέστη και απαλλάσσεται από τα επιπλέον σκεπάσματα. Η κινητοποίηση των θερμορρυθμιστικών

μηχανισμών από τον υποθάλαμο οδηγεί σε μείωση των επιπέδων της θερμοκρασίας στα φυσιολογικά επίπεδα.

Η υπερθερμία μπορεί να εμφανιστεί ανεξαρτήτως λοίμωξης.

Η **υπερθερμία** (hyperthermia) χαρακτηρίζεται από αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος πάνω από τα φυσιολογικά επίπεδα. Ο όρος *πυρετός* συνήθως περιγράφει την αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται από την έκκριση ενδογενών πυρετογόνων τα οποία στο πλαίσιο φλεγμονής ή λοίμωξης επιδρούν στο λειτουργικό σημείο θερμορρύθμισης του υποθαλαμικού θερμοστάτη. Η **υπερθερμία** αναφέρεται σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις ανισορροπίας μεταξύ της αποβολής και της πρόσληψης θερμότητας οι οποίες οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος. Η υπερθερμία μπορεί να οφείλεται σε ποικίλες αιτίες, μερικές από τις οποίες είναι φυσιολογικές και αβλαβείς, ενώ άλλες είναι παθολογικές και θανατηφόρες.

ΥΠΕΡΘΕΡΜΙΑ ΕΠΑΓΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΑΣΚΗΣΗ Η πιο κοινή αιτία υπερθερμίας είναι η παρατεταμένη άσκηση. Ως φυσική συνέπεια της τεράστιας ποσότητας θερμότητας που παράγεται από τους ασκούμενους μυς, η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται κατά το αρχικό στάδιο της άσκησης, καθώς η παραγωγή θερμότητας υπερτερεί της απώλειας θερμότητας (► Εικόνα 17-7). Η αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος πυροδοτεί αντανakλαστικά μηχανισμούς αποβολής θερμότητας (αγγειοδιαστολή αρτηριδίων του δέρματος και εφίδρωση), οι οποίοι τείνουν να εξισορροπήσουν την παραγωγή και την απώλεια θερμότητας. Από τη στιγμή που οι μηχανισμοί αποβολής θερμότητας επιταχυνθούν επαρκώς ώστε να εξισορροπήσουν την παραγωγή θερμότητας, η θερμοκρασία του πυρήνα σταθεροποιείται σε μια τιμή ελαφρώς υψηλότερη από το λειτουργικό σημείο του υποθαλαμικού θερμοστάτη, παρά τη συνεχιζόμενη παραγωγή θερμότητας λόγω της άσκησης. Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης, η θερμοκρασία του σώματος αρχικά αυξάνεται και στη συνέχεια διατηρείται σε υψηλότερο λειτουργικό σημείο για όσο χρονικό διάστημα συνεχίζεται η άσκηση.



1 Στην έναρξη της άσκησης, ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας αρχικά υπερβαίνει τον ρυθμό αποβολής θερμότητας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος.

2 Όταν οι μηχανισμοί θερμικής απώλειας αυξάνονται αντανakλαστικά ώστε να εξισορροπήσουν την παραγωγή θερμότητας, η θερμοκρασία του πυρήνα σταθεροποιείται σε μια τιμή ελαφρώς υψηλότερη από το λειτουργικό σημείο του υποθαλαμικού θερμοστάτη καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης.

► **Εικόνα 17-7** Υπερθερμία σε παρατεταμένη άσκηση.



ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΕΡΘΕΡΜΙΑ Η υπερθερμία μπορεί επίσης να προκύψει με έναν εντελώς διαφορετικό τρόπο: από υπερβολική παραγωγή θερμότητας που σχετίζεται με παθολογικά υψηλά επίπεδα θυρεοειδικών ορμονών ή επινεφρίνης στο αίμα, λόγω δυσλειτουργίας του θυρεοειδούς αδένος ή του μυελού των επινεφριδίων αντίστοιχα. Τόσο οι θυρεοειδικές ορμόνες όσο και η επινεφρίνη αυξάνουν την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος αυξάνοντας τον μεταβολικό ρυθμό και την παραγωγή θερμότητας.

Η υπερθερμία μπορεί επίσης να είναι αποτέλεσμα δυσλειτουργίας των υποθαλαμικών κέντρων ελέγχου. Συγκεκριμένες εγκεφαλικές βλάβες, για παράδειγμα, καταστρέφουν τη φυσιολογική ρυθμιστική ικανότητα του υποθαλαμικού θερμοστάτη. Όταν οι θερμορρυθμιστικοί μηχανισμοί δε λειτουργούν, είναι δυνατόν να επέλθει πολύ γρήγορα θάνατος λόγω υπερθερμίας. Μέσω του μεταβολισμού παράγεται αρκετή θερμότητα για να σκοτώσει κάποιον σε λιγότερο από 5 ώρες, αν οι μηχανισμοί αποβολής θερμότητας κατασταλούν πλήρως. Η παρατεταμένη, σοβαρή έκθεση σε θερμικό στρες μπορεί επίσης να καταστείλει τη λειτουργία της υποθαλαμικής θερμορρυθμισης.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας 17.2

1. Περιγράψτε τους μηχανισμούς μεταφοράς ενέργειας.
2. Κάντε ένα συγκριτικό διάγραμμα με τις αποκρίσεις του οπίσθιου και του πρόσθιου υποθαλάμου για τη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος, όταν η περιβαλλοντική θερμοκρασία είναι υψηλή ή χαμηλή.

Ομοιόσταση: Η ουσία του Κεφαλαίου



Επειδή η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί εκ του μηδενός ή να καταστραφεί, η διατήρηση του σωματικού βάρους και η σταθερότητα της θερμοκρασίας του σώματος εξασφαλίζονται με εξισορρόπηση του ισοζυγίου του σωματικού βάρους και της θερμικής ενέργειας αντίστοιχα. Αν η συνολική πρόσληψη ενέργειας υπερβαίνει την ενεργειακή δαπάνη, η πρόσθετη ενέργεια αποθηκεύεται

στο σώμα και το σωματικό βάρος αυξάνεται. Ομοίως, αν η παραγωγή θερμότητας υπερβαίνει την απώλεια θερμότητας, η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται. Αντίθετα, αν η απώλεια υπερβαίνει την πρόσληψη, το σωματικό βάρος μειώνεται ή η θερμοκρασία του σώματος πέφτει. Ο υποθάλαμος αποτελεί το κύριο κέντρο απαρτίωσης για τη διατήρηση όχι μόνο ενός σταθερού ενεργειακού ισοζυγίου (και συνεπώς σταθερού σωματικού βάρους), αλλά και ενός σταθερού ισοζυγίου θερμικής ενέργειας (και συνεπώς σταθερής θερμοκρασίας σώματος).

Η θερμοκρασία του σώματος, η οποία αποτελεί έναν ομοιοστατικά ρυθμιζόμενο παράγοντα του εσωτερικού περιβάλλοντος, πρέπει να διατηρείται εντός στενών ορίων, καθώς η δομή και η λειτουργικότητα των μορίων που συνθέτουν το σώμα είναι θερμοευαίσθητες. Όταν η θερμοκρασία του σώματος εμφανίζει αποκλίσεις πέραν ενός περιορισμένου εύρους, παρατηρείται αποδιάταξη των πρωτεϊνών και θάνατος, αν η θερμοκρασία αυξηθεί πολύ, ή επιβράδυνση του μεταβολισμού και θάνατος, αν η θερμοκρασία ελαττωθεί πολύ.

Αντίθετα, η τιμή του σωματικού βάρους εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των ανθρώπων. Μόνο οι ακραίες διαταραχές της ισορροπίας μεταξύ συνολικής πρόσληψης και συνολικής αποβολής ενέργειας είναι ασύμβατες με την επιβίωση. Για παράδειγμα, σε ακραίες περιπτώσεις ανεπαρκούς πρόσληψης ενέργειας από την προσλαμβανόμενη τροφή, όπως κατά τη διάρκεια παρατεταμένης ασιτίας, το σώμα καταφεύγει στον καταβολισμό μεγάλου μέρους των μυϊκών πρωτεϊνών προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες αφού και οι αποθήκες ενέργειας του λιπώδους ιστού έχουν εξαντληθεί. Το σωματικό βάρος μειώνεται λόγω αυτού του αυτο-κανιβαλικού μηχανισμού, μέχρις ότου επέλθει τελικά ο θάνατος ως αποτέλεσμα, μεταξύ άλλων, και της παύσης της λειτουργίας του καρδιακού μυ. Αντίθετα, όταν η ενέργεια που προσλαμβάνεται μέσω της τροφής υπερβαίνει την ενέργεια που καταναλώνεται, η πρόσθετη ενέργεια αποθηκεύεται ως λίπος στον λιπώδη ιστό και παρατηρείται αύξηση του σωματικού βάρους. Η παχυσαρκία είναι μια παθοφυσιολογική κατάσταση η οποία χαρακτηρίζεται από αυξημένο σωματικό βάρος που μπορεί να οδηγήσει και σε καρδιακή ανεπάρκεια. Εκτός από το γεγονός ότι η καρδιά επιβαρύνεται σημαντικά στην προσπάθεια να προωθήσει περισσότερο αίμα προς τον πλεονάζοντα λιπώδη ιστό, η παχυσαρκία αποτελεί παράγοντα προδιάθεσης για τη δημιουργία αθηροσκλήρωσης και πρόκληση εμφραγμάτων του μυοκαρδίου (βλ. Ενότητα 9.5).

ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Οι απαντήσεις βρίσκονται στη σελίδα A-41.

Σύντομες ερωτήσεις επιλογής

1. Αν μέσω της τροφής προσληφθεί περισσότερη ενέργεια από όση καταναλώνεται, η παραπάνω ενέργεια θα χαθεί ως θερμότητα. (Σωστό ή λάθος;)
2. Όλη η ενέργεια των θρεπτικών συστατικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιολογικού έργου. (Σωστό ή λάθος;)
3. Κάθε λίτρο O_2 περιέχει 4,8 kcal θερμικής ενέργειας. (Σωστό ή λάθος;)
4. Θερμοκρασία σώματος μεγαλύτερη από $36,7^\circ C$ είναι πάντα ενδεικτική πυρετού. (Σωστό ή λάθος;)

5. Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος είναι σχετικά σταθερή, αλλά η θερμοκρασία του δέρματος μπορεί να ποικίλλει σημαντικά. (Σωστό ή λάθος;)
6. Ο ιδρώτας που στάζει από το σώμα δεν έχει επίδραση στη θερμοκρασία του σώματος. (Σωστό ή λάθος;)
7. Οι «ανατριχίλες» δε συμβάλλουν στη ρύθμιση της θερμοκρασίας σώματος. (Σωστό ή λάθος;)
8. Η οπίσθια περιοχή του υποθαλάμου πυροδοτεί ρίγος και αγγειοσύσπαση των αρτηριδίων του δέρματος. (Σωστό ή λάθος;)
9. Ο _____ του υποθαλάμου περιέχει δύο πληθυσμούς νευρώνων, έναν που εκκρίνει το ορεξιγόνο NPY και έναν που εκκρίνει τις κατασταλτικές της όρεξης μελανοκορτίνες.

10. Ο πρωταρχικός τρόπος για την ακούσια αύξηση της παραγωγής θερμότητας είναι _____.
11. Η αυξημένη παραγωγή θερμότητας που δεν εξαρτάται από τις μυϊκές συστολές είναι γνωστή ως _____.
12. Τα μόνα μέσα αποβολής θερμότητας όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος υπερβαίνει την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος είναι _____.
13. Ποια από τις παρακάτω φράσεις που αφορούν την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο σώμα και στο εξωτερικό περιβάλλον είναι *λανθασμένη*;
 - α. Η πρόσληψη θερμότητας επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας.
 - β. Η ακτινοβολία χρησιμεύει ως μέσο πρόσληψης θερμότητας, αλλά όχι ως μέσο αποβολής θερμότητας.
 - γ. Η θερμική ενέργεια κινείται πάντα από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα αντικείμενα.
 - δ. Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο δέρμα και στο εξωτερικό περιβάλλον υπόκειται σε έλεγχο.
 - ε. Ένα μικρό ποσοστό της θερμότητας του σώματος χάνεται αποκλειστικά από φαινόμενα αγωγιμότητας.
14. Ποια από τις παρακάτω φράσεις που αφορά τον πυρετό είναι *λανθασμένη*;
 - α. Τα ενδογενή πυρετογόνα εκκρίνονται από τα μακροφάγα ως απόκριση στη μικροβιακή εισβολή.
 - β. Το λειτουργικό σημείο του υποθαλάμου αυξάνεται.
 - γ. Ο υποθάλαμος πυροδοτεί μηχανισμούς απόκρισης στο κρύο, για να αυξήσει τη θερμοκρασία σώματος.
 - δ. Οι προσταγλανδίνες συμβάλλουν στην πρόκληση πυρετού.
 - ε. Ο υποθάλαμος δεν είναι αποτελεσματικός στη ρύθμιση της θερμοκρασίας σώματος κατά τη διάρκεια του πυρετού.
15. Αντιστοιχίστε τις απαντήσεις της δεξιάς στήλης με καθέναν από τους μηχανισμούς μεταφοράς ενέργειας που δίνονται στην αριστερή στήλη:

1. κάθεστε σε κρύα μεταλλική καρέκλα	(α) ακτινοβολία
2. κάνετε ηλιοθεραπεία στην παραλία	(β) αγωγή
3. σας φυσάει απαλό αεράκι	(γ) μεταφορά
4. κάθεστε μπροστά από ένα τζάκι	(δ) εξάτμιση
5. έχετε εφίδρωση	
6. οδηγείτε αυτοκίνητο που έχει ανοιχτά παράθυρα	
7. ξαπλώνετε κάτω από μια ηλεκτρική κουβέρτα	
8. φοράτε υγρό μαγιό	
9. κάθεστε μπροστά από έναν ανεμιστήρα	
10. βυθίζεστε σε κρύο νερό	
2. Δώστε τον ορισμό των όρων *μεταβολικός ρυθμός* και *βασικός μεταβολικός ρυθμός*.
3. Περιγράψτε τα τρία στάδια του ισοζυγίου ενέργειας.
4. Με ποιον τρόπο επιτυγχάνεται πρωτίστως το ισοζύγιο ενέργειας;
5. Περιγράψτε την πηγή προέλευσης και τον ρόλο των παρακάτω σημάτων στη μακροπρόθεσμη ρύθμιση του ισοζυγίου ενέργειας και στη βραχυπρόθεσμη ρύθμιση της συχνότητας και του μεγέθους των γευμάτων: νευροπεπτίδιο Υ, μελανοκορτίνες, λεπτίνη, ινσουλίνη, εκλυτική ορμόνη της κορτικοτροπίνης, γκρελίνη, πεπτίδιο YY₃₋₃₆, χολοκυστοκινίνη (CCK) και διάταση στομάχου.
6. Αναφέρετε τις πηγές πρόσληψης και αποβολής θερμότητας από το σώμα.
7. Αναλύστε τους αντισταθμιστικούς μηχανισμούς που ενεργοποιούνται ως απόκριση στη μείωση και στην αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος μετά από έκθεση στο κρύο και στη ζέστη αντίστοιχα.
8. Περιγράψτε την αλληλουχία των γεγονότων στον μηχανισμό πρόκλησης πυρετού.

Προβλήματα που απαιτούν υπολογισμούς

1. Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός (BMR) είναι ένα μέτρο του ποσού της ενέργειας που καταναλώνει το σώμα για να συντηρεί τις βασικές μεταβολικές του δραστηριότητες (όταν λειτουργεί στο «ρελάντι»). Ο φυσιολογικός BMR ισούται περίπου με 72 kcal/ώρα. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας μετατρέπεται τελικά σε θερμότητα. Τα θερμορρυθμιστικά μας συστήματα λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αποβάλλεται αυτή η θερμότητα, προκειμένου η θερμοκρασία του σώματος να διατηρείται σταθερή. Αν τα σώματά μας δεν μπορούσαν να αποβάλουν αυτή τη θερμότητα, η θερμοκρασία μας ολοένα θα αυξανόταν μέχρι σημείο βρασμού (φυσικά, κάποιος θα πέθαινε προτού φτάσει σε αυτό το σημείο). Είναι σχετικά εύκολο να υπολογιστεί πόσος χρόνος θα χρειαζόταν για να επιτευχθεί το υποθετικό σημείο βρασμού. Η αλλαγή της θερμοκρασίας ΔT (σε °C) που προκαλείται όταν μια υγρή μάζα m απορροφά ποσότητα ενέργειας ΔU μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$\Delta T = \Delta U / m \times C$$

όπου C είναι η ειδική θερμότητα του υγρού (για το νερό, $C = 1,0 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$). Υπολογίστε πόσος χρόνος θα χρειαζόταν προκειμένου η θερμότητα που παράγεται κατά τον BMR να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας των υγρών του σώματος στο σημείο βρασμού (υποθέστε ότι στο σώμα υπάρχουν συνολικά 42 λίτρα υγρών και ότι η θερμοκρασία του σώματος είναι 37 °C). Σε μέγιστη άσκηση, ένας άνθρωπος καταναλώνει περίπου 1.000 kcal/ώρα. Πόση ώρα θα χρειαζόταν σε αυτή την περίπτωση για να «βράσουμε»;

Ερωτήσεις ανάπτυξης

(Οι απαντήσεις βρίσκονται στην ιστοσελίδα www.cengagebrain.com)

1. Εξηγήστε τη διαφορά μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού έργου.

ΣΗΜΕΙΑ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟ

1. Εξηγήστε πώς τα φάρμακα που αναστέλλουν εκλεκτικά τη CCK αυξάνουν την όρεξη σε πειραματόζωα.
2. Τι συμβουλή θα δίνατε σε έναν υπέρβαρο φίλο σας που ζητά τη βοήθειά σας για να σχεδιάσει ένα ασφαλές, εφικτό και οικονομικό πρόγραμμα απώλειας βάρους;
3. Γιατί είναι επικίνδυνο να κάνει κανείς έντονη άσκηση μια υγρή και ζεστή ημέρα;
4. Περιγράψτε τις οδούς απώλειας θερμότητας ενός ανθρώπου που βρίσκεται μέσα σε μια μπανιέρα γεμάτη με ζεστό νερό.
5. Αναρωτηθείτε για τη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε έναν άνθρωπο και σε ένα ψάρι μέσα σε μια μικρή λίμνη όσον αφορά τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος. Οι άνθρωποι είναι *ομοιόθερμοι*· μπορούν δηλαδή να

διατηρήσουν μια εντυπωσιακά σταθερή και σχετικά υψηλή εσωτερική θερμοκρασία σώματος παρά την έκθεση του σώματος σε ποικίλες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες. Προκειμένου να διατηρήσουν τη θερμική τους ομοιόσταση, οι άνθρωποι ενεργοποιούν φυσιολογικά μηχανισμούς στο σώμα τους για να ρυθμίσουν την παραγωγή, διατήρηση και απώλεια της θερμότητας. Αντίθετα, τα ψάρια είναι *ποικιλόθερμα*: η θερμοκρασία του σώματός τους προσαρμόζεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Συνεπώς η θερμοκρασία του σώματός τους ποικίλλει ανάλογα με τις

μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Παρόλο που τα ψάρια παράγουν θερμότητα, δεν μπορούν φυσιολογικά να ρυθμίσουν την εσωτερική παραγωγή θερμότητας, ούτε μπορούν να ρυθμίσουν την ανταλλαγή θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξάνεται ή μειώνεται, για να διατηρήσουν σταθερή τη θερμοκρασία του σώματός τους. Γνωρίζοντας αυτό, πιστεύετε ότι τα ψάρια κάνουν πυρετό όταν πάσχουν από κάποια συστηματική λοίμωξη; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

ΚΛΙΝΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Ο Μιχάλης Φ., παρ' ολίγον θύμα πνιγμού, ανασύρθηκε από τα παγωμένα νερά από διασώστες 15 λεπτά αφότου είχε σπάσει ο πάγος στον οποίο έκανε πατινάζ. Ο Μιχάλης έχει ανακτήσει τις αισθήσεις του και αναρρώνει στο νοσοκομείο. Πώς μπορείτε να εξηγήσετε αυτή την «ως εκ θαύματος» διάσωσή του

παρόλο που βρισκόταν κάτω από την επιφάνεια του νερού, χωρίς να αναπνέει για 15 λεπτά, δεδομένου ότι φυσιολογικά εμφανίζονται μη αναστρέψιμες βλάβες στον εγκέφαλο, που οδηγούν σε θάνατο αν ο εγκέφαλος στερηθεί το οξυγόνο για περισσότερο από 4 ή 5 λεπτά;

17.1 | Ισοζύγιο ενέργειας

■ Η ενεργειακή πρόσληψη στο σώμα υπό τη μορφή ενέργειας των τροφών θα πρέπει να ισούται με την ενεργειακή αποβολή, δεδομένου ότι η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί εκ του μηδενός ή να καταστραφεί. Η ενεργειακή αποβολή ή διαπύνη περιλαμβάνει (1) το εξωτερικό έργο, το οποίο πραγματοποιείται από τους σκελετικούς μυς για τη μετακίνηση ενός αντικειμένου ή τη μετακίνηση του σώματος στο εξωτερικό περιβάλλον, και (2) το εσωτερικό έργο, το οποίο συνίσταται σε όλες τις άλλες ενεργόβρες διεργασίες που δε σχετίζονται με εξωτερικό έργο, όπως η ενεργός μεταφορά ουσιών διά μέσου των μεμβρανών των κυττάρων, η σύσπαση των λείων μυών και της καρδιάς, η αδενική έκκριση και η πρωτεϊνσύνθεση. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-1*.)

■ Μόνο περίπου 25% της χημικής ενέργειας των τροφών χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιολογικού έργου. Η υπόλοιπη μετατρέπεται άμεσα σε θερμότητα. Επιπλέον, όλη η ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή εσωτερικού έργου τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα και 75% της ενέργειας που καταναλώνεται από τους συσπώμενους σκελετικούς μυς χάνεται ως θερμότητα. Ως εκ τούτου, η περισσότερη από την ενέργεια των τροφών τελικά εμφανίζεται ως θερμότητα του σώματος.



■ Ο μεταβολικός ρυθμός (ενεργειακή κατανάλωση στη μονάδα του χρόνου) μετρείται σε θερμίδες παραγόμενης θερμότητας ανά ώρα.

■ Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός (BMR) είναι ένα μέτρο του ελάχιστου ρυθμού κατανάλωσης ενέργειας για εσωτερικό έργο στο σώμα, όταν κάποιος είναι ξύπνιος.

■ Για να διατηρείται το ισοζύγιο ενέργειας, η ενέργεια της προσλαμβανόμενης τροφής θα πρέπει να ισούται με την ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή εξωτερικού έργου συν εκείνη που μετατρέπεται σε θερμότητα. Αν προσλαμβάνεται περισσότερη ενέργεια απ' ό,τι καταναλώνεται, η πρόσθετη ενέργεια αποθηκεύεται στο σώμα, πρωτίστως ως λίπος στον λιπώδη ιστό, και έτσι αυξάνεται το σωματικό βάρος. Αν καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια απ' ό,τι προσφέρεται με τις τροφές, τότε χρησιμοποιούνται τα ενεργειακά αποθέματα του σώματος για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες και έτσι το σωματικό βάρος μειώνεται.

■ Συνήθως, το σωματικό βάρος παραμένει σχετικά σταθερό για μεγάλα χρονικά διαστήματα (με εξαίρεση την περίοδο της ανάπτυξης), επειδή η πρόσληψη τροφής εναρμονίζεται μακροπρόθεσμα με τις ενεργειακές ανάγκες του σώματος. Η πρόσληψη τροφής

ελέγχεται πρωτίστως από τον υποθάλαμο μέσω περίπλοκων ρυθμιστικών μηχανισμών, στους οποίους σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η πείνα και ο κορεσμός. Τα σήματα όρεξης εγείρουν το αίσθημα της πείνας και προάγουν την κατανάλωση τροφής, ενώ τα σήματα κορεσμού οδηγούν σε αίσθημα πληρότητας και καταστέλλουν τη λήψη τροφής. (Βλ. *πάλι Πίνακα 17-3*.)

■ Ο τοξοειδής πυρήνας του υποθαλάμου διαδραματίζει κομβικό ρόλο στην ενεργειακή ομοιόσταση χάρη στους δύο πληθυσμούς νευρώνων που περιλαμβάνει, οι οποίοι ρυθμίζουν την όρεξη: νευρώνες που εκκρίνουν το νευροπεπτίδιο Y (NPY), το οποίο αυξάνει την όρεξη και τη λήψη τροφής, και νευρώνες που εκκρίνουν μελανοκορτίνες, οι οποίες καταστέλλουν την όρεξη και τη λήψη τροφής. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-2*.)

■ Τα λιποκύτταρα των αποθηκών λίπους εκκρίνουν την ορμόνη λεπτίνη, η οποία μειώνει την όρεξη και την κατανάλωση τροφής αναστέλλοντας την έκκριση του NPY και διεγείροντας την έκκριση των μελανοκορτινών. Αυτός ο μηχανισμός είναι σημαντικός μακροπρόθεσμα για την εναρμόνιση της ενεργειακής πρόσληψης με την ενεργειακή κατανάλωση, δηλαδή για τη διατήρηση του ισοζυγίου ενέργειας και επομένως για τη διατήρηση του σωματικού βάρους. (Βλ. *πάλι Πίνακα 17-2 και Εικόνα 17-2*.)

■ Η ινσουλίνη, η οποία εκκρίνεται από την ενδοκρινή μοίρα του παγκρέατος ως απόκριση στα αυξημένα επίπεδα γλυκόζης και άλλων θρεπτικών συστατικών στο αίμα, αναστέλλει επίσης την έκκριση του NPY και συμβάλλει στη μακροπρόθεσμη ρύθμιση του ενεργειακού ισοζυγίου και του σωματικού βάρους.

■ Το NPY και οι μελανοκορτίνες ασκούν τη δράση τους επιδρώντας στην πλάγια υποθαλαμική περιοχή (LHA) και στον παρακοιλιακό πυρήνα (PVN), όπου επάγουν την απελευθέρωση χημικών αγγελιοφόρων μορίων από αυτές τις περιοχές. Από τους LHA-νευρώνες απελευθερώνονται ορεξίνες, οι οποίες αποτελούν ισχυρούς διεγέρτες λήψης τροφής, ενώ από τους PVN-νευρώνες απελευθερώνονται άλλα νευροπεπτίδια, όπως η εκλυτική ορμόνη της κορτικοτροπίνης, η οποία μειώνει τη λήψη τροφής. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-2*.)

■ Η βραχυπρόθεσμη ρύθμιση της συχνότητας και του μεγέθους των γευμάτων διαμεσολαβείται από τις δράσεις δύο πεπτιδίων τα οποία εκκρίνονται από τον γαστρεντερικό σωλήνα. (1) Η γρελίνη, η οποία εμπλέκεται στην έναρξη των γευμάτων, εκκρίνεται από το στομάχι πριν από κάθε γεύμα και σηματοδοτεί την πείνα. Η έκκρισή της μειώνεται όταν καταναλωθεί η τροφή. Η γρελίνη διεγείρει την όρεξη και προάγει τη λήψη τροφής διεγείροντας την έκκριση του NPY. (2) Το PYY₃₋₃₆, το οποίο εμπλέκεται στη λήψη των γευμάτων, εκκρίνεται από το λεπτό και το παχύ έντερο κατά τη διάρκεια των γευμάτων και σηματοδοτεί τον κορεσμό. Η έκκρισή του είναι στα χαμηλότερα επίπεδα πριν από το γεύμα. Το PYY₃₋₃₆ αναστέλλει την έκκριση του NPY. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-2*.)

■ Ο πυρήνας μονήρους δεσμίδας (NTS) στο στέλεχος του εγκεφάλου δρα ως το κέντρο κορεσμού και εμπλέκεται στη βραχυπρόθεσμη ρύθμιση των γευμάτων. Ο NTS δέχεται προσαγωγές ώσεις τόσο από ανώτερες υποθαλαμικές περιοχές οι οποίες εμπλέκονται στη ρύθμιση του ενεργειακού ισοζυγίου και στη λήψη τροφής όσο και από το πεπτικό σύστημα. Στα

σήματα κορεσμού, τα οποία δρουν διά μέσου του NTS ανα-στέλλοντας την περαιτέρω πρόσληψη τροφής, περιλαμβάνονται η διάταση του στομάχου και οι αυξημένες συγκεντρώσεις CCK, μιας ορμόνης η οποία απελευθερώνεται από το δωδεκαδάκτυλο ως απόκριση στην παρουσία τροφών στον αυλό του γαστρεντερικού σωλήνα. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-2.*)

- Ψυχοκοινωνικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν επίσης να επηρεάσουν την πρόσληψη τροφής πέρα και πάνω από τα ενδογενή σήματα που καθορίζουν τη διατροφική συμπεριφορά. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-2.*)

17.2 | Θερμορρύθμιση

- Το σώμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πυρήνας παραγωγής θερμότητας (εσωτερικά όργανα, ΚΝΣ και σκελετικοί μύες) ο οποίος περιβάλλεται από ένα κέλυφος μεταβαλλόμενης μονωτικής ικανότητας (το δέρμα).

- Το δέρμα ανταλλάσσει θερμική ενέργεια με το εξωτερικό περιβάλλον, με κατεύθυνση και ποσότητα που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη στιγμιαία μονωτική ικανότητα του κελύφους. Οι τέσσερις τρόποι ανταλλαγής θερμότητας είναι (1) η ακτινοβολία (κίνηση θερμικής ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων), (2) η αγωγή (ανταλλαγή θερμικής ενέργειας μέσω άμεσης επαφής), (3) η μεταφορά (μεταφορά θερμικής ενέργειας μέσω αέριων ρευμάτων) και (4) η εξάτμιση (εξαγωγή θερμικής ενέργειας από το σώμα μέσω μετατροπής νερού από υγρή σε αέρια μορφή, διαδικασία η οποία απαιτεί θερμότητα). Επειδή η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από τα θερμότερα στα ψυχρότερα αντικείμενα, η ακτινοβολία, η αγωγή και η μεταφορά μπορούν να αποτελέσουν οδούς είτε για απώλεια είτε για πρόσληψη θερμότητας, ανάλογα με το αν τα παρακείμενα αντικείμενα είναι ψυχρότερα ή θερμότερα, αντίστοιχα, σε σχέση με την επιφάνεια του δέρματος. Φυσιολογικά αποτελούν μηχανισμούς απώλειας θερμότητας σε συνδυασμό με την εξάτμιση μέσω του ιδρώτα. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-4.*)

- Προκειμένου να αποφευχθεί σοβαρή κυτταρική δυσλειτουργία, η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος θα πρέπει να διατηρείται σταθερή στους 37,7 °C (θερμοκρασία η οποία, αν μετρηθεί στο στόμα, αντιστοιχεί σε μέση θερμοκρασία ίση με 36,7 °C) μέσω συνεχούς εξισορρόπησης της απώλειας και της πρόσληψης θερμότητας, ανεξάρτητα από την περιβαλλοντική θερμοκρασία και τις διακυμάνσεις της εσωτερικά παραγόμενης θερμότητας. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-3.*)

- Το θερμορρυθμιστικό σύστημα ελέγχεται από τον υποθάλαμο. Ο υποθάλαμος ανιχνεύει τη θερμοκρασία του δέρματος μέσω περιφερικών θερμοϋποδοχέων και την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος μέσω κεντρικών θερμοϋποδοχέων, ο πιο σημαντικός από τους οποίους βρίσκεται στον ίδιο τον υποθάλαμο. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-5.*)

- Η κύρια οδός πρόσληψης θερμότητας είναι η παραγωγή θερμότητας λόγω μεταβολισμού, μέσω κυρίως της συστολής των σκελετικών μυών. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-5.*)

- Η απώλεια θερμότητας ρυθμίζεται μέσω της εφίδρωσης και μέσω ελέγχου της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δέρματος και εξωτερικού περιβάλλοντος. Το τελευταίο επιτυγχάνεται μέσω ρύθμισης της διαμέτρου των αρτηριδίων του δέρματος. (1) Η αγγειοσύστολη των αρτηριδίων του δέρματος προκαλεί ελάττωση της ροής του αίματος διά μέσου του δέρματος, με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το δέρμα βοηθά στην ενίσχυση του μονωτικού φραγμού μεταξύ του πυρήνα του σώματος και του εξωτερικού

περιβάλλοντος. (2) Η αγγειοδιαστολή των αρτηριδίων του δέρματος προκαλεί αύξηση της ροής αίματος διά μέσου του δέρματος, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της επιφάνειας του σώματος να πλησιάζει αυτή του πυρήνα, μειώνοντας τη μονωτική ικανότητα του δέρματος. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-5.*)

- Η έκθεση σε ψυχρά περιβάλλοντα οδηγεί σε σταδιακή πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος καθώς ανιχνεύεται η απώλεια θερμότητας, η οποία οφείλεται στη, μεγαλύτερη της φυσιολογικής, διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και δέρματος. Ο οπίσθιος υποθάλαμος, προκειμένου να μειώσει την απώλεια θερμότητας, επάγει αγγειοσύστολη των αρτηριδίων του δέρματος με ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγής θερμότητας μέσω του ρίγους. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-4.*)

- Αντίθετα, ως απόκριση στην αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος (αποτέλεσμα είτε υπερβολικής παραγωγής θερμότητας λόγω άσκησης είτε υπερβολικής πρόσληψης θερμότητας λόγω έκθεσης σε πολύ θερμό περιβάλλον), ο πρόσθιος υποθάλαμος πυροδοτεί μηχανισμούς αποβολής θερμότητας, όπως η αγγειοδιαστολή των αρτηριδίων του δέρματος και η εφίδρωση, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την παραγωγή θερμότητας, ελαττώνοντας, για παράδειγμα, τον μυϊκό τόνο. (Βλ. *πάλι Πίνακα 17-4.*)

- Οι αποκρίσεις τόσο στο κρύο όσο και στη ζέση περιλαμβάνουν και εκούσιες συμπεριφορικές δράσεις, οι οποίες επίσης βοηθούν στη διατήρηση της θερμικής ομοιόστασης.

- Ο πυρετός προκύπτει όταν ένα ενδογενές πυρετογόνο που εκκρίνεται από τα μακροφάγα ως απόκριση σε μια λοίμωξη ανιχνεύει το λειτουργικό σημείο του υποθαλαμικού θερμοστάτη. Ως εκ τούτου, επάγεται μια αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος καθώς ο υποθάλαμος κινητοποιεί μηχανισμούς απόκρισης στο κρύο, ώστε να ανιχθεί η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος στο νέο λειτουργικό σημείο. (Βλ. *πάλι Εικόνα 17-6.*)

