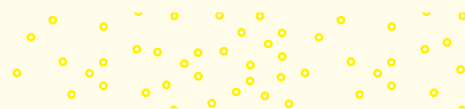




Mike Hewitt/Action Plus Sports Images/Alamy Stock Photo



Βασικές μετρήσεις στη Φυσιολογία της Άσκησης

■ Στόχοι

Μελετώντας αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση να κάνετε τα εξής:

1. Να εκφράσετε το έργο, την ισχύ και την ενέργεια σε βασικές (SI) μονάδες και να μετατρέψετε αυτές τις μονάδες σε άλλες που χρησιμοποιούνται συνήθως στη Φυσιολογία της Άσκησης.
2. Να δώσετε μια σύντομη εξήγηση της διαδικασίας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του έργου που εκτελείται κατά τη διάρκεια ενός πρωτοκόλλου αξιολόγησης σε βαθμίδες (σκαλοπάτια), κυκλοεργόμετρο ή εργοδιάδρομο.
3. Να περιγράψετε το σκεπτικό πίσω από την μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης με τη χρήση (α) άμεσης θερμιδομετρίας και (β) έμμεσης θερμιδομετρίας.
4. Να υπολογίσετε την ενεργειακή δαπάνη όταν σας παρέχεται η πρόσληψη οξυγόνου σε λίτρα ανά λεπτό ή $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.
5. Να εκτιμήσετε την ενεργειακή δαπάνη κατά τη διάρκεια του οριζόντιου διαδρόμου βάδισης και τρεξίματος κατά τη διάρκεια άσκησης, δρομικής ή βάδισης, σε δαπεδοεργόμετρο ή κυκλοεργόμετρο.
6. Να περιγράψετε τη διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της καθαρής απόδοσης κατά τη διάρκεια άσκησης σε φάση σταθεροποίησης. Να διακρίνετε την απόδοση από την οικονομία (economy).

■ Περιγραφή

Μονάδες μέτρησης, 27
 Μετρικό σύστημα, 27
 Μονάδες SI, 27
 Ορισμός έργου και ισχύος, 27
 Έργο, 27
 Ισχύς, 28
 Τύποι εργομέτρων, 29
 Βαθμιδόμετρο, 29
 Κυκλοεργόμετρο, 30
 Χειροεργόμετρο ή χειροκυκλοεργόμετρο, 30
 Εργοδιάδρομος (ή δαπεδοεργόμετρο), 30
 Μέτρηση έργου και ισχύος, 31
 Βαθμιδόμετρο, 31
 Κυκλοεργόμετρο, 31

Εργοδιάδρομος, 31
 Μέτρηση ενεργειακής δαπάνης, 32
 Άμεση θερμιδομετρία, 32
 Έμμεση θερμιδομετρία, 33
 Βασικές έννοιες της κατανάλωσης οξυγόνου και της ενεργειακής δαπάνης, 34
 Εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης, 35
 Υπολογισμός της ενεργειακής οικονομίας κατά την άσκηση (αποδοτικότητα), 37
 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή οικονομία της άσκησης, 37
 Δρομική οικονομία, 40

■ Βασικοί όροι

άμεση θερμιδομετρία
 δύναμη
 έμμεση θερμιδομετρία
 έργο
 εργομετρία
 εργόμετρο
 χειροεργόμετρο ή χειροκυκλοεργόμετρο
 κυκλοεργόμετρο
 θεμελιώδεις μονάδες μέτρησης του Διεθνούς Συστήματος (SI)
 καθαρή απόδοση
 MET (μεταβολικό ισοδύναμο)
 ποσοστό βαθμού
 σπιρομέτρηση ανοιχτού κυκλώματος
 σχετική $\dot{V}\text{O}_2$
 χιλιοθερμίδα (kcal)



Πόση ενέργεια καταναλώνετε όταν τρέχετε ένα μίλι; Πόσο γρήγορα μπορείτε να τρέξετε 100 μέτρα; Πόσο ψηλά μπορείτε να πηδήξετε; Αυτές οι ερωτήσεις έχουν να κάνουν με την ενέργεια, την ταχύτητα και την εκρηκτική δύναμη – και το ίδιο θα κάνετε και εσείς καθώς μελετάτε τη Φυσιολογία της Άσκησης. Σε όλο αυτό το κείμενο, θα συζητήσουμε όρους όπως *αερόβια και αναερόβια ισχύς, αποδοτικότητα, ικανότητα παραγωγής έργου και ενεργειακή δαπάνη*. Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να σας παρουσιάσει μερικά από τα πιο συνηθισμένα κομμάτια εξοπλισμού και μετρήσεων που συνδέονται με αυτούς τους όρους. Είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε αυτές τις πληροφορίες από την αρχή, καθώς χρησιμοποιούνται σε όλο το κείμενο. Ας ξεκινήσουμε με μια εισαγωγή στις πιο βασικές μονάδες μέτρησης.

ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Μετρικό σύστημα

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το αγγλικό σύστημα μέτρησης παραμένει σε κοινή χρήση. Αντίθετα, το μετρικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται στις περισσότερες χώρες είναι το τυπικό σύστημα μέτρησης για τους επιστήμονες και χρησιμοποιείται από σχεδόν όλα τα επιστημονικά περιοδικά. Στο μετρικό σύστημα, οι βασικές μονάδες μήκους, όγκου και μάζας είναι το μέτρο, το λίτρο και το γραμμάριο, αντιστοίχως. Το κύριο πλεονέκτημα του μετρικού συστήματος είναι ότι οι υποδιαίρεσεις ή τα πολλαπλάσια των βασικών μονάδων του εκφράζονται σε παράγοντες του 10 χρησιμοποιώντας προθέματα, προσαρτημένα στη βασική μονάδα. Οι φοιτητές που δεν είναι εξοικειωμένοι με το μετρικό σύστημα θα πρέπει να ανατρέξουν στον Πίνακα 1.1 για μια λίστα με τα βασικά προθέματα που χρησιμοποιούνται στις μετρικές μετρήσεις.

Μονάδες SI

Ένα πρόβλημα στις Επιστήμες του Αθλητισμού είναι η αποτυχία των επιστημόνων να τυποποιήσουν τις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση ερευνητικών δεδομένων. Σε μια προσπάθεια να

εξαλειφθεί αυτό το πρόβλημα, αναπτύχθηκε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς επιστημονικών μετρήσεων μέσω της διεθνούς συνεργασίας. Αυτό το σύστημα, γνωστό ως **System International units (Διεθνές Σύστημα μονάδων)**, ή μονάδες SI, έχει εγκριθεί από σχεδόν όλα τα περιοδικά αθλητισμού και Αθλητικής Ιατρικής για τη δημοσίευση ερευνητικών δεδομένων (24, 25). Το σύστημα SI εξασφαλίζει την τυποποίηση στην αναφορά επιστημονικών δεδομένων και διευκολύνει τη σύγκριση των δημοσιευμένων τιμών. Ο Πίνακας 1.2 περιέχει σημαντικές μονάδες SI για τη μέτρηση της απόδοσης κατά τη διάρκεια της άσκησης.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- Το μετρικό σύστημα είναι το σύστημα μέτρησης που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για να εκφράσουν τη μάζα, το μήκος και τον όγκο.
- Σε μια προσπάθεια να τυποποιήσουν τους όρους για τη μέτρηση της ενέργειας, της δύναμης, του έργου και της ισχύος, οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει ένα κοινό σύστημα ορολογίας που ονομάζεται μονάδες Διεθνούς Συστήματος (SI).

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ

Έργο

Ως **έργο** ορίζεται το γινόμενο της δύναμης και της απόστασης μέσω της οποίας ενεργεί αυτή η δύναμη:

$$\text{Έργο} = \text{Δύναμη} \times \text{Απόσταση}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2

Σημαντικές SI μονάδες στη μέτρηση της απόδοσης της ανθρώπινης άσκησης

Μονάδες ποσοτικοποίησης της ανθρώπινης άσκησης	Διεθνές Σύστημα μονάδων
Μάζα	χιλιόγραμμα (kg)
Απόσταση	μέτρο (m)
Δύναμη	νιούτον (N)
Χρόνος	δευτερόλεπτο (s)
Έργο	joule (J)
Ενέργεια	joule (J)
Ισχύς	watt (W)
Ταχύτητα	μέτρο ανά δευτερόλεπτο ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Ροπή	νιούτον επί μέτρο, νιουτόμετρο ($\text{N} \cdot \text{m}$)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

Κοινά μετρικά προθέματα

μεγα-: ένα εκατομμύριο (1.000.000)
 χίλιο-: χίλια (1.000)
 εκατοστο-: ένα εκατοστό (0,01)
 χιλιοστο-: ένα χιλιοστό (0,001)
 μικρο-: ένα εκατομμυριοστό (0,000001)
 νανο-: ένα δισεκατομμυριοστό (0,000000001)
 πικο-: ένα τρισεκατομμυριοστό (0,000000000001)

Η μονάδα SI για τη δύναμη είναι το νιούτον (N), ενώ η μονάδα SI για την απόσταση είναι το μέτρο (m). Το παρακάτω παράδειγμα δείχνει πώς να υπολογίσετε το έργο όταν ένα βάρος 10 κιλών ανυψώνεται προς τα πάνω σε απόσταση 2 m. Στην επιφάνεια της Γης, μια μάζα 1 kg ασκεί δύναμη 9,81 N λόγω της δύναμης της βαρύτητας. Επομένως,

$$\begin{aligned}\text{Μετατροπή των kg σε N, όπου } 1 \text{ kg} &= 9,81 \text{ N,} \\ \text{άρα } 10 \text{ kg} &= 98,1 \text{ N} \\ \text{Έργο} &= 98,1 \text{ N} \times 2 \text{ m} \\ &= 196,2 \text{ N} \cdot \text{m ή} \\ &196,2 \text{ J}\end{aligned}$$

Το έργο που εκτελέστηκε υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τη δύναμη (εκφρασμένη σε N) επί την απόσταση που διανύθηκε (εκφρασμένη σε m), με το προκύπτον έργο να εκφράζεται σε joules, η οποία είναι η μονάδα SI για το έργο (όπου $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$. Πίνακας 1.3). Αν και οι μονάδες SI είναι οι προτιμώμενες μονάδες για τον ποσοτικό προσδιορισμό της απόδοσης της άσκησης και της ενεργειακής δαπάνης, θα αντιμετωπίσετε καταστάσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται διάφορες παραδοσιακές μονάδες για να εκφράσουν τόσο το έργο όσο και την ενέργεια. Για παράδειγμα, το σωματικό βάρος (μια δύναμη) παρέχεται συνήθως σε κιλά, τη μονάδα μάζας. Αν και δεν είναι αποδεκτή μονάδα SI, ορισμένες δημοσιευμένες αναφορές συνεχίζουν να χρησιμοποιούν τον όρο *kilopond* (kp) ως μονάδα δύναμης, που αντιπροσωπεύει την επίδραση της βαρύτητας σε μάζα 1 kg. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιώντας το *kilopond* ως μονάδα δύναμης, το έργο μπορεί να εκφραστεί σε *κιλοπόντ-μετρα* (kpm). Ο Πίνακας 1.3 περιέχει μια λίστα όρων που είναι σε κοινή χρήση σήμερα για να εκφράσουν το έργο και την ενέργεια· θυμηθείτε ότι η μονάδα SI τόσο για την εργασία όσο και για την ενέργεια είναι το joule. Παρ' όλα αυτά, το

ενεργειακό περιεχόμενο των εμπορικών προϊόντων διατροφής αναφέρεται συχνά στην ετικέτα σε χιλιοθερμίδες. Ωστόσο, η μονάδα SI για το ενεργειακό περιεχόμενο και τις δαπάνες είναι joules, όπου 1 kcal ισούται με 4.186 J ή 4,186 kJ.

Ισχύς

Η **ισχύς** είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει πόσο έργο επιτυγχάνεται ανά μονάδα χρόνου. Η μονάδα SI για την ισχύ είναι το watt (W) και ορίζεται ως 1 J ανά δευτερόλεπτο (Πίνακας 1.4). Η ισχύς μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Ισχύς} = \text{Έργο} \div \text{χρόνος}$$

Η έννοια της ισχύος είναι σημαντική επειδή περιγράφει τον ρυθμό με τον οποίο εκτελείται το έργο (ρυθμός παραγωγής έργου). Είναι ο ρυθμός έργου, ή η παραγόμενη ισχύς, που περιγράφει την ένταση της άσκησης. Με δεδομένη επάρκεια χρόνου, κάθε υγιής ενήλικος θα μπορούσε να εκτελέσει συνολική παραγωγή έργου 20.000 J. Ωστόσο, μόνο λίγοι προπονημένοι αθλητές θα μπορούσαν να εκτελέσουν αυτήν την ποσότητα έργου σε 60 δευτερόλεπτα (s). Η παραγόμενη ισχύς αυτών των αθλητών μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Ισχύς} = 20.000 \text{ J} / 60 \text{ s} = 333,3 \text{ W}$$

Ο Πίνακας 1.4 περιέχει κατάλογο τόσο των SI όσο και των πιο παραδοσιακών όρων και μονάδων που χρησιμοποιούνται για την έκφραση της ισχύος. Η ικανότητα μετατροπής από μια έκφραση έργου, ενέργειας ή ισχύος σε μια άλλη είναι σημαντική, όπως θα δούμε αργότερα στο κεφάλαιο όταν υπολογίσουμε τη μηχανική απόδοση. Τόσο το έργο όσο και η ισχύς μπορούν να μετρηθούν στο εργαστήριο Φυσιολογίας της Άσκησης χρησιμοποιώντας συσκευές που ονομάζονται

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3	Μονάδες που χρησιμοποιούνται συχνά για την έκφραση της ποσότητας του έργου που εκτελέστηκε ή της ενεργειακής δαπάνης
Kilopond-meter ((kpm)*)	1 kpm = 9,81 J
Kilocalorie (kcal)	1 kcal = 4.186 J ή 4,186 kJ 1 kcal = 426,8 kpm
joule (J)†	1 J = 1 N · m 1 J = 2,39 × 10 ⁻⁴ kcal 1 J = 0,102 kpm

*Το *kilopond* (κιλοπόντ) είναι μια μονάδα δύναμης που περιγράφει την επίδραση της βαρύτητας σε μάζα 1 kg.

†Το joule (τζάουλ) είναι η βασική μονάδα που υιοθετήθηκε από το Διεθνές Σύστημα Μέτρησης (που ονομάζεται μονάδα SI) για την έκφραση της ενεργειακής δαπάνης ή του έργου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4	Όροι και μονάδες που χρησιμοποιούνται συχνά για την έκφραση της ισχύος
Όρος	Μετατροπή
Watt (W)*	1 W = 1 J · s ⁻¹ 1 W = 6,12 kpm · min ⁻¹
Ιπποδύναμη (horsepower, hp) (hp)	1 hp = 745,7 W ή J · s ⁻¹ 1 hp = 10,69 kcal · min ⁻¹
Kilopond-meter · min ⁻¹ (kpm · min ⁻¹)	1 kpm · min ⁻¹ = 0,163 W

*Το watt (βατ) είναι η βασική μονάδα που υιοθετείται από το Διεθνές Σύστημα Μέτρησης (που ονομάζεται μονάδα SI) για την έκφραση της ισχύος.

εργόμετρα. Ακολουθεί μια εισαγωγή στα εργόμετρα που χρησιμοποιούνται συνήθως.

ΤΥΠΟΙ ΕΡΓΟΜΕΤΡΩΝ

Ο όρος **εργομετρία** αναφέρεται στη μέτρηση της παραγωγής έργου. Η λέξη **εργόμετρο** αναφέρεται στον εξοπλισμό ή στη συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός συγκεκριμένου τύπου έργου. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι ο προσδιορισμός του έργου και της ισχύος απαιτεί να κινείται μια δύναμη ενάντια σε κάποια αντίσταση. Αυτό θα μπορούσε να είναι το σωματικό βάρος ενός ατόμου (μια δύναμη) που κινείται προς τα πάνω, κατά ένα βήμα ενάντια στη βαρύτητα

(μια αντίσταση) ή το πεντάλ ενός στατικού ποδηλάτου όταν έχει εφαρμοστεί αντίσταση στον τροχό. Πολλοί τύποι εργομέτρων χρησιμοποιούνται σήμερα σε εργαστήρια Φυσιολογίας της Άσκησης (Εικόνα 1.1). Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζουμε τέσσερα εργόμετρα που χρησιμοποιούνται συνήθως στη Φυσιολογία της Άσκησης και ακολουθεί μια συζήτηση για το πώς να μετρήσετε το έργο και την ισχύ χρησιμοποιώντας αυτά τα εργόμετρα.

Βαθμιδόμετρο

Ένα από τα πρώτα εργόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της ικανότητας έργου στους ανθρώ-



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 1.1 Απεικονίσεις τεσσάρων διαφορετικών εργομέτρων που χρησιμοποιούνται στη μέτρηση της ανθρώπινης παραγωγής έργου και ισχύος. (α) Βαθμιδόμετρο (stepper). (β) Κυκλοεργόμετρο με πέδηση μέσω τριβής. (γ) Μηχανοκίνητος εργοδιάδρομος. Τόσο η ανύψωση σε διάδρομο όσο και η οριζόντια ταχύτητα μπορούν να ρυθμιστούν με ηλεκτρονικά χειριστήρια. (δ) Χειροεργόμετρο. Η εργομετρία με χειροεργόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση έργου με άνω άκρα και βασίζεται στην ίδια αρχή με την κυκλοεργομετρία σε στατικό εργοποδήλατο.

(α) Ryan McVay/Photodisc/Getty Images· (β) Monark Exercise AB· (γ) Comstock Images/Alamy Stock Photo· (δ) Monark Exercise AB

πους ήταν το βαθμιδοεργόμετρο. Αυτό το εργόμετρο εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σήμερα και απλώς περιλαμβάνει κάποιον να ανεβαίνει και να κατεβαίνει σε μια βαθμίδα (ένα σκαλοπάτι) με συγκεκριμένο ρυθμό. Η *Εικόνα 1.1 (α)* απεικονίζει το ανέβασμα και το κατέβασμα σε μία βαθμίδα.

Κυκλοεργόμετρο

Το **κυκλοεργόμετρο** αναπτύχθηκε πριν από περισσότερα από 100 χρόνια και παραμένει ένα δημοφιλές εργόμετρο στα εργαστήρια Φυσιολογίας της Άσκησης σήμερα (βλ. «Μια αναδρομή στο παρελθόν – Σημαντικοί άνθρωποι της επιστήμης»). Αυτός ο τύπος εργόμετρου είναι ένα στατικό ποδήλατο που επιτρέπει την ακριβή μέτρηση του έργου που εκτελείται. Ένας κοινός τύπος κυκλοεργόμετρου είναι το κυκλοεργόμετρο της Monark (με πέδηση τριβής). Monark, ο οποίος ενσωματώνει έναν ιμάντα τυλιγμένο γύρω από τον τροχό (που ονομάζεται σφόνδυλος) [*Εικόνα 1.1 (β)*]. Ο ιμάντας μπορεί να χαλαρώσει ή να σφίξει

για να παρέχει μια αλλαγή στην αντίσταση. Η απόσταση που διανύει ο τροχός μπορεί να προσδιοριστεί υπολογίζοντας την απόσταση που καλύπτεται ανά περιστροφή των πεντάλ (6 m ανά περιστροφή σε ένα τυπικό κυκλοεργόμετρο Monark) επί τον αριθμό των στροφών του πεντάλ.

Χειροεργόμετρο ή χειροκυκλοεργόμετρο

Το **χειροεργόμετρο** λειτουργεί παρόμοια με το κυκλοεργόμετρο, εκτός από το άτομο που χρησιμοποιεί τα άνω άκρα αντ' αυτού των ποδιών [*Εικόνα 1.1 (δ)*]. Σημειώστε ότι αυτός ο τύπος εργόμετρου αναφέρεται επίσης ως εργόμετρο στροφάλου άνω άκρων. Το χειροεργόμετρο είναι μια πολύτιμη εναλλακτική λύση στο κυκλοεργόμετρο ή στο εργόμετρο διαδρόμου για δοκιμές άσκησης σε άτομα με αναπηρία κάτω άκρων. Παρόμοια κυκλοεργομετρία σε στατικό εργοποδήλατο, αυτά τα εργόμετρα επιτρέπουν τη μέτρηση τόσο της αντίστασης στον σφόνδυλο όσο και της απόστασης που διανύει ο τροχός.



ΜΙΑ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ – ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΑΝΘΡΩΠΟΙ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

August Krogh: Νομπελίστας και εφευρέτης



LOC/Science Source

Όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 0, ο **August Krogh** (1874–1949) έλαβε το Βραβείο Νόμπελ Φυσιολογίας και Ιατρικής το 1920 για την έρευνά του σχετικά με τη ρύθμιση της ροής του αίματος μέσω τριχοειδών αγγείων στους σκελετικούς μυς. Ο Krogh γεννήθηκε στη Γρενάα της Δανίας το 1874. Μετά την είσοδό του στο Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης το 1893, άρχισε να σπουδάζει Ιατρική, αλλά ανέπτυξε έντονο ενδιαφέρον για την έρευνα και αποφάσισε να αφήσει τις ιατρικές του σπουδές για να αφοσιωθεί στη μελέτη της Φυσιολογίας. Ο Krogh ολοκλήρωσε τις διδακτορικές του σπουδές το 1903 και ξεκίνησε την ερευνητική του καριέρα στο Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης στο εργαστήριο Ιατρικής Φυσιολογίας του διάσημου Δανού φυσιολόγου Christian Bohr. Καθ' όλη τη διάρκεια της καριέρας του, ο August Krogh ήταν ένας αφοσιωμένος φυσιολόγος με εξαιρετική

περιέργεια. Αφιέρωσε όλη του τη ζωή στην κατανόηση της Φυσιολογίας και εργάστηκε μέρα και νύχτα στο εργαστήριό του για να επιτύχει τους ερευνητικούς του στόχους. Στην πραγματικότητα, ο Krogh πραγματοποίησε πειράματα Φυσιολογίας ακόμα και την ημέρα του γάμου του! Κατά τη διάρκεια της διακεκριμένης ερευνητικής του καριέρας, ο Δρ Krogh έκανε πολλές σημαντικές συνεισφορές στη Φυσιολογία. Για παράδειγμα, το έργο του Δρ Krogh προώθησε σημαντικά την κατανόησή μας για την ανταλλαγή αναπνευστικών αερίων τόσο στα θηλαστικά όσο και στα έντομα. Παρ' όλα αυτά, ο Krogh είναι περισσότερο γνωστός για το έργο του σχετικά με τη ρύθμιση της ροής του αίματος στα τριχοειδή αγγεία των σκελετικών μυών.

Ήταν ο πρώτος φυσιολόγος που περιέγραψε τις αλλαγές στη ροή του αίματος στους μυς σύμφωνα με τις μεταβολικές απαιτήσεις του ιστού. Πράγματι, η έρευνά του έδειξε ότι η αύξηση της αιματικής ροής στους σκελετικούς μυς κατά τη διάρκεια της άσκησης επετεύχθη με το φαινόμενο της αγγειοδιαστο-

λής των αρτηριδίων και των τριχοειδών αγγείων. Αυτό είναι το έργο που του χάρισε το βραβείο Νόμπελ.

Εκτός από την έρευνα Φυσιολογίας, ο August Krogh εφηύρε πολλά σημαντικά επιστημονικά όργανα. Για παράδειγμα, ανέπτυξε τόσο το σπιρόμετρο (μία συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των πνευμονικών/αναπνεόμενων όγκων) όσο και μια συσκευή μέτρησης του μεταβολικού ρυθμού (ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου). Αν και ο Krogh δεν εφηύρε το πρώτο κυκλοεργόμετρο, αναγνωρίζεται για την ανάπτυξη ενός αυτόματα ελεγχόμενου κυκλοεργόμετρου το 1913. Αυτό το εργόμετρο ήταν μια μεγάλη βελτίωση στα εργόμετρα της εποχής εκείνης και επέτρεψε στον Krogh και στους συναδέλφους του να μετρήσουν με ακρίβεια την ποσότητα έργου που εκτελέστηκε κατά τη διάρκεια πειραμάτων Φυσιολογίας της Άσκησης. Κυκλοεργόμετρα παρόμοια με αυτά που αναπτύχθηκαν από τον August Krogh εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σήμερα σε εργαστήρια Φυσιολογίας της Άσκησης.

Εργοδιάδρομος (ή δαπεδοεργόμετρο)

Ο πρώτος μηχανοκίνητος διάδρομος για εργαστηριακή έρευνα σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το 1889 από τον Γερμανό φυσιολόγο Nathan Zuntz. Οι εργοδιάδρομοι παρέχουν μια εύκολη μέθοδο μέτρησης της ενεργειακής δαπάνης είτε κατά τη διάρκεια του βαδίσματος είτε κατά τη διάρκεια του τρεξίματος και χρησιμοποιούνται ευρέως σε εργαστήρια Φυσιολογίας της Άσκησης.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ

Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, ο όρος *εργομετρία* αναφέρεται στη μέτρηση της παραγωγής του έργου και ένα εργόμετρο είναι ο εξοπλισμός ή η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός συγκεκριμένου τύπου έργου. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι ο προσδιορισμός του έργου και της ισχύος απαιτεί μια δύναμη να κινείται ενάντια σε κάποια αντίσταση. Αυτό θα μπορούσε να είναι το σωματικό βάρος ενός ατόμου (μια δύναμη) που κινείται προς τα πάνω κατά μια βαθμίδα ενάντια στη βαρύτητα (μια αντίσταση) ή η ποδηλάτηση σε στατικό εργοποδήλατο όταν έχει εφαρμοστεί αντίσταση στον τροχό. Ακολουθεί μια σύντομη εισαγωγή στη μέτρηση του έργου και της ισχύος χρησιμοποιώντας το βαθμιδόμετρο, κυκλοεργόμετρο και το δαπεδοεργόμετρο.

Βαθμιδόμετρο

Η μέτρηση του έργου και της ισχύος σε ένα βαθμιδόμετρο περιλαμβάνει απλώς το ανέβασμα και το κατέβασμα σε ένα σκαλί με καθορισμένο ρυθμό. Ο υπολογισμός του έργου που εκτελείται κατά τη διάρκεια της βαθμιδομετρίας είναι πολύ εύκολος. Ας υποθέσουμε ότι ένας άνδρας 70 κιλών ανεβαίνει και κατεβαίνει σε ένα σκαλί 30 cm (0,3 m) για 10 λεπτά (min) με ρυθμό 30 βημάτων ανά λεπτό. Ο όγκος του έργου που εκτελείται κατά τη διάρκεια αυτής της 10λεπτης εργασίας μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Δύναμη} = 686,7 \text{ N (δηλαδή, } 70 \text{ kg} \times 9,81 \text{ N/kg)}$$

$$\begin{aligned}\text{Απόσταση} &= 0,3 \text{ m} \cdot \text{βήμα}^{-1} \times 30 \text{ βήματα} \cdot \text{min}^{-1} \\ &\quad \times 10 \text{ λεπτά} \\ &= 90 \text{ m}\end{aligned}$$

Επομένως, το συνολικό έργο που παρήχθη είναι:

$$\begin{aligned}686,7 \text{ N} \times 90 \text{ m} &= 61,803 \text{ J ή } 61,8 \text{ kJ} \\ (\text{στρογγυλοποιημένη στο πλησιέστερο } 0,1)\end{aligned}$$

Η παραγόμενη ισχύς κατά τη διάρκεια αυτού του 10λέπτου (600 δευτερόλεπτα) άσκησης μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Ισχύς} = 61.803 \text{ J} / 600 \text{ δευτερόλεπτα} = 103 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \text{ ή } 103 \text{ W}$$

Χρησιμοποιώντας μια πιο παραδοσιακή μονάδα έργου, το κιλοπόντ-μετρο (kpm), η ισχύς μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\begin{aligned}\text{Έργο} &= 70 \text{ kp} \times 0,3 \text{ m} \times 30 \text{ βήματα} \cdot \text{min}^{-1} \\ &\quad \times 10 \text{ λεπτά} = 6.300 \text{ kpm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ισχύς} &= 6.300 \text{ kpm} \div 10 \text{ λεπτά} = 630 \text{ kpm} \cdot \text{min}^{-1} \text{ ή } \\ &103 \text{ W (Βλ. Πίνακα 1.4 για μετατροπές)}\end{aligned}$$

Κυκλοεργόμετρο

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένας κοινός τύπος κυκλοεργόμετρου είναι αυτό της εταιρείας Monark με πέδηση τριβής Monark, ο οποίος ενσωματώνει έναν ιμάντα τυλιγμένο γύρω από τον τροχό (που ονομάζεται σφόνδυλος) [Εικόνα 1.1 (β)]. Ο ιμάντας μπορεί να χαλαρώσει ή να σφίξει για να παρέχει μια αλλαγή στην αντίσταση. Η απόσταση που διανύει ο τροχός μπορεί να προσδιοριστεί υπολογίζοντας την απόσταση που καλύπτεται ανά περιστροφή των πεντάλ (6 m ανά περιστροφή σε έναν τυπικό σφόνδυλο Monark) επί τον αριθμό των περιστροφών. Εξετάστε το ακόλουθο παράδειγμα για τον υπολογισμό του έργου και της ισχύος χρησιμοποιώντας το κυκλοεργόμετρο. Υπολογίστε το έργο που δίδεται:

$$\text{Διάρκεια άσκησης} = 10 \text{ λεπτά}$$

$$\text{Αντίσταση στον σφόνδυλο} = 1,5 \text{ kp ή } 14,7 \text{ N}$$

$$\text{Διανυθείσα απόσταση ανά περιστροφή πεντάλ} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Ταχύτητα πεντάλ} = 60 \text{ στροφές} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\begin{aligned}\text{Επομένως, οι συνολικές περιστροφές σε } 10 \text{ λεπτά} &= \\ 10 \text{ λεπτά} \times 60 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1} &= 600 \text{ rev}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ως εκ τούτου, συνολικό έργο} &= \\ 14,7 \text{ N} \times (6 \text{ m} \cdot \text{rev}^{-1} \times 600 \text{ rev}) &= 52.920 \text{ J ή } 52,9 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Η παραγόμενη ισχύς σε αυτό το παράδειγμα υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό έργο που εκτελείται με τον χρόνο:

$$\text{Ισχύς} = 52.920 \text{ J} \div 600 \text{ δευτερόλεπτα} = 88,2 \text{ W}$$

Τα παρακάτω βήματα δείχνουν πώς μπορείτε να κάνετε τους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας εναλλακτικές μονάδες:

$$\begin{aligned}\text{Έργο} &= 1,5 \text{ kp} \times 6 \text{ m} \cdot \text{rev}^{-1} \times 60 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1} \\ &\quad \times 10 \text{ λεπτά} = 5.400 \text{ kpm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ισχύς} &= 5.400 \text{ kpm} \div 10 \text{ λεπτά} = 540 \text{ kpm} \cdot \text{min}^{-1} = \\ &88,2 \text{ W (Βλ. Πίνακα 1.4 για μετατροπές)}\end{aligned}$$

Εργοδιάδρομος

Όταν ένα άτομο βαδίζει ή τρέχει σε έναν διάδρομο με κλίση 0%, το κέντρο μάζας (φανταστείτε ένα σημείο στο ισχίο) αυτού του ατόμου ανεβαίνει και πέφτει με

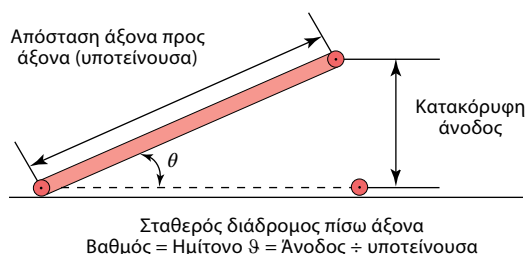
κάθε βήμα. Αυτή η άνοδος και η πτώση του κέντρου μάζας είναι περισσότερο για τρέξιμο παρά για περπάτημα, καθώς υπάρχει μια περίοδος ανάβασης κατά τη διάρκεια κάθε βήματος. Ωστόσο, είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί αυτή η μικρή κατακόρυφη μετατόπιση του κέντρου μάζας και κατά συνέπεια το έργο δεν μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί όταν περπατάει κάποιος ή τρέχει σε οριζόντιο διάδρομο. Αντίθετα, είναι πολύ εύκολο να μετρηθεί το έργο όταν ένα άτομο περπατάει ή τρέχει σε κλίση (υπό κλίση). Η κλίση του διαδρόμου εκφράζεται σε μονάδες που ονομάζονται «ποσοστό κλίσης (grade)». Το **ποσοστό κλίσης** (% grade) ορίζεται ως το ποσό της κατακόρυφης αύξησης ανά 100 μονάδες διαδρομής του (δηλ. διαδρομής του ιμάντα). Για παράδειγμα, ένα άτομο που βαδίζει σε έναν διάδρομο με βαθμό 10% ταξιδεύει 10 μέτρα κάθετα για κάθε 100 μέτρα της διαδρομής του ιμάντα. Το ποσοστό κλίσης υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το ημίτονο της γωνίας του διαδρόμου επί 100. Στην πράξη, η γωνία του διαδρόμου (εκφρασμένη σε μοίρες) μπορεί να προσδιοριστεί με απλούς τριγωνομετρικούς υπολογισμούς (Εικόνα 1.2) ή χρησιμοποιώντας μια συσκευή μέτρησης που ονομάζεται γωνιόμετρο (9). Για να υπολογίσετε την απόδοση έργου κατά τη διάρκεια της άσκησης διαδρόμου, πρέπει να γνωρίζετε τόσο το σωματικό βάρος του ατόμου όσο και την απόσταση που διανύθηκε κάθετα. Η κάθετη διαδρομή μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την απόσταση που διανύει ο ιμάντας με το ποσοστό κλίσης. Αυτό μπορεί να γραφτεί ως εξής:

Κατακόρυφη μετατόπιση = % Κλίσης × Απόσταση

όπου το ποσοστό κλίσης εκφράζεται ως κλάσμα και η συνολική διανυθείσα απόσταση υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα του διαδρόμου ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) με τα συνολικά λεπτά άσκησης. Εξετάστε το ακόλουθο δείγμα υπολογισμού της απόδοσης έργου κατά τη διάρκεια της άσκησης διαδρόμου:

Σωματικό βάρος = 60 kg (δύναμη = 60 kp ή 588,6 N)

Ταχύτητα διαδρόμου = $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$



Εικόνα 1.2 Προσδιορισμός του «ποσοστού κλίσης» σε κεκλιμένο διάδρομο. Η θήτα (θ) αντιπροσωπεύει τη γωνία κλίσης. Το ποσοστό κλίσης υπολογίζεται ως το ημίτονο της γωνίας $\theta \times 100$.

Γωνία εργοδιαδρόμου = 7,5% κλίσης ($7,5 \div 100 = 0,075$ ως κλασματική αξία κλίσης)

Χρόνος άσκησης = 10 λεπτά

Συνολική κατακόρυφη απόσταση που διανύθηκε = $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \times 0,075 \times 10 \text{ λεπτά} = 150 \text{ m}$

Επομένως, το συνολικό έργο που υλοποιήθηκε = $588,6 \text{ N} \times 150 \text{ m} = 88.290 \text{ J}$ ή 88,3 kJ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- Η κατανόηση των όρων *έργο* και *ισχύς* είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της παραγωγής του ανθρώπινου έργου και της σχετικής απόδοσης της άσκησης.
- Το έργο ορίζεται ως το γινόμενο της δύναμης επί την απόσταση:

$$\text{Έργο} = \text{Δύναμη} \times \text{Απόσταση}$$

- Η ισχύς ορίζεται ως έργο διαιρούμενο με τον χρόνο:

$$\text{Ισχύς} = \text{Έργο} \div \text{Χρόνος}$$

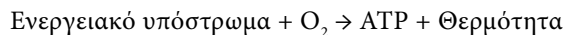
ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΑΠΑΝΗΣ

Η μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης ενός ατόμου σε κατάσταση ηρεμίας ή κατά τη διάρκεια της σωματικής δραστηριότητας έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές. Μια άμεση εφαρμογή ισχύει για προγράμματα απώλειας βάρους με τη συμβολή της άσκησης. Σαφώς, η γνώση του ενεργειακού κόστους της βάδισης, του τρεξίματος ή της κολύμβησης σε διάφορες ταχύτητες είναι χρήσιμη σε άτομα που χρησιμοποιούν αυτούς τους τρόπους άσκησης για την απώλεια βάρους. Επιπλέον, ένας μηχανικός μπορεί να μετρήσει το ενεργειακό κόστος διαφόρων εργασιών γύρω από ένα εργοτάξιο και να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για να πραγματοποιήσει τις κατάλληλες αναθέσεις εργασίας στους εργαζόμενους (17, 35). Από αυτήν την άποψη, ο μηχανικός μπορεί να συστήσει στον προϊστάμενο να αναθέσει εκείνες τις εργασίες που απαιτούν μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις σε εργαζόμενους που είναι σωματικά ικανοί και διαθέτουν υψηλή ικανότητα παραγωγής έργου. Γενικά, δύο τεχνικές χρησιμοποιούνται στη μέτρηση της ανθρώπινης ενεργειακής δαπάνης: (1) άμεση θερμιδομετρία και (2) έμμεση θερμιδομετρία.

Άμεση θερμιδομετρία

Όταν το σώμα χρησιμοποιεί ενέργεια για να εκτελέσει κάποια εργασία, απελευθερώνεται θερμότητα.. Αυτή η παραγωγή θερμότητας από τα κύτταρα συμβαίνει τόσο μέσω της κυτταρικής αναπνοής (ATP και άλλες οργανικές ενώσεις του κυττάρου) όσο και μέσω της

κυτταρικής λειτουργίας. Η γενική διαδικασία μπορεί να σχεδιαστεί σχηματικά ως (5, 36, 37):

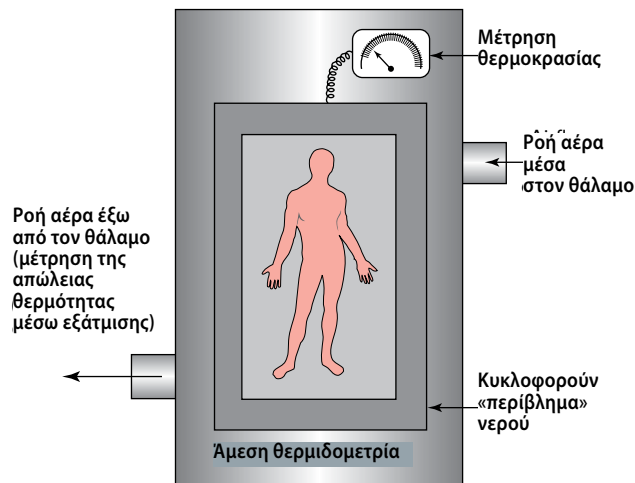


Κυτταρική λειτουργία + Θερμότητα

Η διαδικασία της κυτταρικής αναπνοής συζητείται λεπτομερώς στο *Κεφάλαιο 3*. Λάβετε υπ' όψιν ότι ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας σε ένα άτομο είναι άμεσα ανάλογος με τον μεταβολικό ρυθμό. Ως εκ τούτου, η μέτρηση της παραγωγής θερμότητας (θερμιδομετρία) ενός ατόμου παρέχει μια άμεση μέτρηση του μεταβολικού ρυθμού. Η μονάδα SI για τη μέτρηση της θερμικής ενέργειας είναι το τζάουλ (joule) (το ίδιο όπως και για το έργο). Ωστόσο, μια κοινή μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμικής ενέργειας είναι η θερμίδα (βλ. *Πίνακα 1.3*). Μια θερμίδα ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός γραμμαρίου νερού κατά έναν βαθμό Κελσίου. Επειδή η θερμίδα είναι πολύ μικρή, χρησιμοποιείται συνήθως ο όρος χιλιοθερμίδα (**kilocalorie, kcal**) για να εκφράσει την ενεργειακή δαπάνη και την ενεργειακή/θρεπτική αξία των τροφίμων. Μια χιλιοθερμίδα (kcal) ισούται με 1.000 θερμίδες. Κατά τη μετατροπή των kcals σε μονάδες SI, η 1 kcal ισούται με 4.186 J ή 4,186 kJ (βλ. *Πίνακα 1.3* για μετατροπές). Η διαδικασία μέτρησης του μεταβολικού ρυθμού ενός ατόμου μέσω της μέτρησης της παραγωγής θερμότητας ονομάζεται **άμεση θερμιδομετρία** και έχει χρησιμοποιηθεί από επιστήμονες από τον 18ο αιώνα. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την τοποθέτηση του ατόμου σε έναν κλειστό θάλαμο (ένα θερμιδόμετρο, που ονομάζεται θερμιδομετρικός θάλαμος), ο οποίος είναι μονωμένος από το περιβάλλον (συνήθως με ένα περίβλημα νερού που περιβάλλει τον θάλαμο) αλλά επιτρέπει την ελεύθερη ανταλλαγή O₂ και CO₂ από τον θάλαμο (*Εικόνα 1.3*). Η θερμότητα του σώματος του ατόμου αυξάνει τη θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί γύρω από τον θάλαμο. Επομένως, μετρώντας τη μεταβολή της θερμοκρασίας ανά μονάδα χρόνου, μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα παραγωγής θερμότητας. Επιπλέον, η θερμότητα χάνεται από το άτομο με την εξάτμιση νερού από το δέρμα και τις αναπνευστικές οδούς. Αυτή η απώλεια θερμότητας μετράται και προστίθεται στη συνολική θερμότητα που λαμβάνει το νερό για να δοθεί μια εκτίμηση του ρυθμού ενεργειακής δαπάνης από το άτομο (5, 9).

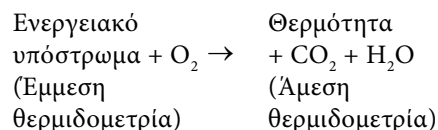
Έμμεση θερμιδομετρία

Αν και η άμεση θερμιδομετρία θεωρείται μια ακριβής τεχνική για τη μέτρηση του μεταβολικού ρυθμού, η κατασκευή ενός θαλάμου που είναι αρκετά μεγάλος ώστε να γίνει έρευνα στη Φυσιολογία της Άσκησης



Εικόνα 1.3 Διάγραμμα ενός θερμιδομετρικού θαλάμου που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του μεταβολικού ρυθμού με τη μέτρηση της παραγωγής θερμότητας του σώματος. Αυτή η μέθοδος προσδιορισμού του μεταβολικού ρυθμού ονομάζεται άμεση θερμιδομετρία.

στον άνθρωπο είναι δαπανηρή. Επίσης, η χρήση της άμεσης θερμιδομετρίας για τη μέτρηση του μεταβολικού ρυθμού κατά τη διάρκεια της άσκησης είναι περίπλοκη επειδή το ίδιο το εργόμετρο μπορεί να παράγει θερμότητα. Ευτυχώς, μια άλλη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του μεταβολικού ρυθμού. Αυτή η τεχνική ονομάζεται **έμμεση θερμιδομετρία** επειδή δεν περιλαμβάνει την άμεση μέτρηση της παραγωγής θερμότητας. Η αρχή της έμμεσης θερμιδομετρίας μπορεί να εξηγηθεί από την ακόλουθη σχέση:



Επειδή υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του O₂ που καταναλώνεται και της ποσότητας θερμότητας που παράγεται στο σώμα, η μέτρηση της κατανάλωσης του O₂ παρέχει μια εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού (3, 5, 15). Για να μετατρέψετε την ποσότητα του O₂ που καταναλώνεται σε ισοδύναμο θερμότητας, είναι απαραίτητο να γνωρίζετε τον τύπο του ενεργειακού υποστρώματος (δηλαδή, υδατάνθρακας, λίπος ή πρωτεΐνη) που μεταβολίστηκε. Η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν τα λίπη είναι τα μόνα ενεργειακά υποστρώματα που μεταβολίζονται είναι 4,7 kcal (ή 19,7 kJ) · LO₂⁻¹, ενώ η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν χρησιμοποιούνται μόνο υδατάνθρακες είναι 5,05 kcal (ή 21,13 kJ) · LO₂⁻¹. Η ενεργειακή δαπάνη της άσκησης εκτιμάται συχνά ότι είναι περίπου 5 kcal (ή 21 kJ) ανά λίτρο O₂ που καταναλώνεται (19). Συνεπώς, ένα άτομο που ασκείται

με κατανάλωση οξυγόνου $2,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ θα δαπανά περίπου 10 kcal (ή 42 kJ) ενέργειας ανά λεπτό.

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική για τη μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου σήμερα ονομάζεται **σπιρομέτρηση με τη μέθοδο του ανοιχτού κυκλώματος**. Στην κλασική τεχνική, ο/η ασκούμενος/η φορούσε ένα κλιπ μύτης για να αποτρέψει τη ρινική αναπνοή και μια αναπνευστική βαλβίδα που επέτρεπε την εισπνοή αέρα δωματίου, ενώ ο εκπνεόμενος αέρας κατευθυνόταν σε μια σακούλα συλλογής (ασκός Douglas) που αργότερα αναλύονταν για τον όγκο αέρα και το ποσοστό O_2 και CO_2 . Ο όγκος του αέρα μετρούνταν σε ένα αερόμετρο και οι ποσότητες O_2 και CO_2 είτε αναλύονταν χημικά είτε με τη βοήθεια ηλεκτρονικών αναλυτών αερίου. Τα βήματα που προβλέπονται στο Παράρτημα Α μπορούν να ακολουθηθούν για τον υπολογισμό της κατανάλωσης O_2 και της παραγωγής CO_2 . (Πρόσβαση στα παραρτήματα είναι δυνατή μέσω του Instructor Resources στο Connect.) Η σύγχρονη σπιρομέτρηση με τη μέθοδο ανοιχτού κυκλώματος (βλ. *Εικόνα 1.4*) χρησιμοποιεί ηλεκτρονικό υπολογιστή που μετρά τον όγκο του εκπνεόμενου αέρα σε κάθε αναπνοή, η οποία στη συνέχεια κατευθύνεται σε έναν θάλαμο ανάμειξης

όπου λαμβάνονται τα δείγματα αέρα για συνεχή ανάλυση του ποσοστού των O_2 και CO_2 στον εκπνεόμενο αέρα. Αυτές οι πληροφορίες διαβιβάζονται σε έναν υπολογιστή όπου πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί της κατανάλωσης του O_2 και της παραγωγής CO_2 . Αν και το σύστημα που βασίζεται σε υπολογιστή καθιστά σίγουρα τη διαδικασία μέτρησης της κατανάλωσης οξυγόνου ταχύτερη και ευκολότερη, η παραδοσιακή μέθοδος χρησιμοποιείται ως «μέθοδος αναφοράς» για να διασφαλιστεί ότι το αυτοματοποιημένο σύστημα λειτουργεί σωστά (4).

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- Η μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης σε κατάσταση ηρεμίας ή κατά τη διάρκεια της άσκησης είναι δυνατή με τη χρήση είτε άμεσης είτε έμμεσης θερμιδομετρίας.
- Η άμεση θερμιδομετρία χρησιμοποιεί τη μέτρηση της παραγωγής θερμότητας ως ένδειξη του μεταβολικού ρυθμού.
- Η έμμεση θερμιδομετρία εκτιμά τον μεταβολικό ρυθμό μέσω της μέτρησης της κατανάλωσης οξυγόνου.



Εικόνα 1.4 Το σύστημα μέτρησης μεταβολισμού TrueOne χρησιμοποιεί ηλεκτρονικούς αισθητήρες ροής, αναλυτές αερίων και τεχνολογία υπολογιστών. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου και της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα κατά την ηρεμία και κατά τη διάρκεια της άσκησης.

ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΑΠΑΝΗΣ

Η κατανάλωση οξυγόνου σε κατάσταση ηρεμίας και κατά τη διάρκεια της άσκησης μπορεί να εκφραστεί τόσο σε απόλυτους όρους (δηλαδή, λίτρα O_2 ανά λεπτό) όσο και σε σχέση με το σωματικό βάρος (δηλαδή mL O_2 ανά μονάδα μάζας σώματος). Επιπλέον, η μέτρηση της κατανάλωσης του O_2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της θερμιδικής δαπάνης σε κατάσταση ηρεμίας και κατά τη διάρκεια της άσκησης (21). Σε αυτήν την ενότητα, παρέχουμε παραδείγματα για το πώς μπορεί να εκφραστεί η κατανάλωση O_2 και επίσης επισημαίνουμε πολλούς διαφορετικούς τρόπους για να εκφράσουμε την ενεργειακή δαπάνη.

$\dot{\text{V}}\text{O}_2 (\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ Ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται στο Παράρτημα Α, η κατανάλωση οξυγόνου ($\dot{\text{V}}\text{O}_2$) μπορεί να υπολογιστεί σε λίτρα οξυγόνου που χρησιμοποιούνται ανά λεπτό (L/min). (Πρόσβαση σε όλα τα παραρτήματα είναι δυνατή μέσω του Instructor Resources στο Connect.) Για παράδειγμα, τα ακόλουθα δεδομένα συλλέχθηκαν σε μια προπονημένη γυναίκα 60 κιλών κατά τη διάρκεια μιας υπομέγιστης δοκιμής σε εργοδιάδρομο:

$$\begin{aligned}\text{Αερισμός (STPD)} &= 60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \\ &= \text{εισπνεόμενο } \text{O}_2 \text{ 20,93\%} \\ &= \text{εκπνεόμενο } \text{O}_2 \text{ 16,93\%} \\ \dot{\text{V}}\text{O}_2 (\text{L} \cdot \text{min}^{-1}) &= 60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \times (20,93\% \text{ O}_2 - \\ &\quad 16,93\% \text{ O}_2) \\ &= 2,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}\end{aligned}$$

kcal · min⁻¹ Όπως συζητήθηκε νωρίτερα, η μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ενεργειακής δαπάνης σε χιλιοθερμίδες που χρησιμοποιούνται ανά λεπτό. Το θερμικό ισοδύναμο του 1 L του O₂ κυμαίνεται από 4,7 kcal · L⁻¹ για τα λίπη έως 5,05 kcal · L⁻¹ για τους υδατάνθρακες. Ωστόσο, για πρακτικούς λόγους, και με περιθώριο λάθους, χρησιμοποιούμε 5 kcal · L⁻¹ του O₂ χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ σε χιλιοθερμίδες ανά λεπτό. Για τον υπολογισμό της ενεργειακής δαπάνης κατά τη διάρκεια αρκετών λεπτών ανάπαυσης ή άσκησης, η συνολική ενεργειακή δαπάνη υπολογίζεται, πολλαπλασιάζοντας τις χιλιοθερμίδες που δαπανώνται ανά λεπτό (kcal · min⁻¹) με τη διάρκεια της δραστηριότητας σε λεπτά. Για παράδειγμα, εάν η γυναίκα των 60 κιλών που αναφέρθηκε προηγουμένως τρέχει στον διάδρομο για 30 λεπτά με $\dot{\text{V}}\text{O}_2 = 2,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, η συνολική ενεργειακή δαπάνη μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\begin{aligned}2,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \times 5 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1} \text{ O}_2 &= 12 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1} \\ 12 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1} \times 30 \text{ λεπτά} &= 360 \text{ kcal}\end{aligned}$$

$\dot{\text{V}}\text{O}_2$ (mL · kg⁻¹ · min⁻¹) Εκτός από την έκφραση της κατανάλωσης του O₂ σε λίτρα ανά λεπτό, η κατανάλωση O₂ μπορεί επίσης να εκφραστεί σε χιλιοστόλιτρα O₂ που καταναλώνονται ανά λεπτό ανά kg σωματικού βάρους. Εξετάστε το ακόλουθο παράδειγμα. Όταν η μετρούμενη πρόσληψη οξυγόνου, εκφραζόμενη σε λίτρα ανά λεπτό, πολλαπλασιάζεται επί 1.000 για να αποδοθούν χιλιοστόλιτρα ανά λεπτό και στη συνέχεια διαιρείται με το σωματικό βάρος του ατόμου σε χιλιόγραμμα, η τιμή εκφράζεται σε χιλιοστόλιτρα O₂ ανά χιλιόγραμμο σωματικού βάρους ανά λεπτό ή mL · kg⁻¹ · min⁻¹. Αυτό επιτρέπει συγκρίσεις μεταξύ ανθρώπων διαφορετικών μεγεθών σώματος. Για παράδειγμα, για τη γυναίκα των 60 κιλών με $\dot{\text{V}}\text{O}_2 = 2,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$:

$$\begin{aligned}2,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \times 1.000 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1} \div 60 \text{ kg} \\ = 40 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}.\end{aligned}$$

METs Ο μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας ενός ατόμου μετράται συνήθως κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης σε ύπτια θέση, ύστερα από ένα διάστημα νηστείας (συνήθως 8 ωρών) και χωρίς συμμετοχή σε άσκηση κατά τις τελευταίες 24 ώρες. Ο μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας ποικίλλει ανάλογα με την ηλικία και το φύλο. Γενικά, ο μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας είναι μικρότερος στις γυναίκες απ' ό,τι στους άνδρες και μειώνεται με

την ηλικία και στα δύο φύλα (23). Το **MET (μεταβολικό ισοδύναμο)** είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τον μεταβολισμό ηρεμίας και ορίζεται, κατά συνθήκη, ότι είναι 3,5 mL · kg⁻¹ · min⁻¹. Αυτό ονομάζεται 1 MET και το ενεργειακό κόστος των φυσικών δραστηριοτήτων μπορεί να εκφραστεί σε πολλαπλάσια της μονάδας MET. Οι METs είναι χρήσιμες για τη σύγκριση της σχετικής έντασης των διαφόρων δραστηριοτήτων. Χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες πληροφορίες, μπορεί να υπολογιστεί η σχετική ένταση της άσκησης σε METs: 40 mL · kg⁻¹ · min⁻¹ ÷ 3,5 mL · kg⁻¹ · min⁻¹ = 11,4 METs.

kcal · kg⁻¹ · hr⁻¹ Η έκφραση MET μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του αριθμού των θερμίδων που καταναλώνει το άτομο ανά κιλό σωματικού βάρους ανά ώρα. Στο παράδειγμα που αναφέρθηκε προηγουμένως, το άτομο εργάζεται σε 11,4 METs, ή 40 mL · kg⁻¹ · min⁻¹. Όταν αυτή η τιμή πολλαπλασιάζεται επί 60 λεπτά · hr⁻¹, ισούται με 2.400 mL · kg⁻¹ · hr⁻¹, ή 2,4 L · kg⁻¹ · hr⁻¹. Εάν το άτομο χρησιμοποιεί ένα μείγμα υδατανθράκων και λιπών ως καύσιμο, η $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ πολλαπλασιάζεται επί 4,85 kcal · L⁻¹ του O₂ (κατά μέσον όρο μεταξύ 4,7 και 5,05 kcal/L O₂) για να δώσει 11,6 kcal · kg⁻¹ · hr⁻¹. Τα παρακάτω βήματα δείχνουν τις λεπτομέρειες αυτού του απλού υπολογισμού.

$$\begin{aligned}11,4 \text{ METs} \times 3,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \\ = 40 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}40 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 60 \text{ min} \cdot \text{hr}^{-1} \\ = 2.400 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1} = 2,4 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2,4 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1} \times 4,85 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1} \text{ O}_2 \\ = 11,6 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}\end{aligned}$$

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- Η ενεργειακή δαπάνη μπορεί να εκφραστεί με όρους πρόσληψης οξυγόνου ($\dot{\text{V}}\text{O}_2$) σε μονάδες L · min⁻¹ και mL · kg⁻¹ · min⁻¹.
- Με βάση την $\dot{\text{V}}\text{O}_2$, η ενεργειακή δαπάνη μπορεί επίσης να εκφραστεί ως METs, όπου 1 MET = 3,5 mL · kg⁻¹ · min⁻¹.
- Οι ενεργειακές δαπάνες μπορούν επίσης να εκφραστούν σε kcal · min⁻¹ και kcal · kg⁻¹ · min⁻¹.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΑΠΑΝΗΣ

Οι ερευνητές που μελετούν το κόστος οξυγόνου (κόστος O₂ = $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ σε κατάσταση σταθεροποίησης) της άσκησης έχουν δείξει ότι είναι δυνατόν να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια η ενέργεια που δαπανάται κατά τη δι-