

Max-Planck-Institut für Ernährungsphysiologie, Dortmund

Unterschiede im Energieumsatz bei ausgewählten Tätigkeiten unter und ohne Kontrolle

W. Wirths

Mit 4 Tabellen

(Eingegangen am 25. Mai 1979)

Überernährung ist eine der häufigsten Begleiterscheinungen im Ernährungsstatus der Bevölkerung in industrialisierten Ländern und von wachsender Bedeutung in Entwicklungsfähigen Ländern. Zahlreiche Beobachtungen sprechen dafür, daß bei gleichem Grundumsatz der Energieumsatz von Person zu Person verschieden sei.

Durnin et al. (4) vertreten die Auffassung, daß der menschliche Energiebedarf für eine bestimmte Leistung und die Bilanz von Energieaufnahme und -ausgabe unbekannt seien. Die Autoren folgern ihre Resultate aus Untersuchungen über die Lebensmittelaufnahme und den Energieumsatz, in denen sich bei mehreren Versuchspersonen (Vpn) mit ähnlichen Merkmalen und Aktivitäten zeigte, daß die Aufnahme an Energie von Person zu Person um mehr als das Zweifache variieren kann; *Widdowson* (9), *Rose and Williams* (8), *Wynn-Jones et al.* (13), *Ashworth* (1).

In Untersuchungen (4), wo Energieaufnahme und -ausgabe gemessen werden, läßt sich oft zwischen diesen eine gute Übereinstimmung nachweisen. Bei anderen Menschen ergeben sich bei derartigen Experimenten aber auch größere Diskrepanzen zwischen individueller Aufnahme und Ausgabe an Energie.

Die Ergebnisse von sorgfältigen Untersuchungen deuten an, daß einige Personen anscheinend infolge ihres Adaptationsmechanismus in der Lage sind, gesund und leistungsfähig bei Energieaufnahmen zu bleiben, die man nach gültigen Standards als unzureichend ansieht; *Edholm* (5), *Widdowson* (10). Ferner liegen Untersuchungsbefunde mit Vpn vor, die größere Mengen, als dem Standard entspricht, erhalten haben mit nur geringen oder kleinen Zunahmen an Körpergewicht; *Miller and Mumford* (6), *Miller et al.* (7). Im Gegensatz dazu haben Überernährte oft große Schwierigkeiten bei der Reduktion von Körpergewicht trotz drastischer Verminderung der Nahrungszufuhr. Solche Beobachtungen führen zur Ablehnung der Tatsache, daß der menschliche Organismus durch ein Energiebilanzsystem gesteuert wird.

Die Möglichkeit ist aber nicht zu erkennen, daß ein Teil der Messungen des Energieumsatzes fehlerhaft ist und zu einem abweichenden Ergebnis führt; *Edholm* (5), *Wirths* (11), *Christensen and Höglberg* (2). Dies ist dem um so geläufiger, der sich eingehend mit solchen Bestimmungen befaßt und diese ausgeführt hat. Es gilt zu bedenken, daß man im Arbeitsversuch die energetische Belastung des Menschen nur indirekt bestim-

men kann. Dabei eröffnet sich als das schwierigste Problem, daß zur endgültigen Beurteilung des Bedarfs eigentlich sämtliche über einen 24-Stunden-Zeitraum ausgeführten Aktivitäten zu erfassen sind. Es ist wahrscheinlich, daß diese Schwierigkeiten viele Personen dazu verführen, ihre gesamte Energieausgabe überzubewerten.

Die außerberuflich ausgeführten Tätigkeiten sind bei vielen Personen für ihren Energieumsatz von außerordentlicher Bedeutung. Wir fanden vor allem bei Beschäftigten mit leichter und mittelschwerer Arbeit, daß diese in ihrer Freizeit vielerlei muskulär anstrengende Arbeiten verrichteten. Insbesondere kommen in Arbeitsablaufstudien während der Freizeit Haus- und Gartenarbeit, mechanische Verrichtungen, Autoreparaturen, sportliche Tätigkeiten vor. Die sehr verschiedenen Tätigkeiten werden nicht nur für den Eigenbedarf ausgeführt, sondern auch als Nachbarschaftshilfe und vielfach als Schwarzarbeit. Es ist nahezu unmöglich, exakt den wirklichen Energieumsatz während der berufsarbeitsfreien Zeit herauszufinden.

Eines der größten Probleme bei der Feststellung des Energieumsatzes ist aber, genügend und zuverlässige Vpn zu finden. Die Versuchsausführung ist zeitraubend und belästigend. Insbesondere beklagen Personen, die es nicht gewohnt sind, bei gleichzeitigem Tragen einer Nasenklemme in ein Mundstück zu atmen, daß sie dadurch behindert würden und sich nicht genügend auf die eigentliche im Versuch stehende Tätigkeit konzentrieren können. Alle Versuchsergebnisse, mit solchen Personen erzielt, sind unbrauchbar. Nur mit in bezug auf die Versuchsausführung und die zu messende Tätigkeit Trainierten können Bestimmungen erfolgen, deren Ergebnisse auf weitere Personen übertragbar sind. Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß Felduntersuchungen jeglicher Art für die Bestimmungen des Energieumsatzes bei Arbeit sehr kostspielig sind. Durnin et al. (4) beklagten bereits mehrfach, daß es wegen der hohen Kosten nicht möglich sei, die erforderlichen Untersuchungen in der für signifikante Ergebnisse benötigten Anzahl auszuführen.

Darüber hinaus müssen genügend Versuchsausführende mit den erforderlichen Kenntnissen verfügbar sein. Demgegenüber ist die Umsatzmessung im Labor leichter, für alle Beteiligten angenehmer, sie vermittelt aber nicht die Gegebenheiten am Arbeitsplatz oder bei Ausführung sportlicher Tätigkeiten. Als Grundlage sind die Untersuchungen im Labor freilich unentbehrlich.

Methode

Für die Versuche standen 12 gewissenhafte, mit derlei Tätigkeiten vertraute männliche Vpn zur Verfügung (12). Die etwa gleichaltrigen Vpn (23–27 Jahre) waren so ausgewählt, daß sie im Körbergewicht unterschiedlich waren. Mit ihnen wurde der Einfluß des Körbergewichtes auf den Energieumsatz bestimmt (12). Verglichen wurden die Leistungen von Probanden mit ca. 70, 80, 90 und 100 kg Körbergewicht. Ferner war zu prüfen, wieweit der Mensch in der Lage ist, ohne Kontrolle ein bestimmtes Arbeitspensum zu erreichen.

- 4 Arten von Tätigkeiten waren dafür auszuführen:
- A. Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schuhen, Geschwindigkeit 5 km/h.
 - B. Gehen unter gleichen Bedingungen wie A mit 10 kg Belastung, 4 km/h.

- C. Gehen unter gleichen Bedingungen wie A mit 20 kg Belastung, 4 km/h; das zusätzliche Gewicht wurde rucksackähnlich auf dem Rücken bzw. auf der Brust getragen.
- D. Laufen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schuhen, Geschwindigkeit 10 km/h.

Die Probanden hatten zunächst die Tätigkeiten unter Kontrolle auszuführen. Nach dieser Versuchsserie folgte die ohne Kontrolle. Sämtliche Versuche fanden unter den gleichen äußerlichen Bedingungen und unter annähernd vergleichbaren physiologischen Bedingungen der Vpn statt. Die Probanden waren angehalten worden, am Abend vor den Experimenten keine besonders abweichenden Verzehrs-(einschl. Trink-)gewohnheiten zu praktizieren. An den Versuchstagen wurden zunächst Nüchtern-Grundumsätze und Ruhepulse bestimmt. Sie lagen im Bereich von Daten von Vorhersagewerten. Die Probanden erhielten ein Frühstück mit 600 kcal (2510 kJ), in denen 20 g Protein (13% des Brennwertes), 20 g Fett (31% des Brennwertes) und 81 g Kohlenhydrate (56% des Brennwertes) enthalten waren. 30 und 60 min nach Einnahme der Mahlzeit wurde die spezifisch-dynamische Wirkung gemessen. Nach 60 min lag sie ungefähr 10% über dem Grundumsatz. Unmittelbar nach der letzten Messung begannen die Arbeitsversuche.

An einem Versuchstag wurden je zwei Versuche durchgeführt, entweder die Kombination der unter C und A oder der unter D und B genannten.

In Vorversuchen hatten sich die Reihenfolgen am besten bewährt. Die beteiligten Probanden meinten übereinstimmend, dieses sei für die Testserie die Ordnung, die ihnen die geringsten Schwierigkeiten bereiten würde. Zwischen den beiden Versuchen wurden 15-30 min Ruhepause eingelegt. In dieser Pause wurde Mineralwasser angeboten.

Die Respirationsversuche begannen 15 min nach Testbeginn. Die Testzeit betrug zwischen 10 und 20 min. Die Vpn hatten einen Begleiter als Schrittmacher auf einem Fahrrad. Nach Entnahme einer Probe der ausgeatmeten Luft aus der an der Respirations-Gasuhr befindlichen Gummiblase und Überführung in einen evakuierten Rezipienten wurden die gesammelten Luftmengen im Labor analysiert, um den Energieumsatz zu bestimmen.

In der unkontrollierten Testserie hatten die Probanden keinen Schrittmacher, aber einen Beobachter. Zur eigenen Kontrolle hatten sie Uhren. Sie wurden angehalten, gleiche Leistungen wie in den kontrollierten Versuchen zu vollbringen.

Ergebnisse

In Tabelle 1 werden Ergebnisse der Respirationsversuche der vier Tests unter kontrollierten Bedingungen dargestellt. Je Arbeitselement wurden je 6 Versuche durchgeführt. Es zeigt sich erheblicher Einfluß des höheren Körpergewichts auf den Arbeitsenergieumsatz. Als Beispiel soll die Steigerung bei der Tätigkeit „Gehen mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h“ – unter den angegebenen Bedingungen – dienen. Setzt man den Ausgangswert des Energieumsatzes der Vp von 70 kg = 100 %, so werden bei 80 kg 115%, bei 90 kg 150% und bei 100 kg Körpergewicht 195% des Energieumsatzes der Referenzperson erreicht.

In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der entsprechenden unkontrollierten Versuche wiedergegeben. In Relation zum Referenzgewicht von 70 kg (100%) erreicht jetzt die Vp mit 80 kg 110%, die mit 90 kg 135% und die mit 100 kg 170%. Sowohl der Arbeitsumsatz bei der Person mit dem Referenzgewicht als auch die Steigerungsraten sind geringer. Diese Tendenz findet auch in den weiteren Tests ihren Niederschlag. Beim Gehen mit einer

Tab. 1. Energieumsatz bei ausgewählten Tätigkeiten (unter Kontrolle).

Art der Tätigkeit	Körpergewicht kg	kJ/min	kcal/min	Schwankungsbereich (kcal/min)	Sd kcal/min
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 5 km/h	70 80 90 100	9 11 14 18	2,20 2,53 3,30 4,30	1,9- 2,5 2,2- 2,9 3,0- 3,8 4,0- 4,6	± 0,200 ± 0,518 ± 0,283 ± 0,200
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 4 km/h; Belastung 10 kg	70 80 90 100	14 16 21 28	3,42 3,93 5,10 6,60	3,2- 3,7 3,8- 4,1 4,9- 5,3 6,2- 6,9	± 0,417 ± 0,573 ± 0,141 ± 0,261
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 4 km/h; Belastung 20 kg	70 80 90 100	22 25 33 42	5,20 6,03 7,80 10,13	5,0- 5,4 5,8- 6,3 7,6- 8,1 9,8-10,6	± 0,141 ± 0,718 ± 0,179 ± 0,938
Laufen auf ebenem, festem Untergrund; Geschwindigkeit 10 km/h	70 80 90 100	39 45 59 77	9,35 10,82 14,12 18,38	9,0- 9,8 10,5-11,3 13,8-14,4 17,8-19,0	± 0,267 ± 0,717 ± 0,779 ± 0,577

Tab. 2. Energieumsatz bei ausgewählten Tätigkeiten (ohne Kontrolle).

Art der Tätigkeit	Körpergewicht kg	kJ/min	kcal/min	Schwankungsbereich (kcal/min)	Sd kcal/min
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 5 km/h	70 80 90 100	9 10 12 15	2,10 2,30 2,80 3,50	1,8-2,4 2,0-2,6 2,5-3,2 3,2-3,8	± 0,200 ± 0,228 ± 0,283 ± 0,200
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 4 km/h; Belastung 10 kg	70 80 90 100	14 15 17 21	3,22 3,52 4,15 4,97	3,0-3,4 3,3-3,8 3,9-4,6 4,4-5,4	± 0,138 ± 0,132 ± 0,259 ± 0,302
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 4 km/h; Belastung 20 kg	70 80 90 100	22 25 33 42	5,20 6,03 7,80 10,13	4,4-5,2 5,0-5,6 5,3-6,0 6,0-7,1	± 0,268 ± 0,126 ± 0,276 ± 0,466
Laufen auf ebenem, festem Untergrund; Geschwindigkeit 10 km/h	70 80 90 100	36 37 39 43	8,50 8,90 9,40 10,18	8,2-8,9 8,1-9,3 8,8-9,9 9,9-11,0	± 0,310 ± 0,415 ± 0,447 ± 0,501

Tab. 3. Energieumsatz bei ausgewählten Tätigkeiten.

Art der Tätigkeit	Körpergewicht kg	unter Kontrolle kJ/h	ohne Kontrolle kJ/h	kcal	Unterschied mit/ohne Kontrolle kJ	Unterschied mit/ohne Kontrolle kcal/h
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 5 km/h;	70 80 90 100	552 636 828 1080	132 152 198 258	527 577 703 879	126 138 168 210	25 59 125 201
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 4 km/h; Belastung 10 kg	70 80 90 100	858 987 1280 1657	205 236 306 396	808 883 1042 1247	193 211 249 298	50 104 238 410
Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 4 km/h; Belastung 20 kg	70 80 90 100	1305 1515 1958 2544	312 362 468 608	1205 1310 1431 1590	288 313 342 380	100 205 527 954
Laufen auf ebenem, festem Untergrund; Geschwindigkeit 10 km/h	70 80 90 100	2347 2715 3544 4615	561 649 847 1103	2134 2234 2360 2556	510 534 564 611	213 481 1184 2059

Belastung von 10 kg zeigen sich unter unkontrollierten Bedingungen folgende Steigerungen:

80 kg 109%, 90 kg 129%, 100 kg 154%. Beim Gehen mit 20 kg Belastung 100 kg 132% und beim Laufen mit einer Geschwindigkeit von 10 km/h bei 80 kg 105%, 90 kg 112% und 100 kg 120%.

Für den Test A ergeben sich bei 80 kg 91%, bei 90 kg 85% und bei 100 kg 81% gegenüber den Arbeitsumsätzen der Vp mit 70 kg.

Ein weiteres Ergebnis über den Unterschied im Energieumsatz bei den Versuchsbedingungen lässt sich aus den Zahlen in Tabelle 3 ersehen. Dort werden die für die vier Körpergewichte aufgewandten Arbeitsenergieumsätze mit und ohne Kontrolle je Stunde genannt. Ein solcher Vergleich bietet sich an, wenn Belastungen unterhalb der Dauerleistungsgrenze bestimmt werden. Betrachtet man die Resultate der 70 kg schweren Personen, so ergeben sich zwischen unkontrollierten und kontrollierten Bedingungen beim Test A lediglich 6 kcal/h Differenz, beim Test D aber 51 kcal/h.

In Tabelle 4 sind schließlich die sich daraus errechnenden Arbeitsumsätze je kg Körpergewicht verzeichnet. In den Zahlen kommen einerseits die höheren Belastungen bei steigendem Körpergewicht zum Ausdruck, andererseits die durch höheres Körpergewicht bedingten bedeutend geringeren Arbeitsumsätze in der unkontrollierten Versuchsserie.

Folgerungen

Der geringere Energieumsatz bei unkontrollierten Tätigkeiten dürfte primär auf die bekannte menschliche Trägheit zurückzuführen sein. Trotz

Tab. 4. Energieumsatz bei ausgewählten Tätigkeiten je kg Körpergewicht und Stunde.

Art der Tätigkeit	Körpergewicht kg	mit Kontrolle je kg Körpergewicht	ohne Kontrolle je kg Körpergewicht
Gehen auf ebenem, festem Untergrund	70	1,89	1,80
mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 5 km/h	80	1,90	1,73
	90	2,20	1,87
	100	2,58	2,10
Gehen auf ebenem, festem Untergrund	70	2,93	2,76
mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 4 km/h;	80	2,95	2,64
Belastung 10 kg	90	3,40	2,77
	100	3,96	2,98
Gehen auf ebenem, festem Untergrund	70	4,46	4,11
mit leichter Bekleidung und hohen Schnürschuhen; Geschwindigkeit 4 km/h;	80	4,52	3,92
Belastung 20 kg	90	5,20	3,80
	100	6,08	3,80
Laufen auf ebenem, festem Untergrund; Geschwindigkeit 10 km/h	70	8,01	7,29
	80	8,12	6,68
	90	9,41	6,27
	100	11,03	6,11

der Absicht für dieselbe Leistung mißlingt dies bei Personen aller vier Körperfrequenzgruppen.

Es dürfte erlaubt sein, für andere sportliche Aktivitäten und Arbeitselemente ähnliche Unterschiede im Energieumsatz von Tätigkeiten unter Standardbedingungen zwischen solchen ohne Kontrolle anzunehmen. Das ist eine der wesentlichen Ursachen für die teilweise entscheidenden Unterschiede im Gesamtumsatz von Mensch zu Mensch. Da viele Personen ihren Umsatz an Arbeitsenergie überbewerten, ist die Folge, daß Überernährung häufig ist. Zugleich erhält man eine Antwort auf die von Durnin et al. (4) gestellte Frage „How much food does man require?“.

Zusammenfassung

In Respirationsversuchen mit der Respirations-Gasuhr des Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie, Dortmund, wurde der Energieumsatz bei ausgewählten Tätigkeiten unter und ohne Kontrolle bestimmt.

Als Tätigkeiten wurden einbezogen: Gehen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schuhen, Geschwindigkeit 5 km/h; gleiche Bedingungen mit zusätzlich 10 kg und 4 km/h; gleiche Bedingungen mit zusätzlich 20 kg und 4 km/h; Laufen auf ebenem, festem Untergrund mit leichter Bekleidung und hohen Schuhen, Geschwindigkeit 10 km/h.

Bei unkontrollierten Tätigkeiten ist der Energieumsatz bei allen 4 Tests und den 4 Körperfrequenzgruppen (70 kg, 80 kg, 90 kg, 100 kg) geringer als unter kontrollierten Bedingungen. Trotz der Absicht für dieselbe Leistung mißlingt dieses selbst erfahrenen Probanden. Da viele Personen ihren Arbeitsumsatz überbewerten, ihre Brennwertzufuhr jedoch unterbewerten, ist Überernährung eine häufige Folge.

Summary

Experiments with the Max-Planck respirometer were made to determine the energy expenditure.

4 kinds of comparable tests were made under standard conditions and ad libitum individual: walking on solid, level ground with light clothing, in high lace boots (walking-speed 5 km/h), walking with 10 kg resp. 20 kg load on level, solid ground (running-speed 10 km). The energy expenditure under standard conditions is much higher than in the working-elements ad libitum speed and distance.

Many persons overestimate their personal energy expenditure which is a reason for a positive energy balance succeeded by overweight.

Literatur

1. Ashworth, A.: Brit. J. Nutr. **22**, 341 (1968). – Christensen, E. H., P. Höglberg: Arbeitsphysiol. **14**, 292 (1950). – 3. Durnin, J. V. G. A.: in Alimentation et travail, S. 112 (Paris 1972). – 4. Durnin, J. V. G. A., O. G. Edholm, D. S. Miller, J. C. Waterlow: Nature **242**, 418 (1973). – 5. Edholm, O. G.: J. Human Nutr. **31**, 413 (1977). – 6. Miller, D. S., P. M. Mumford: Amer. J. Clin. Nutr. **20**, 1212 (1967). – 7. Miller, D. S., P. M. Mumford, M. J. Stock: Amer. J. Clin. Nutr. **20**, 1223 (1967). – 8. Rose, G. A., R. T. Williams: Brit. J. Nutr. **15**, 1 (1961). – 9. Widdowson, E. M.: Spec. Rep. Ser. Med. Res. Coun. No. **257** (1947). – 10. Widdowson, E. M.: Proc. Nutr. Soc. **21**, 121 (1962). – 11. Wirths, W.: Nutr. Diet. **20**, 77 (Basel 1974). – 12. Wirths, W.: Akt. Ernährungsmedizin **2**, 46 (1977). – 13. Wynn-Jones, C., S. J. Atkinson, P. Nicolas: Proc. Nutr. Soc. **31**, 83 A (1972).

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. W. Wirths, Lehrstuhl für Angewandte Ernährungsphysiologie,
Römerstraße 164, 5300 Bonn 1