

3 Energieumsatz und Energiezufuhr

Arbeitsgruppe

G. Kreyman (AG-Leiter), M. Adolph, M. J. Müller

Schlüsselwörter

- Energiebedarf
- Sepsis
- kritisch Kranke
- Intensivtherapie

Key words

- energy requirements
- sepsis
- critically ill
- intensive care

Energieumsatz bei Gesunden



Der Energieumsatz von Gesunden ist auch für die Planung der Energiezufuhr bei Kranken eine grundlegende Größe, da er

- ▶ entweder die Basis bildet für die Schätzung des Energieumsatzes eines Patienten
- ▶ oder, falls der Energieumsatz des Patienten gemessen wird, einen Vergleichswert liefert, anhand dessen krankheitsbedingte Veränderungen des Energieumsatzes erkannt werden können.

Komponenten des Energieumsatzes

Der aktuelle Energieumsatz eines Gesunden oder eines Patienten ist für die Ernährungstherapie die entscheidende Bezugsgröße, weil – unter normalen Bedingungen – diese Energiemenge in Form von Nahrungssubstraten zugeführt werden muss, um eine Ab- oder Zunahme der körpereigenen Ressourcen zu vermeiden.

Die während 24 Stunden insgesamt umgesetzte Energie – der Gesamtenergieumsatz (total energy expenditure, TEE) – setzt sich im Wesentlichen aus drei Komponenten zusammen:

- ▶ dem Grund- oder Ruheenergieumsatz (resting energy expenditure, REE)¹,
- ▶ der bei der physikalischen Aktivität umgesetzten Energie,
- ▶ der für die Metabolisierung der zugeführten Energieträger notwendigen Energie (nahrungsinduzierte Thermogenese, NIT).

Bei bestimmten Erkrankungen (Sepsis, Trauma, Verbrennung, Hyper- oder Hypothyreose) kann es – muss aber nicht – zu einer krankheitsbedingten Veränderung des Energieumsatzes kommen.

Messung des Energieumsatzes

Messungen des Gesamtenergieumsatzes über 24 h sind methodisch schwierig und können in der Regel nur unter experimentellen Bedingungen – heute meistens mithilfe der Doubly-labeled-Water-Methode – durchgeführt werden [1]. Einfacher ist es den Grundumsatz zu messen und die anderen Komponenten des Gesamtenergieumsatzes zu schätzen. Für die Messung des Grundumsatzes müssen bestimmte Standardbedingungen (Nahrungskarenz, Uhrzeit, Raumtemperatur etc.) eingehalten werden. Die am häufigsten hierfür angewandte Methode ist die indirekte Kalorimetrie [1]. Hierbei wird in der Expirationsluft die O₂- und CO₂-Konzentration gemessen und über die Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe der Energieumsatz berechnet. Die Methode kann sowohl bei spontan atmenden Probanden oder Patienten als auch bei beatmeten Patienten eingesetzt werden.

Schätzung des Grundumsatzes bei Gesunden

▶ Formel von Harris und Benedict:

$$\begin{aligned} \text{REE Männer} &= 66,5 + 13,8 \times \text{Gewicht (kg)} + \\ &5,0 \times \text{Länge (cm)} - 6,8 \times \text{Alter (Jahre)} \\ \text{REE Frauen} &= 655 + 9,6 \times \text{Gewicht (kg)} + \\ &1,8 \times \text{Länge (cm)} - 4,7 \times \text{Alter (Jahre)} \end{aligned}$$

- ▶ Der Grundumsatz Gesunder kann mit einer Genauigkeit von ± 20% geschätzt werden (I)
- ▶ Als grobe Richtwerte für den Ruheenergieumsatz können gelten (C):
 - 20–30 Jahre: 25 kcal/kg KG/Tag
 - 30–70 Jahre: 22,5 kcal/kg KG/Tag
 - > 70 Jahre: 20 kcal/kg KG/Tag

Kommentar

Wird der Grundumsatz nicht gemessen, kann er anhand einer Formel geschätzt werden. Von den vielen hierzu entwickelten Algorithmen – angegeben wird jeweils der Gesamtkalorienumsatz – ist die Formel von Harris und Benedict [2] nach

Bibliografie

DOI 10.1055/s-2006-951862
 Aktuell Ernähr Med 2007; 32,
 Supplement 1: S8–S12
 © Georg Thieme Verlag KG
 Stuttgart · New York ·
 ISSN 1862-0736

¹ In der neueren englischsprachigen Literatur hat der Begriff „resting energy expenditure“ den Begriff „basal energy expenditure“ ersetzt.

wie vor die bekannteste. Hierbei wird der Grundumsatz anhand von Körpergröße, -gewicht, Alter und Geschlecht bestimmt. Auch wenn sie methodisch einige Schwächen aufweist (kleines Kollektiv, überwiegend junge Probanden, andere Konstitution der Probanden, die Daten wurden vor 90 Jahren erhoben), ist ihre Vorhersagekraft nicht signifikant schlechter als die neuerer und an größeren Kollektiven erarbeiteten Formeln, sodass sie als grobe Richtlinie für ernährungstherapeutische Entscheidungen durchaus noch eingesetzt werden kann. Allen Formeln gemeinsam ist, dass für Frauen niedrigere Werte als für Männer berechnet werden und dass der Grundumsatz mit dem Alter abnimmt. Der Determinationskoeffizient (r^2) liegt bei allen Formeln unter 0,75, d.h. lediglich 75% der Varianz des Grundumsatzes ist durch Gewicht, Größe, Alter und Geschlecht determiniert. Die 95% Grenzen der Übereinstimmung zwischen Schätz- und Messwerten liegen bei $\pm 20\%$, d.h. in 95% der Fälle liegt der tatsächliche Energieumsatz in dem Bereich des Schätzwertes $\pm 20\%$. Diese Werte gelten für das jeweilige Kollektiv, an dem die betreffende Formel entwickelt wurde. Wendet man sie auf ein fremdes Kollektiv an, fallen die Werte zum Teil noch schlechter aus.

Bei einem Vergleich der nach der Formel von Harris und Benedict ermittelten Schätzwerte mit Messwerten aus einer deutschen Referenzdatenbank lagen 42,6% der Probanden geschätzt $> 10\%$ über dem Messwert, 18,0% sind $> 20\%$ [3] darüber. Dagegen lagen 2,3% $> 10\%$ und 0,7% $> 20\%$ darunter. Auch eine andere Untersuchung, in der der Grundumsatz von 130 Gesunden mit unterschiedlichen Schätzwerten verglichen wurde, ergab, dass 30% der Untersuchten eine Abweichung von $> 10\%$ vom Schätzwert nach Harris und Benedict hatten [4]. Die beiden Arbeiten belegen, dass es im Einzelfall zu erheblichen Abweichungen kommen kann.

Eine leichte Verbesserung der Schätzung des Grundumsatzes ist möglich mit Hilfe von Formeln, die auch die Körpermager- und/oder Zellmasse berücksichtigen [4]. Hierzu muss diese allerdings zuerst mit einer zusätzlichen Methode gemessen werden. Auch hierbei wird jedoch ein Determinationskoeffizient (r^2) von 0,75 nicht überschritten.

Das Körpergewicht allein ist ein sehr schlechter Prädiktor des Grundumsatzes und erlaubt nur eine sehr grobe Abschätzung desselben. Für eine solche grobe Schätzung können die folgenden Richtwerte angewandt werden:

Der Grundumsatz pro kg Körpergewicht beträgt für die Altersklasse von 30–70 Jahren rund 22,5 kcal/kg KG/Tag, bei jüngeren Erwachsenen eher 25 kcal/kg KG/Tag, bei älteren 20 kcal/kg KG/Tag. (Auch bei Adipositas bzw. bei Mangelernährung wird der Grundumsatz durch das reale Körpergewicht und nicht etwa durch das Standardkörpergewicht bestimmt.)

Schätzung des Gesamtenergieumsatzes bei Gesunden

Die nahrungsinduzierte Thermogenese kann grob als 10% des aus den anderen Komponenten geschätzten Energieumsatzes berechnet werden. Bei Gesunden ist somit die physikalische Aktivität der entscheidende Parameter, der determiniert, wie weit der Gesamtenergieumsatz vom Ruheumsatz abweicht.

Wird der Gesamtenergieumsatz nicht gemessen, muss das Ausmaß der körperlichen Aktivität entsprechend der Berufs- und Freizeitaktivitäten geschätzt werden; hierfür stehen entsprechende Tabellen zur Verfügung [5].

Da der Grundumsatz bei dieser Schätzung die Basisgröße darstellt, wird der Tagesgesamtenergieumsatz häufig in Prozent des Grundumsatzes oder als Multiplikator desselben angegeben.

Da dieser Faktor im Wesentlichen von der physikalischen Aktivität abhängt, wird er auch als „physical activity level“ (PAL) bezeichnet. So betrug z.B. in einer englischen Untersuchung der Gesamtenergieumsatz von gesunden Frauen, die keine schwere körperliche Arbeit ausübten, im Mittel 138% des Grundumsatzes bzw. der PAL 1,38.

Energieumsatz bei Kranken



Komponenten des Energieumsatzes bei Kranken

- Der Gesamtenergieumsatz von Kranken liegt in der Regel nur 0–7% über dem Grundumsatz (I).

Kommentar

Die meisten, häufig bettlägerigen Kranken üben in der Regel nur eine geringe körperliche Aktivität aus, sodass dieser Komponente in der Bestimmung des Gesamtenergieumsatzes keine wesentliche Rolle zukommt (eine Ausnahme sind Kranke mit einem intensiven Rehabilitationsprogramm). Auch die nahrungsinduzierte Thermogenese ist z.B. bei der parenteralen Zufuhr von Aminosäuren oder bei einer molekular definierten Sondenkost deutlich geringer als bei der oralen Zufuhr von Proteinen. Aus diesem Grund liegt bei vielen Kranken der Gesamtenergieumsatz nur geringfügig über dem Grundumsatz.

Mehrere Untersuchungen, die das Verhältnis von Gesamtenergieumsatz zu Grundumsatz bei Intensivpatienten untersucht haben, kamen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass der Gesamtenergieumsatz nur in einer Größenordnung von ± 0 bis maximal $+7\%$ vom Grundumsatz abweicht [6–10]. Im Gegensatz hierzu fand eine andere Arbeitsgruppe in mehreren Untersuchungen Abweichungen von bis zu $+80\%$ [11–13]. Allerdings wurde bei diesen Untersuchungen – anders als bei den oben genannten – der Gesamtenergieumsatz nicht gemessen, sondern über die Energiezufuhr und die Energiebilanz, d.h. in diesem Fall die Zu- oder Abnahme einzelner Körperkompartimente, berechnet.

Entscheidend für den Energieumsatz von Kranken ist aber, dass einige Erkrankungen durch die vermehrte oder verminderte Freisetzung von Hormonen und Zytokinen metabolische Veränderungen induzieren und dadurch sowohl eine Steigerung als auch eine Absenkung des Grundumsatzes bewirken können.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass auch starke Schmerzen oder psychische Alterationen und nicht zuletzt auch Kältezittern bei Fieber zu einer Steigerung des Energieumsatzes führen können.

Da bei kritisch Kranken die übliche zirkadiane Schwankung des Grundumsatzes aufgehoben ist, kann bei diesen Patienten bereits durch eine einmalige 20–30-minütige dauernde Bestimmung des Energieumsatzes zu einer beliebigen Tageszeit eine valide Aussage über den Tagesgesamtenergieumsatz gemacht werden.

Der Vergleich des so ermittelten Ruheenergieumsatzes mit dem oben beschriebenen Standardgrundumsatz einer gesunden Person gleichen Gewichtes, gleicher Länge und gleichen Geschlechts und Alters erlaubt, die durch die Erkrankung induzierte Veränderung des Energieumsatzes zu erkennen.

Krankheitsbedingte Veränderungen des Energieumsatzes

- Bei vielen Erkrankungen bleibt der Energieumsatz im Bereich des Standardgrundumsatzes (I).

- Einige Erkrankungen – vor allem Sepsis, Trauma und Verbrennungen – führen zu einer klinisch relevanten Steigerung des Ruheenergieumsatzes von 40–80% (1).

Kommentar

Nicht alle Erkrankungen führen zu einer Veränderung des Energieumsatzes. Beim überwiegenden Teil der Erkrankungen aus dem Bereich der Akutmedizin – einschließlich elektiver Operationen – wurden Energieumsätze gemessen, die in einem Bereich von $\pm 10\%$ im Verhältnis zum Standardgrundumsatz lagen [14–16]. Da diese Abweichungen im Bereich der Schätzbreite liegen, kann für die Schätzung des Grundumsatzes dieser Patienten eine der Formeln des Standard-Grundumsatzes, z.B. nach Harris und Benedict, angewandt werden. Die Differenz zum tatsächlichen Energieumsatz ist bei diesen Patienten – zumindest für die kurzfristige – Ernährungstherapie ohne klinische Bedeutung.

Der Gesamtenergieumsatz kann dann geschätzt werden als Grundumsatz $\times 1,0$ – $1,2$, je nach Mobilisation und körperlicher Aktivität.

Bei einigen Erkrankungen kommt es allerdings zu einer klinisch relevanten Veränderung des Energieumsatzes. Hierzu gehören vor allen Dingen – neben Erkrankungen aus dem endokrinen Bereich wie Hypo- oder Hyperthyreose – die drei Krankheitsgruppen Sepsis, Trauma und Verbrennungen, die eine signifikante Steigerung des Energieumsatzes in einem Bereich von 40–80% oder mehr bewirken können [14–16].

Anders als der überwiegend von anthropometrischen Daten abhängige Grundumsatz sind diese krankheitsbedingten Veränderungen des Energieumsatzes deutlich schwerer zu schätzen, da sie sowohl vom Schweregrad der Erkrankung als auch vom zeitlichen Verlauf derselben abhängen. So wurde eine Vielzahl von Untersuchungen veröffentlicht, die zeigen, dass es bei schwer kranken Patienten zu erheblichen Unterschieden zwischen dem geschätzten und dem gemessenen Energieumsatz kommen kann und dass das Verhältnis der beiden Werte sich sehr kurzfristig ändern kann.

Zeitliche Variabilität im Krankheitsverlauf

- Die Steigerung des Energieumsatzes bei kritisch Kranken ist keine konstante, sondern eine dynamische Größe, die vom Verlauf und vom Schweregrad der Erkrankung abhängt. Eine fixe Formel sollte deswegen nicht angewandt werden (1).
- Eine klinische Verschlechterung im Sinne der Ausbildung eines Schocks, einer schweren Sepsis oder eines septischen Schocks geht mit einer relativen Abnahme des Energieumsatzes einher (1).

Kommentar

Die Problematik der Schätzung des Energieumsatzes kann an einer Arbeit verdeutlicht werden, in der die Vorhersagekraft von fünf unterschiedlichen Formeln anhand von Messungen des Energieumsatzes bei 47 Intensivpatienten untersucht wurde [4]. Die Autoren konnten zeigen, dass mithilfe einer bestimmten Formel der Energieumsatz bei 72% der untersuchten 130 Intensivpatienten mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$ geschätzt werden konnte. Sie kamen zu dem Schluss, dass diese Formel vier anderen vorzuziehen sei, die schlechtere Vorhersageergebnisse erbracht hatten. Undiskutiert blieb aber, dass die Untersuchung im Mittel am 19. Behandlungstag durchgeführt wurde und dass an anderen Tagen eine andere Formel vielleicht bessere Werte erzielt hätte.

Alle Untersuchungen, die bei kritisch Kranken den Energieumsatz sequenziell, d. h. an mehreren Tagen hintereinander, untersucht haben, kamen mit wenigen Ausnahmen zu dem Ergebnis, dass der Energieumsatz entweder von Tag zu Tag stark schwankt [15,17,18] oder von einem Spitzenwert kontinuierlich abfällt [19] oder – in den meisten Fällen – einen phasischen Verlauf mit einem Anstieg, einem Höhepunkt und dann langsamen Abfall hat [11–13,20–23].

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass es keine Formel geben kann, die für einen Patienten mit einer bestimmten Erkrankung den Energieumsatz für den gesamten Verlauf seiner Erkrankung vorhersagt. Für die Praxis erscheint es deshalb sinnvoller, davon auszugehen, dass es bei den meisten Patienten mit einer Sepsis, Trauma oder großen Operation zu einem kurvenförmigen Verlauf des Energieumsatzes kommt: Während der ersten Tage der Erkrankung steigt dieser kontinuierlich, erreicht dann – in der Regel zwischen dem 4. und dem 10. Tag einen Gipfel und fällt dann über Wochen bis Monate langsam wieder ab. Sowohl die Höhe der maximalen Steigerung, der Zeitpunkt des Gipfels als auch die Gesamtdauer der metabolischen Veränderung sind vom individuellen Krankheitsverlauf abhängig. In der Regel liegt der Gipfel zwischen 40% und 80% über dem normalen Grundumsatz.

Bei Verbrennungen hat zumindest eine Untersuchung [19] gezeigt, dass es zu einem sehr schnellen Anstieg des Energieumsatzes auf Werte bis zu 90% über dem normalen Grundumsatz kommen kann. Nach einem langsamen kontinuierlichen Abfall werden Normwerte erst nach über 100 Tagen erreicht.

Zusätzlich kompliziert wird die Schätzung des Energieumsatzes bei solchen Patienten dadurch, dass es im Rahmen einer Verschlechterung des Krankheitsbildes zu einem Rückgang des Energieumsatzes kommen kann [24,25]. Entwickelt sich aus der Sepsis eine schwere Sepsis oder ein septischer Schock, kommt es nicht zu einer weiteren Steigerung des Energieumsatzes, sondern eher zu einem relativen Abfall desselben, sodass dieser nur noch geringfügig über (20%) oder im Bereich des Ruheenergieumsatzes eines Gesunden liegt.

Wird unter diesen Bedingungen der Energieumsatz nicht gemessen, muss von der einfachen Regel ausgegangen werden, dass bei einer klinischen Verschlechterung des Patienten und der Entwicklung eines Multiorganversagens und/oder eines Schocks der Energieumsatz nur noch gering über oder im Bereich des normalen Grundumsatzes liegt.

Bestimmung der Energiezufuhr in Abhängigkeit vom Gesamtenergieumsatz



Energieumsatz und -zufuhr

- Der aktuelle gemessene oder geschätzte Energieumsatz muss nicht automatisch auch die Zielvorgabe für die Energiezufuhr sein (C).

Kommentar

Eine Energiezufuhr, die der umgesetzten Energie entspricht (isokalorische Ernährung), führt zu einer ausgeglichenen Energiebalance und einer Erhaltung des Status quo. Eine Energiezufuhr unter dem Energieumsatz (hypokalorische Ernährung, Underfeeding) führt zwangsläufig zu einem Verlust an körpereigenen Ressourcen und einer damit verbundenen Gewichtsabnahme – gewollt bei einer Reduktionsdiät. Eine über dem aktuellen Energieumsatz liegende Energiezufuhr (hyperkalorische Ernährung,

Hyperalimentation) ist z. B. angezeigt, wenn ein vorhergehender Zustand der Mangelernährung wieder kompensiert und ausgeglichen werden soll.

Im Normalfall wird davon ausgegangen, dass die Energiezufuhr dem aktuellen Energieumsatz entsprechen soll, um eine Stabilität des „milieu interne“ zu bewahren. Auch bei Patienten – und gerade auch bei Intensivpatienten – wurde lange Zeit davon ausgegangen, dass der geschätzte oder gemessene Energieumsatz automatisch auch die Richtgröße für die Energiezufuhr sei. Dies muss aber nicht unbedingt der Fall sein; das Verhältnis von Energiezufuhr und Energieumsatz sollte vielmehr eine bewusste therapeutische Entscheidung sein, die vom jeweiligen Ziel der Ernährungstherapie abhängt.

Bestimmung der Energiezufuhr

- Überwiegend immobile Patienten, deren Erkrankung zu keiner relevanten Veränderung des Ruheenergieumsatzes führt und die keine Zeichen der Mangelernährung aufweisen, sollten zunächst eine Energiezufuhr erhalten, die dem 1fachen des aktuell gemessenen oder geschätzten Ruheenergieumsatzes entspricht. Die Energiezufuhr kann je nach Toleranz auf das 1,2fache des Grundumsatzes gesteigert werden (C).

Kommentar

Die Ernährung solcher Patienten entspricht damit der Ernährung Gesunder; die isokalorische Ernährung bewirkt die Erhaltung der körpereigenen Ressourcen. Da in Bezug auf diese Fragestellung bisher keine kontrollierten Studien durchgeführt wurden – deren Sinn allerdings auch nicht nachzuvollziehen wäre –, kann diese Empfehlung allerdings nur als Expertenmeinung (C) gewertet werden.

Energiezufuhr bei Mangelernährung

- Überwiegend immobile Patienten in einem Zustand nach Mangelernährung sollten eine Energiezufuhr erhalten, die nach schrittweiser Steigerung dem 1,1 – 1,3fachen des aktuellen Ruheenergieumsatzes entspricht (C). Allerdings sollte dieser Wert erst über einen längeren Zeitraum angestrebt werden.

Kommentar

Bei mangelernährten Patienten müssen die zuvor verlorenen endogenen Ressourcen wieder aufgefüllt werden. Aus diesem Grund muss die Energiezufuhr über dem aktuellen Energieumsatz liegen. Um ein Refeeding-Syndrom zu vermeiden (s. Kapitel „Komplikationen und Monitoring“), sollte die Energiezufuhr jedoch nur langsam aus dem Bereich des aktuellen Energieumsatzes über diesen hinaus gesteigert werden. Für die Akutmedizin ergibt sich hieraus, dass auch bei diesen Patienten die Energiezufuhr eher im Bereich des aktuellen Ruheenergieumsatzes liegen sollte.

Energiezufuhr bei kritisch Kranken



Bestimmung der Energiezufuhr

- Eine Hyperalimentation sollte bei kritisch Kranken im Akutstadium der Erkrankung nicht durchgeführt werden (A).

Kommentar

Die Ernährungstherapie kritisch kranker Patienten wurde lange beherrscht von der Idee der Hyperalimentation, d. h. einer pa-

renteralen Energiezufuhr von 40–60 kcal/kg/Tag, die damit noch 50–100% über dem erhöhten Energieumsatz lag (bereits 33,5 kcal/kg/Tag entsprechen einer Energiezufuhr, die 50% über dem normalen Grundumsatz liegt). Ziel einer solchen Hyperalimentation war, eine positive Stickstoffbilanz zu erzielen.

Bis heute wurden keine kontrollierten klinischen Studien durchgeführt, in denen eine solche Hyperalimentation mit einem Ernährungsregime mit einer geringeren Energiezufuhr verglichen wurde. Viele Studien aber, in denen eine solche parenterale Hyperalimentation mit reiner Flüssigkeitszufuhr oder einer enteralen Ernährung verglichen wurde, haben keine Vorteile oder sogar Nachteile derselben gezeigt. In einer Metaanalyse, in der 27 Studien zur PE ausgewertet wurden, fand sich in einer Untergruppenanalyse bei kritisch kranken Patienten unter einer PE sogar eine Tendenz zu einer höheren Mortalität (Risk Ratio 1,78, 95%-Konfidenzintervall 1,11 – 2,85) [26]. Dieses negative Ergebnis dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit auch mit darauf zurückzuführen sein, dass in vielen dieser Studien eine solche Hyperalimentation durchgeführt wurde.

Da die großen Energiemengen zum überwiegenden Teil als Glukose infundiert wurden, war eine der wesentlichen Folgen eines solchen Infusionsregimes eine ausgeprägte und dauerhafte Hyperglykämie, die auch durch große Mengen Insulin nicht beeinflusst werden konnte. Da heute die negativen Auswirkungen der Hyperglykämie auf das Immunsystem und das Überleben kritisch kranker Patienten als bewiesen angesehen werden können [27] (I) und in Anbetracht der negativen Ergebnisse der Metaanalyse [26] kommt die Expertengruppe zu der Empfehlung, dass eine Hyperalimentation bei kritisch kranken Patienten nicht mehr durchgeführt werden soll.

Energiezufuhr im Akutstadium

- Bei kritisch Kranken sollte im Akutstadium die zugeführte Energie im Bereich des aktuellen Gesamtenergieumsatzes oder sogar leicht darunter liegen (B).
- Bei kritisch Kranken, die das Akutstadium überwunden haben, sollte die Energiezufuhr schrittweise auf das 1,2fache (bei gleichzeitiger Mangelernährung bis 1,5fach) des aktuellen Energieumsatzes gesteigert werden (C).

Kommentar

Tierversuche, die ebenfalls die negativen Folgen einer Hyperalimentation aufzeigen konnten, haben andererseits ergeben, dass z. B. bei einer experimentellen Sepsis die Zufuhr einer nur geringen Energiemenge sogar mit einer Verbesserung der Überlebensraten verbunden war [28, 29].

Zu einem solchen hypokalorischen Konzept bei kritisch kranken Patienten liegen bisher keine kontrollierten klinischen Studien vor. Eine unkontrollierte Beobachtungsstudie [30] an Patienten, die mehr als 4 Tage auf der Intensivstation behandelt wurden, hat allerdings ergeben, dass Patienten, die kumulativ nur 33–65% der angestrebten Energiemenge von 25 kcal/kg KG/Tag bzw. 27,5 kcal/kg KG/Tag bei SIRS erhalten hatten, eine signifikant höhere Chance hatten, lebend aus dem Krankenhaus entlassen zu werden (Odds Ratio 1,22; 95%-Konfidenzintervall 1,15 – 1,29). An einer größeren Untergruppe dieser Patienten konnte gezeigt werden, dass bereits die Zufuhr von 25% der angestrebten Energiemenge ausreicht, um die Zahl positiver Blutkulturen signifikant zu verringern [31].

Aufgrund dieser Daten kommt die Expertenkommission zu dem Schluss, dass die Energiezufuhr bei kritisch Kranken im Akutstadium der Erkrankung maximal im Bereich des aktuellen Ener-

gieumsatzes liegen sollte. In der Initialphase sollte mit einer Energiezufuhr begonnen werden, die sogar unter dem aktuellen Energieumsatz liegt, und diese dann langsam über Tage gesteigert werden und an den aktuellen Energieumsatz angeglichen werden.

Nach dem Erreichen des Maximums der Steigerung des Energieumsatzes fällt dieser allmählich über einen langen Zeitraum wieder ab. Die Patienten wechseln jetzt in das Stadium der anabolen Flowphase, in dem der Energiebedarf wieder über eine externe Zufuhr gedeckt werden kann. Da die Patienten sich aufgrund der vorhergehenden katabolen Stoffwechsellage in einem Zustand ähnlich der Mangelernährung befinden, sollten jetzt durch eine vermehrte Energie- und Substratzufuhr die verlorenen Ressourcen wieder aufgefüllt und die anabole Tendenz verstärkt werden.

Kontrollierte Studien hierzu liegen nicht vor, die Empfehlung entspricht einer Expertenmeinung (C).

Literatur

- Müller MJ, Selberg O, Süttmann U, Weimann A, Kruse ER. Schätzung und Messung des Energieverbrauchs: Methoden und Stellenwert in der klinischen Diagnostik. *Intensivmed* 1992; 29: 411–426
- Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Carnegie Institution of Washington, Publication No 279, 1919
- Müller MJ, Bopsy-Westphal A, Klaus S et al. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr* 2004; 80: 1379–1390
- Frankenfield DC, Rowe WA, Smith JS, Cooney RN. Validation of several established equations for resting metabolic rate in obese and non-obese people. *J Am Diet Assoc* 2003; 103: 1152–1159
- Shetty PS, Henry CJ, Black AE, Prentice AM. Energy requirements of adults: an update on basal metabolic rates (BMRs) and physical activity levels (PALs). *Eur J Clin Nutr* 1996; 50, Suppl 1: S11–S23
- Behrendt W, Surmann M, Raumanns J, Giani G. How reliable are short-term measurements of oxygen uptake in polytraumatized and long-term ventilated patients? *Infusionsther Transfusionsmed* 1991; 18: 20–24
- Frankenfield DC, Wiles CE III, Bagley S, Siegel JH. Relationships between resting and total energy expenditure in injured and septic patients. *Crit Care Med* 1994; 22: 1796–1804
- Smyrniotis NA, Curley FJ, Shaker KG. Accuracy of 30-minute indirect calorimetry studies in predicting 24-hour energy expenditure in mechanically ventilated, critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 1997; 21: 168–174
- Swinamer DL, Phang PT, Jones RL, Grace M, King EG. Twenty-four hour energy expenditure in critically ill patients. *Crit Care Med* 1987; 15: 637–643
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest* 1986; 89: 254–259
- Monk DN, Plank LD, Franch-Arcas G, Finn PJ, Streat SJ, Hill GL. Sequential changes in the metabolic response in critically injured patients during the first 25 days after blunt trauma. *Ann Surg* 1996; 223: 395–405
- Plank LD, Connolly AB, Hill GL. Sequential changes in the metabolic response in severely septic patients during the first 23 days after the onset of peritonitis. *Ann Surg* 1998; 228: 146–158
- Uehara M, Plank LD, Hill GL. Components of energy expenditure in patients with severe sepsis and major trauma: a basis for clinical care. *Crit Care Med* 1999; 27: 1295–1302
- Adolph M, Eckart J. Der Energiebedarf operierter, verletzter und septischer Patienten. *Infusionsther Transfusionsmed* 1990; 17: 5–16
- Behrendt W, Kuhlen R. Der Energieverbrauch des kritisch-kranken Patienten. *Intensiv- und Notfallbehandlung* 2000; 25: 20–24
- Chiolero R, Revelly JP, Tappy L. Energy metabolism in sepsis and injury. *Nutrition* 1997; 13: 455–515
- Klerk G de, Hop WC, Hoog M de, Joosten KF. Serial measurements of energy expenditure in critically ill children: useful in optimizing nutritional therapy? *Intensive Care Med* 2002; 28: 1781–1785
- Khorram-Sefat R, Behrendt W, Heiden A, Hettich R. Long-term measurements of energy expenditure in severe burn injury. *World J Surg* 1999; 23: 115–122
- Milner EA, Cioffi WG, Mason AD, McManus WF, Pruitt BA Jr. A longitudinal study of resting energy expenditure in thermally injured patients. *J Trauma* 1994; 37: 167–170
- Ishibashi N, Plank LD, Sando K, Hill GL. Optimal protein requirements during the first 2 weeks after the onset of critical illness. *Crit Care Med* 1998; 26: 1529–1535
- Long CL, Schaffel N, Geiger JW, Schiller WR, Blakemore WS. Metabolic response to injury and illness: estimation of energy and protein needs from indirect calorimetry and nitrogen balance. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 1979; 3: 452–456
- Plank LD, Hill GL. Sequential metabolic changes following induction of systemic inflammatory response in patients with severe sepsis or major blunt trauma. *World J Surg* 2000; 24: 630–638
- Plank LD, Metzger DJ, McCall JL et al. Sequential changes in the metabolic response to orthotopic liver transplantation during the first year after surgery. *Ann Surg* 2001; 234: 245–255
- Forsberg E, Soop M, Thorne A. Energy expenditure and outcome in patients with multiple organ failure following abdominal surgery. *Intensive Care Med* 1991; 17: 403–409
- Kreymann G, Grosser S, Buggisch P, Gottschall C, Matthaei S, Greten H. Oxygen consumption and resting metabolic rate in sepsis, sepsis syndrome, and septic shock. *Crit Care Med* 1993; 21: 1012–1019
- Heyland DK, MacDonald S, Keefe L, Drover JW. Total parenteral nutrition in the critically ill patient: a meta-analysis. *JAMA* 1998; 280: 2013–2019
- Berghe G van den, Wouters P, Weekers F et al. Intensive insulin therapy in the critically ill patients. *N Engl J Med* 2001; 345: 1359–1367
- Alexander JW, Gonce SJ, Miskell PW, Peck MD, Sax H. A new model for studying nutrition in peritonitis. The adverse effect of overfeeding. *Ann Surg* 1989; 209: 334–340
- Peck MD, Alexander JW, Gonce SJ, Miskell PW. Low protein diets improve survival from peritonitis in guinea pigs. *Ann Surg* 1989; 209: 448–454
- Krishnan JA, Parce PB, Martinez A, Diette GB, Brower RG. Caloric intake in medical ICU patients: consistency of care with guidelines and relationship to clinical outcomes. *Chest* 2003; 124: 297–305
- Rubinson L, Diette GB, Song X, Brower RG, Krishnan JA. Low caloric intake is associated with nosocomial bloodstream infections in patients in the medical intensive care unit. *Crit Care Med* 2004; 32: 350–357