

mysafety insight

Monitorowanie metabolizmu

Informacje i zastosowanie kliniczne

Znaczenie właściwego wsparcia żywieniowego

Wpływ sposobu odżywiania na wyniki badań klinicznych

Coraz częściej docenia się znaczenie terapii żywieniowej w leczeniu poważnie chorych pacjentów. Przekarmienie lub niedożywienie mogą być powiązane z zakażeniem, wydłużonym czasem hospitalizacji i trwania wentylacji mechanicznej oraz ze zwiększoną śmiertelnością^{1,2,3}. Ponadto, niedożywienie może prowadzić do utraty siły mięśni i odleżyn, natomiast przekarmienie może skutkować hiperglikemią, hiperlipidemią, hiperkapnią, a także nasileniem się niewydolności oddechowej (rys. 1)⁴.

W związku z tym zapewnienie właściwego wsparcia żywieniowego stanowi proaktywną strategię terapeutyczną przyczyniającą się do zmniejszania dotkliwości choroby, ograniczania powikłań, skracania czasu pobytu na oddziale intensywnej opieki i znacznej poprawy stanu zdrowia pacjentów⁵. Z badań wynika, że prawidłowa interwencja żywieniowa ma pozytywny wpływ na podlegające obiektywnej ocenie wyniki kliniczne^{6,7,8}.

Na pierwszym etapie dokonywany jest dokładny pomiar zapotrzebowania energetycznego pacjenta, co pomaga uniknąć przekarmienia i niedożywienia.



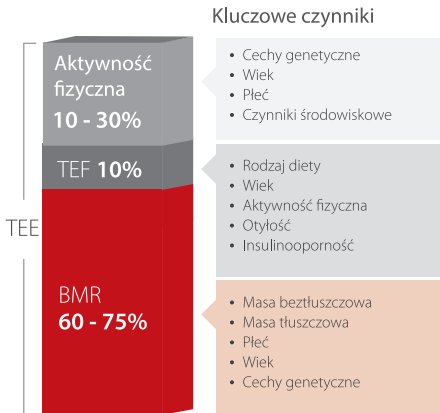
Trudna ocena zapotrzebowania żywieniowego

Określenie dokładnego zapotrzebowania energetycznego u poważnie chorych pacjentów może być trudne. Wiele czynników, takich jak stopień postępu choroby i plany terapeutyczne, mogą wpływać na metabolizm pacjenta, a co za tym idzie również na wydatek energetyczny (EE).

Elementy składowe dziennego wydatku energetycznego

Całkowity dzienny wydatek energetyczny (Total Energy Expenditure, TEE) pacjenta składa się ze wskaźnika podstawowego tempa metabolizmu (Basal Metabolic Rate, BMR) wynoszącego u zdrowych osób w przybliżeniu 60-75% TEE, a u poważnie chorych pacjentów 75-100% TEE,

termicznego efektu pożywienia (Thermic Effect of Food, TEF), stanowiącego około 10% całkowitego wydatku energetycznego), aktywności fizycznej (Active Energy Expenditure, AEE) (rysunek 2), jak również w przypadku osób chorych, związanych z chorobą procesów (w tym procesów leczenia), potrzebnych do uaktywnienia funkcji obronnych organizmu^{9,10,11,12}.



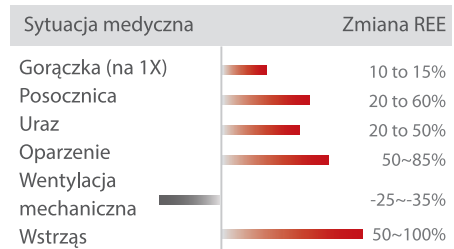
Rysunek 2. Składowe całkowitego dziennego wydatku energetycznego¹³

W praktyce klinicznej, spoczynkowy wydatek energetyczny (REE) jest często stosowany zamiennie ze wskaźnikiem BMR. BMR to minimalna ilość kalorii wymagana dla realizacji podstawowych funkcji w stanie spoczynku, natomiast REE to ilość kalorii spalana przez organizm w stanie spoczynku. Pomimo małej różnicy pomiędzy wskaźnikami BMR i REE, ten ostatni może być dokładnym oszacowaniem pierwszego¹⁴. Ilość beztłuszczowej masy ciała ma największe znaczenie w określaniu współczynnika REE, jednak również inne czynniki (takie jak wiek, płeć, temperatura, stan gruczołu tarczowego, zapalenie ogólnoustrojowe, proces choroby, zabiegi kliniczne) mają na niego wpływ.

REE stanowi odniesienie do zapotrzebowania żywieniowego

Dzienny całkowity wydatek energetyczny zdrowej osoby stanowi ważną informację w planowaniu terapii żywieniowej. Zazwyczaj jest określany poprzez pomiar REE z wykorzystaniem kalorymetrii pośredniej lub oszacowanie przy użyciu równania, takiego jak równanie Harrisa-Benedicta¹⁵. Inne składowe współczynnika TEE, takie jak efekt termiczny żywności i energia zużyta podczas aktywności fizycznej są szacowane w późniejszym czasie. W warunkach intensywnej opieki medycznej, współczynnik TEE pacjenta jest zazwyczaj wyższy od współczynnika REE jedynie o 0-7% (nie różnią się od siebie znacząco) ze względu na małą aktywność fizyczną i niski efekt termiczny żywności¹⁶.

Opracowano ponad 200 równań do szacowania wartości współczynnika REE dla przypadków poważnie chorych pacjentów. Z reguły, równania te, jak na przykład równanie Harrisa-Benedicta, opierają się na masie, wzroście, wieku i płci. Czynniki, takie jak sepsa, urazy i oparzenia mogą spowodować istotny z klinicznego punktu widzenia wzrost współczynnika REE (rysunek 3)¹⁷. Pomimo tego, że w niektórych równaniach pod uwagę brane są dodatkowe czynniki, jak na przykład wentylacja pacjenta, wielomiejscowe urazy i [parzenia lub nadwaga, w wielu badaniach wykazano, że w przypadku poważnie chorych pacjentów owe równania okazują się mało dokładne, prowadząc do nietrafnego oszacowania wymaganego zapotrzebowania energetycznego^{18,19}.



Rysunek 3. Czynniki wpływające na współczynnik REE u poważnie chorych pacjentów

W przeciwieństwie do równań predykcyjnych, kalorymetria pośrednia (IC) umożliwia zapewnienie bardziej zindywidualizowanej oceny współczynnika REE. Kalorymetria pośrednia to dyscyplina nauki powiązana z analizą procesu przemiany materii, która umożliwia pomiar wydatku energetycznego i współczynnika oddechowego. IC stanowi złoty środek do określania zapotrzebowania energetycznego poważnie chorych pacjentów, a jej stosowanie zaleca European Society for Parenteral and Enteral Nutrition (ESPEN, pl. Europejskie Towarzystwo Żywienia Pozajelitowego i Jelitowego) oraz American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (ASPEN, pl. Amerykańskie Towarzystwo Żywienia Pozajelitowego i Jelitowego)^{5,20,21,22}.

Kalorymetria pośrednia

Metoda stosowania kalorymetrii pośredniej opiera się na spalaniu przez organizm ludzki dostępnego paliwa (węglowodanów, tłuszczu i białka) z wykorzystaniem tlenu i wytwarzaniu dwutlenku węgla, wody, azotu i ciepła (rysunek 4)^{23,24}. W warunkach stanu stabilnego, wymiana gazów oddechowych jest równoważna wymianie gazowej w mitochondriach, zapewniając tym samym pośredni pomiar fosforylacji oksydacyjnej. Wymiana gazów oddechowych może być zatem szacowana jako substytut substratów spożytych i wytworzonych w procesie metabolizmu, jak również wygenerowanego ciepła.

Substrat	Objętość gazów równoważna 1g substratu (l)			Wartość energetyczna na (kJ/g)
	O ₂	CO ₂	RQ	
Węglowodany	0.829	0.829	1.0	16
Tłuszcz	2.016	1.427	0.707	37
Białko	0.966	0.782	0.809	17

Kalorymetria pośrednia umożliwia obliczenie spoczynkowego wydatku energetycznego poprzez pomiar ciągłego zużycia tlenu (VO₂) i wytwarzania dwutlenku węgla (VCO₂), do czego najczęściej stosowany jest wzór Weira (rysunek 5)²⁵⁻²⁶. Ponieważ udział utleniania białka w całkowitym wydatku energetycznym jest znikomy, a azot wytworzony z utleniania białka jest czasem brany pod uwagę, to jego pominięcie nie prowadzi do znaczących błędów oszacowanego wydatku energii²⁷.

$$EE = (3.94 \times MVO_2 + 1.106 \times MVCO_2) \times 1.44 - 2.17 \times UN$$

$$RQ = MVCO_2 / MVO_2$$

$$MVO_2 = MV_{wdech.} \times FiO_2 - MV_{wydech.} \times FeO_2$$

$$MVCO_2 = MV_{wdech.} \times FiCO_2 - MV_{wydech.} \times FeCO_2$$

EE: kCal/dzień; MVCO₂, MVO₂: mL/min UN: oszacowane wydzielenie azotu z moczem, 1 3g/24 godz.

Rys. 5. Równania służące do obliczenia wartości EE i RQ



Kalorymetria pośrednia

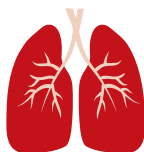
Pomiar i analiza gazów oddechowych

VO₂

Zużyty tlen

VCO₂

Wytworzony dwutlenek węgla

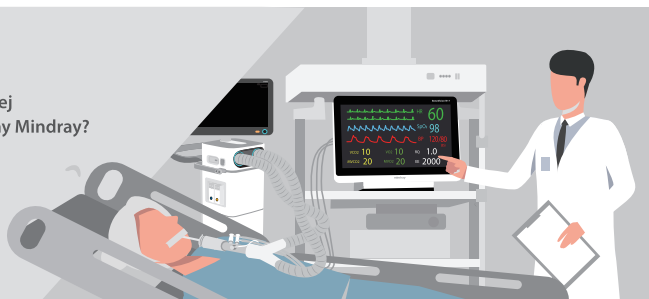


Rysunek 4. Zasada procesu przemiany materii w uproszczonej formie i technika kalorymetrii pośredniej

Kalorymetria pośrednia zapewnia dwie informacje: dzienny wydatek energetyczny lub zapotrzebowanie ciepłe odzwierciedlone przez wydatek energetyczny (EE) i wykorzystanie substratu odzwierciedlonego przez współczynnik oddechowy (RQ) (rys. 5). Wartość EE wspomaga lekarzy w określaniu wymaganych zaleceń żywieniowych, natomiast zmiana współczynnika RQ w odpowiedzi na schemat karmienia może być stosowana do weryfikowania podjętych decyzji dotyczących żywienia.

Zindywidualizowane rozwiązania stosowane w monitorowaniu metabolizmu

W jaki sposób wykonywany jest pomiar wymiany gazowej na monitorach pacjenta firmy Mindray?



W przyłóżkowych monitorach pacjenta firmy Mindray stosowana jest technologia kalorymetrii pośredniej, oferująca możliwość obliczania parametrów przemiany materii u wentylowanych pacjentów. W tym celu próbki gazu z układu wentylatora mechanicznego pacjenta są analizowane na modułowych analizatorach monitora pacjenta. Pomiar wymiany gazowej jest rejestrowany na analizatorze gazowym (moduł do pobierania i analizowania próbki gazu) oraz na analizatorze mechaniki oddechowej (moduł RM).

Analiza gazu może być przeprowadzana w trybie pomiaru strumienia bocznego EtCO₂ z O₂ lub gazu znieczulającego (AG) przy użyciu modułu do pomiaru O₂ z wykorzystaniem czujnika paramagnetycznego O₂ i analizatora CO₂ na podczerwień. Moduł mechaniki oddechowej zapewnia pomiar pełnego zestawu parametrów mechaniki oddechowej, wraz z objętością przepływu.

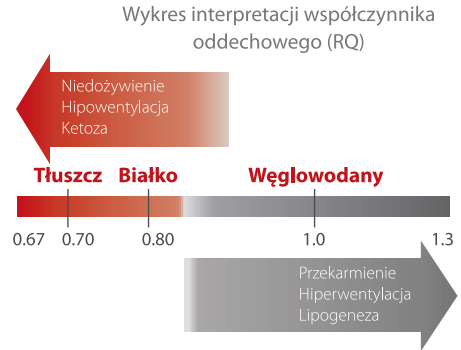
Parametry oraz interpretacja

Volumetric parameters	
VCO ₂ (ml)	Wytwarzanie CO ₂ na jeden oddech
VO ₂ (ml)	Zużycie O ₂ na jeden oddech
MVCO ₂ (ml/min)	Wytwarzanie CO ₂ na minutę
MVO ₂ (ml/min)	Zużycie O ₂ na minutę
Wytwarzanie CO₂:	Ilość wydychanego CO ₂ pomniejszona o ilość wdychanego CO ₂
Zużycie O₂:	Ilość wdychanego O ₂ pomniejszona o ilość wydychanego O ₂

Parametry metaboliczne	
RQ	Współczynnik oddechowy
Substancja	RQ
Węglowodany	1
Białko	0.8-0.9
Tłuszcz	0.7
Kwas jabłkowy	1.3
EE (kCal/dzień)	Wydatek energetyczny

- **Wydatek energetyczny (EE):** Reprezentuje spoczynkowy wydatek energetyczny mierzony w warunkach spoczynkowych. Wspomaga lekarzy w określaniu zapotrzebowania energetycznego poważnie chorych pacjentów.
- **Współczynnik oddechowy (RQ):** Oznacza stosunek pomiędzy wytworzonym dwutlenkiem węgla a tlenem zużytym przez organizm, wskazując na wykorzystanie substratów przez pacjenta w stanie spoczynku.

Zazwyczaj zakres współczynnika oddechowego wynosi od 0,7 do 1,0. Wartość 0,7 wskazuje na zużycie wyłącznie lipidów, natomiast współczynnik 1,0 wyłącznie węglowodanów. Substraty o różnej energii z tłuszczów, białek i węglowodanów zazwyczaj generują współczynnik oddechowy wynoszący 0,85. Niedożywienie sprzyjające zużyciu zapasów tłuszczów endogennych powinno powodować obniżenie współczynnika RQ, natomiast przekarmienie prowadzące do lipogenezy powinno prowadzić do jego wzrostu (rysunek 6). Znaczący wzrost wartości VCO_2 (z dalszym wzrostem współczynnika RQ) w odpowiedzi na przekarmienie może spowodować zaburzenia oddychania u pacjentów mających ograniczoną rezerwę oddechową. Zatem zmiany współczynnika oddechowego w odpowiedzi na schemat karmienia mogą wskazywać nieodpowiednie żywienie i służyć jako znacznik nietolerancji występującej u pacjenta²⁸.



Rysunek 6. Współczynniki wpływające na REE u poważnie chorych pacjentów

Wartość kliniczna i praktyczne zalecenia



Wartość kliniczna

- Regulowanie metabolizmu pacjenta
- Ocena sposobu żywienia
- Wspomaganie decyzji dotyczących leczenia (wentylacja, natlenienie i odżywianie)
- Wspomaganie procesu powrotu do zdrowia



Zalecenia dotyczące ulepszania pomiarów²⁹

- Gromadzenie danych w spokojnym i neutralnym termicznie środowisku
- Upewnienie się, że pacjent znajduje się w położeniu na plecach > 30 min przed badaniem
- Upewnienie się, że natężenie i skład wlewów substancji odżywczych podawanych w sposób ciągły są niezmiennie przez co najmniej 12 godzin przed badaniem
- Pacjenci karmieni w sposób przerywany powinni zostać zbadani po około 1 godzinie po karmieniu, aby wyłączyć termogenezę do obliczeń współczynnika REE lub 4 godziny po karmieniu, aby ją z nich wyłączyć.



Czynniki, które mogą mieć wpływ na wyniki²⁹

- Wentylacja mechaniczna z $FIO_2 > 60\%$
- Wentylacja mechaniczna z $PEEP > 12$ cm H₂O
- Zmiany FIO_2 w trakcie pomiaru
- Przekiek w systemie do pobierania próbek
- Hiper/hipowentylacja zmieniająca rezerwy CO₂ organizmu
- Wilgoć w systemie mogąca mieć wpływ na analizator O₂

Technologia monitorowania metabolizmu firmy Mindray zapewnia najwyższe normy nieprzerwanego określania wydatku energetycznego poważnie chorych pacjentów. Modułowa konstrukcja umożliwia szybką konfigurację na monitorze przyłóżkowym, a jej integracja wygodny dostęp do błyskawicznego rozpoznania hemodynamicznych i oddechowych parametrów pacjenta.

Piśmiennictwo:

1. Dvir, D., Cohen, J. & Singer, P., 2006. Computerized energy balance and complications in critically ill patients: An observational study. *Clinical Nutrition*, 25(1), pp.37–44.
2. Villet, S. et al., 2005. Negative impact of hypocaloric feeding and energy balance on clinical outcome in ICU patients. *Clinical Nutrition*, 24(4), pp.502–509.
3. Braunschweig, C.A. et al., 2015. Intensive Nutrition in Acute Lung Injury. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 39(1), pp.13–20.
4. Hiesmayr, M., 2012. Nutrition risk assessment in the ICU. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 15(2), pp.174–180.
5. McClave, S.A. et al., 2009. Guidelines for the Provision and Assessment of Nutrition Support Therapy in the Adult Critically Ill Patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.). *JPEN. Journal of parenteral and enteral nutrition*, 33(3), pp.277–316.
6. Stratton, R.J. et al., 2005. Enteral nutritional support in prevention and treatment of pressure ulcers: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 4(3), pp.422–450.
7. Lawson, R.M. et al., 2003. The effect of unselected post-operative nutritional supplementation on nutritional status and clinical outcome of orthopaedic patients. *Clinical Nutrition*, 22(1), pp.39–46.
8. Banks, M. et al., 2010. Malnutrition and pressure ulcer risk in adults in Australian health care facilities. *Nutrition*, 26(9), pp.896–901.
9. Geissler et al., 2017. *Human nutrition / edited by Catherine Geissler, Hilary Powers. Thirteenth.*
10. Walker, R.N. & Heuberger, R.A., 2009. Predictive equations for energy needs for the critically ill. *Respiratory care*, 54(4), pp.509–521.
11. Du et al., 2014. The Thermic Effect of Food is Reduced in Older Adults. 46(5), pp.365–369.
12. Demling, R.H., 2009. Nutrition, anabolism, and the wound healing process: an overview. *Eplasty*, 9, p.e9.
13. Lam, Y.Y. & Ravussin, E., 2016. Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Molecular Metabolism*, 5(11), pp.1057–1071.
14. Cuerda, C. et al., 2007. How accurate are predictive formulas calculating energy expenditure in adolescent patients with anorexia nervosa? *Clinical Nutrition*, 26(1), pp.100–106.
15. Harris, J.A. & Benedict, F.G., 1918. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4(12), pp.370–373.
16. Kreymann, G., Adolph, M. & Mueller, M.J., 2009. Energy expenditure and energy intake – Guidelines on Parenteral Nutrition, Chapter 3. *GMS German Medical Science*, 7, p.Doc25.
17. Chioloro, R., Revelly, J.-P. & Tappy, L., 1997. Energy metabolism in sepsis and injury. *Nutrition*, 13(9), pp.45–51.
18. Gupta, R. et al., 2017. Indirect calorimetry: From bench to bedside. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 21(4), pp.594–599.
19. Zusman, O. et al., 2019. Predictive equations versus measured energy expenditure by indirect calorimetry: A retrospective validation. *Clinical Nutrition*, 38(3), pp.1206–1210.
20. SINGER, P., & COHEN, J. D., 2003. Clinical Applications of Indirect Calorimetry in the Intensive Care Setting. *Intensive Care Medicine*, pp.912–919.
21. Schoeller, D.A., 2007. Making Indirect Calorimetry a Gold Standard for Predicting Energy Requirements for Institutionalized Patients. *Journal of the American Dietetic Association*, 107(3), pp.390–392.
22. Singer, P. et al., 2019. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clinical Nutrition*, 38(1), pp.48–79.
23. Macdonald, I., 1991. Energy metabolism, indirect calorimetry, and nutrition: By Bursztein, Elwyn, Askanazi and Kinney Williams & Wilkins 1989. *Clinical Nutrition*, 10(3), p.177.
24. Bender, D.A., 2014. *Introduction to Nutrition and Metabolism, Fifth Edition*, Bosa Roca: CRC Press LLC.
25. Bursztein S. et al., 1989. A mathematical analysis of indirect calorimetry measurements in acutely ill patients. *American Journal of Clinical Nutrition*, 50, pp.227–230.
26. Weir, J.B.D.B., 1949. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*, 109(1-2), pp.1–9.
27. Brandi, L.S. et al., 1992. Energy expenditure and gas exchange measurements in postoperative patients: Thermodilution versus indirect calorimetry. *Critical Care Medicine*, 20(9), pp.1273–1283.
28. McClave, S.A. et al., 2003. Clinical use of the respiratory quotient obtained from indirect calorimetry. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 27(1), pp.21–26.
29. Merritt R. et al, 2005. *The A.S.P.E.N Nutrition Support Practice Manual 2nd Edition*, pp.277–278.

healthcare within reach

KANAŁY MEDIÓW SPOŁECZNOŚCIOWYCH MINDRAY

LinkedIn



www.mindray.com

P/N: ENG-Metabolic Monitoring Clinical Information Leaflet-210285X8P-20200707
©2020 Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co.,Ltd. All rights reserved.

mindray
healthcare within reach