뇌손상 중환자의 에너지 요구량 비교: 간접열량측정기 vs 예측방정식

배은주^{1,4}, 강성숙², 김미연², 장진영³, 임현정⁴, 김태곤³

차의과학대학교 분당차병원 ¹영양집중지원팀, ²간호국, ³신경외과, ⁴경희대학교 동서의학대학원 의학영양학과

Comparison of Energy Requirements of Patients with Brain Injury of the Intensive Care Unit: Indirect Calorimetry vs. Predictive Equations

EunJoo Bae^{1,4}, SeongSuk Kang², MiYeon Kim², JinYoung Jang³, HyunJung Lim⁴, TaeGon Kim³

¹Nutrition Support Team, ²Department of Nursing, ³Department of Neurosurgery, CHA Bundang Medical Center, CHA University School of Medicine, Seongnam, ⁴Department of Medical Nutrition, Research Institute of Medical Nutrition, Kyung Hee University, Yongin, Korea

Purpose: The metabolic activity and demand usually increase in seriously ill patients, especially in patients with a brain injury (BI). These nutritional demands have been traditionally satisfied using predictive equations (PEs). Recently, indirect calorimetry (IC) has been used widely because it is more accurate than other methods. This study measured the energy expenditures (EE) using IC (GE, CARESCAPE B650, Helsinki, Finland) and calculated the PEs simultaneously in patients with BI.

Methods: This study was conducted on 55 patients with a BI for three years (2017.7~2020.8), who were mechanically ventilated within a hospital for $\leq$ seven days. The EE values using IC were measured once in each patient, and the EE values using PE were calculated using 5 PEs (ESPEN, Harris-Benedict, HB; Frankenfield, FK; Penn state, PS; and Faisy) at the same time. The 55 patients were divided into two groups, acute group (39 patients; $\leq$ 3 hospital days group, AG) and subacute group (16 patients; $>$ 3 hospital days group, SG) according to the time, and the values were obtained.

Results: There were no differences in the patient's characteristics between the two groups, including age, gender, severity of the condition (Simplified Acute Physiology Score II), and anthropometric parameters. In AG, the energy expenditure values using PEs were significantly lower than those using IC in the three PEs (IC $1,712.0 \pm 476$ kcal, ESPEN $1,558.6 \pm 324$ kcal, $P=0.038$, HB $1,582.4 \pm 273$ kcal, $P=0.037$, PS $1,530.8 \pm 340$ kcal, $P=0.005$). In SG, the EE value using PEs did not differ significantly from that using IC.

Conclusion: An accurate assessment of EE is critical for seriously ill patients. These results showed that the previously well-known PEs might not be correct, particularly in acute patients with BI. Therefore, it is recommended that the EE values be obtained using IC, at least in acute patients with BI.

Key Words: Indirect calorimetry, Energy expenditure, Brain injury

Received Dec 1, 2020; Revised Dec 23, 2020; Accepted Dec 23, 2020

Correspondence to TaeGon Kim <https://orcid.org/0000-0001-6258-6412>

Department of Neurosurgery, CHA Bundang Medical Center, CHA University School of Medicine, 59 Yatap-ro, Bundang-gu, Seongnam 13496, Korea
Tel: +82-31-780-5260, Fax: +82-31-780-5269, E-mail: tgkim@chamc.co.kr

HyunJung Lim <https://orcid.org/0000-0001-7632-7315>

Department of Medical Nutrition, Research Institute of Medical Nutrition, Kyung Hee University, 1732 Deokyeong-daero, Giheung-gu, Yongin 17104, Korea
Tel: +82-31-201-2343, Fax: +82-2-969-7717, E-mail: hjlim@khu.ac.kr

Conflict of interest: None.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

신경외과 질환이 있는 경우 환자 스스로 활동할 수 있는 능력이 저하되어 침대에 누워 있는 시간이 길기 때문에 개개인의 영양 요구량을 예측하는 것이 매우 어렵고 이로 인해 영양이 불충분하게 공급되기 쉽다.¹ 실제 불충분한 영양공급은 신경외과 환자들이 겪게 되는 주요한 문제로 나타났다.² 에너지와 단백질 요구량을 정확하게 측정하는 것은 외상, 두부 및 척추 손상, 뇌졸중, 뇌종양 등의 신경외과 환자들에게 매우 중요하다.³ 질병의 급성기에는 대사적 요구량이 증가하게 되는데 질병의 중증도와 회복수준에 따라 몇 주에서 몇 달 동안 지속되기도 한다. 특히, 외상성 뇌손상이 있는 경우 초기 10일에서 30일 동안 현저한 과대사 및 과이화 상태가 지속됨이 보고되었고,⁴ 이런 에너지 부족은 질병률 및 사망률 증가와 관련이 있다.⁵

에너지 요구량을 예측하는 다양한 공식들이 있지만, 대부분 신장, 체중, 성별 등의 변수를 사용하여 에너지 요구량을 산정한다.⁶ 그러나, 중환자는 염증 및 소생 치료와 관련하여 부종이 있는 경우가 많아 체중을 사용하여 정확한 에너지 요구량을 예측하기 어렵다.⁷ Brain Trauma Foundation과 American Association of Neurological Surgeons, Congress of Neurological Surgeons (미국신경외과의사학회)에서는 간접열량측정기로 환자의 에너지 요구량을 측정할 수 없다면, Harris Benedict 공식을 사용한 기초 대사량의 약 140%를 에너지 요구량으로 산정한 후 에너지를 공급하도록 권장하고 있다.⁸ 많은 임상전문가들은 가능하다면 간접열량측정기를 사용하여 에너지 요구량을 측정하도록 권장하지만,⁹ 간접열량측정 시에는 훈련된 전문가가 필요하고, 고가의 비용이 발생하는 등 현실적인 어려움이 많다.¹⁰

중환자의 급성기는 대사적으로 불안정하고 이화상태가 증가하는 초급성기(early period: 손상 후 2일 이내)와 상당한 근육 손실이 일어나고 대사 장애의 안정기에 해당하는 후급성기(late period: 손상 후 3~7일)로 구분할 수 있다.¹¹ 심각한 뇌손상이 있는 환자의 대사적 반응을 살펴본 한 연구에서 간접열량측정기를 통해 입원 1~3일째, 입원 4~6일째, 입원 7~9일째로 나누어 3일 간격으로 측정된 에너지 요구량이 시기별로 증가하는 경향이 나타났다.⁴ 하지만 우리나라 신경외과 환자를 대상으로 입원시기별 에너지 요구량 차이를 살펴본 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 뇌 손상으로 신경외과 중환자실에 7일 이내로 재원 중인 환자들의 에너지 요구량을 간접열량측정기와 예측방정식을 통해 측정하고 중환자실 재원일수 3일을 기준으로 두 그룹으로 나누어 그 차이를 비교해 보고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구대상 및 기간

2017년 7월부터 2020년 8월까지 분당차병원 신경외과 중환자실에 입실한 18세 이상 성인 환자 중 뇌손상을 진단받고 인공호흡치료를 시행하며 간접열량 측정기를 사용하여 에너지 요구량이 측정된 환자를 대상으로 하였다. 이 중 흡입산소분압 60% 이상, 호기말양압 12 cmH₂O 이상, 일호흡용적 15 mL 이하, 분당 호흡수 35회 이상, biphasic positive airway pressure mode 사용, 호흡 누공이 있는 경우, 신대체요법을 시행하는 경우는 제외하였으며 최종 연구 대상자는 55명이었다.

2. 연구디자인

중환자실 입실 후 간접열량측정기를 통해 에너지 요구량이 측정된 시기에 따라 급성군(acute group: AG, 입실 3일 이내 측정)과 아급성군(subacute group: SG, 입실 4일 이후 측정)으로 분류하였다. 이 연구는 분당차병원의 생명윤리심사위원회(Institutional Review Board)의 승인을 받고 진행되었다(IRB no. 2020-09-013).

1) 임상적 자료

전자의무기록을 통해 성별, 나이, 키, 체중, 체질량지수(body mass index, BMI), 중환자실 입실 적정성 평가(Simplified Acute Physiology Score II; SAPS II score), Glasgow Coma Scale 점수, 흡입산소분압, 호기말양압, 체온, 심박수, 호흡수,

Table 1. Predictive equations used to obtain the estimates of energy expenditure

Equation name	Calculation of energy expenditure
ESPEN	Weight (kg)×25 kcal/kg
HB	HB-BEE×Activity factor×Stress factor HB-BEE : Men=66.4 + 13.7 (weight) + 5 .0 (height)-6.8 (age) Women=655 + 9.6 (weight) + 1.8 (height)-4.7 (age)
FK	HB-BEE (0.85) + Tmax× (175) + MV× (33)-6,344 MV: minute ventilation=(Respiratory rate×Tidal Volume)/1,000
PS	MF (0.96) + Tmax× (167) + MV× (32) -6,212 MF: Men=5 + 10 (weight) + 6.25 (height)-5 (age) Women=-161 + 10 (weight) + 6.25 (height)-5 (age)
Faisy	(8×weight) + (14× height) + (32×MV) + (94×Tmax)-4,834

ESPEN = European Society for Clinical Nutrition and Metabolism; HB = Harris Benedict; HB-BEE = Harris Benedict-Basal energy expenditure; FK = Frankfield; Tmax = maximum body temperature; MV = Minute Ventilation; PS = Penn state; MF = Mifflin formula.

영양공급 형태(장관영양, 정맥영양, 장관+정맥영양), 뇌손상 진단명 등을 후향적으로 조사하였다.

2) 간접열량측정

에너지 요구량은 CARESCAPE 320 (GE, Helsinki, Finland) 을 사용하여 측정하였으며 환자가 바로 누운 자세(supine position)에서 안정기에 도달한 후 최소 30분 이상 측정하였다. 이 때 장관영양 공급을 중단하지 않았으며, 정확한 측정을 위해 숙련된 전문가가 측정 표준 프로토콜을 사용하여 측정하였다.

3) 예측 방정식

주로 중환자에게 많이 이용되는 에너지 요구량 예측 공식 다섯 가지를 이용하여 에너지 요구량을 산출하였다(Table 1). 첫째는 ESPEN⁶ 공식으로 2006 ESPEN 중환자 영양지침에서 급성기 20~25 kcal/kg/day, 회복기 25~30 kcal/kg/day 추천한 값을 활용하였다. 둘째는 Harris-Benedict¹² 공식으로 기초대사량(basal energy expenditure)에 곱해지는 활동계수(activity

factor)는 1.0, 상해계수(stress factor)는 1.2로 하였다.¹³ 셋째는 Frankenfield⁸ 공식으로 Trauma와 Sepsis 대상자의 과대사 상태를 고려하여 개발된 공식이다. 넷째는 Penn state¹⁴ 공식으로 처음 발표된 후 검증 연구에 기초하여 두 번 수정되었다. 마지막으로 Faisy⁵ 공식은 체중, 키, 분당 환기량, 체온 등에 의한 계산법으로 기계환기중인 70명의 중환자를 대상으로 개발되었다. 이 때 환자의 의식수준저하로 신장 측정이 불가능하여 줄자로 누운 키를 측정하여 사용하였고 중환자실 전동 리프트 체중계(IFS-200)로 체중을 실측하여 사용하였다.

4) 통계적 분석

통계분석은 IBM SPSS Statistics ver. 25.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)를 사용하여 수행하였다. 두 군간 에너지 요구량은 평균과 표준편차를 구하여 Student's t-test로 비교하였고, 명목척도(영양공급 형태, 진단명, 성별 등) 변수 사이에 차이점을 확인하기 위해 Chi-square test를 사용하였다. Pearson's test로 상관관계를 측정하였고 상관관계 계수값은 r

Table 2. Comparison of patient's anthropometric and clinical characteristics

	All (n=55)	AG (n=39)	SG (n=16)	P-values
Age (y)	60.1±15.0	58±14	58±20	0.219
Sex (Male:Female)	24:31	16:23	8:8	0.542
Height (cm)	162.7±8.5	162.4±8.0	163.4±9.7	0.721
Body Mass Index (kg/m ²)	23.9±4.3	23.5±3.8	24.9±5.3	0.274
SAPS II(point)	35.6±13.6	35.8±14.5	35.0±11.5	0.832
Glasgow Coma Scale (point)	5.6±2.7	5.7±2.8	5.4±2.5	0.692
Inspired fraction of oxygen (%)	35.3±6.3	35.4±6.0	35.1±0.7	0.892
PEEP (cmH ₂ O)	4.7±0.4	4.8±0.3	4.7±0.5	0.681
Body temperature (°C)	37.7±0.8	37.7±0.8	37.6±0.8	0.472
Heart rate (pulse)	80.8±17.2	82.9±17.9	75.5±14.7	0.146
Respiratory rate (breaths/min)	14.9±2.5	14.9±2.4	14.8±2.9	0.924
IC Measured day	2.8±1.5	2.0±0.7	4.7±1.1	0.014*
Nutrition regimen during IC				0.034*
EN	17 (30.9)	9 (23.1)	8 (50.0)	
PN	6 (10.9)	3 (7.7)	3 (18.8)	
EN+PN	32 (58.2)	27 (69.2)	5 (31.3)	
Diagnosis				0.444
Intracerebral hemorrhage	26 (47.3)	18 (46.2)	8 (50.0)	
Subarachnoid hemorrhage	13 (23.6)	10 (25.6)	3 (18.8)	
Subdural hemorrhage	7 (12.7)	3 (7.7)	4 (25.0)	
Intracranial hemorrhage	5 (9.1)	4 (80.0)	1 (6.3)	
Epidural hemorrhage	2 (3.6)	2 (5.1)	0 (0)	
Cerebral aneurysm	2 (3.6)	2 (5.1)	0 (0)	
Operation				0.868
Yes	52 (94.5)	37 (94.9)	15 (93.7)	
No	3 (5.5)	2 (5.1)	1 (6.3)	

Values are presented as number only, number (%), or mean±standard deviation.

AG = acute group; SG = subacute group; SAPS II = Simplified Acute Physiology Score; PEEP = positive end expiratory pressure breathing; IC = indirect calorimetry; EN = enteral nutrition; PN = parenteral nutrition.

Parametric data used two sample t-test by P-value <0.05.

Nutrition regimen and diagnosis used chi-square test by P-value <0.05.

Table 3. Comparisons between the averages for EE by IC and EE by PEs for two groups

EE		AG (n=39)			SG (n=16)		
		Mean±SD (kcal/d)	Difference averages ^a	P-value	Mean±SD (kcal/d)	Difference averages ^a	P-value
Estimated energy	IC	1,712.0±476			1,590.2±531		
Predictive equations	ESPEN	1,558.6±324	153.3±444.4	0.038*	1,683.4±475	-93.1±401.7	0.368
	HB	1,582.4±273	129.5±374.2	0.037*	1,635.8±409	-45.5±358.6	0.619
	FK	1,625.9±306	86.0±365.4	0.149	1,633.1±406	-42.8±383.6	0.662
	PS	1,530.8±340	181.1±377.4	0.005*	1,542.7±436	47.5±402.3	0.643
	Faisy	1,719.9±259	-7.9±382.2	0.897	1,756.4±344	-166.1±403.9	0.121

AG = acute group; SG = subacute group; EE = energy expenditure; IC = indirect calorimetry; PEs = predictive equations; HB = Harris Benedict; FK = FranKenfield; PS = Penn state.

^aDifference averages = EE by IC-EE by PEs.

Comparison of measurements was performed using student t-test. *P<0.05.

Fig. 1. Correlations between EE by IC and EE by PEs for two groups. EE = energy expenditure; IC = indirect calorimetry; PEs = predictive equations.

값이 사용되었다. P값은 <0.05 유의적으로 평가하였다.

결 과

1. 대상환자의 특성

대상자는 총 55명으로 급성군은 39명(70.9%), 아급성군은 16명(29.1%)이었다(Table 2). 전체 대상자의 나이는 60.1 ± 15.0 세였고, 남녀비는 24:31로 두 군간 유의적인 차이는 없었다. BMI는 $23.9 \pm 4.3 \text{ kg/m}^2$ 로 급성군과 아급성군의 유의적인 차이는 없었고($23.5 \pm 3.8 \text{ kg/m}^2$ vs $24.9 \pm 5.3 \text{ kg/m}^2$) SAPS II score, Glasgow Coma Scale, 흡입산소 분압, 체온, 심박수, 호흡수 등에서도 두 군간 유의적인 차이가 없었다. 간접열량측정기를 통한 요구량 측정일의 경우 재원일 기준으로 급성군 2.0 ± 0.7 일, 아급성군 4.7 ± 1.1 일로 확인되었고, 측정일 기준으로 군을 나누었기에 유의적인 차이가 있었다($P=0.014$). 대상자의 영양공급 형태를 조사한 결과 enteral nutrition (EN)과 parenteral nutrition (PN)을 병행하는 경우가 30명(58.2%)으로 가장 많았으며, EN만 시행하는 경우는 17명(30.9%), PN만 시행하는 경우는 6명(10.9%)의 순서로 조사되었다. 급성군에서도 전체 대상자와 마찬가지로 EN과 PN을 병행하는 경우(27명, 69.2%)가 가장 많았고 EN (9명, 23.1%), PN (3명, 7.7%)의 순서로 조사되었으나, 아급성군에서는 EN을 단독으로 시행하는 경우가 8명(50%)으로 가장 많았고, EN과 PN을 병행하는 경우(5명, 31.3%), PN만 시행하는 경우(3명, 18.8%)의 순서로 조사되어 두 군간 유의적인 차이를 보였다($P<0.034$). 수술유무에 대해서 조사한 결과 급성군은 수술시행 후 37명(94.9%), 아급성군은 수술시행 후 15명(93.7%)으로 두 군간 유의적인 차이가 없었다($P=0.868$).

2. 에너지 요구량 비교

에너지 요구량은 간접열량측정기를 통해 측정된 요구량과 5개의 예측방정식을 통해 계산된 요구량을 비교하였다(Table 3). 급성군의 간접열량측정 에너지 요구량은 $1,712.0 \pm 476.0 \text{ kcal/day}$ 로 ESPEN ($1,558.6 \pm 324.0 \text{ kcal/day}$, $P<0.038$), Harris Benedict ($1,582.4 \pm 273.0 \text{ kcal/day}$, $P<0.037$), Penn state ($1,530.8 \pm 340.0 \text{ kcal/day}$, $P<0.006$)로 계산된 에너지 요구량과 유의적인 차이가 있었다. Faisy의 계산값을 제외한 나머지 4개의 계산값 모두 간접열량측정값과 비교 시 낮게 나타나는 경향을 보였다. 아급성군의 간접열량측정 에너지 요구량은 $1,590.2 \pm 531.0 \text{ kcal/day}$ 였으며 5가지 예측 방정식의 계산값과 유의적인 차이를 보이지 않았으나 급성군과 반대로 Penn state를 제외한 4개의 예측방정식을 통한 계산값이 간접열량측정기

를 통한 측정값보다 모두 높게 나타나는 경향을 보였다.

두 군의 간접열량측정기를 통한 측정값과 예측방정식을 통한 5가지 계산값의 상관관계를 분석한 결과(Fig. 1) 두 군 모두 유의적인 차이를 보였으나 급성군에서는 Frankenfield, Penn state, Harris Benedict의 상관계수가 0.6 이상이었으나, 아급성군은 5가지 모두 0.6 이상이었으며 그 중 Harris Benedict 공식의 상관계수가 0.739 ($P<0.001$)으로 나타나 가장 높은 상관관계를 보였다.

고 찰

본 연구는 신경외과 중환자실 재원일 7일 이내의 뇌손상 환자들 중 급성군(3일 이내)과 아급성군(3일 초과)으로 나누어 간접열량측정기를 통한 에너지 측정값과 5개의 예측방정식을 통한 추정값을 비교해 본 결과 급성군에서 예측방정식을 통한 3개 추정값이 간접열량측정기를 통한 측정값에 비해 유의적으로 낮게 나타남을 확인하였다. 그러나 아급성군은 4개의 예측방정식 추정값에서 유의적인 차이는 없었지만 간접열량측정기를 통한 측정값보다 모두 높게 추정된 것으로 조사되었다.

예측방정식을 통한 에너지 요구량 산정은 다양한 임상 환경에서 널리 사용되어 왔으나, 신경외과 치료 환자에서 예측 방정식의 정확도를 조사한 연구는 많지 않다.¹⁵ 뇌 손상 후 뇌사 진단을 받은 20명 대상자의 에너지 소비량을 측정한 값과 예측방정식값을 비교한 결과 측정값 대비 예측값이 평균 75%¹⁶로 확인되었다. 다른 연구에서는 뇌 손상 후 13명을 대상으로 1~20일까지 총 4회 에너지 소비량을 측정한 결과 3~5일에 에너지 소비율이 최고치로 확인되고 이후 감소되는 경향을 보였다.¹⁷ 뇌 손상 후 처음 2주 동안 에너지 소비량은 진정 치료, 스테로이드 치료, 기계 환기, 식사로 인한 열 발생, 부상 및 상해의 중증도, 체온, 비정상적인 운동 활동 및 감염의 영향에 기인하여 증가 또는 감소될 수 있다.¹⁸

예측방정식 중 첫번째로 사용된 ESPEN 공식은 에너지 소비를 예측하는 간단한 방법임에도 불구하고, ESPEN 권고안은 중환자실에 입원한 노인에게 적용될 경우 임상 현장에서 과잉공급을 유발할 수 있다고 보고했다.⁶ 이는 에너지 소비량 계산 시 변수로 단지 체중 1가지만 고려하기 때문일 것으로 여겨진다. 본 연구에서 ESPEN 값은 급성군의 경우 간접열량측정기에 비해 유의적으로 낮게 예측되었고, 아급성군에서는 유의적인 차이가 없었다. 두번째 사용된 Harris-Benedict 방정식은 수십 년 동안 외상성 뇌손상 환자의 기초 에너지 소비를 추정하는 데 사용되어 왔다. 그러나 조정되지 않은 기초대사량을 사용하면 외상성 뇌손상 환자의 높은 요구량에 도달하지 못한

다고 보고되었다.¹⁹ Nagano 등²⁰의 연구에서는 분산 분석 결과, Harris-Benedict 방정식이 뇌경색 환자에서 임상사용 시 가장 정확함을 보고했다. 본 연구에서는 Harris-Benedict 방정식의 경우 급성군에서는 간접열량측정기를 통한 측정값에 비해 유의적으로 낮게 예측되었고, 아급성군에서는 유의적이지는 않았지만 간접열량측정값보다 높게 산정되었다. 세번째 사용된 Frankenfield 방정식은 변수항목으로 체온, 분당 환기량, 기초 대사량 등이 이용되었다.⁸ 네번째 Penn state 방정식은 미국영양학회(Academy of Nutrition and Dietetics)에 의해 사용되도록 권장되었다.²¹ 그 권고 이후 뇌손상 환자(72% 정확도)와 혼수상태를 유도하는 약물치료 환자(43% 정확도)에서 공식이 정확하다는 것이 입증되었다.²² 그러나 본 연구에서는 급성군에서는 간접열량측정기를 통한 측정값이 Penn state 추정값에 비해 유의적으로 높은 것으로 확인되었고, 아급성군에서는 간접열량측정기를 통한 측정값과 Penn state 추정값이 유의적인 차이가 없었다. 다섯번째 사용된 Faisy 공식은 간접열량측정기를 통해 측정된 에너지값에 비해 70세 이상에서는 과대평가되었고 45세 이하에서는 정확도가 높았다고 보고되었다.²³ Frankenfield와 Faisy 방정식의 경우 공통 변수 항목으로 체온과 분당 환기량을 사용하였다. 이는 2015년 Severine에 의해 수행된 연구에서 간접열량측정기가 최적의 열량산정법이지만 부재 시 체온과 분당환기량의 두 변수가 포함된 방정식을 사용할 것을 제안²⁴한 내용과 비교 시 본 연구에서도 급성군과 아급성군 두 군 모두에서 간접열량측정기를 통한 측정값과 Frankenfield와 Faisy 추정값 간에 유의적인 차이를 보이지 않은 결과로 보아 뇌손상 중환자의 상황을 가장 잘 반영한 공식으로 볼 수 있겠다. 특히, 아급성군에서는 5가지 예측방정식을 통한 에너지 추정값과 간접열량측정기를 통한 측정값 사이에 모두 유의적인 차이가 없었다. 이는 급성기인 72시간 이후 환자상태가 안정화 되면서, 환자의 에너지 요구량이 기존의 예측방정식 공식값과 비슷하게 일치하기 때문일 것으로 사료된다.

본 연구에서는 재원일 7일 이내에 총 1회의 간접열량측정기가 시행된 환자를 대상으로 하였다. 간접열량측정기를 통한 측정값의 유효성을 살펴본 연구에서 기계환기중인 중환자의 측정값은 3~4일의 유효 수명을 가지며, 그 이후에는 간접열량측정기로 재측정하거나 예측방정식으로 대체해야 한다고 보고하였다.²⁵ 측정된 에너지 요구량의 변동성은 많은 연구에서 관찰되었다. Vermeij 등²⁶의 연구에서 처음 10일 동안 모든 환자에게서 상당한 일일 변동($P < 0.05$)이 관찰되어, 연구 그룹의 칼로리 처방이 변화하였다.²⁶ 다른 연구에서는 5일 이하로 재원하는 중환자에서는 1회 측정할 것을 권장하지만 7일 이상 재원하는 환자에게는 1주일에 2~3회 측정할 것을 권장하였다.¹³

간접열량측정기의 측정시기가 요구량 변동이 심한 중환자의 경우 매우 중요함을 나타낸다.

본 연구의 상관관계 분석 결과(Fig. 1)에서 아급성군에서 급성군에 비해 상관지수가 높게 나왔다는 것은, 아급성군에서 예측방정식 공식이 에너지 경향성은 잘 반영한다고 고려해 볼 수 있다. 간접열량측정기의 사용이 불가능한 경우 재원일수에 따라 예측이 불가하여 간접열량측정기를 통해 꼭 측정해야 하는 시기와 예측방정식을 사용한 추정값을 사용할 수 있는 시기로 나누어 공식을 개발하는 것이 도움이 될 것으로 생각된다.

본 연구는 몇 가지 한계를 가지고 있다. 첫째, 간접열량측정기를 통한 에너지 측정이 1회만 이루어졌으며, 아마도 신경외과 중환자실의 나머지 기간 동안 에너지 소비량의 변화를 반영하지 못했을 것이다. 둘째, 뇌손상 진단명에 대한 외상유무, 감염 및 진정 등에 대한 임상적 상황이 분석에 포함되지 않아 중환자 에너지 요구량에 영향을 줄 수 있는 요인에 대한 몇 가지 항목이 배제되었다. 셋째, 연구에 포함된 환자 수($N=55$)가 충분하지 않았다. 신경외과 중환자의 정확한 에너지 소비량을 평가하기 위해서는 더 많은 환자를 포함한 향후 연구가 필요하겠다.

결론

본 연구는 뇌손상 중환자 중 재원일 7일 이내의 환자를 대상으로 간접열량측정기를 통한 측정값과 예측방정식을 통한 추정값 사이의 실제 에너지 소비량을 비교하였다. 급성기의 뇌손상 중환자에서는 예측방정식을 통한 추정값보다 간접열량측정기를 통한 에너지 측정값이 높음을 확인하였다. 따라서 뇌손상 중환자 중 재원일 3일 이내의 경우 에너지 요구량 산정 시 간접열량측정기를 사용하여 에너지 요구량을 측정할 것을 권장한다. 향후 뇌손상 외에 신경외과적 다양한 진단명과 수술방법에 따른 에너지 요구량 비교도 의미가 있겠다. 대규모, 다양한 질환에 따른 연구를 통해 질환별, 상황별로 활용 가능한 에너지 예측방정식을 개발하는데 활용될 수 있을 것이다.

ORCID

EunJoo Bae, <https://orcid.org/0000-0001-9817-2078>

SeongSuk Kang, <https://orcid.org/0000-0001-9399-5139>

MiYeon Kim, <https://orcid.org/0000-0003-3709-7355>

JinYoung Jang, <https://orcid.org/0000-0003-4193-5999>

HyunJung Lim, <https://orcid.org/0000-0001-7632-7315>

TaeGon Kim, <https://orcid.org/0000-0001-6258-6412>

REFERENCES

- Annette H, Wenström Y. Implementing clinical guidelines for nutrition in a neurosurgical intensive care unit. *Nurs Health Sci* 2005;7(4):266-72.
- Turan N, Kaya H. Management of constipation in neurosurgery patients. *J Neurol Neurosurg Nurs* 2014;3(2):81-7.
- Zarbock SD, Steinke D, Hatton J, Magnuson B, Smith KM, Cook AM. Successful enteral nutritional support in the neurocritical care unit. *Neurocrit Care* 2008;9(2):210-6.
- Clifton GL, Robertson CS, Grossman RG, Hodge S, Foltz R, Garza C. The metabolic response to severe head injury. *J Neurosurg* 1984;60(4):687-96.
- Faisy C, Guerot E, Diehl JL, Labrousse J, Fagon JY. Assessment of resting energy expenditure in mechanically ventilated patients. *Am J Clin Nutr* 2003;78(2):241-9.
- Kreymann KG, Berger MM, Deutz NE, Hiesmayr M, Joliet P, Kazandjiev G, et al. ESPEN guidelines on enteral nutrition: intensive care. *Clin Nutr* 2006;25(2):210-23.
- Frankenfield D, Smith JS, Cooney RN. Validation of 2 approaches to predicting resting metabolic rate in critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2004;28(4):259-64.
- Frankenfield DC, Omert LA, Badellino MM, Wiles CE 3rd, Bagley SM, Goodarzi S, et al. Correlation between measured energy expenditure and clinically obtained variables in trauma and sepsis patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 1994;18(5):398-403.
- McClave SA, Martindale RG, Kiraly L. The use of indirect calorimetry in the intensive care unit. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2013;16(2):202-8.
- Graf S, Karsegard VL, Viatte V, Heidegger CP, Fleury Y, Pichard C, et al. Evaluation of three indirect calorimetry devices in mechanically ventilated patients: which device compares best with the Deltatrac II(®)? A prospective observational study. *Clin Nutr* 2015;34(1):60-5.
- Singer P, Blaser AR, Berger MM, Alhazzani W, Calder PC, Casaer MP, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr* 2019;38(1):48-79.
- Brandi LS, Grana M, Mazzanti T, Giunta F, Natali A, Ferrannini E. Energy expenditure and gas exchange measurements in postoperative patients: thermomodulation versus indirect calorimetry. *Crit Care Med* 1992;20(9):1273-83.
- Kim SH, Cho BH, Kim SB, Jeong MJ, Yu HC. Determination of the stress factor calculated from the changes in the measured resting energy expenditure with indirect calorimetry in patients undergoing pancreaticoduodenectomy. *J Clin Nutr* 2017;9(2):62-7.
- Matarese LE, Gottschlich MM. Contemporary nutrition support practice: a clinical guide. Philadelphia:W.B. Saunders; 1998.
- Roza AM, Shizgal HM. The Harris Benedict equation reevaluated: resting energy requirements and the body cell mass. *Am J Clin Nutr* 1984;40(1):168-82.
- Bitzani M, Matamis D, Nalbandi V, Vakalos A, Karasakalides A, Riggos D. Resting energy expenditure in brain death. *Intensive Care Med* 1999;25(9):970-6.
- Hadfield JM, Little RA, Jones RA. Measured energy expenditure and plasma substrate and hormonal changes after severe head injury. *Injury* 1992;23(3):177-82.
- Wilson RF, Tyburski JG. Metabolic responses and nutritional therapy in patients with severe head injuries. *J Head Trauma Rehabil* 1998;13(1):11-27.
- Kolpek JH, Ott LG, Record KE, Rapp RP, Dempsey R, Tibbs P, et al. Comparison of urinary urea nitrogen excretion and measured energy expenditure in spinal cord injury and nonsteroid-treated severe head trauma patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 1989;13(3):277-80.
- Nagano A, Yamada Y, Miyake H, Domen K, Koyama T. Comparisons of predictive equations for resting energy expenditure in patients with cerebral infarct during acute care. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2015;24(8):1879-85.
- Ashcraft CM, Frankenfield DC. Energy expenditure during barbiturate coma. *Nutr Clin Pract* 2013;28(5):603-8.
- Graf S, Pichard C, Genton L, Oshima T, Heidegger CP. Energy expenditure in mechanically ventilated patients: the weight of body weight! *Clin Nutr* 2017;36(1):224-8.
- Frankenfield DC, Coleman A, Alam S, Cooney RN. Analysis of estimation methods for resting metabolic rate in critically ill adults. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2009;33(1):27-36.
- Frankenfield DC, Ashcraft CM, Galvan DA. Longitudinal prediction of metabolic rate in critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2012;36(6):700-12.
- Singer P, Anbar R, Cohen J, Shapiro H, Shalita-Chesner M, Lev S, et al. The tight calorie control study (TICACOS): a prospective, randomized, controlled pilot study of nutritional support in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2011;37(4):601-9.
- Vermeij CG, Feenstra BW, van Lanschot JJ, Bruining HA. Day-to-day variability of energy expenditure in critically ill surgical patients. *Crit Care Med* 1989;17(7):623-6.