

비만 여성에서의 4가지 안정시대사량 예측치에 대한 정확도 비교

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 재활의학과 스포츠의학실

김 도 경 · 박 원 하

Accuracy of Four Resting Metabolic Rate Predictive Equations in Obese Women

Do Kyung Kim, Won Hah Park

Division of Sports Medicine, Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Samsung Medical Center,
Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Calculating the estimated resting metabolic rate (RMR) in severely obese patients is useful, but there is controversy concerning the effectiveness of available predictive equations using body weight. This study compared the accuracy of four commonly used RMR predictive equations to measured RMR. We evaluated the efficacy of RMR equations against indirect calorimetry in forth female obese subjects. The subjects had their RMR measured by indirect calorimetry and compared to the most commonly used prediction equations (Harris-Benedict, Owen, and Mifflin-St Jeor, World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University [WHO/FAO/UNU]). The results shows that Owen and Mifflin-St Jeor equations significantly under-estimated to our measured RMR. However, the WHO/FAO/UNU Equation was the most accurately predictive RMR values ($1,543.6 \pm 110.3$ vs. $1,484.3 \pm 218.3$) compared to measured RMR. As based on data, we suggest that WHO/FAO/UNU equation and Harris-Benedict's equation would be most reasonable and useful for Korean obese women.

Keywords: Calorimetry, Indirect, Obesity, Predictive value of tests, Female

서 론

Received: March 25, 2015 Revised: May 8, 2015

Accepted: May 22, 2015

Correspondence: Won Hah Park

Division of Sports Medicine, Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 81 Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-710, Korea

Tel: +82-2-3410-3847, Fax: +82-2-3410-6689

E-mail: hrmax1@naver.com

Copyright ©2015 The Korean Society of Sports Medicine

© 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.

비만을 개선하기 위해서는 섭취 에너지와 소비 에너지의 균형 관계를 파악하는 것이 중요하다. 전체 소비 에너지의 구성요소를 살펴보면 안정시대사량(resting metabolic rate, RMR)이 60%~75%를 차지하고, 육체적 활동에 의한 에너지 소비(thermic effect of activity)가 15%~30%, 나머지 10% 정도가 음식섭취에 따른 열 발생(thermic effect of meal)으로 소비된다¹⁾. 따라서 안정시대사량(RMR)은 전체 에너지 소비의 가장 큰 부분을 차지하기 때문에 비만과 관련된 연구에서 중요하게 다루어지고 있다. 이러한 안정시대사량에 영향을 미치는 요소들로는 연령, 체중, 성별, 유전, 인종, 신체조성, 갑상선기능,

교감신경계 그리고 체력 수준 등을 들 수 있다^{2,3)}.

안정시대사량의 측정은 호흡gas 분석을 통한 간접방식의 에너지 측정법(indirect calorimetry)을 이용하여 측정 가능하지만 고가의 장비와 시설 등으로 인해 모든 임상에서 시설을 갖추고 사용하기는 어려운 실정이다. 또한 이러한 호흡gas를 분석하는 실측 안정시대사량의 측정은 과격한 신체활동, 음식의 섭취, 알콜, 담배, 카페인 등에 영향을 받기 때문에 검사시 많은 주의사항과 제한점이 따른다⁴⁾. 이러한 이유에서 일반적으로 호흡gas 분석을 통한 실측 안정시대사량을 측정하여 사용하기 보다는 간편하게 예측공식을 이용하여 안정시대사량을 산출하여 사용하고 있는 실정이다. 하지만 이런 예측공식들은 주로 건강한 성인을 대상으로 체중과 신장, 성별, 나이 등을 독립변인으로 하여 실제 호흡분석을 통한 에너지 측정법으로 구한 값을 이용하여 회귀 공식을 만들어 사용하고 있다. 1919년 Harris와 Benedict⁵⁾에 의해 처음으로 안정시대사량 계산 공식이 제시된 이후 1985년에 World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University (WHO/FAU/UNU)⁶⁾에서 성별과 연령에 따라 신장, 체중을 이용한 계산공식을 발표하였다. 이후 Owen⁷⁾과 Mifflin 등⁸⁾도 안정시대사량을 구하는 예측 공식을 개발하여 현재 널리 사용되고 있다. 이러한 예측공식에 과체중군과 비만군도 포함되어 있는 공식들도 있지만 대부분 정상인을 대상으로 하였기에 비만인의 안정시대사량 측정의 정확성에 대해서 논란의 여지가 있다^{9,10)}. 또한 앞에서 언급한 바와 같이 인종이 안정시대사량에 영향을 미치는 변인임에도 불구하고 국내에서는 안정시대사량에 관련된 연구가 거의 없는 실정이며, 더구나 비만인을 대상으로 한 연구는 더욱 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 서양인을 대상으로 만들어지고 임상에서 주로 사용되고 있는 예측안정시대사량 공식이 한국인 특히, 비만 성인의 안정시대사량을 측정하는데 있어서 정확성과 유용성에 대해 알아보기 위함이다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 체질량 지수(body mass index) 25 kg/m² 이상이고, 체지방률이 30% 이상인 중년의 비만 여성 40명을 대상으로 하였다. 최근 6개월간 규칙적인 운동에 참가하지 않았고 안정시대사량에 영향을 줄 수 있는 심질환자, 고혈압, 당뇨, 천식 및 신진대사에 영향을 줄 수 있는 약물을 복용하는 사람과 흡연자는 제외하였다.

2. 측정 항목 및 방법

1) 신체조성 측정

Biospace사의 Impedance fat analyzer (Inbody 720, Seoul, Korea)을 이용하여 신장, 체중 그리고 체지방율(%), 제지방량(kg)을 측정하였다(Table 1). 이 생체 전기저항 분석법은 비지방 조직과 지방조직의 전기 저항 차이를 이용하여 신체의 양 발바닥 부위와 양손에 높은 에너지 교류파를 주어 신체내의 지방, 제지방의 비율 및 양을 측정할 수 있다.

2) 실측 안정시대사량(measured RMR)의 측정

안정시대사량의 측정은 호흡gas분석기(Parvo medics trueone 2400, Ithaca, NY, USA)을 이용하여 간접 열량측정법(indirect calorimeter)으로 측정하였다. 피험자를 14시간 이상 금식시키고 24시간 이전의 운동이나 활발한 신체활동은 제한시키고 이른 아침에 움직임을 최소한 자제한 상태에서 측정 전 30분 이상 누운 상태로 휴식을 취한 후 완전한 안정된 상태에서 실시하였다. 피험자는 누운 상태에서 얼굴 전체를 덮는 Canopy 통하여 30분 이상 호흡하도록 하며, 피험자와 연결된 호흡gas 자동분석기로 호흡되는 공기를 분석하여 산소 소비량과 이산화탄소 생성량의 비율로 호흡지수를 계산하여 안정시대사량을 측정하였다(Fig. 1).

Table 1. Characteristics of study subjects

	N	Age (y)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	%BF (%)
Subject	40	45.3±8.0	159.3±3.0	74.2±12.4	29.5±3.2	36.3±4.2

BMI: body mass index, %BF: %body fat.

3) 예측 안정시대사량(predicted RMR)의 측정

안정시대사량 예측공식은 가장 널리 사용되고 있는



Fig. 1. Measurement of resting metabolic rate.

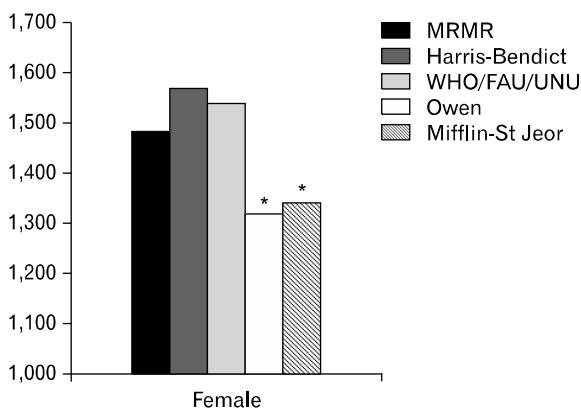


Fig. 2. Adjusted mean differences between the measured and predicted RMR. $p < 0.05$. RMR: resting metabolic rate, MRRM: measured resting metabolic rate, WHO/FAO/UNU: World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University.

Harris-Benedict, Mifflin-St Jeor, Owen, WHO/FAO/UNU 등의 대사량 예측 공식 4가지를 사용하여 값을 구하였다^{5,9)}. 공식은 Table 2와 같으며 신장(cm), 체중(kg), 나이(year)를 입력하여 구하였다.

3. 자료 처리

실험 분석자료는 SPSS ver. 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하였다. 대상자의 특성에 대한 자료는 평균과 표준편차를 구하고 안정시대사량 실측치와 4가지 공식의 각각의 예측치의 차이에 대한 유의성은 Paired t-test를 이용하여 판정하였다. 유의 수준은 0.05 이하일 때 통계적으로 유의하다고 판정하였다. 또한 예측치의 정확도는 실측치의 안정시대사량과의 차이가 $\pm 10\%$ 범위로 산정하여 판정하였다.

결 과

비만 여성 40명에 대한 안정시대사량 예측치 평균, 실측치 평균 그리고 표준편차에 대한 비교 결과는 Table 3과 같다.

Table 2. Four resting metabolic rate prediction equations

Harris-Benedict (1919)
-Women: $RMR=665.09+9.56 \times \text{weight} + 1.84 \times \text{height} - 4.67 \times \text{age}$
WHO/FAO/UNU (1985)
-Women
18–30: $13.3 \times \text{weight} + 334 \times \text{height} + 35$
31–60: $8.7 \times \text{weight} - 25 \times \text{height} + 865$
>60: $9.2 \times \text{weight} + 637 \times \text{height} - 302$
Owen (1986–87)
-Women: $RMR=795 + 7.18 \times \text{weight}$
Mifflin-St Jeor (1990)
-Women: $RMR=9.99 \times \text{weight} + 6.25 \times \text{height} - 4.92 \times \text{age} - 161$

RMR: resting metabolic rate, WHO/FAO/UNU: World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University.

Table 3. Comparison of resting metabolic rate and predicted resting metabolic rate

No.	Measured RMR (kcal/d)	Harris-Benedict	WHO/FAO/UNU	Owen	Mifflin-ST Jeor
Subject	40	1,484.3±218.3	1,570.6±148.0	1,543.6±110.3	1,320.1±106.1
PRMR-MRMR		86.3±72.3	61.3±44.7	-164.1±62.8*	-140.5±68.8*

RMR: Resting metabolic rate, WHO/FAO/UNU: World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University, PRMR: predicted resting metabolic rate, MRMR: measured resting metabolic rate.
* $p < 0.05$.

여성 피험자의 안정시대사량 실측치 평균은 $1,484.3 \pm 218.3$ kcal/d로 나타났다. Harris-Benedict 공식 예측치는 $1,570.6 \pm 148.0$ kcal/d로 실측치와의 차이가 86.3 ± 72.3 kcal/d로 실측치보다 과다 측정되었다. 또한 WHO/FAO/UNU 공식의 예측치는 $1,543.6 \pm 110.3$ kcal/d로 61.3 ± 44.7 kcal/d로 역시 과다 측정되었지만 실측 안정시대사량 값과 가장 근접한 결과를 보였다. 반면 Owen 공식의 예측치는 $1,320.1 \pm 106.1$ kcal/d로 나타났고, Mifflin-St Jeor 예측치는 $1,343.8 \pm 134.5$ kcal/d로 두 공식 모두 통계적으로 실측 안정시대사량 값 보다 각각 -164.1 ± 62.8 kcal/d, -140.5 ± 68.8 kcal/d 유의하게 낮게 측정되는 결과를 보였다(Fig. 2).

고찰

본 연구는 임상에서 많이 사용되고 있는 4종류의 예측 안정시대사량 공식, 즉 Harris-Benedict, WHO/FAO/UNU, Owen 그리고 Mifflin-St Jeor 공식들과 호흡가스를 분석하여 측정된 실측 안정시대사량을 비교하여 우리나라 비만 중년여성의 안정시대사량 평가에 유용한 자료를 제공하려는데 목적이 있다.

비만인의 안정시대사량을 살펴본 연구에 의하면 비만 정도가 심한 사람에 있어서 안정시대사량이 정상인들보다 대략 500 kcal정도 더 높게 나타나지만, 신장과 체중이 동일한 정상인들과 비교해보면 오히려 15%~20% 정도 낮은 안정시대사량을 보인다고 하였다^{11,12)}. 이러한 이유는 비만할수록 체중이 많이 나가기 때문에 안정시대사량의 절대값이 높이 측정되지만, 체중을 보정하고 단위 근육당으로 환산해보면 지방비율이 높기 때문에 안정시대사량은 정상인 보다 오히려 낮은 것을 알 수 있다. 안정시대사량이 낮은 사람은 안정시대사량이 정상이거나 높은 사람에 비하여 쉽게 비만해질 잠재적인 가능성이 그만큼 크다고 할 수 있고 이러한 이유에서 안정시대사량을 정확히 측정하는 것이 비만을 해결하는데 중요한 요인이 된다. 하지만 기존의 예측공식들은 대부분 정상인들을 대상으로 하기 때문에 비만인에게 적용하기에 오차가 있을 수가 있다¹³⁾.

이러한 이유에서 미국영양사협회(The American Dietetic Association, ADA)에서는 일반인, 비만인 그리고 노인을 대상으로 안정시대사량 예측공식의 유효성을 검사하였다. ADA의 연구결과에 따르면 비만인에 있어서는 Mifflin-St Jeor 공식이 Harris-Benedict나 Owen, 그리고 WHO/FAO/UNU 공식 보다 안정시대사량을 $\pm 10\%$ 이내로 예측할 수 있는 가장 근접한 공식이라고 하였다¹²⁾. 또한 Weij¹⁰⁾의 연구에서도 역시

Mifflin-St Jeor 공식이 미국 성인 비만인이나 과체중인 사람에게 있어서는 거의 80% 정도의 정확도를 가진 반면, 독일 비만인에게 있어서는 정확도가 떨어진다고 하였다. Lazzer 등¹⁴⁾은 이탈리안 비만 여성을 대상으로 측정한 결과 Harris-Benedict 공식이 WHO/FAO/UNU 공식이나 Mifflin-St Jeor 공식보다 정확도가 좋다고 하였다. 이처럼 선행 연구들을 보면 비만인에 있어서는 오차범위가 커져서 특정 공식을 이용한 예측 안정시대사량 값을 구하기 어려운 것을 알 수 있으며, 연구자에 따라 다양한 결과를 보이고 있다. 이러한 이유는 아마도 인종, 성별, 연령, 비만 정도와 같은 피험자의 다양성과 연구 방법의 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다. 또한 국내 안정시대사량을 연구가 부족하지만 정상체중을 가진 여대생 120명을 대상으로 실시한 연구에서는 실측 안정시대사량이 1247.2 ± 147.9 kcal/d였지만, Harris-Benedict 예측값은 112.0 ± 121.1 kcal/d 더 높게 측정되었고, 비만인의 경우는 그 오차가 더 커질 것이라 예상할 수 있을 것이다¹⁵⁾.

본 연구의 결과에서는 Owen의 공식에 따른 예상치가 1320.1 ± 106.1 kcal/d, Mifflin-St Jeor 공식에서는 1343.8 ± 134.5 kcal/d로 실측치에 비해 과소 측정되는 경향을 보였고 오차범위 $\pm 10\%$ 를 벗어나는 결과를 보여 우리나라 비만여성을 대상으로는 정확도가 떨어지는 결과를 보였다. 반면 WHO/FAO/UNU공식에서는 1543.6 ± 110.3 kcal/d로 측정되어 실측치대사량과의 차이가 61.3 ± 44.7 kcal/d로 과다 측정되는 결과를 보였지만 4가지의 안정시대사량 예측공식 중 가장 적은 오차를 보였다. 또한 Harris-Benedict 공식에 대한 실측치의 차이가 86.3 ± 72.3 kcal/d 정도만의 차이를 보였다. 이러한 결과로 볼 때 WHO/FAO/UNU공식과 Harris-Benedict 공식이 실측 안정시대사량 값과 가장 근접한 결과를 보였다. 이는 2005년 ADA에서 비만인과 과체중인 사람을 대상으로 검증한 안정시대사량 예측공식으로는 Mifflin-St Jeor 공식이 적합하다고 하고 있지만¹²⁾, 우리나라 비만여성에게는 다른 결과를 보였다. 이러한 다른 결과는 아마도 인종적인 차이에 의한 것으로 생각되며 또한, 본 연구에서 검사 전 개인의 신체활동량을 완벽하게 통제하지 못한 점, 음식섭취의 통제, 연구피험자 수의 부족 등도 제한점으로 작용했을 것으로 생각된다. 하지만 비만인의 체중조절을 위해서는 정확한 안정시대사량의 산출이 매우 중요하기 때문에 의미 있는 결과라 생각되며, 비만인에게 적합한 예측 안정시대사량 공식을 산출하기 위해서는 대단위의 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

References

1. Bernstein RS, Thornton JC, Yang MU, et al. Prediction of the resting metabolic rate in obese patients. *Am J Clin Nutr* 1983;37:595-602.
2. Speakman JR, Selman C. Physical activity and resting metabolic rate. *Proc Nutr Soc* 2003;62:621-34.
3. Hasson RE, Howe CA, Jones BL, Freedson PS. Accuracy of four resting metabolic rate prediction equations: effects of sex, body mass index, age, and race/ethnicity. *J Sci Med Sport* 2011;14:344-51.
4. Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L, Evidence Analysis Working G. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc* 2006;106:881-903.
5. Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Washington: Carnegie institution of Washington; 1919.
6. Energy and protein requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World Health Organ Tech Rep Ser 1985;724:1-206.
7. Owen OE. Resting metabolic requirements of men and women. *Mayo Clin Proc* 1988;63:503-10.
8. Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy ex-
- penditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr* 1990;51: 241-7.
9. Weijns PJ, Vansant GA. Validity of predictive equations for resting energy expenditure in Belgian normal weight to morbid obese women. *Clin Nutr* 2010;29:347-51.
10. Weijns PJ. Validity of predictive equations for resting energy expenditure in US and Dutch overweight and obese class I and II adults aged 18-65 y. *Am J Clin Nutr* 2008;88:959-70.
11. Frankenfield DC, Rowe WA, Smith JS, Cooney RN. Validation of several established equations for resting metabolic rate in obese and nonobese people. *J Am Diet Assoc* 2003;103:1152-9.
12. Ravussin E, Lillioja S, Knowler WC, et al. Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body-weight gain. *N Engl J Med* 1988;318:467-72.
13. Frankenfield D, Roth-Yousey L, Compher C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc* 2005;105:775-89.
14. Lazzer S, Agosti F, Silvestri P, Derumeaux-Burel H, Sartorio A. Prediction of resting energy expenditure in severely obese Italian women. *J Endocrinol Invest* 2007;30:20-7.
15. Chang UJ, Lee KR. Correlation between measured resting energy expenditure and predicted basal energy expenditure in female college students. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2005; 34:196-201.