

신체계측을 이용한 각종 체지방량 추정식의 타당성 평가

김은경 · 이기열 · 손태열*

연세대학교 생활과학대학 식품영양학과
성균관대학교 체육대학 체육학과*

Validity of Various Anthropometric Equations for the Estimation of Relative Body Fat

Kim, Eun-Kyeong · Lee, Ki-Yull · Son, Tae-Yul*

Department of Food & Nutrition, Yonsei University

**Department of Physical Education, Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

The purposes of this investigation were to determine the validity of various methods (available anthropometric equations and near-infrared light interactance) for estimating body fat and to develop multiple regression equations for the prediction of body fat. Thirty-eight healthy males (age: 20.87 ± 7.17 yrs) and 12 females (19.58 ± 2.19 yrs) underwent hydrostatic weighing to determine body fat. Anthropometric measurements were taken of height, weight, nine skinfolds and thirteen circumferences.

The results obtained are summarized as follows :

1) Relative body fat determined by underwater weighing was $12.08 \pm 5.21\%$ for the males and $17.97 \pm 5.75\%$ for the females.

2) Circumference and skinfold that had the highest correlation with the body fat were waist girth in males and females ($r=0.60$, $r=0.96$, respectively), and subscapular in males ($r=0.68$) and triceps in females ($r=0.96$).

3) Cross-validation of 18 selected equations on males revealed total errors ranging from 3.76% to 5.06%. Among these equations, M3 (Pollock et al.) demonstrated the least total error. Total error of estimation by near-infrared (NIR) was less than that of available anthropometric measurement equations. The results of the cross-validation of 12 equations on females revealed that F3 (Sloan et al.) was clearly superior in accuracy of prediction.

4) Correlational analyses showed that estimation of body fat by NIR measurement seemed to be more closely associated with body fat determined by underwater weighing in women than men, in older subjects than younger ones, and in fatter subjects than leaner ones.

5) The formulas for prediction of relative body fat(Y) from anthropometric measurement were as follows : $Y = -3.8488 + 0.1687(X_1) + 0.6728(X_2)$ in males, $Y = 4.8385 + 0.1928(X_1)$ in females ; $X_1 =$ sum of subscapular, femoral, abdomen and triceps skinfolds ; $X_2 =$ body mass index(kg/m^3).

KEY WORDS : body fat · anthropometric equations · skinfold thickness · near-infrared

서 론

현대사회에서 날로 증가하고 있는 비만증이란 체내에 지방이 과다하게 축적된 것을 뜻한다. 그러므로 신장과 체중만으로는 비만을 정확히 판정할 수 없으며, 체내의 지방량과 근육량의 상대적인 비율에 따라 구별되어야 한다¹⁾.

체지방 측정에 관한 연구는 1863년 Bischoff와 Gewichts²⁾에 의해서 시작되었으며, Widdowson 등³⁾은 동물이나 사람의 사체를 화학적으로 분석하는 직접법에 의하여 인체 구성성분을 분류한 바 있다. 대표적인 간접법중의 하나인 체밀도의 측정 은 다수의 대상자에게는 적용하기 어려우므로 체 밀도와 높은 상관관계를 가지는 기타 측정치로부터 체밀도를 예측하는 방정식을 유도하여, 체지방 량을 산출하는 방법이 널리 이용되어 왔다.

1951년에 Brožek와 Keys⁴⁾는 젊은 남자와 중년 남자를 대상으로 피하지방두께를 이용한, 체지방 량에 관한 최초의 회귀방정식을 발표하였다. 그 후 1960년대에는 피하지방두께를 이용한 다중회귀 방 정식에 관한 연구가 대부분이었으나⁵⁻⁹⁾, 1960년대 후반부터 1970년대까지는 피하지방두께 뿐만 아니라 신체 각 부위의 둘레 및 뼈의 반지름까지도 독립변수에 포함되어 더욱 정확하게 체지방량을 추정할 수 있게 되었다¹⁰⁻¹⁵⁾. 이처럼 다양한 체지방 량 추정식이 발표됨에 따라, 특정집단을 대상으로 체지방량을 추정하고자 할때 어떤 식을 선택하느냐 하는 것이 중요한 문제로 대두하게 되었다. 이와 관련하여 Thorland 등¹⁶⁾은 이미 보고된 체지방 추정식을 이용하여 젊은 운동선수들의 체밀도를 계산하고, 수중체중을 이용하여 측정한 체밀도와 비교하여 이들 추정식의 타당도를 분석한 바 있

다.

지금까지 국내의 체지방량에 관한 연구들은 caliper를 이용하여 측정한 피하지방두께를 국내외에서 개발된 체지방 추정식에 대입하여 각 특정집단의 체지방량을 비교하고 있다¹⁷⁻²¹⁾. 그러나 현 시점에서 특정집단의 체지방량 측정결과보다는 측정 방법의 표준화 및 각각의 추정식의 타당도가 더욱 중요한 문제임에도 불구하고, 아직까지 다양한 체 지방량 추정식간의 비교 및 타당도에 관한 연구가 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 젊은 남녀의 체지방량을 체밀도를 이용하여 측정한 후, 이를 기준으로 지금까지 널리 사용 되어 온 각종 체지방량 추정식의 타당도를 비교하고, 본 연구대상자에게 가장 적합한 체지방량 추 정식을 유도하여 보고자 하였다.

연구 방법

1. 연구대상자

특별한 대사질환이 없는 신체가 건강한 젊은 남 자 38명(평균연령 20.87 ± 7.17 세)과 여자 12명(평균연령 19.58 ± 2.19 세)을 대상으로 하였다.

2. 신장 및 체중 측정

연구대상자의 신장을 Martin식 인체계측기(신장 측정용)를 이용하여 측정하였다. 또한 체중은 전기식 지시저울(Dolpin사 제작)로 측정하였다.

3. 체밀도 측정

1) 수중체중 측정(Underwater Weight)

높이 180cm, 직경 120cm의 수조안에 $35 \sim 38^\circ\text{C}$ 의 온수를 가득 채운후, 피검자로 하여금 수조안에 매어달린 그네에 걸터 앉아서 숨을 천천히 내

쉬면서 완전히 물속에 잠기게 하였다. 폐에 있는 공기를 가능한 전부 내뱉게 하면서 용수철 저울의 눈금이 가장 무거운 지점을 가르킬 때를 수중체중으로 하였다. 안정된 측정치를 얻을 때까지 3~5회 되풀이 하였다.

2) 잔기량의 측정(Residual Lung Volume)

잔기량은 순산소 재호흡법을 이용하여 측정하였다²²⁾. 피검자를 어깨까지 물속에 잠기게 하고 최대한으로 호출된 상태에서 3초 간격으로, 2ℓ의 99.9%의 산소가 들어있는 마취 bag의 공기만으로 3회 재호흡 시켰다. 재호흡한 마취 bag내의 가스를 자동가스분석기(expired gas monitor, Restina 1H 26)로 분석하여 아래 식에 대입하여 잔기량을 계산하였다²²⁾.

$$\text{잔기량(BTPS)} = VB \times \frac{F_{\text{eN}_2}}{F_{\text{iN}_2} - F_{\text{eN}_2}} \times \text{BTPS계수} \cdot \text{DS}$$

VB : 마취 bag내의 99.9% O₂량

F_{iN₂} : 대기중의 N₂농도

F_{eN₂} : 재호흡후의 마취 bag내의 N₂농도

DS : 삼방코크와 mouth piece의 사공량(死空量)

BTPS : volume of gas expressed at Body Temperature (usually 273°K+37°C or 310°K), ambient Pressure, and Saturated with water vapor with a partial pressure of 47 mmHg at 37°C

3) 체밀도(Body Density)의 계산

수중체중 및 잔기량을 다음의 공식에 대입하여 체밀도를 계산하였다.

$$\text{체밀도(kg/ℓ)} = \frac{\text{체중(kg)} - \text{수중체중(kg)}}{\text{측정시 수온에서의 물의 밀도(kg/ℓ)} - \text{잔기량(ℓ)}}$$

4. 피하지방두께(Skinfold Thickness) 측정

Caliper(Meikosha, Eiyoken-type)를 이용하여 신체 9부위의 피하지방두께를 측정하였다. 이때 caliper의 압력이 항상 10g/mm로 일정하게 유지되도록 하였다. 각 측정부위는 다음과 같다 : 견갑골밑, 늑골밑, 장골위, 복부, 삼두박근, 이두박근, 전완

(forean), 허벅지, 종아리.

5. 신체둘레(Body Circumference) 측정

피검자를 평평한 바닥에 세우고 metal tape로 신체 13부위의 둘레를 측정하였다. 각 측정부위는 다음과 같다 : 머리, 목, 가슴, 허리, 엉덩이, 팔(똑바로 편상태와 구부린 상태), 전완, 팔목, 허벅지(upper thigh, medial thigh), 종아리, 발목.

6. 체지방량의 측정 및 산출

1) 밀도법의 이용

수중체중을 측정하여 계산된 체밀도를 다음의 Siri²⁵⁾의 방정식에 대입하여 체지방량을 계산하였다.

$$\text{체지방(\%)} = [(4.95/\text{체밀도}) - 4.50] \times 100$$

2) Body fat content analyzer 이용

USDA(U.S.Department of Agriculture)의 지원을 받은 Conway²⁶⁾의 연구결과를 토대로 개발된, near-infrared(NIR)를 이용한 Futrex-5,000으로 체지방량을 직접 측정하였다. 피검자의 성별, 신장, 체중, 체격, 운동정도를 입력한 후, 많이 사용하는 팔(주로 오른팔)의 이두박근 위에 light ward를 놓고 NIR를 투과시켜, 이로부터 전체 지방량을 추정하도록 하였다. 이것은 지방이 존재할 때 빛의 spectrum이 변함을 이용한 "light interactance"가 그 원리이다.

3) 피하지방두께 및 신체둘레 이용

앞서 보고된 체밀도 추정을 위한 방정식들 중에서 본 조사대상자에게 적용이 가능한 다음의 식들로부터(Table 1, 2) 체밀도를 계산한 후, Siri²⁵⁾의 식에 대입하여 체지방량을 계산하였다.

7. 통계처리

SAS(Statistical Analysis System)를 이용하여 밀도법에 의해 계산된 체지방량과 기타 방법에 의해 산출된 체지방량간의 cross-validation을 실시하였다¹⁶⁾. 또한 본 조사대상자의 체지방량을 정확히 예측할 수 있는 식을 stepwise multiple regression analyses를 이용하여 유도하였다⁴²⁾.

체지방량 추정식의 타당성 평가

연구결과 및 고찰

1. 수중체밀도 측정에 의한 체지방량
본 조사대상자의 수중 체밀도를 이용하여 측정
한 체지방량은 Table 3과 같다. 잔기량은 남녀간

에 유의적인 차이가 없었으나, 체밀도는 남자가
1.072±0.0132g/ml로 여자의 1.058±0.0140g/ml보
다 유의적으로 높았다(p=0.0049). 따라서 체지방
량은 여자가 17.97±5.75%로 남자의 12.08±5.21%
보다 유의적으로 많았다.

Table 1. Anthropometric equations cross-validated on male subjects

Number	Source	Equations
- Skinfolds only -		
M1	Sloan ⁶⁾	$BD = 1.1043 - 0.001327(X_7) - 0.001310(X_2)$
M2	Pollock et al. ¹⁴⁾	$BD = 1.09478 - 0.00103(X_4) - 0.00085(X_7)$
M3	Pollock et al. ⁶⁾	$BD = 1.09716 - 0.00065(X_4) - 0.00055(X_2) - 0.0008(X_7)$
M4	Durnin, Womersley ²⁷⁾	$BD = 1.1561 - 0.0711[\log(X_1 + X_2)]$
M5	Park ²⁸⁾	$Fat(kg) = 0.653\{(X_1 + X_2 + X_3 + X_6)/4\} + 3.91$
M6	Yuhasz ²⁹⁾	$Fat(\%) = 5.783 + 0.153(X_1 + X_2 + X_5 + X_6)$
M7	Lee ³⁰⁾	$Fat(\%) = 1.08[(X_1 + X_2 + X_3 + X_6)/4] + 1.0871$
M8	Anyan ³¹⁾	$Fat(\%) = 11.5453\{[(X_1 + X_2 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7) - 8]/X_{16}\} - 0.2838$
M9	Behnke, Wilmore ³²⁾	$BD = 1.08543 - 0.00086(X_6) - 0.0004(X_7)$
M10	Jackson, Pollock ³³⁾	$BD = 1.112 - 0.00043499(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7) + 0.00000055$ $(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7)^2 + 0.00028826(X_9)$
M11	Lohman ³⁴⁾	$BD = 1.0982 - 0.000815(X_1 + X_2 + X_6) + 0.00000084(X_1 + X_2 + X_6)^2$
M12	Parizkova ³⁵⁾	$BD = 1.13 - 0.055(\log X_1) - 0.026(\log X_2)$
- Skinfolds and Age -		
M13	Jackson, Pollock ³³⁾	$BD = 1.10938 - 0.0008267(X_4 + X_6 + X_7) + 0.0000016(X_4 + X_6 + X_7)^2 -$ $0.0002594(X_9)$
M14	Jackson, Pollock ³³⁾	$BD = 1.21394 - 0.03101[X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7] - 0.00029(X_9)$
M15	Pollock et al. ³⁶⁾	$BD = 1.1125025 - 0.0013125(X_1 + X_2 + X_4) + 0.0000055(X_1 + X_2 +$ $X_4)^2 - 0.000244(X_9)$
M16	Jackson, Pollock ³³⁾	$BD = 1.099075 - 0.0008209(X_4 + X_6 + X_7) + 0.0000026(X_4 + X_6 + X_7)^2 -$ $0.0002017(X_9)$
- Skinfolds and Circumference and/or Age -		
M17	Michael, Katch ³⁷⁾	$BD = 1.08697 - 0.001123(X_5) - 0.001698(X_4) + 0.000472(X_{14})$
M18	Jackson, Pollock ³³⁾	$BD = 1.101 - 0.0004115(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7) + 0.0000069(X_1$ $+ X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7)^2 - 0.00022631(X_9) - 0.000059239(X_{12})$ $+ 0.000190632(X_{13})$

X₁=triceps SF, X₂=subscapular SF, X₃=midaxillary SF, X₄=chest SF, X₅=suprailiac SF, X₆=abdominal SF, X₇=thigh SF, X₈=calf SF, X₉=age in years, X₁₀=neck circ., X₁₁=chest circ., X₁₂=waist circ., X₁₃=forearm circ., X₁₄=thigh circ., X₁₅=body surface area, X₁₆=body weight, X₁₇=height, X₁₈=height, BD : body density

unit : X₁-X₈(mm), X₁₀-X₁₄, X₁₇(cm), X₁₅(m²), X₁₆(kg), X₁₇(m)

Table 2. Anthropometric equations cross-validated on female subjects

Number	Source	Equations
- Skinfolds only -		
F1	Anyan ³¹⁾	Fat(%) = 11.5453[(X ₁ + X ₂ + X ₃ + X ₄ + X ₅ + X ₆ - 8)/X ₁₆] - 0.2838
F2	Kim ³⁸⁾	Fat(%) = 0.58[(X ₁ + X ₂ + X ₄ + X ₆)/4] + 14.31
F3	Sloan et al. ⁷⁾	BD = 1.0764 - 0.00088(X ₁) - 0.00081(X ₅) - 0.0008(X ₇)
F4	Durnin, Womersley ²⁷⁾	BD = 1.1599 - 0.0717 · log(X ₁ + X ₂ + X ₃ + X ₅)
F5	Durnin, Rahaman ⁵⁾	BD = 1.1581 - 0.072 · log(X ₁ + X ₂ + X ₃ + X ₅)
F6	Durnin, Womersley ²⁷⁾	BD = 1.1468 - 0.0740 · log(X ₁ + X ₂)
F7	Behnke, Wilmore ³²⁾	BD = 1.06234 - 0.00068(X ₂) - 0.00039(X ₁) - 0.00025(X ₇)
- Skinfolds and Age -		
F8	Jackson, Pollock ³³⁾	BD = 1.096095 - 0.0006952(X ₁ + X ₅ + X ₆ + X ₇) + 0.0000011(X ₁ + X ₅ + X ₆ + X ₇) ² - 0.0000714(X ₉)
F9	Pollock et al. ³⁶⁾	BD = 1.10 - 0.00099(X ₄ + X ₆ + X ₇) + 0.0000023(X ₄ + X ₆ + X ₇) ² - 0.00014(X ₉)
- Skinfolds and/or Circumference & Height or Weight -		
F10	Wilmore, Behnke ¹¹⁾	Fat(kg) = X ₁₆ - [1.661 + 0.688(X ₁₆) - 0.158(X ₂) - 0.081(X ₁) + 0.555(X ₁₀) - 0.141(X ₁₂)]
F11	Young et al. ⁹⁾	BD = 1.0884 - 0.0004231(X ₆) - 0.0003401[0.9(100X ₁₇ - 100)]
F12	Kim ²⁴⁾	BV = (X ₁₅) · [54.84(X ₁₆ /X ₁₇) + 14.04] BD = X ₁₆ /BV

Abbreviations are as in Table 1 BV=body volume (ℓ)
X₁₅ is calculated according to Dubois²³⁾

Table 3. Body composition of male and female subjects

	Male(N=38)	Female(N=12)	P-value
Body density(g/ml)	1.072±0.0132	1.058±0.0140	0.0049
Residual lung volume(ℓ)	1.094±0.0108	1.111±0.0086	NS
Body fat(%)	12.08±5.21	17.97±5.75	0.0057
Body fat(kg)	7.48±3.95	12.97±6.76	0.0002

Values are Means±S.D.

2. 각종 신체계측치와 체지방비율과의 상관관계
전체 조사대상자중 10명에 대하여는 이틀에 걸쳐 동일부위의 신체계측을 2번 실시하여 test-retest간의 상관성을 계산한 결과, 체중은 0.98, 신장은 0.97, 피하지방두께는 0.88~0.92, 신체둘레는 0.90~0.97로 비교적 높은 measurement reliability를 보여 주었다.

Table 4에는 본 연구대상자의 각종 신체계측치

의 평균 및 체지방량(%)과의 상관관계가 제시되어 있다. 남자에서는 연령 및 체중뿐만 아니라, 신체둘레 중에서는 허리둘레가 체지방량과 가장 높은 양의 상관관계를 보였고(r=0.60, p=0.0001), 다음으로는 엉덩이 바로 밑의 허벅지둘레(r=0.40, p=0.0121) 및 가슴둘레(r=0.35, p=0.0335)의 순으로 양의 상관성을 나타냈다. 9부위의 피하지방 두께 중에서 팔뚝의 피하지방두께를 제외한 나머지

체지방량 추정식의 타당성 평가

지 8개 부위의 피하지방두께는 체지방량과 양의 상관관계를 보였다. 그중에서도 견갑골밑, 복부 및 늑골밑 등 상체의 피하지방두께는 $p=0.0001$ 수준에서 각각 $r=0.68$, $r=0.65$, $r=0.61$ 의 높은 상관성을 보여주어 박²⁸⁾이 보고한 공군장병의 피하지방두께와 체지방량(kg)과의 상관도와 유사하였다.

여자의 신체둘레 중에서는 허리둘레, 팔둘레 및 허벅지둘레가 체지방량(%)과 모두 $p=0.0001$ 수준에서 양의 상관관계를 보였으며, 피하지방두께로는 삼두박근의 피하지방두께가 $r=0.96$ 으로 가장 높은 양의 상관관계를 보여 주었다(Table 4). 피하지방두께 측정에 이용되는 신체부위는 매우

Table 4. Anthropometric measurement of subjects and their correlations with hydrostatic measure of body fat

Variable	Mean \pm S.D.		Correlation* with % body fat			
	male	female	male		female	
			r	p	r	p
Age(yrs)	20.87 \pm 7.17	19.58 \pm 2.19	0.45	0.0042	0.43	NS
Height(cm)	169.11 \pm 6.73	165.89 \pm 2.86	-0.16	NS	0.45	NS
Body weight(kg)	60.49 \pm 8.71	68.54 \pm 13.24	0.33	0.0416	0.94	0.0001
Circumferences(cm)						
Head	55.26 \pm 1.45	54.98 \pm 1.22	0.11	NS	0.63	0.0286
Neck	35.39 \pm 2.41	35.71 \pm 4.38	0.24	NS	0.76	0.0039
Bast	85.96 \pm 6.67	90.93 \pm 8.67	0.35	0.0335	0.90	0.0001
Waist	72.36 \pm 8.20	75.23 \pm 9.27	0.60	0.0001	0.96	0.0001
Hip	88.55 \pm 4.65	98.43 \pm 8.70	0.28	NS	0.92	0.0001
Extended arm	26.18 \pm 2.93	30.01 \pm 3.56	0.18	NS	0.94	0.0001
Flexed arm	28.20 \pm 3.08	31.98 \pm 3.22	0.13	NS	0.93	0.0001
Forearm	25.42 \pm 2.17	25.88 \pm 1.93	-0.09	NS	0.89	0.0001
Wrist	16.07 \pm 1.62	16.17 \pm 1.07	0.12	NS	0.76	0.0038
Thigh(upper)	52.28 \pm 4.30	59.63 \pm 6.75	0.40	0.0121	0.92	0.0001
Thigh(medial)	50.02 \pm 3.88	56.48 \pm 5.79	0.29	NS	0.94	0.0001
Calf	36.03 \pm 2.52	38.44 \pm 2.94	0.23	NS	0.86	0.0003
Ankle	21.59 \pm 0.99	22.98 \pm 1.64	0.35	NS	0.61	0.0350
Skinfolds(mm)						
Subscapular	11.33 \pm 5.57	16.13 \pm 8.89	0.68	0.0001	0.86	0.0004
Suprailiac	10.67 \pm 6.61	11.17 \pm 8.24	0.49	0.0018	0.82	0.0010
Subcostal	9.34 \pm 5.01	15.29 \pm 9.89	0.61	0.0001	0.82	0.0011
Abdomen	13.63 \pm 7.95	15.58 \pm 7.82	0.65	0.0001	0.88	0.0011
Triceps	8.49 \pm 3.19	17.54 \pm 7.82	0.53	0.0006	0.96	0.0001
Biceps	4.69 \pm 2.10	5.83 \pm 4.37	0.35	0.0293	0.74	0.0060
Forearm	5.05 \pm 1.79	7.00 \pm 2.06	0.30	NS	0.63	0.0389
Femoral	11.11 \pm 4.39	17.33 \pm 5.63	0.58	0.0002	0.72	0.0194
Calf	8.13 \pm 3.62	10.95 \pm 3.73	0.45	0.0049	0.90	0.0002

*Pearson correlation

r : coefficient

p : probability

다양하여 최고 22부위까지 측정이 가능하다. 대상자의 수가 소수로 제한된 경우는 이와같은 다양한 부위의 측정이 가능하나, 다수를 대상으로 하는 경우는 측정상 어려움이 많다. 뿐만 아니라 피하지방두께 측정부위가 다양하다고 하여 반드시 체지방량을 정확히 추정할 수 있는 것도 아니다. 실제로 집단측정에서는 4개부위만을 측정해도 신빙성이 저하되지 않음이 지적된 바 있다¹⁷⁾¹⁸⁾²⁸⁾.

본 연구에서는 신체 각 부위의 피하지방두께와 9부위의 피하지방두께의 합 및 체지방비율과의 상관성 분석결과를 토대로 4부위의 피하지방두께 측정시 견갑골, 삼두박근, 복부, 허벅지를 선택하였다. 이 4부위의 피하지방두께의 합과 9부위의 피하지방두께의 합 사이의 상관관계는 남자가 $r=0.97$, 여자가 $r=0.98$ 로 매우 높았다(Table 5). 따라서 다수의 피검자를 대상으로 하는 경우에는 9부위 전부를 이용하는 것보다는 3부위, 또는 4부위를 선택하여 이용하는 것이 바람직하며, 적당한 부위 선택시는 피검자 집단의 성별, 연령 등의 특성을 고려해야 한다. 피하지방두께 측정을 이용한 국내 연구의 대부분은 4부위의 피하지방두께를 이용하고 있다^{17~21)}.

3. 각종 체지방량 측정방법의 타당성 평가

Table 6과 Table 7에는 near-infrared(NIR)를

이용한 체지방량 측정값 및 각종 체지방량 추정식(남자 18개, 여자 12개)에 의한 체지방량의 타당도가 비교되어 있다. Lohman³⁴⁾은 체지방과 피하지방 및 체밀도와의 관계에 관한 논문에서 cross validation의 평가기준으로, 먼저 실제 측정치(수중밀도법에 의한 체지방량)와 각종 추정치의 평균간의 차이(constant error)를 들고 있다. 본 연구에서 체밀도 측정에 의해 계산된 체지방량(%)과 각종 추정식을 이용하여 계산된 체지방량(%)과의 차이가 1%이하인 식은 남자에서는 M5, M6, M7, M9, M11, M16 등 6개이며, 여자에서는 F8, F9, F12 등으로 실제 체지방량과 추정량 사이에 통계적으로 유의적인 차이가 없었다. 그러나 constant error는 추정식으로부터 계산된 평균값이, 기준이 되는 실제 측정치의 평균으로부터 얼마나 벗어나 있느냐를 나타내는 것이므로, 이것만으로는 추정식의 타당성을 평가하기 곤란하다. 따라서 실제 측정값과 추정값과의 상관관계 분석이 필요하다. 남자에서는 18개 추정치와 실제치간의 상관계수가 $r=0.58(M17) \sim r=0.70(M1)$ 으로 비교적 높은 상관관계를 보였다. 그러나 이들 추정식을 이용한 체지방량보다는 near-infrared(NIR)를 이용한 체지방의 추정량이 실제 체지방량과 더 높은 상관관계($r=0.80$)를 보여 주었다. Constant error가 1%이

Table 5. Correlation of various skinfold thickness with sum of 9 skinfold thicknesses

Skinfold thickness	Male		Female	
	r	p	r	p
Subscapular	0.85	0.0001	0.88	0.0016
Suprailiac	0.79	0.0001	0.96	0.0001
Subcostal	0.91	0.0001	0.94	0.0001
Abdomen	0.91	0.0001	0.97	0.0001
Triceps	0.83	0.0001	0.94	0.0002
Biceps	0.60	0.0001	0.93	0.0003
Forearm	0.62	0.0001	0.53	NS
Femoral	0.83	0.0001	0.89	0.0011
Calf	0.74	0.0001	0.89	0.0013
SUM4	0.97	0.0001	0.98	0.0001

r : coefficient p : probability
 SUM4 = sum of subscapular, triceps, abdomen and thigh

체지방량 추정식의 타당성 평가

하인 추정치와 실제 체지방비율과의 상관관계는 $r = 0.69$ (M11), $r = 0.68$ (M5, M6, M7, M9), $r = 0.65$ (M16)로 비교적 높은 편이었다. 여자에서는(Table 7) 실제 체지방비율($17.97 \pm 5.75\%$)보다 7% 이상 overestimate된 F4, F5, F6, F7의 상관계수가 각각 $r = 0.93$, $r = 0.93$, $r = 0.94$, $r = 0.95$ 로 매우 높게 나타났다. 15명의 비만여성을 대상으로 9개 추정식의 타당도를 비교한 Barrows와 Snook³⁹⁾의 연구에서도 Durini과 Womersley²⁷⁾의 식이 constant error(0.2%)는 가장 적었으나 실제 측정치와 추정치 사이에 통계적으로 의미있는 상관관계가 발견

되지 않은 반면, constant error가 8.5%로 가장 큰 차이를 보인 Jackson과 Pollock³³⁾의 추정식과 실제 측정치간의 상관계수가 $r = 0.54$ 로 제일 높았음이 보고된 바 있다. 그러므로 constant error와 상관계수를 동시에 고려해야 됨을 알 수 있다.

이어서 Lohman³⁴⁾은 추정시의 표준오차(standard error of estimate, SEE)가 상관계수보다 타당도 검사의 더 좋은 지표가 된다고 하였다. 왜냐하면, 상관계수는 표본내의 비만도(fatness)의 variability의 영향을 받기 쉬우나, SEE는 그렇지 않기 때문이다. 그러나, SEE는 실제값과 추정값 사

Table 6. Cross validation of relative body fat(%) on male subjects

		Constant error	T-ratio	R	SEE	Total error	SD
NIR estimation		2.93	5.01	0.80	3.09	3.10	4.04
Equation	M1	-1.45	2.23	0.70	3.73	3.99	5.05
	M2	-1.68	2.66	0.65	3.98	3.99	3.40
	M3	-1.87	3.04	0.67	3.88	3.76	3.63
	M4	2.38	3.52	0.65	3.95	4.16	4.69
	M5	-0.97	1.56*	0.68	3.83	3.84	3.29
	M6	0.45	0.72*	0.68	3.83	3.86	3.08
	M7	0.92	1.32*	0.68	3.83	4.29	5.44
	M8	-1.55	2.29	0.63	4.06	4.11	4.39
	M9	0.88	1.42*	0.68	3.82	3.83	3.47
	M10	-4.45	6.31	0.65	3.94	4.29	5.26
	M11	-0.31	0.47*	0.69	3.76	4.01	4.99
	M12	7.59	10.09	0.62	4.10	4.63	5.38
	M13	-2.71	3.99	0.66	3.92	4.12	4.95
	M14	-3.03	4.14	0.63	4.04	4.45	5.31
	M15	-1.28	1.85	0.65	3.97	4.22	5.05
	M16	0.52	0.81*	0.65	3.94	3.95	4.29
	M17	-5.01	6.03	0.58	4.25	5.06	5.87
	M18	0.92	2.90	0.68	3.94	3.95	4.15

NIR estimation : Near-infrared estimation

Constant error : Mean difference(predicted% body fat - actual% body fat)

*T-ratio : True difference not significant($p > 0.05$) R : Correlation coefficient

SEE : Standard error of estimate = $SD \text{ of actual value} \times \sqrt{1 - R^2}$

Total error : $\sqrt{(\text{predicted \% body fat} - \text{actual \% body fat})^2 / N}$

SD : SD of predicted % body fat

이의 회귀식에 대한 variation만을 반영하고 있으므로, 이 둘 사이의 실제적인 차이를 반영하는 total error를 계산해야 한다. 본 연구에서 total error를 기준으로 평가할 때, 남자에서는 NIR측정에 의한 추정값의 total error가 3.10%로 가장 적었다. Total error가 4.0%이하인 식 중에서 M1, M2,

M3, M5, M6, M9는 직선형이고, M16, M18은 2차식의 곡선형이다. 이들 식 중 M5(삼두박근, 견갑골밑, 이두박근, 복부)와 M6(삼두박근, 견갑골밑, 장골위, 복부)은 4부위의 피하지방두께의 합을 이용하였고, M16은 3부위(가슴, 장골위, 복부), M18은 7부위(삼두박근, 견갑골밑, 이두박근, 가슴, 장

Table 7. Cross validation of relative body fat(%) of female subjects

		Constant error	T-ratio	R	SEE	Total error	SD
NIR estimation		4.59	6.12	0.91	2.42	2.59	4.27
Equation	F1	-4.18	7.01	0.90	2.50	2.51	3.60
	F2	5.10	7.32	0.92	2.31	2.41	4.56
	F3	2.66	4.39	0.93	2.05	2.10	5.85
	F4	7.45	9.44	0.93	2.04	2.73	7.19
	F5	8.50	10.61	0.93	2.04	2.77	7.25
	F6	9.44	12.73	0.94	1.98	2.57	7.04
	F7	8.39	15.30	0.95	1.83	1.85	2.89
	F8	-0.43	0.68*	0.92	2.22	2.25	4.85
	F9	-0.71	0.85*	0.89	2.63	2.70	5.30
	F10	4.58	5.55	0.89	2.62	2.86	3.97
	F11	-1.71	1.36	0.90	2.56	4.35	1.63
	F12	0.48	0.51*	0.83	3.23	3.25	5.16

Abbreviations are as in Table 6

Table 8. Correlation of relative body fat by near-infrared(NIR) measurement with actual % body fat by hydrostatic measurement

Class	No.	% Body fat (Mean± S.D.)		Correlation	
		actual value	NIR method	r	p
Total subjects	50	13.50± 5.87	16.82± 5.20	0.86	0.0001
Sex : Male	38	12.08± 5.21	15.01± 4.04	0.80	0.0001
Female	12	17.97± 5.75	22.56± 4.27	0.91	0.0001
% fat ≤ 10	16	7.12± 1.99	12.53± 2.38	0.49	0.0568
10 < % fat ≤ 20	28	14.81± 2.60	17.48± 4.17	0.68	0.0001
20 < % fat ≤ 30	6	24.38± 2.66	25.18± 2.97	0.94	0.0055
10 ≤ Age < 20	25	13.42± 5.06	16.80± 4.65	0.82	0.0001
20 ≤ Age < 30	19	11.92± 6.47	15.78± 5.95	0.85	0.0001
30 ≤ Age < 40	6	18.80± 4.49	20.18± 3.93	0.96	0.0027

No. : number of subjects r : coefficient p : probability

체지방량 추정식의 타당성 평가

팔위, 복부, 허벅지)의 피하지방두께의 합을 이용하였다. 이처럼 한 부위의 피하지방두께를 각각의 변수로 삼는 것보다는 여러 부위의 피하지방두께의 합을 이용할 경우, 측정자 간의 variability로 인한 영향을 감소시킬 수 있다⁴¹⁾. 여자에서도, 여러 부위의 피하지방두께의 합을 이용한 F1, F2, F4, F5, F6, F8, F9 등이 비교적 낮은 total error 값을 보였다.

Cross-validation에 유용한 또 다른 정보는 실제 측정값과 추정값의 표준편차의 비교이다. 이는 두 값의 분포양상이 유사한가를 보는 것으로, 남자에서는 Jackson과 Pollock³³⁾의 7부위의 피하지방두께의 합을 이용한 M10의 표준편차가, 여자에서는 허벅지와 삼두박근과 장골위의 피하지방두께를 변수로 포함하고 있는 Sloan등⁷⁾의 식(F3)의 표준편차가, 남녀 각각의 실제 측정치의 표준편차와 유

Table 9. Multiple regression equations for prediction of relative body fat (%) in male subjects

Eq. #	Anthropometric measure used	No.	Multiple regression equation	R	SEE
1	NIR	1	Fat (%) = -3.5110 + 1.0390(NIR)	0.804	3.09
2	S	2	Fat (%) = 7.8646 + 0.3998(X ₁) + 0.2353(X ₂)	0.728	3.57
3	S	2	Fat (%) = 9.1954 + 0.3655(X ₁) + 0.1226(X ₃)	0.717	3.63
4	C	2	Fat (%) = 4.2975 - 0.3000(X ₇) + 0.5045(X ₈)	0.659	3.92
5	S, C, Height	4	Fat (%) = 46.0425 + 0.3100(X ₈) - 0.6565(X ₉) + 0.3770(X ₄) - 0.2566(X ₁₃)	0.722	3.31
6	Sum of S, BW	2	Fat (%) = 10.6893 - 0.0656(X ₁ + X ₂ + X ₃ + X ₅) + 0.0024(X ₁ + X ₂ + X ₃ + X ₅) ² - 0.0204(X ₁₄)	0.750	3.64
7	Sum of S	1	Fat (%) = 8.9886 - 0.0417(X ₁ + X ₂ + X ₅ + X ₆) + 0.0024(X ₁ + X ₂ + X ₅ + X ₆) ²	0.709	3.68
8	Sum of S, BMI	2	Fat (%) = -3.8488 + 0.1687(X ₁ + X ₂ + X ₃ + X ₅) + 0.6728(X ₁₅)	0.724	3.59

No. : number of variables used NIR : % Body fat estimated by near-infrared, S : Skinfold thickness (mm), C : Circumference(cm), BW : Body weight(kg), BMI : Rohner body mass index, X₁ : Subscapular S, X₂ : Femoral S, X₃ : Abdomen S, X₄ : Subcostal S, X₅ : Triceps S, X₆ : Calf S, X₇ : Bast C, X₈ : Waist C, X₉ : Forearm C, X₁₀ : Flexed arm C, X₁₁ : Upper thigh C, X₁₂ : Hip C, X₁₃ : Height, X₁₄ : Body weight, X₁₅ : Body mass index(kg/m³)

Table 10. Multiple regression equations for prediction of relative body fat (%) in female subjects

Eq. #	Anthropometric measure used	No.	Multiple regression equation	R	SEE
1	NIR	1	Fat (%) = -9.5718 + 1.2210(NIR)	0.907	2.42
2	S	1	Fat (%) = 5.6170 + 0.7043(X ₅)	0.958	1.64
3	S	1	Fat (%) = 7.1962 + 0.6776(X ₃)	0.941	1.94
4	S	2	Fat (%) = 13.9321 + 0.2447(X ₅) + 0.2782(X ₃)	0.924	2.19
5	C	1	Fat (%) = -37.2807 + 1.7275(X ₁₀)	0.967	1.46
6	C	2	Fat (%) = -18.4078 + 0.3223(X ₁₁) + 0.2210(X ₁₂)	0.954	1.72
7	Sum of S	1	Fat (%) = 4.8385 + 0.1928(X ₁ + X ₂ + X ₃ + X ₅)	0.944	1.89
8	Sum of S	1	Fat (%) = 8.9574 + 0.0350(X ₁ + X ₂ + X ₅ + X ₆) + 0.001795(X ₁ + X ₂ + X ₅ + X ₆) ²	0.947	1.85

Abbreviations are as in Table 9

사하였다. 따라서 이 두 추정값의 분포가 실제적인 체지방량의 분포와 유사하다고 할 수 있다.

이상의 결과를 종합해 보면, 남자에서는 NIR방법에 의한 체지방량의 추정값이 가장 적은 total error를 나타낼 뿐만 아니라 방법도 간단하므로 비교적 정확한 추정치를 제공한다고 하겠다. 그 밖에 신체계측을 이용한 각종 추정식 중에서는 total error만을 고려한다면 Pollock등¹⁴⁾의 추정식 M3가 가장 적당하다고 할 수 있으나, total error와 함께 실제 측정값과 추정값의 표준편차를 동시에 고려한다면 Sloan⁶⁾의 식이 적합하다고 할 수 있다. 특별히 M3과 M1의 추정식이 유도된 Pollock등¹⁴⁾과 Sloan⁶⁾의 original sample의 연령이나 체지방량이 본 연구대상의 연령이나 체지방량 등과 가장 유사한 점으로 미루어 보아 population-specific equation의 중요성을 알 수 있었다. 반면에 Durnin과 Womersley²⁷⁾, Anyan³¹⁾, Jackson과 Pollock³³⁾의 generalized equation(M4, M8, M10, M13, M14)의 total error는 4.11~4.45%로 매우 높았다. 여자에서는 Behnke와 Wilmore³²⁾의 추정식(F7)의 total error가 가장 적었고, F3은 추정값의 표준편차도 실제값의 표준편차와 비슷하면서 total error도 2.10%로 비교적 적었다.

앞서의 연구들은³³⁾⁴⁰⁾ 피하지방두께와 체밀도 사이의 관계는 2차함수에 의해 가장 잘 설명된다고 보고하고 있다. 그러나 본 연구에서는 곡선형의 2차식 뿐만 아니라 직선형의 1차식도 타당도가 비교적 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과에 대하여, 표본의 체밀도 또는 체지방량의 편차가 큰 집단의 경우는 1차함수보다 2차함수가 적당하나, 본 연구와 같이 연령 및 신체적 특징이 유사한 집단에서는 체지방량의 편차가 적으므로($\pm 5.87\%$), 1차함수도 2차함수와 비슷한 total error를 보였다고 설명할 수 있다. 즉 표본이 이질적 집단으로 구성된 경우는, 2차함수 형태의 “일반화된 공식(generalized equation)”이 필요하나, 동질집단을 대상으로 하는 경우에는 1차함수만으로도 2차함수와 비슷한 타당도를 보인다는 것이다.

체지방량 평가에 이용할 추정식을 선택할 때에는 표본의 특징 및 연령과 비슷한 집단에서 유도

된 식을 선택해야 한다. 그렇지 않을 경우, 상관계수가 낮아지고, SEE가 증가하게 된다. 본 연구에서도 국내에서 개발된 추정식(남자 M5와 M7, 여자 F2)을 본 조사대상자에게 적용시, 남자의 경우는 이³⁰⁾가 발표한 식보다는 공군장병들을 대상으로 한 박²⁸⁾이 발표한 식의 total error가 더 적었다. 여자에서는 여자 대학생 집단에서 유도된 김³⁸⁾의 식(F2)의 total error가 2.41%로 비교적 유효한 범위내에 있었다.

4. Near-Infrared를 이용한 체지방 측정값과의 상관관계

Table 8에서는 체밀도 측정에 의해서 계산된 체지방량(%)과 near-infrared(NIR)를 이용하여 측정된 체지방량(%)간의 상관관계를 group별로 비교하고 있다.

NIR방법에 의해 측정된 전체 조사대상자의 체지방비율은 $16.82 \pm 5.20\%$ 로 수중체중 측정으로부터 계산된 체지방비율 $13.50 \pm 5.87\%$ 보다 다소 과대측정 되었음을 알 수 있다. 그러나, 이들 둘 사이의 상관성은 유의수준 $p=0.0001$ 에서 상관계수 $r=0.85$ 로 비교적 높게 나타났다.

이를 성별에 따라 나누어 살펴보면, 실제 체지방비율은 남녀 각각 $12.08 \pm 5.21\%$ 와 $17.97 \pm 5.75\%$ 였으며, NIR방법에 의한 결과는 남녀 각각 $15.01 \pm 4.04\%$ 와 $22.56 \pm 4.27\%$ 였다. 두가지 측정값간의 상관관계는 여자가 $r=0.91$ ($p=0.0001$)로 남자의 $r=0.80$ ($p=0.0001$)보다 높았다. 전체 조사대상자를 체지방량 10%이하, 10~20%, 20%이상의 세 group으로 나누어, 각 group에서 체지방비율의 실제 측정치와 NIR방법에 의한 측정치와의 상관성을 살펴보면, 체지방이 많은 group일수록 상관계수가 높음을 알 수 있다. 즉, 체지방비율이 10%이하인 group은 $r=0.49$ 로 비교적 낮은 상관성을 보인 반면, 체지방비율이 10~20%인 group은 $r=0.68$ 로 앞서 보다 좀 더 높은 상관성을 보여 주었고, 체지방비율이 20%이상인 group은 $r=0.94$ 로 가장 높은 상관성을 보여 주어, infrared interactance를 이용한 체지방량의 측정이 특히 비만자에서 유용하다고 한 Conway등²⁶⁾의 보고와 일치하였다. 또

한 연령이 높은 group일수록 상관계수가 높아 10대에서는 $r=0.82$, 20대에서는 $r=0.85$ 였고, 30대에서는 $r=0.96$ 으로 세 group 중에서 가장 높았다.

5. 본 연구대상자에게 적합한 체지방량 추정식의 개발

Table 4에서 보듯이 신체둘레, 피하지방 두께 등 각종 신체계측치는 체지방비율과 높은 상관관계를 가지고 있으므로 이들 간에 회귀분석을 통하여 체지방비율 산출에 가장 적당한 회귀식을 유도하였다(Table 9, 10).

먼저 남자에서(Table 9) NIR방법에¹ 의해서 overestimate된 추정값을 회귀식을 통하여 실제 체지방비율에 근접시킬 수 있으며[Fat(%) = $-3.5110 + 1.0390(\text{NIR})$], 이때의 R값은 0.804였다(equation 1). 또한 체지방 비율과 가장 높은 multiple correlation을 보이는 2가지 피하지방 두께(견갑골과 허벅지)를 이용한 체지방 추정식(equation 2)은 Fat(%) = $7.8646 + 0.3998(\text{subscapular skinfold}) + 0.2353(\text{femoral skinfold})$ 로 비교적 높은 R값(0.728)을 나타냈다. 그 밖에 가슴둘레와 허리둘레를 이용한 식(equation 4), 4부위의 피하지방두께의 합을 이용한 2차식(equation 6, 7, 8)도 $R=0.709\sim 0.750$ 의 높은 correlation을 보였다(Table 9).

여자는 표본의 수가 적으므로 회귀식에 포함되는 변수의 수를 2개 이하로 제한하였다(Table 10). NIR측정에 의한 결과를 이용하여, Fat(%) = $-9.5718 + 1.2210(\text{NIR})$ 의 회귀식을 얻었으며, 이때의 R은 0.907, SEE는 2.42%였다. 여자의 체지방비율과 높은 상관관계를 보인 삼두박근 및 복부의 피하지방 두께를 이용한 회귀식은 각각 equation 2($R=0.958$)와 equation 3($R=0.941$)으로 비교적 낮은 SEE를 보였다. 또한 체지방량과 높은 상관관계를 보인 팔둘레를 이용한 equation 5도 높은 상관계수($R=0.967$)와 낮은 SEE(1.46%)를 보였다.

중년 비만 여성들을 대상으로 체지방 추정식을 유도한 Barrows와 Snook³⁹⁾는 주로 몸통부위의 신체계측치를 이용하였으나, 본 연구에서 삼두박근, 종아리둘레 등 팔다리의 신체계측치도 포함되었

다. 이는 연령이 증가함에 따라 체지방이 몸통부분(trunk area)으로 이동한다는 Pollock등¹³⁾의 보고와 연관되는 결과이다.

요약 및 결론

본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 본 조사대상자의 체밀도는 남녀 각각 $1.072 \pm 0.0132\text{g/ml}$ 와 $1.058 \pm 0.0140\text{g/ml}$ 였으며, 이를 이용하여 계산한 체지방 비율은 남자가 $12.08 \pm 5.21\%$ 로 여자의 $17.97 \pm 5.75\%$ 보다 유의적으로 적었다($p=0.0057$).

2) 13부위의 신체둘레 중에서 체지방비율과 가장 높은 상관관계를 보이는 것은, 남녀 모두 허리둘레였으며(남자 $r=0.60$, 여자 $r=0.96$), 9부위의 피하지방 두께 중에서 남자는 견갑골 밑의 피하지방 두께가($r=0.68$), 여자는 삼두박근의 피하지방 두께가($r=0.96$). 체지방 비율과 가장 높은 상관관계를 보였다.

3) 수중체중 측정에 의한 체지방비율과 국내외에서 널리 이용하고 있는 각종 체지방 추정식(남자 18개, 여자 12개)을 이용한 체지방비율 및 near-infrared(NIR)에 의한 체지방비율을 비교 분석한 결과, 남자에서는 NIR에 의한 체지방비율의 total error가 3.10%로 가장 적었다. 한편, 18개의 추정식 중에서는 견갑골밑, 늑골밑, 허벅지의 피하지방 두께를 이용한 Pollock등¹⁴⁾의 식(M3)의 total error(3.76%)가 가장 적었다. 그러나 total error와 함께 추정값과 실제 측정값의 분산분포의 유사성을 함께 고려한다면 견갑골밑과 허벅지의 피하지방 두께를 이용한 Sloan⁵⁾의 추정식이 가장 적당한 것으로 나타났다.

4) 여자에서는 Behnke와 Wilmore³²⁾의 추정식(F7)에 의한 체지방량과 실제 측정치간의 total error가 1.85%로 가장 적었으며, NIR에 의한 측정값의 total error도 2.59%로 비교적 적었다.

5) 체밀도 측정에 의한 체지방비율과 NIR을 이용한 체지방 추정값 사이의 상관관계는 남자($r=0.80$)보다 여자에서($r=0.91$) 더 높았으며, 나이가 많은 group일수록(10대 $r=0.82$, 20대 $r=0.85$, 30대

r=0.96), 체지방이 많은 obese group일수록(체지방 10% 이하 r=0.49, 10~20% r=0.68, 20% 이상 r=0.94) 더 높았다.

6) NIR에 의한 추정값을 이용한 체지방 비율의 회귀 직선은 남자의 경우는 % body fat = -3.5110 + 1.0390(NIR, % body fat), 여자는 % body fat = -9.5718 + 1.2210(NIR, % body fat)로 나타났다.

7) 신체계측치를 이용하여 본 조사대상자의 체지방량을 추정하고자 할때, 가장 적당한 식은 남자에서는 % body fat = -3.8488 + 0.1687(견갑골, 복부, 삼두박근 및 허벅지의 피하지방 두께의 합, SUM4) + 0.6728(body mass index, kg/m³)였으며, 이때의 타당도 계수(R²)는 0.5244, SEE는 3.59% 였다.

8) 여자는 피검자수가 적으므로 변수의 수를 1개로 제한할 때, % body fat = 4.8385 + 0.1928(SUM4)이 적당한 것으로 나타났다(R²=0.8917, SEE=1.89%, Sum4는 7번과 동일).

최근 population-specific equation보다는 모든 대상에게 적용이 가능한 generalized equation의 개발에 더욱 관심이 증대되는 추세에 있다. 그러나 본 연구결과는 원래의 회귀식이 유도된 집단과 비슷한 대상에게 그 식을 적용시켰을 때 가장 높은 타당도를 얻게 됨을 지적하고 있다. 따라서 연령, 성별 및 신체적 특성이 각기 다른 group의 체지방량 추정시 가장 타당도가 높은 회귀식을 얻으려면, 각 group마다 다른 변수를 이용해야 한다. 앞으로 한국인의 성별 및 연령에 따른 개별화된 체지방 계산식의 개발과 함께 체밀도 측정법의 표준화 등 연구방법의 개선등이 폭넓게 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Literature cited

- 1) Pollock ML, Jackson AS. Research progress in validation of clinical methods of assessing body composition. *Med Sci Sports Exerc* 16(6) : 606-613, 1984
- 2) Bischoff E, Gewichts E. Bestimmugen der organs der menschlichen korpers. *Zertchr F, ration Med III Reich* 20 : 75, 1963
- 3) Widdowson EM, McCance RA, Spray CM. Chemical composition of the human body. *Clin Sci* 10 : 113-125, 1951
- 4) Brožek J, Keys A. The evaluation of leanness-fatness in man : norms and interrelationships. *Br J Nutr* : 194-206, 1951
- 5) Durnin JVGA, Rahaman MM. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br J Nutr* 21 : 681-689, 1967
- 6) Sloan AW. Estimation of body fat in young men. *J Appl Physiol* 23 : 311-315, 1967
- 7) Sloan AW, Burt JJ, Blyth CS. Estimation of body fat in young men. *J Appl Physiol* 17 : 967-970, 1962
- 8) Young CM. Prediction of specific gravity and body fatness in older women. *J Am Diet Assoc* 45 : 333-338, 1964
- 9) Young CM, Martic M, Tensuan R, Blondin J. Predicting specific gravity and body fatness in young women. *J Am Diet Assoc* 40 : 102-107, 1962
- 10) Wilmore JH, Behnke AR. An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. *J Appl Physiol* 27(1) : 25-31, 1969
- 11) Wiomore JH, Behnke AR. An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young women. *Am J Clin Nutr* 23 : 267-274, 1970
- 12) Katch FI, McArdle WD. Prediction of body density from simple anthropometric measurements in college age women and men. *Hum Biol* 45 : 445-454, 1973
- 13) Pollock ML, Laughridge E, Coleman B, Linnerud AC, Jackson A. Prediction of body density in young and middle-aged women. *J Appl Physiol* 38 : 745-749, 1975
- 14) Pollock ML, Hickman T, Kendrick Z, Jackson

체지방량 추정식의 타당성 평가

- A, Linnerud AC, Dawsan G. Prediction of body density in young and middle-aged men. *J Appl Physiol* 40 : 300-304, 1976
- 15) Smith DP, Boyce RW. Prediction of body density and lean body weight in females 25 to 37 years old. *Am J Clin Nutr* 30 : 560-564, 1977
- 16) Thorland WG, Johnson GO, Tharp GD, Fagot TG, Hammer RW. Validity of anthropometric equations for the estimation of body density in adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc* 16(1) : 77-81, 1984
- 17) 박경화. 피부두겹집기법에 의한 한국 공군장병의 총지방량 측정. *항공의학* 11(2) : 89-99, 1963
- 18) 조승현, 이원갑, 이동성. 공군사관생도 지원자를 중심으로 한 총지방량 측정. *항공의학* 13(2) : 15-22, 1965
- 19) 차철환, 박순영, 조광수, 현호섭, 이영일. 한국 청년층의 총지방량 측정에 관한 연구. *한국영양학회지* 4(1, 2) : 29-40, 1971
- 20) 이병갑, 박순영. 일부 도시지역의 여자 중고등학교생들의 총지방량 및 영양상태에 관한 연구(I). *한국영양학회지* 4(3) : 5-12, 1971
- 21) 박순영. 한국 청년남녀의 피하지방후 측정에 의한 총지방량 측정에 관한 연구. *중앙의학* 22(5) : 603-611, 1972
- 22) 손태열, 조현철, 이청무. 운동 생리학 실험. 명진당, pp51, 1988
- 23) Dubois D, Dubois EF. Clinical calorimetry V. The measurement of the surface area of men. *Arch Int Med* 15 : 1915
- 24) 김기용. 신장과 체중을 이용한 남자의 신체용적 간접측정. *대한생리학회지* 4(2) : 1970
- 25) Siri WE. Body composition from fluid spaces and density. Berkeley Calif : Donner Lab Med Physics, Univ of Calif Rept, 19 March, 1956
- 26) Conway JM, Norris KH, Bodwell CE. A new approach for the estimation of body composition : infrared interactance. *Am J Clin Nutr* 40 : 1123-1130, 1984
- 27) Durnin JVGA, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness : measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 32 : 77-97, 1974
- 28) 박경화. 한국 공군조종사의 총지방량 측정. *항공의학* 11(1) : 33-41, 1963
- 29) Yuhasz MS. The effects of sports training on body fat in man with prediction of optimal body weight (unpublished doctoral thesis) Urbana III Univ of Illinois, 1962
- 30) 이원석. 한국청년의 체지방 측정연구. 미발표, 1968
- 31) Anyan WR. Adolescent medicine in primary care. New York John Willey and Sons, pp137, 1978
- 32) Behnke AR, Wilmore JH. Evaluation and regulation of body build and composition. *Englewood cliffs, NJ* : Prentice-Hall, 1984
- 33) Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 40 : 497-504, 1978
- 34) Lohman TG. Skinfolds and body density and their relation to body fatness : a review. *Hum Biol* 53 : 181-225, 1981
- 35) Parizkova J. Total body fat and skinfold thickness in children. *Metabolism* 10 : 794-807, 1961
- 36) Pollock ML, Schmidt DH, Jackson AS. Measurement of cardiorespiratory fitness and body composition in the clinical setting. *Comp Ther* 6 : 12-27, 1980
- 37) Michael ED, Katch FI. Prediction of body density from skinfold and girth measurements of 17-year-old boys. *J Appl Physiol* 25 : 747-750, 1968
- 38) 김홍선. 밀도법 및 피부겹집기법에 의한 한국 여학생의 총지방량 측정. *수도대의잡지* 4(1) : 21-28, 1967
- 39) Barrows W, Snook JT. Effect of a high-protein, very-low-calorie diet on body composition and anthropometric parameters of obese middle-

- aged women. *Am J Clin Nutr* 45 : 381-390, 1987
- 40) Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 12 : 175-182, 1980
- 41) Jackson AS, Pollock ML, Gettman LR. Intertester reliability of selected skinfold and circumference measurements and percent fat estimates. *Res Quart* 49 : 546-551, 1978
- 42) Weltman A, Katch V. Preferential use of casing (girth) measures for estimating body volume and density. *J Appl Physiol* 38(3) : 560-563, 1975