

만성질환 이환율을 이용한 여자노인의 체질량지수에 대한 아시아-태평양지역 기준과 Entropy모델 기준 비교

정구범¹⁾ · 박진용²⁾ · 권세영³⁾ · 박경옥⁴⁾ · 박필숙⁵⁾ · 박미연^{6)†}

¹⁾경북대학교 컴퓨터정보학부, ²⁾경상대학교 의과대학 미생물교실, ³⁾대구보건대학교 임상병리과,
⁴⁾승실대학교 정보통계보험수리학과, ⁵⁾경북대학교 식품영양학과, ⁶⁾경상대학교 식품영양학과

A Comparison between Asia-Pacific Region Criteria and Entropy Model Criteria about Body Mass Index of Elderly Females Using Morbidity of Chronic Disease

Gu-Beom Jeong¹⁾, Jin-Yong Park²⁾, Se-Young Kwon³⁾, Kyung-Ok Park⁴⁾, Pil-Sook Park⁵⁾, Mi-Yeon Park^{6)†}

¹⁾School of Computer Information, Kyungpook National University, Sangju, Korea

²⁾Department of Microbiology, Gyeongsang National University Medical School, Jinju, Korea

³⁾Department of Biomedical Laboratory Science, Daegu Health College, Daegu, Korea

⁴⁾Department of Statistics and Actuarial Science, Soongsil University, Seoul, Korea

⁵⁾Department of Food Science & Nutrition, Kyungpook National University, Daegu, Korea

⁶⁾Department of Food & Nutrition, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

†Corresponding author

Mi-Yeon Park
Department of Food & Nutrition,
Gyeongsang National
University, 501, Jinju-daero,
Jinju, Gyeongnam 660-701,
Korea

Tel: (055) 772-1438
Fax: (055) 772-1439
E-mail: mypark@gnu.ac.kr

Acknowledgments

This work was supported by the
KNU research grant 2012.

Received: August 5, 2014
Revised: September 29, 2014
Accepted: October 5, 2014

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted to propose the need of re-establishing the criteria of the body weight classification in the elderly. We compared the Asia-Pacific Region Criteria (APR-C) with Entropy Model Criteria (ENT-C) using Morbidity rate of chronic diseases which correlates significantly with Body Mass Index (BMI).

Methods: Subjects were 886 elderly female participating in the 2007-2009 Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). We compared APR-C with those of ENT-C using Receiver Operating Characteristics (ROC) curve and logistic regression analysis.

Results: In the case of the morbidity of hypertension, the results were as follows: Where it was in the T-off point of APR-C, sensitivity was 67.5%, specificity was 43.1%, and Youden's index was 10.6. While in the cut-off point of ENT-C, it was 56.7%, 56.6%, and 13.3 respectively. In the case of the morbidity of diabetes, the results were as follows: In the cut-off point of APR-C, Youden's index was 14.2. While in the cut-off point of ENT-C, it was 17.2 respectively. The Area Under the ROC Curve (AUC) of the subjects who had more than 2 diseases among hypertension, diabetes, and dyslipidemia was 0.615 (95% CI: 0.578-0.652). Compared to the normal group, the odds ratio of the hypertension group which will belong to the overweight or obesity was 1.79 (95% CI: 1.30-2.47) in the APR-C, and 2.04 (95% CI: 1.49-2.80) in the ENT-C ($p < 0.001$).

Conclusions: We conclude that the optimal cut-off point of BMI to distinguish between normal weight and overweight was 24 kg/m² (ENT-C) rather than 23 kg/m² (APR-C).

Korean J Community Nutr 19(5): 490~498, 2014

KEY WORDS body mass index, ROC curve, Youden's index, chronic disease

서론

우리나라 노인 인구구조의 변동을 살펴보면 1970년에 3.1%에서 1980년에는 3.9%로 서서히 증가하였지만, 1990년에 들어서 속도가 가속화되어 노인 인구비율이 5.1%가 되었으며, 2000년에는 7.2%로 고령화 사회에 진입하였다. 그리고 2018년에는 고령사회로 진입(14.5%)될 예정으로, 고령화 사회에서 고령사회로의 진입 시간이 프랑스(115년), 미국(72년), 영국(46년), 일본(24년)보다 매우 짧은 기간(17년)이 소요될 것으로 예측되고 있다(Statistics Korea 2013). 이와 더불어 60~69세 여성의 비만을 보면, 1998년 38.6%에서 2008년 43.8%로 증가하였다가, 2010년 43.3%, 2012년 43.1%로 최근 3년간 정체상태에 있으나, 70세 이후 여성노인의 비만율은 1998년 29.4%, 2008년 34.3%, 2010년 34.4%, 2012년 36.1%로 꾸준히 증가상태에 있다(Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention 2013).

과도한 지방축적은 고혈압, 고지혈증 등의 심혈관질환과 당뇨병, 퇴행성 관절염 등의 유병율을 증가시키며, 자아 존중감 상실, 우울감 등의 사회 심리적 장애까지도 유발시킬 수 있다. 이러한 과도한 지방축적을 평가하기 위한 여러 방법들이 많은 연구자들에 의해 제안되어 그 중 체중을 신장의 제곱으로 나눈 값으로 계산하는 체질량지수(body mass index, BMI)는 재현성이 뛰어나고 간편하여 과체중이나 비만의 정도를 표시하는 기준으로 국제적인 인정을 받아 비만 진단에 널리 사용되고 있다(Garrow & Webster 1985; Deurenberg 등 1991; Kang 등 2002). 하지만 체질량지수를 이용한 체중분류는 인종에 따라 차이가 있어, 우리나라 대한비만학회와 세계보건기구의 아시아·태평양지역 지침에서는 체질량지수 25 kg/m^2 을 기준으로 25 kg/m^2 이상이면 비만으로 분류하고 있다(National Heart Lung and Blood Institute; National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases (US) 1998).

사람은 노화에 따라 근육은 감소하는 반면 지방이 증가하는 체구성의 변화를 겪게 되는데, 이는 체중의 변화 없이도 일어나며 대개 30세에서 60세 사이에 매년 0.2 kg의 근육이 손실되고, 0.5 kg의 지방이 증가된다(Hughes 등 2002). 50세~75세경에는 이전 근육량의 약 25%가 감소하며, 특히 여성의 경우는 에스트로겐이 감소하는 갱년기 이후 근육 손실이 급속히 증가하여 60대에 최고치에 이른다(Balagopal 등 1997). 2012년 우리나라 국민건강영양조사에서 성별에 따른 50대와 60대의 비만율을 살펴보았을 때, 남성은 연령

대별 비만율이 약 33%로 비슷하였으나 여성은 50대 34.9%에서 60대는 43.1%로 급격하게 증가하였다(Ministry of Health & Wealth 2013). 이러한 특징과 더불어 나이가 들면서 신장도 감소하므로, 노인에서 체질량지수를 일반 성인과 같은 기준으로 사용해야 할 것인지에 대한 의문이 제기된다. 뿐만 아니라 현재 비만 기준에서 65세 이상 노인에게 적절한 비만은 수명 연장에 미치는 효과가 중립이거나 오히려 이익이 되는 결과를 보여 노인비만에 있어서 일반 성인과는 다른 개념의 접근이 필요함을 시사하였다(Zamboni 등 2005; Oreopoulos 등 2009; Han 등 2011).

본 연구에 이용한 엔트로피(Entropy)는 확률변수의 불확실성을 측정하는 것으로 정보의 기댓값을 나타내며(Shannon 1948), 여러 분야에서 분류경계(classification boundaries, cut-off point)를 결정하는 기법으로 이용되고 있다(Cao 등 2002; Yeh 등 2010; Luukka 2011; Zhou 등 2013).

이에 본 연구에서는 여성 노인을 대상으로 체질량지수와 유의한 상관성을 갖는 만성질환들의 이환율을 이용하여 아시아-태평양지역(Asia-Pacific Region Criteria, APR-C) 기준과 엔트로피모델 기준(Entropy Model Criteria, ENT-C)의 유형 비교를 통해 노인들의 체중분류 기준에 대한 재정립의 필요성을 제시하고자 한다.

연구대상 및 방법

1. 조사대상 및 질병정의

본 연구는 국민건강영양조사 제 4기(2007~2009) 자료를 이용하였으며, 면담과 검진에 참여하고, 체질량지수 18.5 미만인 대상자를 제외한 65세 이상 여자노인 886명을 대상으로 하였다. 질환에서 고혈압은 수축기혈압이 140 mmHg 이상이거나 이완기혈압이 90 mmHg 이상 또는 혈압강하제를 복용하고 있는 경우로 하였으며, 고혈압전기는 수축기혈압 130~139 mmHg이거나 이완기혈압 85~89 mmHg인 경우로 정의하였다. 당뇨병은 공복혈당이 126 mg/dL 이상이거나 치료를 받고 있는 경우이며, 공복혈당장애는 공복혈당이 100~125 mg/dL인 경우로 하였다. 이상지질혈증은 총콜레스테롤 230 mg/dL 이상, LDL콜레스테롤 150 mg/dL 이상, HDL콜레스테롤 50 mg/dL 미만, 중성지방 200 mg/dL 이상의 진단기준에서 어느 하나라도 해당되는 경우로 하였으며, 경계 위험군은 총콜레스테롤 200~229 mg/dL, LDL콜레스테롤 130~149 mg/dL, HDL콜레스테롤 50~59 mg/dL, 중성지방 150~199 mg/dL에서 1개 이상 해당되는 경우로 정의하였다.

2. 연구변수 선정 및 정의

1) 아시아-태평양지역 기준 유형(Asia-Pacific Region Criteria, APR-C)

체질량지수는 신체계측에 의한 체중과 신장을 측정된 결과를 이용하여 체중(kg)/신장(m²)으로 산출하였으며, 아시아-태평양지역기준 유형(APR-C)에서는 BMI 18.5 미만 이 저체중, 18.5~22.9 정상, 23.0~24.9 과체중, 25.0 이상은 비만으로 분류되어 체질량지수 정상체중 cut-off point 는 23 kg/m²로 되어있다.

2) 엔트로피모델 기준 유형(Entropy Model Criteria, ENT-C)

확률분포 $H(X)$ 에서 X 는 이산확률변수로 범위는 유한하거나 셀 수 있는 개체들의 집합이고, $p_i = P[X = x_i], i = 1, 2, \dots, m$ 이라면 식 (1)과 같이 정의 된다.

$$H(X) \cong \sum_{i=1}^n p_i \log_a \frac{1}{p_i} = - \sum_{i=1}^n p_i \log_a p_i \quad (1)$$

확률변수의 엔트로피 $H(X)$ 를 정의하는 식 (1)은 X 에 포함된 정보의 양을 나타내며 불확실성에 대한 척도를 포함하고 있다. $H(X)$ 를 확률분포 p_1, p_2, \dots, p_n 의 함수로 나타내면 식 (2)와 같이 정의 된다.

$$H(X) = H(p_1, p_2, \dots, p_n) \cong - \sum_{i=1}^n p_i \log_a p_i \quad (2)$$

식 (3)의 K 는 확률변수의 데이터 포인트 값(data point value)들의 집합이고, p_j 는 i 번째 히스토그램 수준(histogram level)이며, N 은 부분공간으로 분할된 수를 나타낸다면, 각 부분공간은 $K_j (j = 1, 2, \dots, M)$ 로 정의되며, $p(K_j)$ 는 K_j 의 누적확률로부터의 확률로 표시된다.

$$H(K, N) = \sum_{j=1}^N \left| p(K_j) - \frac{1}{N} \right| \quad (3)$$

여기서, $p(K_j) = 1/N$ 이면, $H(K, N)$ 은 최소 0에 이르게 되며, 이때 엔트로피는 최대값이 된다.

엔트로피 모델 기준은 다음과 같이 2단계로 계산된다,

[1 단계] : 데이터를 정렬하고 히스토그램 분포를 작성한다.

- ① 개인별 BMI를 오름차순으로 정렬한다.
- ② BMI 값들 중 중복되지 않은 속성값을 추출한다
- ③ 각각의 BMI 속성값의 개수에 대한 전체 BMI 개수의 비율을 히스토그램 분포로 작성한다.

[2 단계] : 엔트로피를 계산하고, 경계값을 결정한다.

① 식 3과 같이 정규화된 히스토그램에 각각의 BMI 값으로 엔트로피를 계산하고, 최대값이 되는 지점의 히스토그램을 구한다.

② 각각에 대한 정규화된 히스토그램의 합 계산.
- 각 개인의 BMI에 대한 정규화된 히스토그램의 합을 계산한다.
- 각 개인에 대한 엔트로피를 계산한다.

③ 전체에 대한 정규화된 히스토그램의 합 계산
- 전체에 대한 정규화된 히스토그램의 합을 계산한다.
- 전체에 대한 엔트로피를 계산한다.

④ 엔트로피 값을 합산과 반복 계산.
- 개인과 전체에 대한 엔트로피 값을 합산한다.
- ②와 ③를 데이터 N 만큼 반복 한다.

⑤ 엔트로피가 최대인 BMI를 찾는다

⑥ 해당 BMI로 히스토그램의 경계 값을 추출한다.

따라서 본 연구에서는 N이 886명에 대한 $p(K_j)$ 는 대상자 여자노인들의 체중(kg)/신장(m²)인 BMI를 기준으로 최대 엔트로피 모델을 적용한 기준값에 해당하는 대상자 노인은 체질량지수가 24.0369 kg/m²이었으며, 이를 엔트로피모델 기준(ENT-C)의 정상체중 cut-off point로 정하였다.

3. 분석방법

통계분석은 SPSS 18.0을 사용하였으며, 체질량지수에 따른 비만 관련 질환의 상관성을 구하기 위하여 연령을 통제하여 편상관계수를 구하였다. ROC곡선(Receiver Operating Characteristics curve)은 경계점의 값에 따른 민감도 대 (1-특이도)의 그래프로 적합된 모형이 종속변수의 값이 '1'인 개체와 그렇지 않은 개체를 얼마나 잘 식별해 낼 수 있는지 재는 척도이다(Van der Schouw 등 1992; Nakas & Yiannoutsos 2004). 따라서 APR-C와 ENT-C 기준을 비교하고자, ROC curve 분석을 통해 민감도와 특이도 및 Youden지수를 산출하였다. Youden 지수는 백분율로 환산한 민감도와 특이도의 합에서 100을 뺀 값을 적용하였으며, 만성질환과의 관련성 정도를 비교하기 위하여 logistic regression을 사용하여 교차비와 95% 신뢰구간을 구하였다.

결 과

1. 대상자의 특성

본 자료 대상자의 특성을 살펴보면, 평균 연령은 72.6세(전기노인 69.4세, 후기노인 79.2세)였고, 체질량지수는 전기노인 24.6 kg/m², 후기노인 23.8 kg/m²로 전기노인보다

Table 1. The distribution of general characteristics of subjects

	Total (≥ 65 yr) n = 886	Early elderly (≤ 74 yr) n = 595	Late elderly (≥ 75 yr) n = 291	P
Age (years)	72.6 ± 5.5 ¹⁾	69.4 ± 2.8	79.2 ± 3.7	0.000
BMI (kg/m ²)	24.3 ± 3.1	24.6 ± 3.2	23.8 ± 2.9	0.000
Waist circumference (cm)	83.4 ± 9.3	84.1 ± 9.2	82.1 ± 9.2	0.003
Fasting glucose (mg/dL)	93.6 ± 39.7	96.8 ± 34.3	87.1 ± 48.2	0.002
Total cholesterol (mg/dL)	199.7 ± 35.2	199.1 ± 34.3	201.1 ± 37.4	0.472
Triglyceride (mg/dL)	150.0 ± 84.5	150.5 ± 87.8	148.7 ± 76.5	0.781
HDL-cholesterol (mg/dL)	45.6 ± 9.5	45.9 ± 9.3	44.7 ± 10.0	0.099
Systolic BP (mmHg)	131.3 ± 19.1	129.6 ± 18.6	135.0 ± 19.6	0.000
Diastolic BP (mmHg)	76.2 ± 10.1	76.5 ± 9.9	75.6 ± 10.6	0.205

1) Mean ± SD

Table 2. Partial correlation coefficient between body mass index and biochemical results and blood pressure in subjects¹⁾

	BMI ²⁾
Fasting glucose (mg/dL)	0.168 (0.000) ³⁾
Total cholesterol (mg/dL)	0.046 (0.196)
Triglyceride (mg/dL)	0.090 (0.011)
HDL-cholesterol (mg/dL)	-0.156 (0.000)
LDL-cholesterol (mg/dL)	0.055 (0.125)
Systolic BP (mmHg)	0.104 (0.003)
Diastolic BP (mmHg)	0.133 (0.000)

1) Results after controlling for ages of the subjects

2) BMI: Body mass index

3) correlation coefficient (p value)

후기노인의 체질량지수가 유의하게 낮았다. 전체 대상자의 평균 허리둘레는 83.4 cm였고, 공복 혈당은 93.6 mg/dL, 총 콜레스테롤과 중성지방은 199.7 mg/dL과 150.0 mg/dL이었다. 평균 수축기혈압과 이완기혈압은 각각 131.3 mmHg와 76.2 mmHg였다(Table 1).

2. 신체계측치와 질병 위험인자와의 상관관계

체질량지수를 비롯한 신체계측치와 질병과의 상관관계를 알기 위하여, 연령을 통제한 편상관 계수를 구하였다(Table 2). 체질량지수와 혈당($r = 0.168$, $p < 0.001$), 중성지방($r = 0.090$, $p = 0.011$), 수축기 혈압($r = 0.104$, $p = 0.003$) 및 이완기 혈압($r = 0.133$, $p < 0.001$)과는 양의 상관관계, HDL콜레스테롤($r = -0.156$, $p < 0.001$)과는 음의 상관성을 나타내었다.

3. 만성질환 이환율에 따른 APR-C와 ENT-C 분별점에서의 ROC분석

체질량지수와 유의한 상관성을 갖는 질병인 고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증 이환율을 기준으로 ROC곡선 분석하여, 각 질환별로 추정된 체질량지수 변별점에서 APR-C와 ENT-

C 유형을 비교하였다(Table 3). 대상자의 AUC는 질병에 따라 0.564~0.619 사이였으며, 당뇨병의 AUC(0.619)가 고혈압(0.594)과 이상지질혈증(0.564)보다 크게 나타나는 경향을 보였다.

고혈압 이환율을 기준으로 ROC곡선 분석에서 APR-C 유형의 변별점인 체질량지수 23 kg/m²에서의 민감도는 67.5%, 특이도 43.1%, Youden 지수 10.6이었으며, ENT-C 유형 기준인 체질량지수 24.037 kg/m²에서는 민감도 56.7%, 특이도 56.6%, Youden 지수 13.3이었다.

당뇨병 이환율을 기준으로 한 ROC 분석에서는 APR-C 유형에서의 민감도는 74.9%, 특이도 39.3%, Youden 지수 14.2였으며, ENT-C 유형에서는 민감도 65.4%, 특이도 51.8%, Youden 지수 17.2였다.

이상지질혈증 이환율에서는 APR-C 기준에서의 민감도는 68.5%, 특이도 41.9%, Youden 지수는 10.4, ENT-C 유형의 변별점에서는 민감도는 56.0%, 특이도 53.1%, Youden지수는 9.1이었다.

4. 고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증 중 질환 이환 개수에 따른 APR-C와 ENT-C 분별점에서의 ROC분석

Table 4는 고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증 중 하나, 둘, 또는 둘 이상의 질환에 이환된 대상자를 기준으로 ROC곡선 분석을 한 결과를 나타낸 것이다. 먼저 두 가지 질병에 이환된 조사대상자의 AUC는 0.595(95% CI: 0.555-0.634)이었고, APR-C 유형 분별점에서의 민감도는 72.0%, 특이도 40.5%, Youden 지수 12.5이었으며, ENT-C의 분별점인 체질량지수 24.037 kg/m²에서는 민감도 60.6%, 특이도 52.6%, Youden지수는 13.2였다.

또한 고혈압, 당뇨병 및 이상지질혈증 중 두 가지 또는 세 질병 모두에 이환된 대상자의 AUC는 0.615(95% CI: 0.578-0.652)이었고, APR-C 유형 기준의 체질량지수

Table 3. The sensitivity, specificities and Youden's index for the morbidity of hypertension, diabetes mellitus and dyslipidemia according to cut-off points of BMI

	Cut-off	Hypertension			Diabetes Mellitus			Dyslipidemia		
		AUC ¹⁾ (95% CI)			AUC (95% CI)			AUC (95% CI)		
		0.594 (0.556 – 0.633)			0.619 (0.572 – 0.666)			0.564 (0.526 – 0.602)		
	SS ²⁾ (%)	SP ³⁾ (%)	YI ⁴⁾	SS (%)	SP (%)	YI	SS (%)	SP (%)	YI	
APR-C ⁵⁾	22.987	67.5	42.8	10.3	74.9	39.2	14.1	68.5	41.7	10.2
	23.000	67.5	43.1	10.6	74.9	39.3	14.2	68.5	41.9	10.4
ENT-C ⁶⁾	24.009	56.9	56.6	13.5	65.9	51.8	17.7	56.3	53.1	9.4
	24.037	56.7	56.6	13.3	65.4	51.8	17.2	56.0	53.1	9.1
	24.999	44.2	70.2	14.4	50.8	64.2	15.0	40.5	63.0	3.5
	25.004	44.2	70.5	14.7	50.8	64.4	15.2	40.3	63.0	3.3

1) AUC: Area under the ROC curve
 2) SS: Sensitivity
 3) SP: Specificity
 4) YI: Youden's index
 5) Asia-Pacific Region Criteria
 6) Entropy Model Criteria

Table 4. The sensitivity, specificities and Youden's index by the number of diseases among hypertension, diabetes mellitus and dyslipidemia according to cut-off points of BMI

	Cut-off	One disease (n = 364)			Two diseases (n = 289)			Two or three diseases (n = 374)		
		AUC ¹⁾ (95% CI)			AUC (95% CI)			AUC (95% CI)		
		0.474 (0.436 – 0.512)			0.595 (0.555 – 0.634)			0.615 (0.578 – 0.652)		
	SS ²⁾ (%)	SP ³⁾ (%)	YI ⁴⁾	SS (%)	SP (%)	YI	SS (%)	SP (%)	YI	
APR-C ⁵⁾	22.987	62.4	35.4	-2.2	72.0	40.4	12.4	71.9	42.4	14.3
	23.000	62.4	35.6	-2.0	72.0	40.5	12.5	71.9	42.6	14.5
ENT-C ⁶⁾	24.009	50.0	46.9	-3.0	60.6	52.4	13.0	61.2	55.1	16.3
	24.037	50.0	47.1	-2.9	60.6	52.6	13.2	61.0	55.1	16.0
	24.999	36.3	59.4	-4.3	48.1	65.7	13.8	47.3	67.4	14.7
	25.004	36.0	59.4	-4.6	48.1	65.8	13.9	47.3	67.6	14.9

1) AUC: Area under the ROC curve
 2) SS: Sensitivity
 3) SP: Specificity
 4) YI: Youden's index
 5) Asia-Pacific Region Criteria
 6) Entropy Model Criteria

23 kg/m²에서의 민감도는 71.9%, 특이도 42.6%, Youden 지수가 14.5이었고, ENT-C 기준에서는 민감도 61.0%, 특이도 55.1%, Youden지수 16.0이었다.

5. APR-C와 ENT-C의 분별점과 고혈압과의 관련성

APR-C은 체질량지수 23 kg/m²을, ENT-C는 체질량지수 24.037 kg/m²을 성인의 과체중 및 비만의 분별점으로 하였다. 이에 Table 5는 대상자의 연령에 의한 영향력을 보정하고, 고혈압 환자가 과체중 및 비만일 확률을 APR-C와 ENT-C의 분별점을 기준으로 비교한 결과로, 고혈압 대상군은 정상혈압군에 비해 APR-C 분류의 경우 과체중이상의 위험에 속할 확률이 1.79배(95% CI: 1.30-2.47)로, ENT-C의 기준에서는 2.04배(95% CI: 1.49-2.80)로

유의하게 증가하였다(p < 0.001).

6. APR-C와 ENT-C의 분별점과 당뇨병과의 관련성

APR-C와 ENT-C의 분별점을 기준으로 하여 연령을 보정한 후, 공복혈당장애 및 당뇨병 대상자가 과체중 및 비만일 확률을 분석한 결과를 Table 6에 나타내었다.

공복혈당장애 대상자가 정상 혈당군에 비해 과체중 및 비만에 해당하는 교차비를 살펴보면, APR-C기준 시 2.37배(95% CI: 1.61-3.49), ENT-C 기준 시에는 2.21배(95% CI: 1.55-3.16)로 증가하였고, 당뇨병 대상자의 경우는, APR-C 유형 기준 시 2.33배(95% 신뢰구간: 1.59-3.41), ENT-C 유형의 기준에서는 2.46배(95% CI: 1.72-3.51)로 증가하였다(p < 0.001).

Table 5. The adjusted odds ratio and 95% confidence interval for overweight or obesity of Asia-Pacific region criteria and entropy model criteria by the stage of hypertension

Categories	APR-C ¹⁾		ENT-C ²⁾	
	OR (95% CI)	p	OR (95% CI)	p
Normal (n = 241)	1		1	
Prehypertension (n = 91)	1.05 (0.64 – 1.71)	0.858	1.22 (0.74 – 1.99)	0.440
Hypertension (n = 554)	1.79 (1.30 – 2.47)	0.000	2.04 (1.49 – 2.80)	0.000

1) Asia-Pacific Region Criteria

2) Entropy Model Criteria

Table 6. The adjusted odds ratio and 95% confidence interval for overweight or obesity of Asia-Pacific Region Criteria and Entropy Model Criteria by the stage of diabetes mellitus

Categories	APR-C ¹⁾		ENT-C ²⁾	
	OR (95% CI)	p	OR (95% CI)	p
Normal (n = 533)	1		1	
Impaired fasting glucose (n = 174)	2.37 (1.61 – 3.49)	0.000	2.21 (1.55 – 3.16)	0.000
Diabetes mellitus (n = 179)	2.33 (1.59 – 3.41)	0.000	2.46 (1.72 – 3.51)	0.000

1) Asia-Pacific Region Criteria

2) Entropy Model Criteria

Table 7. The adjusted odds ratio and 95% confidence interval for overweight or obesity of Asia-Pacific Region Criteria and Entropy Model Criteria by the stage of dyslipidemia

Categories	APR-C ¹⁾		ENT-C ²⁾	
	OR (95% CI)	p	OR (95% CI)	p
Normal (n = 255)	1		1	
Borderline risk (n = 167)	1.55 (1.03 – 2.32)	0.036	1.17 (0.78 – 1.74)	0.436
Dyslipidemia (n = 464)	1.79 (1.30 – 2.46)	0.000	1.47 (1.08 – 2.01)	0.015

1) Asia-Pacific Region Criteria

2) Entropy Model Criteria

Table 8. The adjusted odds ratio and 95% confidence interval for overweight or obesity of Asia-Pacific Region Criteria and Entropy Model Criteria by the number of chronic diseases

Number of chronic diseases	APR-C ¹⁾		ENT-C ²⁾	
	OR (95% CI)	p	OR (95% CI)	p
0	1		1	
1	2.14 (1.44 – 3.16)	0.000	2.22 (1.48 – 3.33)	0.000
2	3.27 (2.15 – 4.97)	0.000	3.37 (2.21 – 5.15)	0.000
3	3.29 (1.84 – 5.87)	0.000	3.71 (2.11 – 6.52)	0.000

1) Asia-Pacific Region Criteria

2) Entropy Model Criteria

7. APR-C와 ENT-C의 분별점과 이상지질혈증과의 관련성

대상자의 연령을 보정한 후, APR-C와 ENT-C의 분별점을 기준으로 이상지질혈증과의 관련성을 살펴본 결과 (Table 7), 이상지질혈증 대상자가 정상인에 비하여 과체중 및 비만에 속할 확률이 APR-C 기준의 경우 79% (95% CI: 1.30–2.46), ENT-C의 기준에서는 47% (95% CI: 1.08–2.01) 증가하였다.

8. APR-C와 ENT-C의 분별점과 만성질환 보유 개수와의 관련성

Table 8은 APR-C와 ENT-C 유형의 분별점을 기준으

로 하여 대상자 연령을 보정한 후, 만성질환 보유 개수에 따라 과체중 및 비만일 확률을 분석한 결과이다.

고혈압, 당뇨병 및 이상지질혈증의 만성질환 중 어느 한 가지 질병을 보유한 대상자는 질병이 없는 대상자에 비해 APR-C 기준의 경우 2.14배 (95% CI: 1.44–3.16), 두 가지 질병을 보유한 대상자는 3.27배 (95% CI: 2.15–4.97), 질병 세 가지 모두 보유한 대상자는 3.29배 (95% CI: 1.84–5.87)로 과체중 및 비만에 속할 확률이 증가하였다.

ENT-C 유형 기준에서는 과체중 및 비만에 속할 확률이 질병이 없는 대상자에 비해 한 가지 질병을 보유한 대상자는 2.22배 (95% 1.48–3.33), 두 가지 질병을 보유한 대상자

는 3.37배(95% CI: 2.21-5.15), 세 가지 질병을 모두 보유한 대상자는 3.71배(95% CI: 2.11-6.52)로 증가하였다($p < 0.001$).

고 찰

최근 여러 연구에서 일반 성인에서 사용되는 체질량지수를 비롯한 비만의 진단기준이 노인에게는 적합하지 않다는 다양한 관점의 연구들이 제시되고 있다(Roubenoff 2004; Zamboni 등 2008; Ding 등 2013). 본 연구를 수행함에 있어 문헌고찰을 통한 노인들의 정상체중 한계의 지표를 어떤 기준으로 잡을 것인가에 대한 논의결과 국민건강영양조사자료를 이용하여 엔트로피 모델을 적용한 기준값을 여자 노인의 체질량지수 분별점의 기준 지표로 삼게 되었다.

따라서 본 연구는 체질량지수와 유의한 상관성을 가지는 만성질환의 이환율을 이용하여 아시아-태평양지역 체중분류 유형과 Entropy를 이용한 체중분류 유형의 비교를 통해 노인들의 최적 체중지표의 기준을 추정하고자 하였다.

체질량지수와 질병 위험인자와의 상관관계를 파악하기 위해 살펴본 편상관계수는 혈당($r = 0.168, p < 0.001$), 중성지방($r = 0.090, p = 0.011$), 수축기 혈압($r = 0.104, p = 0.003$) 및 이완기 혈압($r = 0.133, p < 0.001$)과는 양의 상관성을, HDL콜레스테롤($r = -0.156, p < 0.001$)과는 음의 상관성을 유의하게 보였으나 상관의 정도는 매우 낮았다.

대사증후군을 가진 환자군에서 비만도와 혈중 총콜레스테롤과 양의 상관관계였고(Park 등 2004), 높은 비만도는 고혈압(Huang 등 2002; Wakabayashi 2004), 이상지질혈증(Sullivan 등 2008), 당뇨병(Smith & Singleton 2013)을 비롯한 만성 질환의 위험요소라고 보고 하였다. 본 연구에서는 체질량지수가 고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증의 주요 인자인 수축기와 이완기 혈압, 혈당, 중성지방 등과는 양의 상관성을, HDL-콜레스테롤과는 음의 상관성을 보임으로써 이들 만성질환의 선별도구로서 체질량지수를 이용할 수 있을 것으로 여겨진다. ROC Curve를 이용하여 체질량지수와 유의한 상관성을 갖는 질병인 고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증의 진단적 가치에 대해 살펴본 결과, AUC값은 고혈압에 이환된 경우는 0.594였으며, 당뇨병은 0.619, 이상지질혈증에서는 0.564로, 체질량지수가 이들 단일질환의 양성검사 결과에 대한 예측정도는 중등도이며, 당뇨병, 고혈압, 이상지질혈증의 순으로 잘 예측하는 것으로 나타났다.

고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증 중에서 두 가지 질환에 이환된 대상자의 AUC는 0.595(95% CI 0.555-0.634)이

었고, 두 가지 또는 세 질환에 이환된 대상자의 AUC는 0.615(95% CI 0.578-0.652)로 두 가지 이상 질환의 이환율을 활용한 경우의 AUC값이 더 높게 나타났다.

이로써 복합질환 대상자의 경우는 체질량지수 관련 질환들의 이환율이 복합적으로 활용되어야 예측력을 더 높일 수 있는 것으로 여겨지며, 일반적으로 AUC 0.7이상이면 예측력이 양호하다고 할 수 있다(Swets 1988).

일본 근로자들을 대상으로 대사증후군 구성요소에 대한 체질량지수의 예측력 평가에서 50~59세 연령대에서 ROC곡선의 AUC가 0.51~0.67이었으며(Ohwaki & Yano 2009), 55~74세 이란인을 대상으로 심혈관 질환 요인에 대한 체질량지수의 예측력 평가에서는 AUC는 0.55~0.61이었다(Mirmiran 등 2004).

질병이 있는 환자를 질병이 있다고 진단할 수 있는 예측력인 민감도와 질병이 없는 환자를 질병이 없다고 진단할 수 있는 특이도, 그리고 민감도와 특이도를 모두 고려한 Youden 지수를 알아보기 위한 ROC분석 결과는, 고혈압과 당뇨병 이환율을 기준으로 하였을 때 ENT-C 유형의 분별점에서 민감도와 특이도가 모두 50%이상이었고, Youden지수는 APR-C 유형의 분별점에서 보다 높았다. ENT-C 유형의 cut-off point에서 민감도와 특이도 및 Youden지수는 질병의 개수가 증가함에 따라 이들 예측력도 증가하였으며, 이환 질병이 두 가지 이상에서는 민감도 60%이상, 특이도 50% 이상을 나타내었고, Youden지수는 질병 두 개일 때 13.2와 이환질환 2개 이상일 때는 16.0으로 APR-C의 12.5와 14.5보다 높았다.

APR-C와 ENT-C 유형의 분별점에서 고혈압과의 관련성에서 고혈압 대상자가 정상인에 비해 과체중 및 비만의 위험에 속할 확률이 APR-C 유형의 경우 1.79배, ENT-C 유형 기준에서는 2.04배 증가하였다. 당뇨병과의 관련성에서는 당뇨병 대상자가 정상인에 비해 과체중 및 비만일 교차비가 APR-C기준 시 2.33배(95% 신뢰구간 : 1.59~3.41), ENT-C 기준 시에는 2.46배(95% 신뢰구간 : 1.72~3.51)로 유의하게 증가하였다. 본 연구에서는 ENT-C 유형의 분별점에서 고혈압과 당뇨병 대상자가 정상인에 비해 과체중이상의 위험에 속할 확률이 2배 이상으로 나타났고, 농촌주민 대상 연구(Eom 등 2008)에서 체질량지수 23 kg/m^2 미만 기준에서 체질량지수 $23 \sim 25 \text{ kg/m}^2$ 일 때 고혈압의 위험도는 2.31배(1.32~4.03)였다. 중소도시에 거주하는 40~64세 여성대상에서는 체질량지수에 따른 수축기와 이완기 혈압의 위험도는 23 kg/m^2 미만을 기준으로 하였을 때 $23 \sim 25 \text{ kg/m}^2$ 에서 수축기혈압 1.061배, 이완기혈압 1.141배, 25 kg/m^2 에서는 수축기 혈압 1.108배, 이

완기혈압 1.162배로 증가하였으며 (Kim 2010), 대전건강검지센터 내원 성인 여성의 경우, BMI가 정상인 군보다 비만인 군에서의 고혈압발생 위험비는 2.32배로 높았다 (Yoon 2013).

Lee 등 (2009)의 연구에서 국민건강영양조사의 40~79세 여성을 대상으로 정상체중의 기준을 23 kg/m²이 아닌 BMI < 25 kg/m²로 기준하였을 때 BMI ≥ 25 kg/m²일 경우 고혈압의 위험도는 1.64배 (1.34~2.02), 당뇨병은 1.42배 (1.02~1.96)로 나타났다. Yang 등 (2008)은 중국인 제 2형 당뇨병 환자 6969명 중 non-albuminuric군 4008명을 대상으로 5.79년을 추적한 결과 체질량지수 24 kg/m²을 초과 시 뇌졸중의 발생 위험이 빠르게 증가하기 시작하여 체질량지수 24 kg/m²가 뇌졸중의 분별점이라고 주장하였다.

이상의 연구에서 여자노인에 있어 체질량지수는 고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증의 요인과 유의한 상관성이 있었고, 이들 상관성을 갖는 질환을 기준으로 AUC값으로 살펴본 양성 검사결과 예측력은 당뇨병, 고혈압, 이상지질혈증의 순이었으며, 복합질환 대상자의 경우는 체질량지수 관련 질환들의 이환율이 복합적으로 활용되어야 예측력을 더 높일 수 있었다. 분별점에 대한 최적화를 찾기 위한 민감도와 특이도 및 Youden지수는 ENT-C 유형의 분별점에서 민감도와 특이도가 모두 50% 이상이었고, Youden지수는 APR-C 유형의 분별점에서 보다 높았다. 또한 APR-C와 ENT-C 유형의 분별점에서 고혈압과 당뇨병과의 관련성에서 ENT-C 유형의 분별점에서 고혈압과 당뇨병대상자가 정상인에 비해 과체중이상의 위험에 속할 확률이 2배 이상으로 나타나 노인에 대한 체중분류 기준 재정립이 필요함을 시사하였다.

요약 및 결론

노화에 따른 큰 변화 중에는 근육량 저하로 인한 체성분의 변화와 신장의 감소를 들 수 있다. 이에 본 연구는 노인들의 체중분류 기준에 대한 재정립의 필요성을 제시하고자 체질량지수와 유의한 상관성을 갖는 만성질환들의 이환율을 이용하여 아시아-태평양지역 기준 (APR-C) 과 Entropy모델 기준 (ENT-C) 유형의 비교하였다.

2007~2009년 국민건강영양조사자료 여자노인 886명을 대상으로 체질량지수와 비만관련 질환의 상관성을 구하기 위하여 편상관분석을 하였고, APR-C와 ENT-C 기준의 유형을 비교하고자 ROC 분석을 통해 예측력을 산출하였으며, logistic regression분석으로 만성질환과의 관련성을 살펴 본 결과는 다음과 같다.

체질량지수와 허리둘레는 혈당, 중성지방, HDL콜레스테롤, 수축기혈압 및 이완기혈압의 질병인자와는 유의한 상관관계를 보였다.

고혈압 이환율 기준에서 APR-C유형의 변별점에서의 민감도는 67.5%, 특이도 43.1%, Youden지수 10.6였으며, ENT-C 유형 기준에서는 민감도 56.7%, 특이도 56.6%, Youden지수 13.3이었다.

당뇨병 이환율 기준에서는 APR-C 유형에서의 민감도는 74.9%, 특이도 39.3%, Youden지수 14.2였으며, ENT-C 유형에서는 민감도 65.4%, 특이도 51.8%, Youden지수 17.2였다.

고혈압, 당뇨병 및 이상지질혈증 중 두 가지이상의 질병에 이환된 대상자의 AUC는 0.615 (95% CI: .578-.652)이었다. APR-C 유형 기준에서의 민감도는 71.9%, 특이도 42.6%, Youden지수 14.5이었고, ENT-C 기준에서는 민감도 61.0%, 특이도 55.1%, Youden지수 16.0이었다.

고혈압 대상군이 정상혈압군에 비해 APR-C 분류의 경우 과체중 및 비만의 위험에 속할 확률이 1.79배 (95% CI: 1.30-2.47)로, ENT-C의 기준에서는 2.04배 (95% CI: 1.49-2.80)로 유의하게 증가하였다 (p < 0.001).

당뇨병 대상군은 정상혈당군에 비해 과체중 및 비만의 위험에 속할 확률이 APR-C 유형 기준에서는 2.33배 (95% 신뢰구간: 1.59-3.41), ENT-C 유형의 기준에서는 2.46배 (95% CI: 1.72-3.51)였다 (p < 0.001).

결론적으로, 대상자의 만성질환 이환율을 기준으로 분석한 Youden지수 등의 예측도와 교차비 등에서 여자노인의 정상체중과 과체중 분별점은 체질량지수 23 kg/m² (APR-C)보다 24 kg/m² (ENT-C)가 더 적합한 것으로 나타났으며, 체질량지수 기준이 인종에 따라 차이가 있듯이 노인의 경우도 일반성인과는 다른 체질량지수의 기준이 제시되어야 할 것으로 여겨진다. 하지만 조사대상자가 2007~2009년 국민건강영양조사 자료의 여자노인 886명을 대상으로 한 제한점이 있기에 추후 더 많은 자료를 이용한 재검증이 필요함을 밝혀둔다.

감사의 글

이 논문을 고 정구범교수의 영전에 바칩니다.

References

- Balagopal P, Rooyackers OE, Adey DB, Ades PA, Nair KS (1997): Effects of aging on in vivo synthesis of skeletal muscle myosin

- heavy-chain and sarcoplasmic protein in humans. *Am J Physiol* 273(4 Pt 1): E790-800
- Cao L, Shi Z, Cheng EK (2002): Fast automatic multilevel thresholding method. *Electron Lett* 38(16): 868-870
- Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC (1991): Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas. *Br J Nutr* 65(2): 105-114
- Ding C, Stannus O, Cicuttini F, Antony B, Jones G (2013): Body fat is associated with increased and lean mass with decreased knee cartilage loss in older adults: a prospective cohort study. *Int J Obes (Lond)* 37(6): 822-827
- Eom JS, Lee TR, Park SJ, Ahn Y, Chung YJ (2008): The risk factors of the pre-hypertension and hypertension of rural inhabitants in Chungnam-do. *Korean J Nutr* 41(8): 742-753
- Garrow JS, Webster J (1985): Quetelet's index (W/H²) as a measure of fatness. *Int J Obes* 9(2): 147-153
- Han TS, Tajar A, Lean ME (2011): Obesity and weight management in the elderly. *Br Med Bull* 97: 169-196
- Huang KC, Lin WY, Lee LT, Chen CY, Lo H, Hsia HH, Liu IL, Shau WY, Lin RS (2002): Four anthropometric indices and cardiovascular risk factors in Taiwan. *Int J Obes Relat Metab Disord* 26(8): 1060-1068
- Hughes VA, Frontera WR, Roubenoff R, Evans WJ, Singh MA (2002): Longitudinal changes in body composition in older men and women: role of body weight change and physical activity. *Am J Clin Nutr* 76(2): 473-481
- Kang JH, Ryu BY, Suh HS, Shim KW (2002): Neck circumference as a simple obesity index. *J Korean Soc Study Obes* 11(2): 142-149
- Kim WK (2010): The risk of hypertension according to obesity and age of middle-age women. *Korean J Sports Sci* 19(2): 1377-1384
- Statistics Korea (2013): Korean statistical information system, Daejeon, Statistics Korea
- Lee YE, Park JE, Hwang JY, Kim WY (2009): Comparison of health risks according to the obesity types based upon BMI and waist circumference in Korean adults: the 1998-2005 Korean National Health and Nutrition Examination Surveys. *Korean J Nutr* 42(7): 631-638
- Luukka P (2011): Feature selection using fuzzy entropy measures with similarity classifier. *Expert Syst Appl* 38(4): 4600-4607
- Ministry of Health & Welfare (2009): 2008 National Health Statistics-The 4th Korea National Health and Nutrition Examination Survey, the second year
- Ministry of Health & Welfare (2011): 2010 National Health Statistics-The 5th Korea National Health and Nutrition Examination Survey, the second year
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention (2013): Korea Health Statistics 2012: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES V-3), Cheongwon, Korea Centers for Disease Control and Prevention
- Mirmiran P, Esmailzadeh A, Azizi F (2004): Detection of cardiovascular risk factors by anthropometric measures in Tehranian adults: receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. *Eur J Clin Nutr* 58(8): 1110-1118
- Nakas CT, Yiannoutsos CT (2004): Ordered multiple-class ROC analysis with continuous measurements. *Stat Med* 23(22): 3437-3449
- National Heart Lung and Blood Institute; National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases (US) (1998): Clinical guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults: the evidence report, Bethesda (MD), National Heart, Lung, and Blood Institute
- Ohwaki K, Yano E (2009): Body mass index as an indicator of metabolic disorders in annual health checkups among Japanese male workers. *Ind Health* 47(6): 611-616
- Oreopoulos A, Kalantar-Zadeh K, Sharma AM, Fonarow GC (2009): The obesity paradox in the elderly: potential mechanisms and clinical implications. *Clin Geriatr Med* 25(4): 643-659, viii
- Park MY, Kwon JH, Lee DJ, Cho EK, Park PS (2004): A study on the dietary attitudes and nutritional status of lifestyle disease patients living on Tongyoung city. *Korean J Health Promot Dis Prev* 4(3): 137-147
- Roubenoff R (2004): Sarcopenic obesity: the confluence of two epidemics. *Obes Res* 12(6): 887-888
- Van der Schouw YT, Verbeek AL, Ruijs JH (1992): ROC curves for the initial assessment of new diagnostic tests. *Fam Pract* 9(4): 506-511
- Shannon CE (1948): A mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J* 27(3): 379-423
- Smith AG, Singleton JR (2013): Obesity and hyperlipidemia are risk factors for early diabetic neuropathy. *J Diabetes Complications* 27(5): 436-442
- Sullivan PW, Ghushchyan VH, Ben-Joseph R (2008): The impact of obesity on diabetes, hyperlipidemia and hypertension in the United States. *Qual Life Res* 17(8): 1063-1071
- Swets JA (1988): Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240(4857): 1285-1293
- Wakabayashi I (2004): Relationships of body mass index with blood pressure and serum cholesterol concentrations at different ages. *Aging Clin Exp Res* 16(6): 461-466
- Yang X, So WY, Ma RC, Ko GT, Kong AP, Ho CS, Lam CW, Ozaki R, Cockram CS, Tong PC, Wong V, Chan JC (2008): Thresholds of risk factors for ischemic stroke in type 2 diabetic patients with and without albuminuria: a non-linear approach. *Clin Neurol Neurosurg* 110(7): 701-709
- Yeh FC, Tang A, Hobbs JP, Hottowy P, Dabrowski W, Sher A, Litke A, Beggs JM (2010): Maximum entropy approaches to living neural networks. *Entropy (Basel)* 12(1): 89-106
- Yoon SH (2013): Relationships between blood pressure and serum lipids, obesity indices in adults using health examination data. *J Korea Acad Ind Coop Soc* 14(9): 4394-4401
- Zamboni M, Mazzali G, Fantin F, Rossi A, Di Francesco V (2008): Sarcopenic obesity: a new category of obesity in the elderly. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 18(5): 388-395
- Zamboni M, Mazzali G, Zoico E, Harris TB, Meigs JB, Di Francesco V, Fantin F, Bissoli L, Bosello O (2005): Health consequences of obesity in the elderly: a review of four unresolved questions. *Int J Obes (Lond)* 29(9): 1011-1029
- Zhou R, Cai R, Tong G (2013): Applications of entropy in finance: a review. *Entropy (Basel)* 15(11): 4909-4931