

원저

40세 이상 한국 성인의 대사 증후군 선별 지표로서 목 둘레와 목 둘레 대비 신장 비율의 비교: 성별 특이적 분석

윤필립¹, 안성호², 박병진¹, 이용제², 권유진³

¹연세대학교 의과대학 용인세브란스병원 가정의학과, ²연세대학교 의과대학 강남세브란스병원 가정의학과, ³연세대학교 의과대학 세브란스병원 가정의학과

Neck Circumference Versus Neck Circumference-to-Height Ratio for Identifying Metabolic Syndrome in Korean Adults Aged ≥ 40 Years: A Sex-Specific Approach

Phil-lip Yoon¹, Sung-Ho Ahn², Byoungjin Park¹, Yong-Jae Lee², Yu-Jin Kwon³

¹Department of Family Medicine, Yongin Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Yongin, ²Department of Family Medicine, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, ³Department of Family Medicine, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Background: Neck circumference (NC) is a simple marker of upper-body adiposity; however, whether NC or height-adjusted NC (neck-to-height ratio, NC/Ht ratio) better identifies metabolic syndrome (MetS) and whether the optimal index differs by sex remains unclear.

Methods: This cross-sectional study analyzed 10,451 adults (4,685 male participants; 5,766 female participants) aged ≥ 40 years from the 2019–2021 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. MetS was defined using the modified NCEP-ATP III criteria. The discriminatory performances of the two indices were compared using receiver operating characteristic curve analysis with DeLong's test, and the optimal cutoffs were determined using the Youden index with bootstrap confidence intervals. Sex-stratified multivariate logistic regression was adjusted for age, body mass index, alcohol use, smoking, and physical activity.

Results: Both indices were higher in the MetS group for both sexes (all $P < 0.001$). NC showed superior discrimination in male participants (area under the curve, 0.733 vs. 0.708, $P < 0.001$), whereas the NC/Ht ratio outperformed NC in female participants (0.755 vs. 0.733, $P < 0.001$). The optimal cutoffs were an NC of 37.9 cm for male and an NC/Ht ratio of 20.92 for female participants. The highest versus the lowest quartile was associated with higher odds of prevalent MetS (male participants: odds ratio, 2.99 for NC; female participants: 5.00, for NC/Ht ratio).

Conclusion: The sex-specific use of these indices, NC for male and the NC/Ht ratio for female participants, may enhance MetS screening in this population. Further prospective validation is required.

Keywords: Neck, Body height, Anthropometry, Sex factors

Received May 6, 2026
Revised May 28, 2026
Accepted June 2, 2026

Corresponding author

Yu-Jin Kwon

Department of Family Medicine,
Severance Hospital, Yonsei University
College of Medicine, 50-1 Yonsei-ro,
Seoul 03722, Korea

Tel: +82-2-2228-2334

E-mail: digda3@yuhs.ac



서론

최근 한국 사회는 급속한 서구화에 따른 식생활 변화, 신체활동 감소, 그리고 인구 고령화의 영향으로 비만 및 대사 이상 질환의 유병률이 지속적으로 증가하고 있다.^{1,2} 이러한 변화는 고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증, 심혈관질환뿐 아니라 만성 신장질환과 일부 암 발생 위험까지 높이는 주요 공중보건 문제로 이어지고 있으며, 그 중심에는 대사 증후군(Metabolic Syndrome, MetS)이 있다.^{1,3,4} 국내 19세 이상 성인의 MetS 유병률은 2007년 22.8%에서 2022년 28.6%로 지속적인 증가 추세를 보이고 있으며, 특히 남성에서 24.5%에서 36.8%로 뚜렷한 증가가 관찰되었다.^{5,6} 또한 65세 이상 고령 인구에서는 2013년 53%에서 2022년 62%로 증가하여, 40세 이상 중·고령 성인에서의 MetS 선별과 예방적 개입이 더욱 중요해지고 있다.^{5,6} MetS는 복부 비만, 고혈압, 고혈당, 고중성지방혈증, 고밀도지단백 콜레스테롤(High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C) 감소와 같은 심혈관계 위험 인자들이 군집하여 나타나는 상태로 정의되며, 향후 심혈관 질환 및 제2형 당뇨병 발생의 강력한 예측 인자로 알려져 있다.¹ 또한 MetS의 유병률 증가는 의료비 증가와 삶의 질 저하를 초래하여 개인적·사회경제적 부담을 가중시키므로, 조기 선별과 예방적 개입이 매우 중요하다.³

현재 MetS 진단에서 복부 비만을 평가하기 위해 허리둘레(Waist Circumference, WC)가 널리 사용되고 있다.^{2,4} WC는 내장지방 축적과 밀접한 관련이 있어 임상적 활용도가 높지만, 측정 부위와 자세, 호흡 상태, 측정자의 숙련도에 따라 오차가 발생하기 쉽다는 한계가 있다.^{7,8}

목 둘레(Neck Circumference, NC)는 상체 피하지방 및 중심성 비만을 반영하는 간단하고 비침습적인 지표로 주목받고 있다.⁹⁻¹¹ 목 부위의 지방 축적은 인슐린 저항성, 만성 저등급 염증, 자유지방산 증가와 연관되어 대사 이상과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었다.¹² 특히 NC는 측정이 간편하고 의복의 영향을 거의 받지 않으며, 식후 상태나 복부 팽만 여부와 관계없이 비교적 안정적으로 측정할 수 있어 건강 검진 및 일차의료 현장에서 활용 가능성이 높다.^{11,13,14} 여러 선행연구에서도 NC가 비만, 인슐린 저항성, 지방간, 고혈압 및 MetS와 유의한 관련성을 보인다고 보고하였다.^{11,13,14}

그러나 NC는 체지방 분포를 반영하는 유용한 지표임에도 불구하고, 개인의 골격 구조, 근육량, 체형 및 신장과 같은 신체 계측학적 특성에 의해 영향을 받을 수 있다는 제한점이 있다.^{1,15} 특히 신장은 NC의 절대값에 직접적인 영향을 줄 수 있는 중요한 요소로, 동일한 NC를 가진 경우에도 체격에 따라 대사적 의미가 달라질 수 있다. 이에 따라 단순한 NC 수치만을 사용하는 것보다, 이를 신장으로 보정한 키 대비 목 둘레 비율(Neck Circumference-to-Height Ratio, NC/Ht ratio)이 보다

객관적이고 표준화된 대사 위험 평가 지표가 될 수 있다는 가능성이 제기되고 있다.^{15,16} 실제로 일부 연구에서는 NC/Ht ratio가 단순 NC보다 비만, 인슐린 저항성 및 MetS 선별에 더 우수한 성능을 보일 수 있다고 보고하였다.¹⁴

지금까지 국내외에서 NC와 MetS 간의 연관성을 분석한 연구는 다수 수행되었으나,^{1,9,10} NC와 NC/Ht ratio 중 어떤 지표가 한국 성인의 MetS 선별에 더 우수한지를 직접 비교한 연구는 아직 제한적이다.^{15,16} 특히 남성과 여성은 체지방 분포, 호르몬 환경, 근육량 및 신체 구성에서 차이를 보이며, 이러한 성별 차이는 비만 관련 지표의 임상적 해석에도 영향을 미칠 수 있다.^{7,17} 따라서 NC 기반 지표의 선별력 역시 성별에 따라 다르게 나타날 가능성이 있으며, 이에 대한 성별 특이적 접근이 필요하다.

이에 본 연구는 40세 이상의 한국 성인 남녀를 대상으로 NC와 NC/Ht ratio의 MetS 선별력을 비교 분석하고, 성별에 따른 각 지표의 진단적 유용성을 평가하고자 하였다.

방법

1. 연구 설계 및 대상

본 연구는 2019년부터 2021년까지의 국민건강영양조사(Korea National Health and Nutrition Examination Survey, KNHANES) 데이터를 활용한 단면 연구(cross-sectional study)이다.^{18,19} 전체 대상자 21,543명 중 만 40세 이상 성인 13,329명을 1차로 선정하였다. 이 중 신체 지표 또는 대사 지표에 영향을 줄 수 있는 다음의 병력이 있는 자를 제외하였다: 갑상선 질환($n = 1,650$), 위암($n = 132$), 간세포암($n = 18$), 대장암($n = 119$), 유방암($n = 120$), 자궁경부암($n = 56$), 폐암($n = 39$), 갑상선암($n = 154$), 그 외 악성 종양($n = 217$), 콩팥병($n = 156$), 간경변($n = 38$), 임신($n = 2$). 이를 통해 10,628명이 선정되었으며, NC/Ht ratio 산출에 필요한 변수(NC 또는 신장)에 결측치가 있는 177명을 추가로 제외하여, 최종적으로 10,451명(남성 4,685명, 여성 5,766명)을 분석 대상으로 선정하였다(그림 1). 악성 종양, 갑상선 질환 병력은 KNHANES 건강 설문조사의 자기 보고(self-reported) 항목을 기준으로 확인하였다.

2. 신체 계측 및 변수 정의

NC는 대상자가 직립 자세에서 정면을 바라보는 상태에서 갑상연골(thyroid cartilage) 바로 아래의 목 중간부위를 줄자로 측정하였으며, 0.1 cm 단위로 기록하였다.¹³ NC/Ht ratio는 다음 산식으로 산출하였다: $NC/Ht\ ratio = NC\ (cm) / height\ (cm) \times 100$. 신장, 체중, WC,

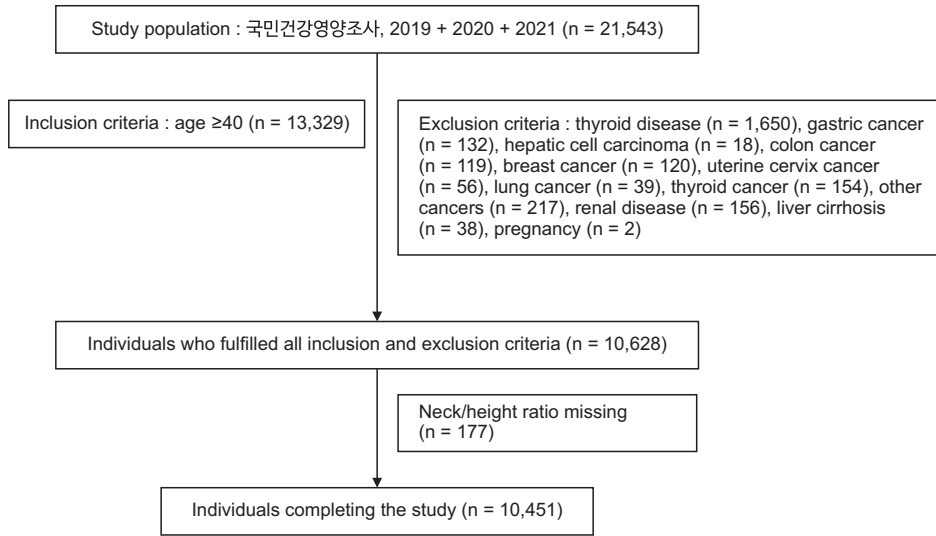


그림 1. Flowchart of the study population selection process.

혈압은 표준화된 건강검진 프로토콜에 따라 측정하였으며,¹⁸ 체질량 지수(Body mass index, BMI)는 다음 산식으로 산출하였다: BMI = weight (kg)/height (m)².

3. 혈액 검사

모든 혈액 검사는 최소 8시간 이상의 공복 상태에서 시행하였다.¹⁸ 공복혈당(Fasting blood glucose, FBG), 당화혈색소(glycated hemoglobin, HbA1c), 공복 인슐린, 총콜레스테롤(Total cholesterol, TC), 중성지방(Triglyceride, TG), HDL-C, 저밀도지단백 콜레스테롤(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)을 측정하였다.¹⁸ 인슐린 저항성 지표인 Homeostatic Model Assessment for Insulin Resistance (HOMA-IR)는 다음 산식으로 산출하였다: HOMA-IR = fasting insulin (μU/mL) × FBG (mg/dL)/405.^{20,21}

4. 대사 증후군의 정의

MetS는 modified NCEP-ATP III 기준에 따라 다음 5가지 구성 요소 중 3개 이상을 충족하는 경우로 정의하였다:^{22,23} (1) 복부 비만: WC 남성 ≥90 cm, 여성 ≥85 cm (대한비만학회 기준); (2) 고중성 지방혈증: TG ≥150 mg/dL 또는 해당 약물 복용 중; (3) 낮은 HDL-C: 남성 <40 mg/dL, 여성 <50 mg/dL 또는 해당 약물 복용 중; (4) 고혈압: 수축기 혈압 ≥130 mmHg 또는 이완기 혈압 ≥85 mmHg 또는 항고혈압제 복용 중; (5) 고혈당: FBG ≥100 mg/dL 또는 혈당 강하제/인슐린 사용 중.

5. 통계 분석

연속형 변수는 평균 ± 표준오차(standard error, SE)로 제시하였으며, 범주형 변수는 가중 백분율(%)로 표현하였다. 국민건강영양조사 자료의 복합표본설계(complex sampling design)를 반영하여 층화 변수(kstrata), 집락변수(psu), 그리고 표본가중치(wt_itvex)를 적용하여 모든 분석을 수행하였다. 3개 연도(2019, 2020, 2021)의 통합 분석을 위해 3년 통합가중치(integrated 3-year weight)를 사용하였다. MetS 유무에 따른 군 간 비교에서 연속형 변수는 복합표본 일반선형모형(complex samples general linear model)을 이용하였고, 범주형 변수는 카이제곱 검정을 사용하였다.

NC와 NC/Ht ratio의 MetS 선별 성능은 ROC (receiver operating characteristic) 곡선의 곡선하면적(area under the curve, AUC)을 비교하여 평가하였다. 성별에 따라 각각 ROC 분석을 시행하였으며, NC와 NC/Ht ratio의 AUC 차이는 DeLong 검정을 이용하여 유의성을 확인하였다. 또한 MetS 선별을 위한 NC 및 NC/Ht ratio의 최적 절단값(optimal cutoff value)은 성별로 구분하여 ROC 곡선에서 Youden index (민감도 + 특이도 - 1)가 최대가 되는 지점으로 산출하였다.

NC와 NC/Ht ratio를 각각 사분위수(quartile)로 나누어 MetS 유병률의 경향성을 분석하였으며, 사분위수 증가에 따른 선형 경향성(linear trend)을 평가하였다. MetS에 대한 독립적 영향력을 확인하기 위해 복합표본 로지스틱 회귀분석(complex samples logistic regression analysis)을 시행하였으며, 세 가지 모델을 적용하였다. Model 1은 보정하지 않은 모델(unadjusted model), Model 2는 연령과 BMI를 보정한 모델, Model 3은 연령, BMI, 음주 여부(최근 1년간 월 1회 이상 vs. 미만), 현재 흡연 여부(현재 흡연 vs. 과거 흡연/비흡연), 그리

고 중강도 신체활동 여부(시행 vs. 미시행)를 추가로 보정한 모델로 설정하였다.

기술 통계, 군 간 비교, 복합표본 일반선형모형, 카이제곱 검정, 그리고 복합표본 로지스틱 회귀분석은 IBM SPSS Statistics version 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하여 수행하였다. ROC 및 곡선 분석, DeLong 검정을 이용한 AUC 비교, Youden index 기반 최적 절단값 산출 및 bootstrap 95% 신뢰구간 계산은 MedCalc Statistical Software version 23.5.2 (MedCalc Software Ltd, Ostend, Belgium)를 사용하였다. 모든 통계 분석은 양측 검정에서 유의수준 $P < 0.05$ 를 기준으로 하였다.

6. 윤리적 고려

본 연구는 국민건강영양조사(Korea National Health and Nutrition Examination Survey, KNHANES) 자료를 활용한 후향적 단면 연구로, 국민건강영양조사는 질병관리청에서 수행하는 국가 단위의 대표성 있는 조사이다. 본 연구에 사용된 자료는 비식별화된 공개자료로, 연구 대상자의 개인정보를 포함하지 않는다. 본 연구는 용인세브란스

병원 기관생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심의를 면제받았다(IRB No. 9-2023-0087).

결 과

1. 대상자의 기저 특성

2019년부터 2021년까지의 국민건강영양조사(Korea National Health and Nutrition Examination Survey, KNHANES) 자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 전체 조사 대상자 21,543명 중 연구의 포함 및 제외 기준을 적용한 후 최종적으로 10,451명을 분석 대상으로 선정하였다(그림 1). 이 중 남성은 4,685명, 여성은 5,766명이었다. 전체 대상자의 기저 특성을 MetS 유무에 따라 성별로 비교한 결과, 남녀 모두에서 MetS군은 non-MetS군에 비해 수축기혈압(systolic blood pressure, SBP), 이완기혈압(diastolic blood pressure, DBP), FBG, HbA1c, 인슐린, HOMA-IR, 그리고 TG 수치가 유의하게 높았다(all $P < 0.001$). 여성에서는 연령 또한 MetS군에서 유의하게 높게 나타났다($P < 0.001$).

표 1. Baseline characteristics of participants according to sex and the presence of metabolic syndrome

Parameters	Male (n = 4,685)				Female (n = 5,766)			
	All	With MetS	Without MetS	P-value	All	With MetS	Without MetS	P-value
Age (years)	56.10 ± 0.20	56.05 ± 0.32	56.12 ± 0.23	0.856	57.63 ± 0.24	62.29 ± 0.37	56.10 ± 0.24	<0.001
SBP (mmHg)	122.69 ± 0.27	129.43 ± 0.45	119.84 ± 0.30	<0.001	120.28 ± 0.31	130.71 ± 0.51	116.83 ± 0.32	<0.001
DBP (mmHg)	78.94 ± 0.18	83.33 ± 0.32	77.08 ± 0.19	<0.001	74.59 ± 0.17	77.78 ± 0.31	73.53 ± 0.19	<0.001
Height (cm)	170.16 ± 0.12	170.66 ± 0.19	169.95 ± 0.14	0.001	156.84 ± 0.11	155.51 ± 0.18	157.27 ± 0.12	<0.001
Weight (kg)	72.00 ± 0.21	78.14 ± 0.33	69.40 ± 0.22	<0.001	58.74 ± 0.15	63.53 ± 0.32	57.17 ± 0.17	<0.001
WC (cm)	89.05 ± 0.16	94.94 ± 0.23	86.55 ± 0.17	<0.001	82.15 ± 0.17	89.54 ± 0.24	79.72 ± 0.19	<0.001
NC (cm)	38.11 ± 0.05	39.45 ± 0.07	37.55 ± 0.05	<0.001	32.78 ± 0.03	34.12 ± 0.07	32.33 ± 0.04	<0.001
BMI (kg/m ²)	24.81 ± 0.06	26.77 ± 0.09	23.98 ± 0.06	<0.001	23.88 ± 0.06	26.22 ± 0.11	23.11 ± 0.06	<0.001
FBG (mg/dL)	108.02 ± 0.48	122.13 ± 1.16	101.93 ± 0.40	<0.001	101.59 ± 0.37	116.19 ± 0.92	96.67 ± 0.30	<0.001
HbA1c (%)	5.97 ± 0.02	6.36 ± 0.04	5.80 ± 0.02	<0.001	5.87 ± 0.01	6.39 ± 0.04	5.70 ± 0.01	<0.001
Insulin (μU/mL)	9.37 ± 0.14	13.21 ± 0.31	7.72 ± 0.12	<0.001	8.75 ± 0.12	13.03 ± 0.35	7.31 ± 0.09	<0.001
TC (mg/dL)	192.36 ± 0.68	194.43 ± 1.36	191.46 ± 0.78	0.058	196.84 ± 0.63	192.60 ± 1.29	198.27 ± 0.71	<0.001
HDL-C (mg/dL)	47.33 ± 0.21	41.40 ± 0.34	49.88 ± 0.22	<0.001	55.20 ± 0.22	45.01 ± 0.29	58.63 ± 0.24	<0.001
TG (mg/dL)	168.23 ± 2.59	254.27 ± 6.00	131.16 ± 1.90	<0.001	116.04 ± 1.21	177.37 ± 3.05	95.38 ± 0.92	<0.001
LDL-C (mg/dL)	114.39 ± 1.26	110.73 ± 1.52	120.66 ± 2.19	<0.001	119.80 ± 1.80	119.77 ± 2.07	119.88 ± 4.05	0.981
NC/Ht ratio	22.41 ± 0.03	23.13 ± 0.04	22.11 ± 0.03	<0.001	20.93 ± 0.03	21.96 ± 0.04	20.59 ± 0.03	<0.001
HOMA-IR	2.61 ± 0.05	4.07 ± 0.12	1.98 ± 0.03	<0.001	2.31 ± 0.04	3.84 ± 0.11	1.79 ± 0.03	<0.001

Values are presented as mean ± standard error. P-values were derived from a complex samples general linear model comparing participants with and without metabolic syndrome.

Abbreviations: BMI, body mass index; DBP, diastolic blood pressure; FBG, fasting blood glucose; HbA1c, glycated hemoglobin; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; HOMA-IR, homeostasis model assessment of insulin resistance; LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol; MetS, metabolic syndrome; NC, neck circumference; NC/Ht ratio, neck circumference-to-height ratio; SBP, systolic blood pressure; TC, total cholesterol; TG, triglyceride; WC, waist circumference.

본 연구의 주요 변수인 NC와 NC/Ht ratio 역시 남녀 모두에서 MetS군이 non-MetS군보다 유의하게 높은 값을 보였다(all $P < 0.001$). 남성에서 MetS군의 NC는 39.45 ± 0.07 cm, NC/Ht ratio는 23.13 ± 0.04 로, non-MetS군의 37.55 ± 0.05 cm 및 22.11 ± 0.03 보다 높았다. 여성에서도 MetS군의 NC는 34.12 ± 0.07 cm, NC/Ht ratio는 21.96 ± 0.04 로, non-MetS군에 비해 유의하게 높은 수준을 나타냈다(표 1).

2. 지표의 사분위수에 따른 대사 증후군 유병률 및 선별력 비교

NC와 NC/Ht ratio가 증가할수록 MetS의 유병률은 남녀 모두에서 유의한 선형 증가 경향을 보였다. NC를 사분위수(quartile)로 구분하여 분석한 결과, 남성에서는 최하위 사분위수(Q1)에서 MetS 유병률

이 7.3%였으나 최상위 사분위수(Q4)에서는 48.6%로 증가하였다. 여성에서도 Q1의 유병률은 6.8%였으나 Q4에서는 48.5%로 크게 증가하여, NC가 증가할수록 MetS 유병률이 상승하는 양상을 확인하였다(그림 2).

ROC 곡선 분석을 통해 NC와 NC/Ht ratio의 MetS 선별 성능을 비교한 결과, 최적의 선별 지표는 성별에 따라 차이를 보였다. 남성에서는 NC의 AUC가 0.733으로, NC/Ht ratio의 AUC 0.708보다 유의하게 높아 NC가 더 우수한 선별력을 나타냈다($P < 0.001$). 반면 여성에서는 NC/Ht ratio의 AUC가 0.755로 측정되어 NC의 AUC 0.733보다 유의하게 높았으며($P < 0.001$), NC/Ht ratio가 더 우수한 선별 지표로 확인되었다(그림 3).

나아가 ROC 곡선에서 Youden index가 최대가 되는 지점을 기준으로 MetS 선별을 위한 각 지표의 최적 절단값(optimal cutoff value)

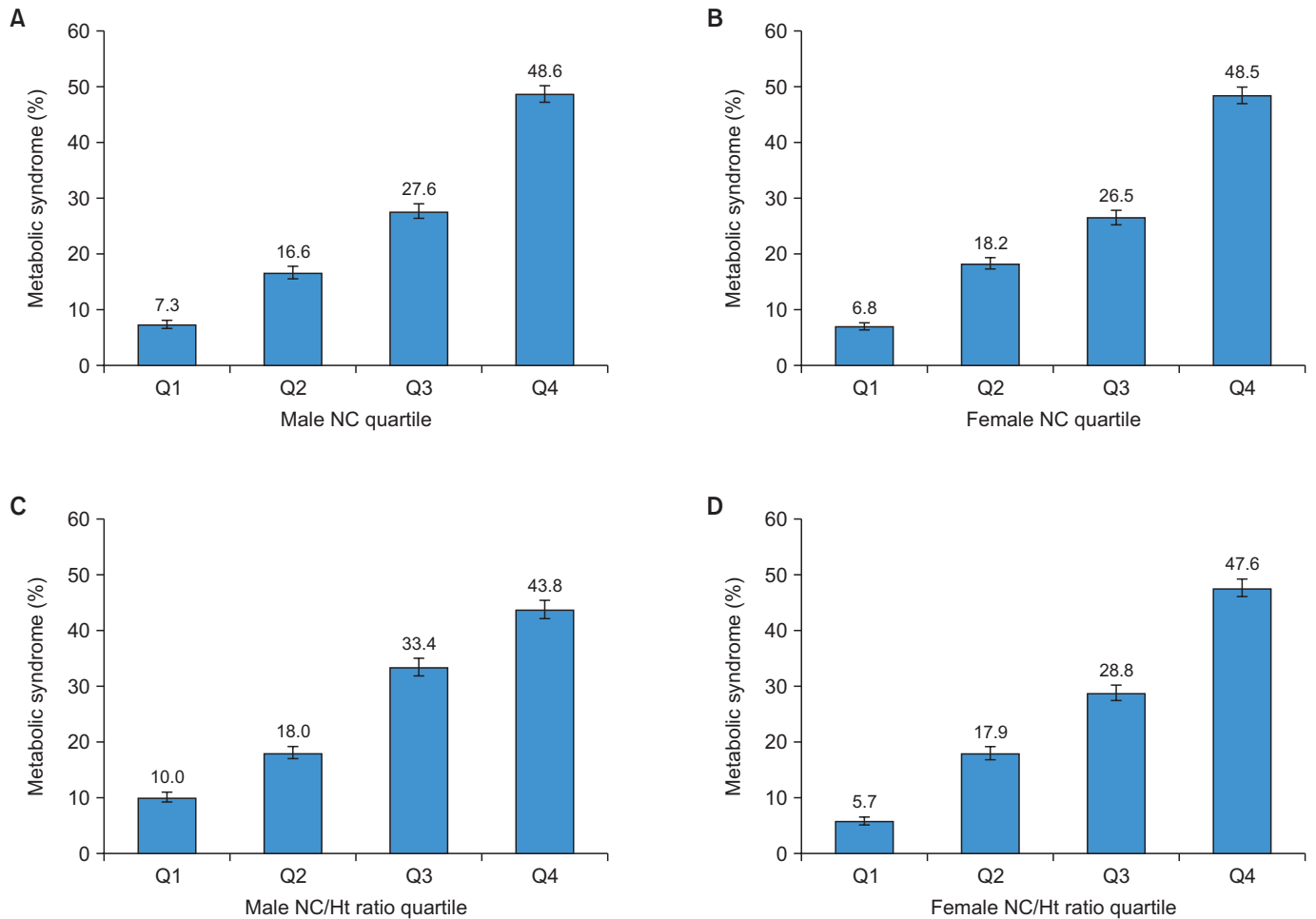


그림 2. Prevalence of metabolic syndrome according to the quartiles of neck circumference and neck circumference-to-height ratio. (A) Prevalence of MetS across NC quartiles in male; (B) Prevalence of MetS across NC quartiles in female; (C) Prevalence of MetS across NC/Ht ratio quartiles in male; (D) Prevalence of MetS across NC/Ht ratio quartiles in female. Bars represent the prevalence of MetS (%) within each quartile group. Quartiles of NC and NC/Ht ratio were calculated separately by sex, with Q1 representing the lowest quartile and Q4 the highest. Abbreviations: MetS, metabolic syndrome; NC, neck circumference; NC/Ht ratio, neck circumference-to-height ratio; Q1–Q4, quartiles 1 to 4.

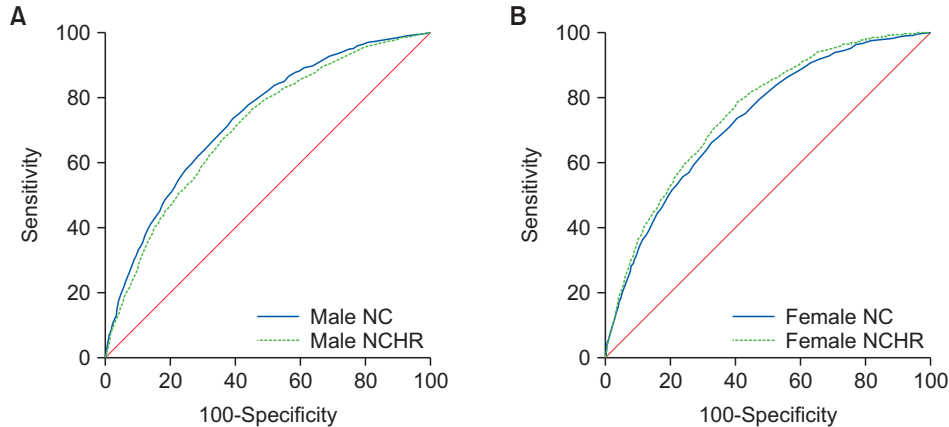


그림 3. ROC curves of NC and NC/Ht ratio for predicting metabolic syndrome. (A) ROC curves in male. NC showed greater discriminatory power (AUC = 0.733; 95% CI, 0.720–0.746) than NC/Ht ratio (AUC = 0.708; 95% CI, 0.694–0.721, $P < 0.001$ by DeLong's test); (B) ROC curves in female. NC/Ht ratio showed significantly greater discriminatory power (AUC = 0.755; 95% CI, 0.742–0.768) than NC (AUC = 0.733; 95% CI, 0.719–0.747, $P < 0.001$ by DeLong's test). In each panel, the solid and dashed lines represent NC and NC/Ht ratio, respectively. The diagonal reference line indicates AUC = 0.5 (no discrimination). AUC values between the two indices were compared using DeLong's test. Abbreviations: AUC, area under the receiver operating characteristic curve; CI, confidence interval; MetS, metabolic syndrome; NC, neck circumference; NC/Ht ratio, neck circumference-to-height ratio; ROC, receiver operating characteristic.

을 성별로 산출하였다. NC의 최적 절단값은 남성에서 37.9 cm (95% confidence interval [CI], 37.5–38.7), 여성에서 33.0 cm (95% CI, 32.6–33.6)로 도출되었다. NC/Ht ratio의 최적 절단값은 남성에서 22.24 (95% CI, 22.10–22.53), 여성에서 20.92 (95% CI, 20.89–21.49)로 확인되었다. 각 절단값을 기준으로 대상자를 분류한 결과, 절단값 이상인 군에서 MetS 유병률이 더 높았다(그림 4).

3. 대사 증후군 보유와의 관련성

NC, NC/Ht ratio와 MetS 간의 독립적인 연관성을 평가하기 위해 복합표본 로지스틱 회귀분석을 시행하였다. 연령, BMI, 음주 여부, 현재 흡연 여부, 그리고 중강도 신체활동 여부를 모두 보정한 Model 3에서, NC와 NC/Ht ratio 모두 높은 사분위수에 속할수록 MetS 유병 odds가 유의하게 높았다.

NC의 경우, 최하위 사분위수(Q1)를 기준으로 최상위 사분위수(Q4)에 속한 대상자는 MetS 유병 odds가 남성에서 2.99배(95% CI, 2.14–4.18), 여성에서 5.25배(95% CI, 3.79–7.28) 높았다. 또한 NC/Ht ratio 역시 Q4군에서 MetS 유병 odds가 남성에서는 1.89배(95% CI, 1.38–2.59), 여성에서는 5.00배(95% CI, 3.44–7.24) 높았다(표 2).

고 찰

본 연구는 2019–2021년 국민건강영양조사(Korea National Health and Nutrition Examination Survey, KNHANES) 자료

를 기반으로 40세 이상 한국 성인 남녀 10,451명을 대상으로 NC와 NC/Ht ratio의 MetS 선별력을 비교하였다. 분석 결과, 두 지표 모두 MetS의 유효한 선별 도구로 활용될 수 있음을 확인하였다. 특히 성별에 따라 최적 지표에 차이가 나타나, 남성에서는 단순 NC가(AUC 0.733 vs. 0.708), 여성에서는 NC/Ht ratio가(AUC 0.755 vs. 0.733) 더 우수한 선별력을 보였다. 이는 NC 기반 지표가 단순한 비만 지표를 넘어, MetS의 핵심 병태생리인 인슐린 저항성과 일부 관련될 가능성을 시사한다.^{24,25}

NC가 대사 위험을 반영하는 기전은 상체 피하지방조직(upper-body subcutaneous adipose tissue)의 독특한 대사적 특성에서 기인한다.^{26,27} 전통적으로 내장지방이 대사 위험의 주요 원인으로 알려져 있으나, 다수의 추적 연구에 따르면 전신 순환 유리지방산(free fatty acid, FFA)의 상당 부분은 실제로 상체 피하지방에서 유래한다고 알려져 있다.^{26,27} 상체 피하지방은 하체 피하지방에 비해 지방분해 활성도가 높고, 인슐린에 의한 지방분해 억제 효과에 상대적으로 저항성을 보인다. 따라서 상체 피하지방은 단순한 저장 창고가 아니라, FFA를 지속적으로 방출하는 대사적으로 활성화된 조직으로 기능한다.^{26–28} 방출된 FFA는 간, 골격근, 췌장으로 전달되어 이소성 지방 축적과 인슐린 저항성, 당대사 이상 등 MetS의 핵심 병태생리를 매개한다.^{24,27,28} 본 연구에서 NC와 NC/Ht ratio는 HOMA-IR (남성 $r = 0.338$, 여성 $r = 0.267$) 및 HbA1c (남성 $r = 0.179$, 여성 $r = 0.267$)와 유의한 상관관계를 보였다(표 S1). 이러한 결과는 선행 연구에서 제시된 '상체지방-FFA-인슐린 저항성' 축을 지지하는 소견으로 해석할 수 있으나, 본 연구에서는 FFA를 직접 측정하지 않았다는 점에서 해석에 제한이 있다.^{1,13,24,25,29,30}

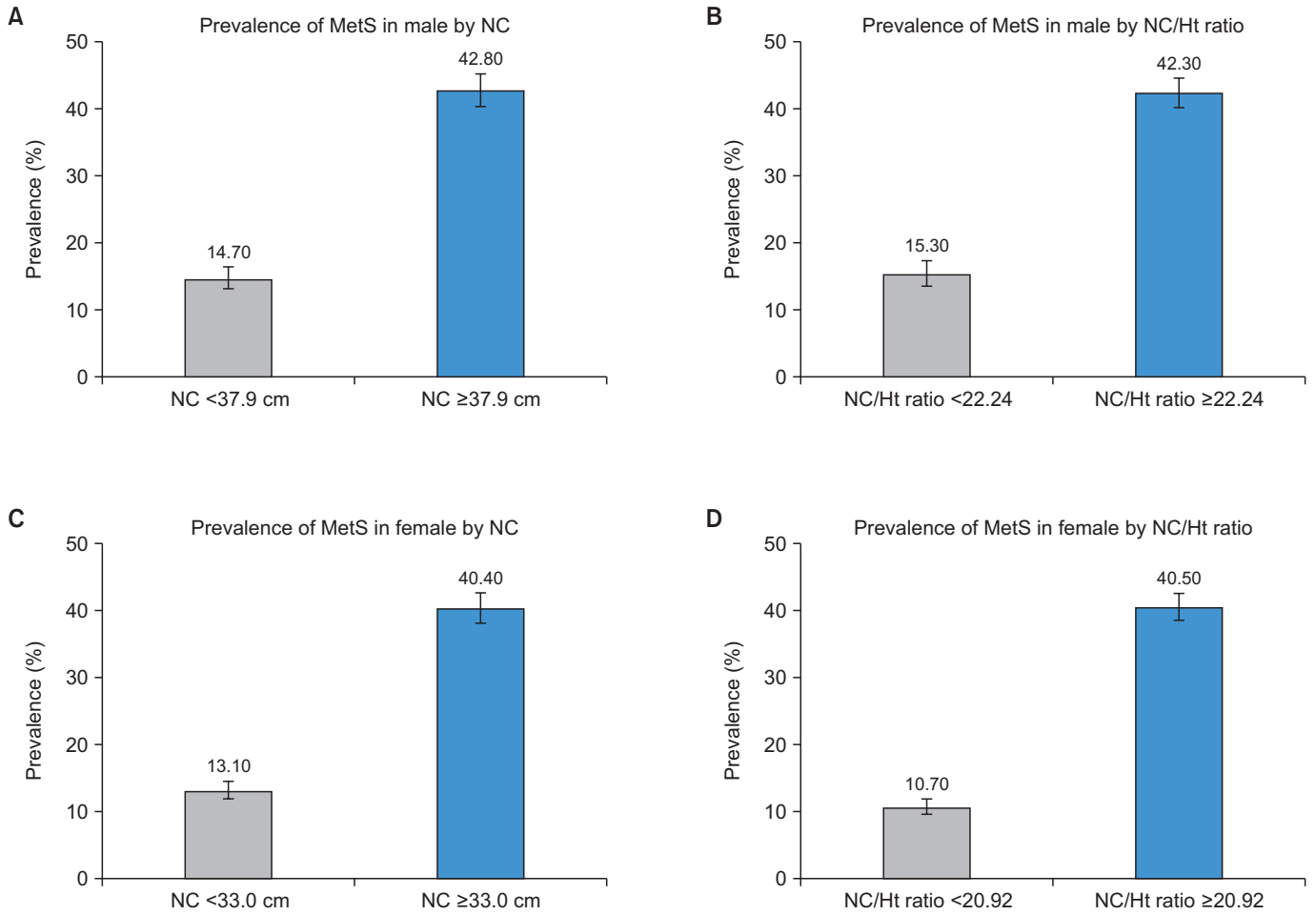


그림 4. Prevalence of metabolic syndrome by optimal NC and NC/Ht ratio cutoff values in male and female. (A) Prevalence of MetS in male according to the NC cutoff value of 37.9 cm; (B) Prevalence of MetS in male according to the NC/Ht ratio cutoff value of 22.24; (C) Prevalence of MetS in female according to the NC cutoff value of 33.0 cm; (D) Prevalence of MetS in female according to the NC/Ht ratio cutoff value of 20.92. Bars represent the prevalence of MetS (%) in groups below and above the respective cutoff values. The optimal cutoff values were determined by maximizing the Youden index from the receiver operating characteristic (ROC) curves.

Abbreviations: MetS, metabolic syndrome; NC, neck circumference; NC/Ht ratio, neck circumference-to-height ratio.

표 2. Odds ratios (ORs) and 95% confidence intervals (CIs) for metabolic syndrome according to quartiles of NC and NC/Ht ratio

	Male NC quartile				Female NC quartile			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Model 1	1.00 (reference)	2.48 (1.91–3.24)	4.75 (3.70–6.11)	11.34 (8.82–14.59)	1.00 (ref)	2.98 (2.30–3.87)	5.41 (4.17–7.02)	13.77 (10.75–17.64)
Model 2	1.00 (reference)	1.53 (1.17–2.02)	2.21 (1.67–2.94)	3.01 (2.15–4.19)	1.00 (ref)	2.12 (1.61–2.78)	3.02 (2.29–4.00)	5.23 (3.78–7.23)
Model 3	1.00 (reference)	1.55 (1.18–2.04)	2.23 (1.68–2.96)	2.99 (2.14–4.18)	1.00 (ref)	2.13 (1.62–2.80)	3.03 (2.29–4.01)	5.25 (3.79–7.28)

	Male NC/Ht ratio quartile				Female NC/Ht ratio quartile			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Model 1	1.00 (reference)	2.03 (1.59–2.61)	3.76 (2.93–4.82)	8.69 (6.86–11.00)	1.00 (ref)	3.95 (2.89–5.39)	7.98 (6.01–10.61)	20.01 (15.12–26.47)
Model 2	1.00 (reference)	1.23 (0.95–1.60)	1.51 (1.13–2.00)	1.96 (1.44–2.68)	1.00 (ref)	2.40 (1.74–3.31)	3.33 (2.39–4.63)	4.95 (3.43–7.16)
Model 3	1.00 (reference)	1.22 (0.94–1.59)	1.48 (1.11–1.96)	1.89 (1.38–2.59)	1.00 (ref)	2.40 (1.74–3.32)	3.37 (2.42–4.71)	5.00 (3.44–7.24)

Model 1: Unadjusted. Model 2: Adjusted for age and BMI. Model 3: Adjusted for age, BMI, alcohol consumption (≥1 time/month during the past year), current smoking, and moderate-intensity physical activity.

Abbreviations: BMI, body mass index; CI, confidence interval; NC, neck circumference; NC/Ht ratio, neck circumference-to-height ratio; OR, odds ratio; Q1–Q4, quartiles 1 to 4; ref, reference.

또한 목 부위는 피하지방뿐 아니라 갈색지방조직(brown adipose tissue)과 경부 주위 지방이 공존하는 해부학적으로 특수한 부위이다. 비만이 진행되면 이들 조직에서 분비되는 염증성 아디포카인(렙틴, 인터루킨-6 [interleukin-6, IL-6], 종양괴사인자- α [tumor necrosis factor- α , TNF- α] 등)이 저등급 만성 염증을 유도하여, 혈관 내피 기능 저하와 혈압 상승을 초래할 수 있다.^{24,28} 따라서 NC 기반 지표는 '지질 이상'보다는 '인슐린 저항성 중심 MetS' 표현형을 더 민감하게 포착하는 특성을 가진다고 해석할 수 있다.^{28,30,31}

본 연구의 가장 주목할 만한 발견은 남녀에서 최적의 지표가 상이하게 나타났다는 점이다. 이러한 성차는 단순한 통계적 변이가 아니라, 남녀의 체지방 분포 및 신체 구성의 생리학적 차이에 기인한다고 해석할 수 있다.^{27,32,33}

안드로겐 우세 환경에 놓인 남성은 본래 복부 및 상체 중심의 지방 축적(안드로이드형, android pattern)을 보이며, 지방 축적 위치의 분산이 상대적으로 작다.^{27,32} 또한 성인 남성은 여성에 비해 신장의 변이 폭이 좁고, 대사적 위험과 직결되는 부위가 상체에 집중되어 있다. 따라서 신장으로 보정하는 과정이 오히려 위험도 신호를 희석시킬 수 있다.^{32,34} 즉 남성에서는 NC 자체가 이미 상체 지방량을 충분히 잘 반영하는 절대 지표로 가능하며, 신장 보정이 추가적인 설명력을 제공하지 못하거나 오히려 감쇠(attenuation) 효과를 일으킬 수 있다.^{32,34} 본 연구에서 남성의 NC AUC (0.733)가 NC/Ht ratio (0.708)보다 유의하게 높았던 결과는 이러한 해석을 뒷받침한다.

반면 선행 연구에 따르면 여성은 에스트로겐의 영향으로 폐경 전에는 둔부-대퇴부 중심의 지방 축적(자이노이드형, gynoid pattern)을 보이다가, 폐경 이후 에스트로겐 감소와 함께 지방 분포가 중심성(central) 및 상체형으로 급격히 재분포되는 것으로 알려져 있다.^{27,33} 본 연구 대상 여성의 평균 연령은 57.6세로, 폐경 전후의 체지방 분포 변화가 결과에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 선행 연구에서 폐경 이행기 이후 여성에서는 체형 및 골격 변이가 더 크게 나타날 수 있다고 보고된 바 있다.³³ 이러한 상황에서 단순 NC는 개인의 골격 크기와 키에 의해 크게 좌우되어, 작은 체격을 가진 여성의 위험도는 과소평가되고 큰 체격을 가진 여성의 위험도는 과대평가될 수 있다.^{32,33} 따라서 신장으로 보정한 NC/Ht ratio는 개인의 체형 변이를 교정함으로써, 순수하게 상체 지방 축적 정도를 반영하는 지표로서 더 우수한 판별력을 나타낸다.^{32,34,35} 본 연구에서 여성의 NC/Ht ratio AUC (0.755)가 NC AUC (0.733)보다 유의하게 높았던 결과는 이러한 체형 보정의 필요성을 뒷받침한다. 이는 허리둘레-신장 비율(waist-to-height ratio, WHtR)이 단독 WC 지표보다 여성에서 대사 위험 예측에 더 우수하다는 기존 보고들과도 일맥상통한다.^{35,36}

또한 생물학적으로 남성과 여성은 경부 근육량, 갑상연골(thyroid cartilage)의 돌출 정도, 후두 크기 등에서 구조적 차이를 보인다.^{32,33}

남성의 NC에는 근육 및 골격 구조가 차지하는 비중이 상대적으로 큰 반면, 여성의 NC는 지방 조직이 차지하는 비율이 상대적으로 높다.^{32,33} 이러한 조직 구성의 차이는 NC 수치가 지방량을 얼마나 직접적으로 반영하는지에 성별 간 차이를 만들며, 여성에서는 신장 보정이 이러한 혼란 요인을 효과적으로 제거하는 역할을 할 수 있다.^{32,34,35} 다만 본 연구에서는 폐경 여부, 성호르몬 수치, 체지방 분포 및 체성분을 직접 측정하지 않았으므로, 이러한 기전적 해석은 가설 수준이며 향후 연구를 통한 검증이 필요하다.

연령, BMI, 음주, 흡연, 신체활동을 모두 보정한 Model 3에서도 NC 최상위 사분위군(Q4)은 최하위 사분위군(Q1)에 비해 MetS 유병 odds가 남성 2.99배, 여성 5.25배 유의하게 높았다. NC/Ht ratio 역시 Q4에서 남성 1.89배, 여성 5.00배의 독립적 관련성을 보였다. 특히 BMI를 보정한 이후에도 유의한 관련성이 유지되었다는 점은, NC 기반 지표가 BMI 및 생활습관 요인을 보정한 이후에도 MetS 유병 여부와 유의하게 관련되는 지표일 가능성을 시사하며, 전신 비만도와 독립적으로 대사 위험을 설명할 수 있음을 의미한다. 이는 '대사적으로 건강한 비만(metabolically healthy obesity)'과 '대사적으로 건강하지 않은 정상체중(metabolically unhealthy normal weight)' 표현형을 구분하는 데 NC가 유용할 수 있다는 최근의 관점과도 부합한다.^{9,23}

여성에서 NC 및 NC/Ht ratio의 상위 사분위수와 MetS의 교차비(Odds ratio, OR)가 남성보다 더 크게 관찰되었다. 다만 본 연구에서는 폐경 여부와 체지방 분포를 직접 평가하지 않았으므로, 이러한 성별 차이의 통계적 유의성 및 기전에 대해서는 추가 연구가 필요하다.

본 연구에서 Youden index를 이용하여 도출한 성별 최적 절단값은 남성에서 NC 37.9 cm (95% CI, 37.5–38.7), 여성에서 NC/Ht ratio 20.92 (95% CI, 20.89–21.49)였다. 이 절단값을 기준으로 대상자를 분류하였을 때, 절단값 이상인 군에서 MetS 유병률이 유의하게 높게 나타남을 확인하였다(그림 4). ROC 분석에서 확인된 성별 최적 지표(남성 NC, 여성 NC/Ht ratio)에 근거한 우선 권장 기준값은 위와 같이 제시할 수 있다. 부가적으로 남성의 NC/Ht ratio 절단값은 22.24 (95% CI, 22.10–22.53), 여성의 NC 절단값은 33.0 cm (95% CI, 32.6–33.6)로 산출되어, 임상 상황에 따라 선택 가능한 보조 기준값으로 활용될 수 있다.

남성에서 산출된 NC 절단값 37.9 cm는 기존 국내외 문헌에서 한국 성인 남성을 대상으로 보고된 NC 절단값(약 36–38 cm 범위)과 대체로 일치한다.^{1,13} 본 연구 대상 남성의 MetS군과 non-MetS군의 평균 NC (39.45 cm vs. 37.55 cm) 사이에 절단값이 위치한다는 점 또한, 이 기준값이 임상적으로 두 군을 구분하는 합리적 경계임을 뒷받침한다. 반면 여성에서 산출된 NC/Ht ratio 절단값 20.92는 단순 NC만으로는 체형 변이의 영향을 충분히 보정할 수 없었던 문제를 해결하는 대안적 기준으로서 의미가 있다. 즉, 신장이 작은 여성에서의 위험 과소

평가와 신장이 큰 여성에서의 과대평가를 완화하는 실용적 의미를 갖는다. 특히 본 연구 여성의 평균 연령이 57.6세였다는 점을 고려할 때, NC/Ht ratio 기반 절단값은 폐경 전후의 체지방 분포 변화가 영향을 미칠 수 있는 집단에서 조기 선별에 기여할 수 있는 가능성을 갖는다. 다만 본 연구가 폐경 여부 및 체지방 분포를 직접 측정하지 않은 단면 연구라는 점을 고려하면, 이 절단값의 임상적 활용을 위해서는 폐경 상태별, 연령군별 외적 타당도 검증이 필요하다.

한편 본 연구에서 보고한 절단값들은 40세 이상 한국인 집단에서 도출된 값이므로, 젊은 연령층이나 다른 인종 집단에 그대로 적용하기 전에는 독립된 외부 집단에서의 타당도 검증이 필요하다.

NC 기반 지표는 몇 가지 뚜렷한 임상적 장점을 지닌다. 첫째, 측정이 매우 간편하고 의복 탈의가 필요 없어, 진료실, 검진센터, 지역사회 보건사업 등 다양한 환경에서 활용 가능하다.¹ 둘째, 식사 직후, 임신, 복수, 부종, 호흡 주기 등 복부 상태 변화에 민감하게 영향을 받는 WC와 달리, NC는 이러한 요인의 영향을 거의 받지 않아 측정의 재현성과 신뢰도가 높다.¹ 셋째, 본 연구 결과를 토대로 성별에 따라 차별화된 지표(남성은 NC, 여성은 NC/Ht ratio)를 적용한다면 선별 검사의 민감도를 더욱 향상시킬 수 있을 것이다. 이러한 장점은 특히 거동이 불편한 고령자, 휠체어 이용자, 또는 WC 측정이 어려운 임신부 등에서 NC 기반 지표가 유용한 대안적 대사 위험 선별 도구로 활용될 수 있음을 시사한다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 단면 연구 설계이므로 NC 또는 NC/Ht ratio 증가와 MetS 발생 사이의 시간적 선후관계 및 인과관계를 규명할 수 없다. 둘째, NC는 지방 조직뿐 아니라 근육 및 골격 구조를 함께 반영하는 지표이므로, 영상학적 방법(예: 이중에너지 X선 흡수계측법[dual-energy X-ray absorptiometry, DXA], 컴퓨터단층촬영[computed tomography, CT], 자기공명영상[magnetic resonance imaging, MRI])을 통한 지방량 정량화가 동반되지 않은 점은 한계이다. 셋째, 본 연구는 40세 이상 한국 성인을 대상으로 하였으므로, 젊은 연령층이나 다른 인종 집단에 결과를 그대로 적용하는 데에는 주의가 필요하다. 넷째, 본 연구의 분석에는 폐쇄성 수면무호흡증(obstructive sleep apnea, OSA), 갑상선 기능, 성호르몬 수치 등 NC에 영향을 미칠 수 있는 변수들이 포함되지 않았다.^{1,9,23} 향후 전향적 코호트 연구를 통해 본 연구에서 도출된 성별 절단값의 외적 타당도를 독립 집단에서 검증하고, 연령대별 절단값의 세분화를 수행할 필요가 있다. 또한 영상의학적 지방 정량화 자료와의 비교 검증, 그리고 MetS 및 심혈관 사건 발생에 대한 예측 타당도를 종합적으로 평가하는 후속 연구가 필요하다. 다섯째, 본 연구는 남녀별로 분석을 시행하였으나 성별과 NC, 또는 성별과 NC/Ht ratio에 대한 formal interaction test를 시행하지 않았다. 따라서 남녀 간 OR 차이의 통계적 유의성은 본 연구로부터 직접 결론 내릴 수 없다.

본 연구는 40세 이상 한국 성인에서 NC와 NC/Ht ratio가 모두 MetS의 유효한 선별 지표임을 확인하였다. 특히 남성에서는 단순 NC가, 여성에서는 NC/Ht ratio가 더 우수한 선별 성능을 보였다. 이러한 결과는 MetS의 간편 선별에 있어 성별에 따른 차별적 지표 적용이 필요함을 시사한다. NC 기반 지표는 측정이 간편하고 비침습적이며, 특히 WC 측정이 어려운 임상 상황에서 유용한 대안적 선별 도구로 활용될 수 있다. 향후 전향적 코호트 연구를 통해 본 연구에서 도출한 성별 절단값의 외적 타당도 검증과 MetS 발생에 대한 예측 타당도를 검증할 필요가 있다.

이해충돌

이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

연구비 수혜

없음.

ORCID

Phil-lip Yoon	https://orcid.org/0009-0002-7787-9351
Sung-Ho Ahn	https://orcid.org/0000-0002-8477-1026
Byoungjin Park	https://orcid.org/0000-0003-1733-5301
Yong-Jae Lee	https://orcid.org/0000-0002-6697-476X
Yu-Jin Kwon	https://orcid.org/0000-0002-9021-3856

부 록

부록은 이 사이트에서 확인할 수 있음 <https://doi.org/10.23137/AOM26.05.OA0003>.

참고문헌

- Kim KY, Moon HR, Yun JM. Neck circumference as a predictor of metabolic syndrome in Koreans: a cross-sectional study. *Nutrients* 2021;13:3029.
- Huh JH, Lee JH, Moon JS, Sung KC, Kim JY, Kang DR. Metabolic syndrome severity score in Korean adults: analysis of the 2010–2015 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *J Korean Med Sci* 2019;34:e48.
- Lee BJ, Kim JY. Identification of metabolic syndrome using phenotypes consisting of triglyceride levels with anthropometric

- indices in Korean adults. *BMC Endocr Disord* 2020;20:29.
4. Laohabut I, Udol K, Phisalprapa P, et al. Neck circumference as a predictor of metabolic syndrome: a cross-sectional study. *Prim Care Diabetes* 2020;14:265–73.
 5. Cho S, Jung JH, Nam GE, et al. 2024 Obesity fact sheet in Korea: prevalence of obesity, abdominal obesity, obesity defined by body fat percentage, and underweight in adults in Korea from 2013 to 2022. *J Obes Metab Syndr* 2025;34:405–13.
 6. Kim Y, Choi Y, Lee KN, et al. Disparities in trends of metabolic syndrome in Korea from 2007 to 2022 by age, sex, and lifestyle factors. *Sci Rep* 2025;15:21185.
 7. Baik I. Gender-specific associations among neck circumference, the rs9939609 FTO gene polymorphism, and the 14-year risk of metabolic syndrome in the Korean adult population. *Epidemiol Health* 2024;46:e2024072.
 8. Girdhar K, Rijhwani P, Sarna M, Agarwal P, Garg S, Shoaib M. To evaluate the association of neck circumference and mid-arm circumference to the components of metabolic syndrome. *J Mahatma Gandhi Univ Med Sci Tech* 2022;7:72–4.
 9. Namazi N, Larijani B, Surkan PJ, Azadbakht L. The association of neck circumference with risk of metabolic syndrome and its components in adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2018;28:657–74.
 10. Luo Y, Ma X, Shen Y, et al. Neck circumference as an effective measure for identifying cardio-metabolic syndrome: a comparison with waist circumference. *Endocrine* 2017;55:822–30.
 11. Haapakangas SM, Koskenkari NVS, Hurskainen EL, Arffman RK, Ollila MM, Piltonen TT. Neck circumference as a metabolic health marker among women with polycystic ovary syndrome (PCOS): a systematic review and meta-analysis. *Int J Obes (Lond)* 2025;49:998–1012.
 12. Cresswell E, Bastly N, Atabaki Pasdar N, Karpe F, Pinnick KE. The value of neck adipose tissue as a predictor for metabolic risk in health and type 2 diabetes. *Biochem Pharmacol* 2024;223:116171.
 13. Zhou JY, Ge H, Zhu MF, et al. Neck circumference as an independent predictive contributor to cardio-metabolic syndrome. *Cardiovasc Diabetol* 2013;12:76.
 14. Alirezaei T, Soori H, Irlouzadian R, Najafimehr H. Novel anthropometric indices as screening tools for obesity: a study on healthy Iranians. *J Nutr Metab* 2023;2023:6612411.
 15. Kim M, Lee Y, Lee JY, Lee JW. Assessment of neck to height ratio as a predictive tool for metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease in Korean adults: a cross-sectional analysis from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2019–2021. *Korean J Fam Med* 2026;47:201–9.
 16. Lee KR. Neck to waist circumference ratio and insulin resistance in adult Korean population under 50 years. *Metab Syndr Relat Disord* 2025;23:422–5.
 17. Sahay N, Acharya RV, Sahay K, Sahay M. To establish the utility of neck circumference as a novel and simple risk marker for detection of metabolic syndrome and cardiometabolic risk factors in Indians. *J Assoc Physicians India* 2024;72:40–3.
 18. Kweon S, Kim Y, Jang MJ, et al. Data resource profile: the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). *Int J Epidemiol* 2014;43:69–77.
 19. Oh K, Kim Y, Kweon S, et al. Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 20th anniversary: accomplishments and future directions. *Epidemiol Health* 2021;43:e2021025.
 20. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia* 1985;28:412–9.
 21. Keskin M, Kurtoglu S, Kendirci M, Atabek ME, Yazici C. Homeostasis model assessment is more reliable than the fasting glucose/insulin ratio and quantitative insulin sensitivity check index for assessing insulin resistance among obese children and adolescents. *Pediatrics* 2005;115:e500–3.
 22. Ford ES, Giles WH, Dietz WH. Prevalence of the metabolic syndrome among US adults: findings from the third National Health and Nutrition Examination Survey. *JAMA* 2002;287:356–9.
 23. Stabe C, Vasques AC, Lima MM, et al. Neck circumference as a simple tool for identifying the metabolic syndrome and insulin resistance: results from the Brazilian Metabolic Syndrome Study. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2013;78:874–81.
 24. Chan V, Cao L, Wong MMH, Lo K, Tam W. Diagnostic accuracy of waist-to-height ratio, waist circumference, and body mass index in identifying metabolic syndrome and its components in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Curr Dev Nutr* 2023;8:102061.
 25. Mirr M, Skrypnik D, Bogdański P, Owecki M. Newly proposed insulin resistance indexes called TyG-NC and TyG-NHtR show efficacy in diagnosing the metabolic syndrome. *J Endocrinol Invest* 2021;44:2831–43.
 26. Huang Y, Gu L, Li N, et al. The product of waist and neck circumference outperforms traditional anthropometric indices in identifying metabolic syndrome in Chinese adults with type 2 diabetes: a cross-sectional study. *Diabetol Metab Syndr* 2021;13:35.
 27. Strack C, Behrens G, Sag S, et al. Gender differences in cardio-metabolic health and disease in a cross-sectional observational obesity study. *Biol Sex Differ* 2022;13:8.

28. Hsieh SD, Yoshinaga H, Muto T. Waist-to-height ratio, a simple and practical index for assessing central fat distribution and metabolic risk in Japanese men and women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2003;27:610-6.
29. Smith U, Kahn BB. Adipose tissue regulates insulin sensitivity: role of adipogenesis, de novo lipogenesis and novel lipids. *J Intern Med* 2016;280:465-75.
30. Kim JE, Kim JS, Jo MJ, et al. The roles and associated mechanisms of adipokines in development of metabolic syndrome. *Molecules* 2022;27:334.
31. Rabiee A, Hossain MA, Poojari A. adipose tissue insulin resistance: a key driver of metabolic syndrome pathogenesis. *Bio-medicines* 2025;13:2376.
32. Liu Y, Tong G, Tong W, Lu L, Qin X. Can body mass index, waist circumference, waist-hip ratio and waist-height ratio predict the presence of multiple metabolic risk factors in Chinese subjects? *BMC Public Health* 2011;11:35.
33. Zanoncio VV, Sedyama CMNO, Dias MM, et al. Neck circumference and the burden of metabolic syndrome disease: a population-based sample. *J Public Health (Oxf)* 2022;44:753-60.
34. Abboud M, Haidar S, Mahboub N, Papandreou D, Rizk R. Abdominal volume index, waist-to-height ratio, and waist circumference are optimal predictors of cardiometabolic abnormalities in a sample of Lebanese adults: a cross-sectional study. *PLOS Glob Public Health* 2023;3:e0002726.
35. Libardi MC, Martins CA, Ferreira JRS, et al. Neck circumference cutoff point as a predictor of metabolic syndrome in Brazilian rural workers. *PLoS One* 2025;20:e0316090.
36. Liu Y, Liu A, Xu X, et al. Predictive values of neck circumference and TyG index on polycystic ovary syndrome with metabolic syndrome. *Sci Rep* 2025;15:24055.