

# 한국 성인의 추정 심폐체력과 인슐린 저항성 간의 연관성: 국민건강영양조사 2019 – 2021 결과 중심으로

서울대학교 사범대학 체육교육과

한 윤 민 · 김 연 수

## Association between Estimated Cardiorespiratory Fitness and Insulin Resistance in Korean Adults: Results from the Korea National Health and Nutrition Survey 2019 – 2021

Yunmin Han, Yeonsoo Kim

*Department of Physical Education, College of Education, Seoul National University, Seoul, Korea*

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate the association between estimated cardiorespiratory fitness (eCRF) and insulin resistance in Korean adults, and to compare this association through sex and age-specific analyses.

**Methods:** A total of 13,405 adults aged 19 years and older (male, 5,869; female, 7,536) were analyzed using data from the Korea National Health and Nutrition Survey (KNHANES) for the years 2019 to 2021. eCRF was analyzed by dividing it into quartiles using the estimation equation based on age, sex, body mass index, waist circumference, smoking status, resting heart rate, and self-reported physical activity level. Insulin resistance was measured to calculate the HOMA-IR. Logistic regression was used to predict the odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) of the relationship between the two variables, with adjustment for potential confounders.

**Results:** The results showed a stronger association between fitness level and insulin resistance. Based on the first quartile (reference group), the lower the cardiorespiratory fitness level, the higher the OR. In male subjects, the lowest quartile had an OR of insulin resistance 17.65 (95% CI, 13.76 – 22.64). For female subjects, the lowest quartile had an OR of insulin resistance 7.96 (95% CI, 6.37 – 9.94). These results indicate a strong inverse relationship between cardiorespiratory fitness and insulin resistance and younger groups exhibited significantly higher ORs in age-specific ORs.

**Conclusion:** The analysis results demonstrated that increasing cardiorespiratory fitness levels can significantly impact insulin sensitivity and reduce insulin resistance risk.

**Keywords:** Cardiorespiratory fitness, Insulin resistance, Metabolism

Received: August 16, 2023 Revised: October 24, 2023 Accepted: October 26, 2023

Correspondence: Yeonsoo Kim

Department of Physical Education, College of Education, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Korea  
Tel: +82-2-880-7794, Fax: +82-2-872-2867, E-mail: kys0101@snu.ac.kr

Copyright ©2023 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.

## 서론

인슐린 저항은 혈당 조절과 관련된 중요한 대사 이상으로, 당뇨병 및 심혈관 질환과의 관련성이 잘 알려져 있다<sup>1</sup>. 인슐린 저항은 조직에서 인슐린의 효과가 감소하거나 불완전하게 전달되는 상태를 만들어, 혈당 조절이 어려워지고 고혈당 상태가 지속될 수 있다<sup>2</sup>. 특히, 한국인들은 최근 비만, 신체활동 저하, 식습관 문제로 인슐린 저항성이 취약한 인구가 증가하고 있다<sup>3,4</sup>.

낮은 심폐체력은 심혈관 질환, 제2형 당뇨, 고혈압 등 다양한 만성질환과 관련이 있다<sup>5,6</sup>. 심폐체력은 신체가 산소를 공급받고 사용하는 능력으로, 기능이 낮으면 근육이 제대로 작동하지 못하는데 이는 인슐린 저항성을 높이거나 민감성 손상의 원인이 된다<sup>6,7</sup>. 신체활동 증가를 통한 심폐체력 향상은 인슐린 저항성 감소를 가져온다고 알려져 있고, 설계에 따라 남녀 및 연령에 따른 차이가 다양하게 나타난다<sup>8</sup>. 실제 심폐체력 지표는 임상 현장에서 다양한 만성질환의 위험을 평가하기 위해 널리 사용되는 지표이다. 그러나 기존의 심폐체력 측정 방법은 전문 장비와 훈련된 인력이 필요하여 비용이 많이 들고 접근성이 낮은 단점이 있다. 이러한 제한점을 극복하기 위해 비운동으로 심폐체력을 추정하는 추정 심폐체력(estimated cardiorespiratory fitness, eCRF) 알고리즘이 개발되었는데, 연령, 성별, 허리둘레, 안정 심박수, 신체활동 등의 기초 임상 정보를 사용하여 쉽게 산출할 수 있다<sup>9</sup>. 선행연구는 임상적 심폐체력 측정과 마찬가지로 eCRF로도 심혈관 질환 위험과 사망률을 예측할 수 있음을 보여주었다<sup>10-12</sup>.

이러한 배경을 고려할 때, 심폐체력은 개인의 건강 및 대사성 질환 발생 위험과 관련이 있는 중요한 요소이다. 그러나 한국 성인 인구를 대상으로 한 심폐체력과 인슐린 저항성 간의 관계에 관한 연구는 제한적으로 수행되었다.

본 연구의 목적은 국민건강영양조사 2019-2021년 데이터를 활용하여 한국 성인의 eCRF와 인슐린 저항성 간의 연관성을 조사하고 성별 및 연령에 따른 차이를 분석하는 것으로, 이를 통해 대사성 질환 예방 및 관리를 위한 중요한 정보를 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

## 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구에 사용한 데이터는 보건복지부 질병관리청에서 실시한 국민건강영양조사 자료로, 국민의 건강 수준, 건강 관련 의식 및 행태, 만성질환 유무 및 영양 섭취 실태 등에 관한 것이다.

대한민국 인구를 대표하고 층, 집락 및 조사 부문 및 항목을 고려한 복합 표본 설계를 사용하는 조사로, 가중치를 이용하여 편향을 보정하였으며 대표성을 확보하였다. 제8기 1, 2, 3차 연도인 2019-2021년도 자료를 활용하였으며, 만 19세 이상인 성인을 대상으로(n=18,691) 독립변수와 종속변수, 그리고 주요 공변인에 걸쳐있는 대상자를 제외한 13,405명을 분석하였다. 본 연구는 대한민국 질병관리청 연구윤리기관으로부터 승인을 받은 제8기 국민건강영양조사를 이용하였으며, 서울대학교 생명윤리심의 위원회로부터 심의를 면제받았다(No. E2308/022-005).

## 2. 연구 내용 및 방법

### 1) 인구학적 특성 및 기본 측정

인구학적 특성으로 성별과 연령을 조사하고, 기본 신체 측정(신장, 체중, 허리둘레) 및 혈액 변인의 측정과 다양한 자기보고 설문이 진행되었다.

### 2) 심폐체력 측정

심폐체력은 Jackson 등<sup>9</sup>이 개발하고 Lee 등<sup>13</sup>이 타당도를 검정한 공식을 이용하여 계산하였다. 성별에 따른 각각의 공식은 대사당량(metabolic equivalents, METs)으로 사용하였다. 기존 선행연구에 따라 19세 이상 40세 미만, 40세 이상 50세 미만, 50세 이상 60세 미만, 그리고 60세 이상으로 층화하여 분위수를 나눈 뒤 결합하여 분석하였다<sup>14</sup>.

남성:  $21.2870 + (\text{age} \times 0.1654) - (\text{age}^2 \times 0.0023) - (\text{BMI} \times 0.2318) - (\text{waist circumference} \times 0.0337) - (\text{resting heart rate} \times 0.0390) + (\text{physical activity [active vs. inactive]} \times 0.6351) - (\text{smoking [yes vs. no]} \times 0.4263)$

여성:  $14.7973 + (\text{age} \times 0.1159) - (\text{age}^2 \times 0.0017) - (\text{BMI} \times 0.1534) - (\text{waist circumference} \times 0.0088) - (\text{resting heart rate} \times 0.364) + (\text{physical activity [active vs. inactive]} \times 0.5987) - (\text{smoking [yes vs. no]} \times 0.2994)$

체질량지수(body mass index, BMI)는 체중을 키의 제곱으로 나눈 값( $\text{kg/m}^2$ )을 사용한다. 흡연 상태는 설문을 통해 현재 흡연 여부로 분류하였다. 안정 시 심박수는 혈압 측정 시에 측정된 맥박을 기준으로 회/분으로 나타났다. 허리둘레는 대한비만학회에서 정의한 기준으로 남성은 90 cm 이상, 여성은 85 cm 이상을 복부비만으로 분류하였다<sup>15</sup>. 신체활동은 국제 신체활동 설문지(General Physical Activity Questionnaire, GPAQ)를 통해 강도, 지속시간, 빈도에 따라 측정되며, 세 가지 활동 영역(예: 일 관련, 장소 이동, 여가시간 활동)을 평가하였다<sup>16</sup>. GPAQ은 영역별로

10분 이상 지속되는 신체활동이 주당 며칠, 몇 시간, 그리고 몇 분 발생하는지를 묻는다. 적당한 심호흡 또는 심박수 상승을 유발하면서 최소한 10분간 지속되는 연속적인 활동을 기준으로, 중강도 활동은 4.0 METs로 정의되고, 고강도 활동은 8.0 METs로 정의되었다. 신체활동 지침 준수는 일, 장소 이동, 여가시간 영역 별로 중강도, 고강도, 그리고 중강도와 고강도를 모두 결합한 신체활동을 각각 주당 최소한 150분, 75분, 그리고 150분 이상 참여하는 것을 의미한다. 이에 따라, 신체활동 가이드라인 충족 여부로 분류하였다.

### 3) 인슐린 저항성 측정

HOMA-IR (homeostatic model assessment of insulin resistance) 을 계산하여(인슐린[ $\mu$ U/L] $\times$ 공복혈당[mg/dL]/405), 2.5 이상인 경우 인슐린 저항성이 있다고 정의하였다<sup>17,18</sup>.

### 4) 공변인

음주 형태는 남자는 1회 평균 7잔 이상, 여자는 5잔 이상, 주 2회 이상 음주 시 고위험 음주자로 범주화하였다. 혈압 측정은 수축기 및 이완기 혈압 3회 측정값의 평균을 사용하였으며 총콜레스테롤과 중성지방은 혈액검사를 통해 측정하였고 모두 연속형 변수로 사용하였다. 고혈압 유무는 수축기 혈압이 140 mmHg 이상

이거나 이완기 혈압이 90 mmHg 이상, 또는 고혈압 약물을 복용한 사람으로 정의하였고, 혈압이 정상인 자와 고혈압 전 단계 이상인 자로 이분하여 범주화하였다<sup>19</sup>. 당뇨 가족력은 부모 중 당뇨병 의사 진단 여부가 있는 사람과 없는 사람으로 이분하여 범주화하였다. 공변인에 대한 기준은 국민건강영양조사 지침서를 기준으로 하였다<sup>20</sup>.

### 3. 자료 분석

모든 변인은 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)로 나타냈으며, 범주형 변인은 빈도(frequency)와 비율(%)로 표기하였다. 기본적 특성은 eCRF 분위수에 따라 나누어 범주형 변수는 카이제곱 검정, 연속형 변수는 분산분석 검정을 이용하여 집단 간의 차이를 확인하였다. 복합 표본 설계와 대상 인구 간 무응답률, 사후 계층화를 고려한 표본 가중치를 이용하였으며, 다중 로지스틱 회귀분석으로 독립변수 간의 관계를 파악하여 교차비(odds ratio, OR)와 95% 신뢰구간(confidence interval, CI)으로 표현하였다. eCRF는 남녀 각각 4분위수로 나누어 계산하였으며, 체력 수준이 가장 높은 집단을 참조 집단(reference group)으로 설정하였다. Model 1은 연령을, model 2는 연령, 흡연, 음주, 수축기 혈압, 이완기 혈압, 총콜레스테롤, 중성지방, 고혈압 여부, 당뇨 가족력을 보정하였다. 통계분석은 계층화된 다단계 확률 샘플링

Table 1. Baseline characteristics of participants (male)

| Characteristic           | eCRF group        |                   |                   |                   | p-value |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
|                          | Highest           | 2nd               | 3rd               | Lowest            |         |
| No. of participants      | 1,461             | 1,467             | 1,469             | 1,472             |         |
| Age (yr)                 | 47.0 $\pm$ 15.1   | 48.5 $\pm$ 15.7   | 49.8 $\pm$ 16.8   | 51.0 $\pm$ 18.9   | <0.001  |
| Height (cm)              | 171.5 $\pm$ 6.4   | 171.8 $\pm$ 6.6   | 171.5 $\pm$ 6.7   | 171.6 $\pm$ 7.2   | 0.248   |
| Weight (kg)              | 63.7 $\pm$ 7.6    | 70.5 $\pm$ 8.2    | 74.9 $\pm$ 9.2    | 84.0 $\pm$ 14.3   | <0.001  |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | 21.6 $\pm$ 2.1    | 23.8 $\pm$ 2.0    | 25.4 $\pm$ 2.1    | 28.4 $\pm$ 3.5    | <0.001  |
| WC (cm)                  | 79.4 $\pm$ 6.5    | 85.7 $\pm$ 5.8    | 90.3 $\pm$ 5.8    | 98.4 $\pm$ 8.0    | <0.001  |
| RHR (bpm)                | 67.4 $\pm$ 6.9    | 70.3 $\pm$ 8.2    | 71.2 $\pm$ 8.2    | 74.7 $\pm$ 9.9    | <0.001  |
| Fasting glucose (mg/dL)  | 98.8 $\pm$ 19.6   | 102.0 $\pm$ 21.9  | 105.1 $\pm$ 23.0  | 111.6 $\pm$ 32.0  | <0.001  |
| Current smoker           | 358 (24.5)        | 434 (29.6)        | 503 (34.2)        | 592 (40.2)        | <0.001  |
| Heavy drinker            | 231 (15.8)        | 293 (20.0)        | 290 (19.7)        | 304 (20.7)        | <0.001  |
| Physically active        | 956 (65.4)        | 769 (52.4)        | 578 (39.3)        | 428 (29.1)        | <0.001  |
| SBP (mmHg)               | 116.6 $\pm$ 4.0   | 120.2 $\pm$ 13.4  | 122.4 $\pm$ 13.9  | 124.7 $\pm$ 13.4  | <0.001  |
| DBP (mmHg)               | 75.7 $\pm$ 9.0    | 77.6 $\pm$ 9.1    | 78.4 $\pm$ 9.7    | 79.6 $\pm$ 10.9   | <0.001  |
| TC (mg/dL)               | 189.0 $\pm$ 36.6  | 190.7 $\pm$ 38.3  | 189.6 $\pm$ 39.3  | 190.3 $\pm$ 40.6  | 0.132   |
| Triglyceride (mg/dL)     | 124.8 $\pm$ 120.5 | 147.4 $\pm$ 125.4 | 164.7 $\pm$ 130.9 | 189.1 $\pm$ 154.7 | <0.001  |
| HOMA-IR                  | 1.6 $\pm$ 1.6     | 2.1 $\pm$ 1.6     | 2.7 $\pm$ 2.3     | 4.3 $\pm$ 4.3     | <0.001  |
| eCRF (METs)              | 13.4 $\pm$ 1.0    | 12.4 $\pm$ 1.0    | 11.6 $\pm$ 1.1    | 10.1 $\pm$ 1.4    | <0.001  |

Values are presented as number only, mean $\pm$ standard deviation, or number (%).

eCRF: estimated cardiorespiratory fitness, BMI: body mass index, WC: waist circumference, RHR: resting heart rate, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, TC: total cholesterol, HOMA-IR: homeostatic model assessment of insulin resistance, MET: metabolic equivalent.

설계를 적용하기 위해 R software (version 4.2.2; The R Foundation)의 svydesign 모듈을 사용하였으며 유의 수준은  $p < 0.05$ 로 설정하였다.

## 결 과

본 연구의 대상자는 성인 13,405명(남성, 5,869명; 여성, 7,536명)이며 성별에 따른 기본적 특성은 Table 1과 2에 자세히 제시하였다. 전체적으로 체력 수준이 낮은 집단이 높은 집단에 비해 인슐린 저항성의 OR이 더 높게 나타났으며, 나이를 나누어 확인한 결과에서도 동일한 경향을 확인하였다. 남성의 경우 연령만 보정한 model 1에서 체력 수준이 가장 높은 집단을 기준으로 2분위 집단(OR, 3.07; 95% CI, 2.44–3.87), 3분위 집단(OR, 6.57; 95% CI, 5.27–8.19), 가장 낮은 집단(OR, 20.12; 95% CI, 16.01–25.57) 순으로 인슐린 저항성의 OR이 유의미하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다( $p < 0.001$ ) (Table 3). 통제 변인들을 모두 보정한 model 2에서도 체력 수준이 가장 높은 집단을 기준으로 2분위 집단(OR, 2.87; 95% CI, 2.25–3.67), 3분위 집단(OR, 6.00; 95% CI, 4.73–7.62), 가장 하위 집단(OR, 17.65; 95% CI, 13.76–22.64) 순으로 인슐린 저항성에 대한 OR이 감소하였고 통계적으로 유의하였다( $p < 0.001$ ). 여성의 경우 남성에 비해 인슐린 저항성에 대한 OR값

이 다소 감소한 것으로 확인되었지만, model 1에서 1분위 집단을 기준으로 각각 2분위 집단(OR, 2.06; 95% CI, 1.64–2.59), 3분위 집단(OR, 3.36; 95% CI, 2.67–4.23), 가장 하위 집단(OR, 11.66; 95% CI, 9.41–14.46)의 인슐린 저항성에 대하여 OR이 증가하는 것을 확인하였으며, model 2는 1분위 집단을 기준으로 각각 2분위 집단(OR, 1.82; 95% CI, 1.44–2.29), 3분위 집단(OR, 2.73; 95% CI, 2.15–3.45), 가장 하위 집단(OR, 7.96; 95% CI, 6.37–9.94) 순으로 인슐린 저항성에 대한 OR이 모두 통계적으로 유의하게 증가하였다( $p < 0.001$ ).

Fig. 1에서 50세 이상과 미만으로 연령을 나누어 체력 수준과 인슐린 저항성 간의 관계를 확인하였다. 통제 변인들을 모두 보정한 결과, 50세 미만의 남성의 경우 1분위 집단을 참조 집단으로 하여 2분위 집단(OR, 3.41; 95% CI, 2.38–4.89), 3분위 집단(OR, 7.59; 95% CI, 5.34–10.78), 가장 하위 집단(OR, 26.28; 95% CI, 18.11–38.12)의 인슐린 저항성에 대한 OR이 통계적으로 유의하게 증가하였다( $p < 0.001$ ). 50세 이상 남성의 경우, 1분위 집단을 참조 집단으로 하여 2분위 집단(OR, 2.39; 95% CI, 1.71–3.34), 3분위 집단(OR, 4.69; 95% CI, 3.37–6.53), 가장 하위 집단(OR, 11.43; 95% CI, 8.01–16.31)의 인슐린 저항성에 대한 OR이 증가하는 것을 확인하였으며, 중년 이상의 남성(50세 이상)에 비해 상대적으로 젊은 남성(50세 미만)의 집단에서 체력 수준에 따른 인슐린

Table 2. Baseline characteristics of participants (female)

| Characteristic           | eCRF group  |            |            |            | p for trend |
|--------------------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
|                          | Highest     | 2nd        | 3rd        | Lowest     |             |
| No. of participants      | 1,878       | 1,882      | 1,886      | 1,890      |             |
| Age (yr)                 | 48.4±13.9   | 49.5±15.0  | 50.9±16.8  | 52.9±18.9  | <0.001      |
| Height (cm)              | 159.3±5.8   | 158.7±6.1  | 157.9±6.4  | 157.3±6.9  | <0.001      |
| Weight (kg)              | 52.6±5.7    | 56.6±6.8   | 59.3±7.8   | 67.3±12.1  | <0.001      |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | 20.8±2.2    | 22.5±2.5   | 23.8±2.8   | 27.1±4.0   | <0.001      |
| WC (cm)                  | 73.0±6.9    | 77.9±8.0   | 81.5±8.2   | 89.6±9.6   | <0.001      |
| RHR (bpm)                | 67.0±6.1    | 70.2±7.2   | 72.3±8.3   | 75.9±9.4   | <0.001      |
| Fasting glucose (mg/dL)  | 94.7±14.7   | 97.0±15.7  | 99.2±21.8  | 105.0±25.7 | <0.001      |
| Current smoker           | 41 (2.2)    | 87 (4.6)   | 115 (6.1)  | 165 (8.7)  | <0.001      |
| Heavy drinker            | 78 (4.2)    | 94 (5.0)   | 106 (5.6)  | 117 (6.2)  | <0.001      |
| Physically active        | 1338 (71.2) | 842 (44.7) | 533 (28.3) | 360 (19.0) | <0.001      |
| SBP (mmHg)               | 112.0±15.9  | 115.6±17.1 | 117.2±16.5 | 121.5±16.4 | <0.001      |
| DBP (mmHg)               | 72.0±9.1    | 73.4±9.3   | 73.8±9.2   | 75.4±9.3   | <0.001      |
| TC (mg/dL)               | 193.2±34.6  | 195.4±37.8 | 192.2±38.7 | 192.9±39.6 | 0.549       |
| Triglyceride (mg/dL)     | 91.2±50.    | 103.2±68.8 | 114.3±84.8 | 133.8±80.2 | <0.001      |
| HOMA-IR                  | 1.5±0.9     | 1.9±2.1    | 2.2±1.9    | 3.6±4.4    | <0.001      |
| eCRF (METs)              | 10.3±0.9    | 9.6±1.0    | 9.0±1.1    | 8.0±1.3    | <0.001      |

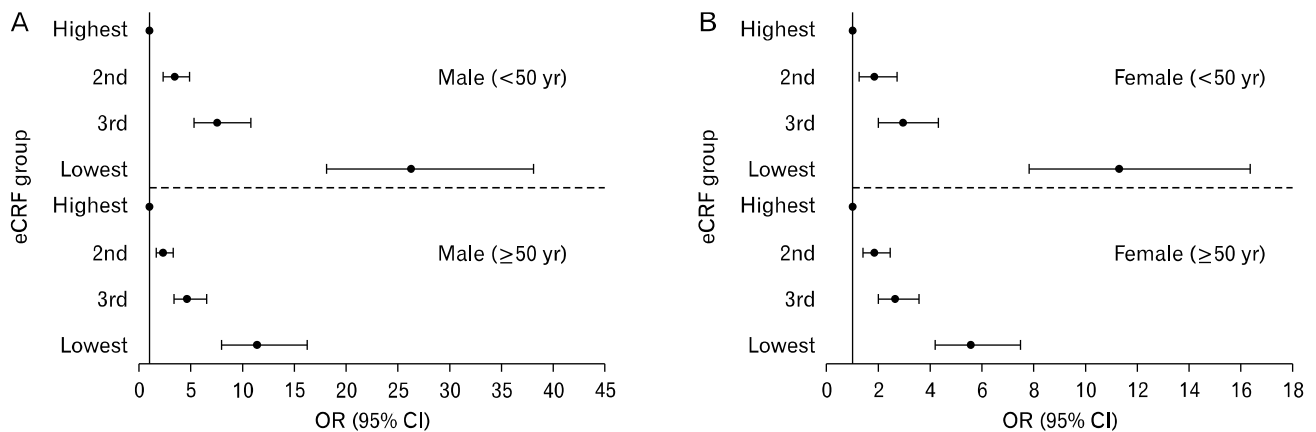
Values are presented as number only, mean±standard deviation, or number (%).

eCRF: estimated cardiorespiratory fitness, BMI: body mass index, WC: waist circumference, RHR: resting heart rate, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, TC: total cholesterol, HOMA-IR: homeostatic model assessment of insulin resistance, MET: metabolic equivalent.

**Table 3.** Association between estimated cardiorespiratory fitness and insulin resistance

| Variable    | Model 1             | Model 2             |
|-------------|---------------------|---------------------|
| Male        |                     |                     |
| Highest     | 1 (Reference)       | 1 (Reference)       |
| 2nd         | 3.07 (2.44–3.87)    | 2.87 (2.25–3.67)    |
| 3rd         | 6.57 (5.27–8.19)    | 6.00 (4.73–7.62)    |
| Lowest      | 20.12 (16.01–25.27) | 17.65 (13.76–22.64) |
| p for trend | <0.001              | <0.001              |
| Female      |                     |                     |
| Highest     | 1 (Reference)       | 1 (Reference)       |
| 2nd         | 2.06 (1.64–2.59)    | 1.82 (1.44–2.29)    |
| 3rd         | 3.36 (2.67–4.23)    | 2.73 (2.15–3.45)    |
| Lowest      | 11.66 (9.41–14.46)  | 7.96 (6.37–9.94)    |
| p for trend | <0.001              | <0.001              |

Model 1: adjusted for age model, 2: adjusted for age, smoking status, alcohol consumption, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, total cholesterol, triglyceride, hypertension, and family history of diabetes.



**Fig. 1.** Odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) for estimated cardiorespiratory fitness (eCRF) and insulin resistance by age-specific ( $\geq 50$  and  $< 50$  years) for male (A) and female (B). Adjusted for age, smoking status, alcohol consumption, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, total cholesterol, triglyceride, hypertension, and family history of diabetes.

저항성의 OR이 더 높은 것을 확인할 수 있었다( $p < 0.001$ ).

50세 미만의 여성의 경우, 1분위 집단을 참조 집단으로 하여 2분위 집단(OR, 1.85; 95% CI, 1.25–2.73), 3분위 집단(OR, 2.94; 95% CI, 1.99–4.33), 가장 하위 집단(OR, 11.29; 95% CI, 7.79–16.36)의 인슐린 저항성의 OR이 증가하는 것을 확인하였다( $p < 0.001$ ). 50세 이상의 여성의 경우, 1분위 집단을 참조 집단으로 하여 2분위 집단(OR, 1.85; 95% CI, 1.39–2.45), 3분위 집단(OR, 2.66; 95% CI, 1.98–3.56), 가장 하위 집단(OR, 5.59; 95% CI, 4.18–7.49)의 인슐린 저항성에 대한 OR을 확인하였으며 통계적으로 유의하게 증가하였다( $p < 0.001$ ). 여성 집단 또한 상대적으로 젊은 여성 집단(50세 미만)이 더 강한 연관성을 보였으나, 전체적으로 남성 집단에 비해서는 인슐린 저항성의 OR이 낮은 것을

확인할 수 있었다.

## 고 찰

본 연구는 국민건강영양조사의 자료를 바탕으로 심폐체력을 추정하여 인슐린 저항성 간의 관계를 확인하였다. 그 결과 체력 수준이 낮을수록 인슐린 저항성의 OR이 유의하게 증가하였으며, 젊은 사람의 집단에서 효과 크기가 더 크게 나타났다. 낮은 체력 수준은 고혈압, 당뇨, 내분비 기능 저하, 심혈관 질환 발병 및 암의 위험 인자라고 알려져 있으므로<sup>21</sup>, 이런 질병의 위험 요소인 인슐린 저항성을 관리하는 것은 더욱 심각한 질병을 예방할 수 있음을 시사한다.



Leite 등<sup>6</sup>의 연구에서 최대산소소비량(maximal oxygen consumption,  $VO_2$  max)로 확인한 낮은 심폐체력은 인슐린 감수성 저하와 연관이 있으며, 질병이 없는 인구에서 가장 흔한 이상 질환 현상이라고 보고하였다. 영국 거주 기반 대상자들로 진행한 연구에서 유럽인들보다 남아시아인들의 HOMA-IR이 67% 더 높았으며( $p < 0.001$ ), 남아시아인들은 낮은  $VO_2$  max, 낮은 신체활동량, 그리고 높은 총 체지방량으로 인해 인종 간 83%의 HOMA-IR 차이가 난다고 보고하였다( $p < 0.001$ )<sup>22</sup>. Lee 등<sup>23</sup>의 연구는 한국 성인들을 대상으로 eCRF와 대사증후군 간의 관계를 살펴보았는데, eCRF 수준이 높을수록 대사증후군의 유병률이 유의하게 낮았으며 이것은 독립적으로 연관되어 있음을 확인하였다.

반면, 이전 선행연구에서 체내 지방 상태가 체력 수준보다 인슐린 저항성의 더 강력한 예측 인자임을 확인하였다<sup>24</sup>. 본 연구에 사용한 심폐체력 추정식은 BMI나 허리둘레가 중요한 요인으로 작용하므로, 실제 객관적인 체력과 인슐린 저항성의 관계에서 과대 추정될 수 있는 부분을 고려하여 해석할 필요가 있다. 비만 수준과 심폐체력을 엮어서 인슐린 저항성 간의 연관성을 확인한 연구 결과, 비만이며 체력 수준이 낮은 집단에서 정상 체중이며 체력 수준이 좋은 집단에 비해 인슐린 저항성의 OR이 높은 것을 확인할 수 있었다(남성 집단: OR, 20.3 [95% CI, 15.6–26.5]; 여성 집단: OR, 12.9 [95% CI, 11.4–14.6])<sup>25</sup>. 하지만 BMI와 관계없이 낮은 체력 수준은 남녀 모두에게서 인슐린 저항성 위험 증가와 관련이 있었다.

이 연구의 주요한 발견 중 하나는 성별 및 연령에 따라 집단 간의 OR값 차이가 나타난다는 것이다. 폐경 전 여성은 대사적 질환에 있어서 남성보다 더 적은 발병을 보이며, 특히 여성 성호르몬인 에스트라디올(estradiol)은 proopiomelanocortin 뉴런을 인슐린 저항성으로부터 보호하고, 여러 조직에서 인슐린 저항성에 대응한다<sup>26</sup>. 또한 에스트로겐(estrogen)은 체지방량 분포, 포도당 대사, 인슐린 감수성 조절에 영향을 미치기 때문에<sup>27</sup>, 여성의 인슐린 감수성과 인슐린 반응 능력이 남성보다 높아 더 낮은 OR값을 보인다고 생각된다. 또한, 청년기에 더 높은 체력을 가지는 것이 인슐린 저항성과 매우 밀접한 관련이 있는 당뇨병 발병 위험을 최소화하는 데 연관되어 있음을 확인한 연구 결과가 있다<sup>28</sup>. 이는 청년기에 높은 체력을 가지는 것이 더 큰 이점을 가져올 수 있다는 것을 시사한다. 또한 남성의 경우 여성보다 집단 간의 체력 수준 차이가 더 많이 나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 가장 체력 수준이 좋은 집단을 참조 집단으로 봤을 때 OR이 더 높게 나오는 이유로 해석할 수 있다. 이와 더불어 심폐체력과 인슐린 저항성 간의 관계를 분석한 연구 중 아동·청소년을 대상으로 한 연구들이 존재하는데<sup>29,30</sup>, 이들 연구 결과는 심폐체력과 인슐린 저항성

간의 역 상관관계를 보이기 때문에 나이가 어릴수록 체력과 인슐린 저항성의 관리가 필요함을 시사한다.

본 연구의 결과는 eCRF 수준에 따른 인슐린 저항성의 연관성과 나이 및 성별에 따른 결과를 유의미하게 제시하였지만 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 참여자들은 신체활동, 흡연 여부, 음주량 등의 주요 변수들을 자기보고식 설문으로 조사하였다. 따라서, 회상 비뚤림 혹은 사회적 바람직성 등의 편향이 존재할 수 있다. 둘째, 체력 수준과 인슐린 저항성 간의 관계를 횡단연구로 확인하였기 때문에 변수 사이의 인과관계를 밝히기에 제한적이다. 셋째, eCRF 공식이 인종 제한적이다. 해당 공식은 백인을 대상으로 한 연구에서 도출된 추정식으로, 한국인들을 대상으로 추정식에 대한 타당도를 확인했지만<sup>13</sup> 성별이나 연령 등을 고려한 좀더 정교한 연구를 거쳐 아시아인을 대상으로 한 공식이 필요하다고 판단된다. 마지막으로, HOMA-IR 수치는 연속형 변수이지만 기준치를 정하여 저항성 유무를 판단하였기에 인슐린 작용의 연속적인 범위에 대한 연관성을 세부적으로 분석하지 못하였다. 반면 국가 표본 데이터를 사용하여 분석하였으며 통제 변인들을 보정하여 연구를 진행했다는 점은 본 연구의 강점이라 할 수 있다. 또한 한국인을 대상으로 eCRF를 이용하여 인슐린 저항성 간의 관계를 성별 및 연령대를 나누어 분석한 첫 연구라는 의의가 있다. 향후 대규모 표본을 대상으로 객관적인 체력 측정을 통한 인슐린 저항성과의 관계를 확인할 필요가 있으며, 연령을 세부적으로 계층화하고 변인들의 수준을 다양하게 나누었을 때 영향에 어떤 차이가 나는지 확인하는 연구가 필요하다. 또한 종단연구를 통해 두 변인 간의 인과성을 확인할 필요가 있다.

본 연구는 한국인 남성과 여성에서 eCRF가 인슐린 저항성 발생을 예방하는 역할을 할 수 있음을 보여준다. 신체활동 및 생활습관 관리를 통한 심폐체력 증진은 체력 수준이 낮은 사람에게 임상적으로 중요하며, 젊은 나이일수록 체력 향상이 더 많은 이점을 제공할 수 있음을 시사한다.

## Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## ORCID

Yunmin Han <https://orcid.org/0000-0001-9453-4692>

Yeonsoo Kim <https://orcid.org/0000-0003-1447-0196>

## Author Contributions

Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Resources, Software, Validation, Visualization: YH. Methodology, Project administration: YH, YK. Supervision: YK. Writing—original draft: YH. Writing—review & editing: YH, YK.

## References

1. Wilcox G. Insulin and insulin resistance. *Clin Biochem Rev* 2005;26:19-39.
2. Petersen MC, Shulman GI. Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiol Rev* 2018;98:2133-223.
3. Kim Mh, Lee Sh, Shin KS, et al. The change of metabolic syndrome prevalence and its risk factors in Korean adults for decade: Korea National Health and Nutrition Examination Survey for 2008–2017. *Korean J Fam Pract* 2020;10:44-52.
4. Lim J, Kim J, Koo SH, Kwon GC. Comparison of triglyceride glucose index, and related parameters to predict insulin resistance in Korean adults: an analysis of the 2007-2010 Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *PLoS One* 2019;14:e0212963.
5. Al-Mallah MH, Sakr S, Al-Qunaiet A. Cardiorespiratory fitness and cardiovascular disease prevention: an update. *Curr Atheroscler Rep* 2018;20:1.
6. Leite SA, Monk AM, Upham PA, Bergenstal RM. Low cardiorespiratory fitness in people at risk for type 2 diabetes: early marker for insulin resistance. *Diabetol Metab Syndr* 2009;1:8.
7. Lin X, Zhang X, Guo J, et al. Effects of exercise training on cardiorespiratory fitness and biomarkers of cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Am Heart Assoc* 2015;4:e002014.
8. Gill JM. Physical activity, cardiorespiratory fitness and insulin resistance: a short update. *Curr Opin Lipidol* 2007;18:47-52.
9. Jackson AS, Sui X, O'Connor DP, et al. Longitudinal cardiorespiratory fitness algorithms for clinical settings. *Am J Prev Med* 2012;43:512-9.
10. Garnvik LE, Malmo V, Janszky I, et al. Physical activity, cardiorespiratory fitness, and cardiovascular outcomes in individuals with atrial fibrillation: the HUNT study. *Eur Heart J* 2020;41:1467-75.
11. Nauman J, Nes BM, Lavie CJ, et al. Prediction of cardiovascular mortality by estimated cardiorespiratory fitness independent of traditional risk factors: the HUNT Study. *Mayo Clin Proc* 2017;92:218-27.
12. Stamatakis E, Hamer M, O'Donovan G, Batty GD, Kivimaki M. A non-exercise testing method for estimating cardiorespiratory fitness: associations with all-cause and cardiovascular mortality in a pooled analysis of eight population-based cohorts. *Eur Heart J* 2013;34:750-8.
13. Lee I, Han K, Song M, Kang H. Development and cross-validation of non-exercise-based prediction equations for estimating cardiorespiratory fitness in Korean college students. *Korean J Sports Med* 2022;40:39-48.
14. Artero EG, Jackson AS, Sui X, et al. Longitudinal algorithms to estimate cardiorespiratory fitness: associations with nonfatal cardiovascular disease and disease-specific mortality. *J Am Coll Cardiol* 2014;63:2289-96.
15. Clinical Guideline Committee, Korean Society for the Study of Obesity. Clinical practice guidelines for obesity 2022 (8th ed). Korean Society for the Study of Obesity; 2022.
16. World Health Organization (WHO). Global physical activity questionnaire analysis guide. WHO; 2012.
17. Yamada C, Mitsuhashi T, Hiratsuka N, Inabe F, Araida N, Takahashi E. Optimal reference interval for homeostasis model assessment of insulin resistance in a Japanese population. *J Diabetes Investig* 2011;2:373-6.
18. Yun KJ, Han K, Kim MK, et al. Insulin resistance distribution and cut-off value in Koreans from the 2008-2010 Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *PLoS One* 2016;11:e0154593.
19. Lee HY, Shin J, Kim GH, et al. 2018 Korean Society of Hypertension Guidelines for the management of hypertension: part II-diagnosis and treatment of hypertension. *Clin Hypertens* 2019;25:20.
20. 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.
21. Grundy SM, Barlow CE, Farrell SW, Vega GL, Haskell WL. Cardiorespiratory fitness and metabolic risk. *Am J Cardiol* 2012;109:988-93.
22. Ghouri N, Purves D, McConnachie A, Wilson J, Gill JM, Sattar N. Lower cardiorespiratory fitness contributes to increased insulin resistance and fasting glycaemia in middle-aged South Asian compared with European men living in the UK. *Diabetologia* 2013;56:2238-49.
23. Lee I, Kim S, Kang H. Non-exercise based estimation of cardiorespiratory fitness is inversely associated with metabolic syndrome in a representative sample of Korean adults. *BMC Geriatr* 2020;20:146.
24. Christou DD, Gentile CL, DeSouza CA, Seals DR, Gates PE. Fatness is a better predictor of cardiovascular disease risk factor profile than aerobic fitness in healthy men. *Circulation* 2005;

- 111:1904-14.
25. Clarke SL, Reaven GM, Leonard D, et al. Cardiorespiratory fitness, body mass index, and markers of insulin resistance in apparently healthy women and men. *Am J Med* 2020;133:825-30.
26. Greenhill C. Obesity: sex differences in insulin resistance. *Nat Rev Endocrinol* 2018;14:65.
27. Gerdts E, Regitz-Zagrosek V. Sex differences in cardiometabolic disorders. *Nat Med* 2019;25:1657-66.
28. Juraschek SP, Blaha MJ, Blumenthal RS, et al. Cardiorespiratory fitness and incident diabetes: the FIT (Henry Ford Exercise Testing) project. *Diabetes Care* 2015;38:1075-81.
29. Benson AC, Torode ME, Singh MA. Muscular strength and cardiorespiratory fitness is associated with higher insulin sensitivity in children and adolescents. *Int J Pediatr Obes* 2006;1:222-31.
30. Nyström CD, Henriksson P, Martínez-Vizcaino V, et al. Does cardiorespiratory fitness attenuate the adverse effects of severe/morbid obesity on cardiometabolic risk and insulin resistance in children?: a pooled analysis. *Diabetes Care* 2017;40:1580-7.