

■ 신정우¹, 김성태¹, 이준희^{2*}

■¹충북대학교병원 물리치료실, ²청주대학교 물리치료학과

A Preliminary Study on the Clinical use of a 2-minute Step Test

Jung-Woo Shin¹, Sung-Tae Kim¹, Joon-Hee Lee^{2*}

¹Physical Therapy Section, Chungbuk National University Hospital

²Department of Physical Therapy, College of Health and Medical Science, Cheongju University

Purpose: The present study aimed to analyze the correlations between the 2-minute step test (2MST) and predicted maximal oxygen uptake (VO₂max), between the predicted VO₂max and lower limb strength, and between the 2MST and lower limb strength in adult men. **Methods:** Thirty-one adult males participated in this study. During the 2MST, the number of completed steps was measured. During the maximal exercise stress test (MEST), the total running time was recorded and used to calculate the predicted VO₂max. After completing the MEST, the participants reported their perceived exertion using the Borg Rating of Perceived Exertion scale. During the isokinetic test, the maximum muscle strength and endurance of the knee joint were measured. The correlation coefficients between the 2MST, MEST, and lower limb strength were calculated using Pearson correlation analysis. **Results:** No statistically significant correlation was observed between the 2MST, MEST, and lower limb strength ($p>.05$). However, a statistically significant and moderate correlation ($r=.416$) was found between the predicted VO₂max and peak torque flexion (PTF) ($p<.05$). In addition, a statistically significant and high correlation ($r=.765$) was observed between peak torque extension and PTF ($p<.01$). **Conclusion:** Future studies should include a study design that includes a patient population with diverse demographic characteristics and a clinical physical therapy setting that requires cardiopulmonary fitness assessment. Moreover, the results should be validated through the direct measurement of VO₂max and standardized performance guidelines for the 2MST.

Key words: Aerobic capacity, Exercise stress test, Isokinetic test, Senior fitness test

Received: May 23, 2025 / **Revised:** July 07, 2025 / **Accepted:** July 12, 2025

I. 서론

1. 연구의 필요성

심폐 체력(cardiorespiratory fitness, CRF)은 순환계와 호흡계의 상호작용을 통해 신체활동 중 골격근에 산소를 공급하는 능력을 의미하며(Lee 등, 2010), 이는 건강 유지 및 만성질환 예방과 밀접한 관련이 있다. 또한, 심혈관계 질환과 관련된 체력 요인 중 심폐체력이 조기사망을 예방하는 핵심 요소로 강조되고 있다(Blair 등, 1989; Sandvik 등, 1993). Blair 등(1989)은 심폐체력과 조기사망을 유발하는 병리적 요인 간의 관련성을 분석한 결과, 심폐체력이 높을수록 심혈관계 질환의 발병률이 낮고

수명이 연장되는 경향이 있다고 보고하며, 심폐체력의 중요성을 강조하였다.

규칙적인 운동은 연령 증가에 따라 감소하는 근육량 및 유산소 능력의 저하를 완화시키고 신체조성, 근력, 신체활동 수준, 인지 기능 등을 개선하는 긍정적인 효과가 있다(Izquierdo 등, 2021). 이에 따라 심폐체력을 정확히 측정하는 것은 건강과 관련된 위험 요인을 조기 진단하고 효과적인 중재 전략을 마련하는 데 있어 매우 중요하다.

심폐체력을 정확하게 평가하기 위해서는 트레드밀 또는 자전거 에르고미터를 이용한 최대운동부하검사를 통해 최대산소섭취량을 측정하는 것이 권장된다(Ross 등, 2016). 이는 현재 임상과

교신저자: 이준희

주소: 충북 청주시 청원구 대성로 298 보건의료과학대학 물리치료학과 사무실, E-mail: pieta2000@hanmail.net

연구에서 심폐체력을 평가하는 표준검사(gold standard)으로 간주된다. 그러나 이러한 검사법은 고가의 장비, 충분한 공간, 숙련된 인력, 대상자의 협조도 등 여러 가지 실무적 제약을 동반하기 때문에, 이러한 제약을 보완하기 위해 최대산소섭취량(VO₂max)을 간접적으로 추정할 수 있는 다양한 대체 검사법이 개발되어 왔다(Everson 등, 2015).

최대산소섭취량의 간접적인 추정을 위해 사용되는 검사는 6분 걷기 검사(6-minute walk test; 6MWT) 그리고 2분 제자리 걷기 검사(2-minute step test; 2MST)가 있으며, 이러한 검사는 상대적으로 낮은 강도로 수행되며 생리적 반응을 기반으로 최대산소섭취량을 간접적으로 추정할 수 있는 현장 기반 평가 도구가 임상에서 널리 활용되고 있다(Bohannon과 Crouch, 2019). 이중 2MST는 보행 공간이 필요하지 않고, 낙상 위험이 낮으며, 검사 절차가 간단하다는 장점이 있어 고령자나 기능 제한 환자에게 적합한 대체 검사로 주목받고 있다(Haas 등, 2017). 그러나 일부 연구에서는 2MST의 기준 타당도, 신뢰도 및 반응도에 대해 제한적 근거가 보고되고 있으며, 특히 체력 수준이 높은 대상자에게는 평가 민감도가 낮아 심폐체력을 정확히 반영하기 어려울 수 있다는 비판도 존재한다(Bohannon과 Crouch, 2019; Vilarinho 등, 2021).

한편, 하지 근기능은 일상생활 수행능력뿐만 아니라 심폐체력과도 관련이 있는 요소로, 임상에서는 등속성 근력 검사를 통해 관절별 근력을 정량적으로 평가하고 특히, 무릎관절의 펌프 굽힘의 토크(torque)는 Timed up and Go, 6분보행검사(6MWT), 30초 의자 일어나기, 계단 오르기와 같은 기능적 움직임에 밀접하게 작용한다(Gkriilas 등, 2018). 이한(2015)의 연구에서는 축구 선수들을 대상으로 포지션별 신체구성, 심폐지구력 및 등속성 근력 간의 관련성을 분석한 결과, 공격수와 미드필더에서 심폐지구력과 무릎관절의 등속성 근력 간 유의한 상관관계를 보고하였다.

본 연구에서는 건강한 성인 남성을 대상으로 2분 제자리 걷기 검사, 브루스 프로토콜을 이용한 예측된 VO₂max 그리고 무릎관절의 등속성 근력 간의 상관관계를 분석함으로써, 최대한동부하검사로서의 2분 제자리 걷기 검사의 관련성을 확인하는 것이다. 이를 통해 2MST가 임상 현장에서 반복적 최대한동부하검사 시행이 어려운 상황에서 대안적인 평가 도구로 활용 가능성 여부를 기초자료 수준에서 검토하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 건강한 성인 남성 31명을 대상으로 대상자의 평균 나이, 키, 몸무게, 체질량지수(Body mass index, BMI)와 같은

표 1. 일반적 특성

| General characteristic | N=31 |
|-------------------------|-----------|
| Age(year) | 22.6±2 |
| Height(cm) | 174.6±4.9 |
| Weight(kg) | 75.8±10 |
| BMI(kg/m ²) | 24.9±2.9 |

Values are expressed as Mean±SD

일반적 특성은 표 1과 같다. 건강한 대학생을 대상으로 공개 모집하였고 Helsinki 선언의 윤리규정에 따라 연구 절차에 대하여 설명을 듣고, 실험에 자발적으로 참여하기로 동의한 자를 대상으로 연구를 진행하였다.

연구 대상자의 제외조건은 다음과 같다:

- 1) 최근 6개월 이내 하지에 외상 또는 기능적 문제가 없는 자(Pereira 등, 2008)
- 2) 일상적인 신체활동 수행에 제한이 없는 자(이재순 등, 2016).

2. 연구 절차

본 연구는 대상자에게 1일 차에는 등속성 근력 측정 장비를 활용하여 하지 근력을 측정하였고, 7일간의 휴식 기간을 거친 후 2일 차에는 트레드밀 운동검사와 2분 제자리 걷기 검사를 동일한 날에 시행하였다. 두 검사의 시행 순서는 무작위화를 위해 제비뽑기 방식으로 결정하였으며, 검사 간 피로 누적을 방지하기 위해 각 검사 사이 최소 30분의 휴식 시간을 제공하였다(Gurses 등, 2018). 모든 피험자는 검사 전 반팔 상의, 반바지 형태의 운동복, 밑창이 부드럽고 유연한 러닝화를 착용하도록 사전 안내 받았다(Fletcher 등, 2013). 밑창이 딱딱하거나 바닥 전체가 밀착되는 형태의 신발, 또는 복사뼈를 덮는 구조의 신발 착용은 금지하였다(Worobets 등, 2014; Kim 등, 2017).

3. 측정

1) 2분 제자리 걷기 검사(2-minute step test)

2분 제자리 걷기 검사는 1999년 시니어 피트니스 테스트의 일부로 개발되었으며, 공간의 제약이 적고 짧은 시간 내에 별도의 고가 장비 없이 간편하게 수행할 수 있다는 장점이 있다(Bohannon과 Crouch, 2019).

검사 방법은 대상자가 제자리에서 무릎을 기준 높이까지 들어 올리는 동작을 2분간 반복 수행하며, 오른쪽 무릎이 기준선에 도달한 횟수를 측정한다. 기준선은 대상자의 엉덩뼈능선과 무릎뼈 사이 거리의 중간 지점으로 설정하고 해당 위치에 테이프를



그림 1. 2분 제자리 걷기 검사



그림 2. 예측된 최대산소섭취량 측정을 위한 측면 모습

부착하였다. 검사 시작 전, 검사자는 검사 방법을 설명하며 5회 시범 동작을 제공하였고, “시작” 신호와 함께 대상자는 벽면에 표시된 기준 높이까지 무릎을 들어 올리며 제자리에서 스텝 동작을 반복 수행하였다. 무릎이 테이프 표시선 이상으로 올라올 경우 1회로 간주하였다(Rikli와 Jones, 1999).

본 연구에서는 2분 제자리 걷기 검사의 변형된 방법을 적용하였다. 20대 건강한 남성을 대상으로 했기에 제자리 걷기 대신 ‘가볍게 뛰는 동작’으로 수정하여 수행하였다(그림 1). 검사는 대상자가 오른쪽을 벽 쪽으로, 왼쪽을 검사자 방향으로 향한 상태에서 개별적으로 실시되었으며, 제1 검사자는 대상자의 왼쪽 50cm 거리에서 무릎 높이를 관찰하고 반복횟수를 측정하였다. 제2 검사자는 대상자 뒤쪽 가까이에 위치하여 안전을 확보하였다(Berlanga 등, 2023).

2) 예측된 최대산소섭취량 산출

심폐체력 평가를 위해 브루스 프로토콜 기반의 $VO_2\max$ 예측식 [$VO_2\max = 6.70 - 2.82 \times \text{성별} + 0.056 \times \text{운동시간(초)}$]을 사용하였다. 그리고 피험자의 운동 지속 시간 및 운동 부하 강도 조절을 위해 의료용 트레드밀(MT-4000; Sungdo MC, Korea, 2014)을 사용하였다.

브루스 프로토콜을 기반으로 한 최대운동부하검사는 의료용 트레드밀에서 다음과 같은 절차에 따라 수행되었다. 모든 검사자는 해당 프로토콜을 숙지한 상태로 검사를 진행하였다. 검사 시작 전 대상자에게는 검사 목적, 방법 및 주의사항에 관한 정보를 제공하였다(Bruce 등, 1973). 대상자는 손잡이를 잡지 않도록 하거나, 잡을 경우 양손을 주먹 쥔 채 손가락 하나만 손잡이에 올린 상태로 운동을 수행하도록 지시하였다(Fletcher 등, 2013)

(그림 2). 장비 특성상 속도 조절은 0.1km/h 단위로 이루어지며, 프로토콜에 명시된 속도는 소수점 둘째 자리에서 반올림하여 적용하였다. 각 단계 진입 시 속도 및 경사도 변화 내용을 설명하고 2초 이내로 수치를 변경하였다. 각 단계 전환시 심박수와 운동자 각도(Borg scale)를 측정하였다(Borg, 1982). 보그 척도는 대상자가 주관적으로 느끼는 피로도를 6~20점 사이의 수치로 평가하는 방식이다(Glynn 등, 2015). 탈진 상태 또는 대상자의 중단 요청 시 검사를 종료하였다. 운동 종료 기준은 다음 중 하나 이상에 해당할 때로 설정하였다. 부하 증가에도 심박수가 유의하게 증가하지 않을 경우, 보그의 운동자각도 지수가 17이상일 경우, 그리고 대상자의 자발적 중단 요청이 있을 경우로 설정하였다. 최종 측정된 운동 시간과 성별 정보를 Bruce 등(1973)이 제시한 예측식에 대입하여 최대산소섭취량을 계산하였다.

3) 등속성 근력

하지 근력은 바이오텍스 시스템4 프로(Biodex Medical Systems, USA)를 이용하여 수행하였다. 이 장비는 관절의 전체 운동 범위 내에서 일정한 속도로 저항을 제공하는 등속성 기전에 기반하여 근력을 평가할 수 있으며, 정확성과 재현성이 높은 근기능 평가 도구로 널리 활용된다(Drouin 등, 2004). 등속성 근력 장비를 활용한 60°/sec 조건 하에서 무릎관절의 굽힘과 펴는 근력 측정에 대한 급내상관계수(Intraclass Correlation Coefficients, ICC)는 0.79~0.89 범위로 보고되어 높은 신뢰도를 갖는 것으로 입증되었다(Van Tittelboom 등, 2022). 등속성 근력은 일정한 각속도 하에서 무릎관절의 굽힘과 펴는 동작 중 발생한 최대 토크(peak torque)를 측정하여 평가하였다. 측정 시 대상자는 검사 장비에 앉아 정확한 자세를 유지할 수 있도록 종아리 길이 및



그림 3. 등속성 근력 측정기기

조정축의 위치를 대상자 신체에 맞게 조정하였다. 2~3회의 예비 운동 후 5분의 준비 시간을 갖고 본 검사를 실시하였다. 좌·우측 하지 측정 간 5분의 휴식시간을 제공하였으며, 각 검사 때마다 구두 자극을 통해 최대한의 수행을 유도했다(이재순 등, 2016). 개별 근력 수준 간 비교 및 분석을 위해 각 대상자의 좌·우 무릎 관절에 대해 60°/sec의 각속도 조건 하에서 펴고 굽힘 운동을 각각 5회 반복 수행하였다(그림 3).

4. 통계 분석

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS ver. 22.0 프로그램을 활용하여 통계 분석을 수행하였으며, 유의 수준은 0.05로 설정하였다. 2분 제자리 걷기 검사 반복 횟수, 브루스 프로토콜을 통해 측정된 예측된 최대산소섭취량과 등속성 근력 지표 간의 상관성을 분석하기 위해 피어슨 상관계수(pearson correlation coefficient)를 사용하였다. 상관계수(r)의 해석 기준은 다음과 같다. 상관계수 값이 0.3 미만은 약한 상관, 0.3 이상 0.6 미만은 중등도 상관, 0.6 이상은 높은 상관관계로 해석하였다.

III. 연구결과

2MST 반복 횟수의 평균값, 브루스 프로토콜 기반 예측된 최대산소섭취량의 평균값, 등속성 근력 지표의 평균값은 표 2와 같다. 건강한 20대 성인 남성 31명을 대상으로, 2분 제자리 걷기 검사 반복 횟수, 브루스 프로토콜 기반 예측된 최대산소섭취량과 등속성 근력 지표 간의 상관관계를 분석하였고 그 결과는 다음과 같다(표 3). 2분 제자리 걷기 검사와 예측된 최대산소섭취량, 무릎관절 펴고 굽힘 근력 간에는 통계적으로 유의하지 않았다 ($p>.05$). 예측된 최대산소섭취량과 무릎관절 굽힘 근력 간에는 통계적으로 유의했으며 중등도 수준의 상관관계($r=.416$)가 있었다($p<.05$). 무릎관절 펴고 굽힘 근력도 통계적으로 유의했으며 높은 수준의 상관관계($r=.765$)가 있었다($p<.01$).

IV. 고찰

본 예비연구는 20대 성인 남성을 대상으로 2분 제자리 걷기 검사, 브루스 프로토콜 기반 예측된 VO_2max 그리고 등속성 하지 근력검사를 실시하여 각 변수 간의 상관관계를 분석하였다. 이를 통해 2분 제자리 걷기 검사가 현장 중심의 간편한 심폐체력 평가 도구로서의 가능성을 검토하고자 하였다. 연구 결과 2분 제자리 걷기 검사 반복 횟수와 예측된 VO_2max 및 등속성 근력 간에는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 확인되었으며, 예측된 최대산소섭취량은 무릎 굽힘 근력과 중등도 수준의 상관관계를 보였다. 무릎관절의 굽힘과 펴고 굽힘 근력간에는 높은 상관관계가 확인되었다. 본 연구에서 2MST, 예측된 VO_2max 및 등속성 근력과의 상관관계는 모두 양의 상관을 보였지만 상관계수는 0.044~0.119 수준으로 매우 낮은 수준이었으며 그 결과 또한 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다. G-power를 활용하였을 때 본 연구의 대상자 31명으로 상관분석을 위한 일종오류(alpha) 0.5와 검정력(power) 0.8 수준에서 유의성을 확인할 수 있는 상관계수는 0.48 이상으로 그 수준에 미치지 못했다.

이러한 결과는 2MST가 체력 수준이 높은 건강한 성인 남성의 심폐체력 및 하지 근기능을 민감하게 반영하기에는 평가 도구로

표 2. 2분 제자리 걷기 검사 결과, 예측된 최대산소섭취량, 등속성 근력의 결과 (n=31)

| | Group | Mean±SD | t | p-value |
|------------|---------------------|-------------------|---|---------|
| 2MST | Repetition | 143.71 ± 25.389 | | |
| | predicted VO_2max | 46.116 ± 4.5904 | | |
| Isokinetic | Extension | 227.819 ± 43.3174 | | |
| | Flexion | 108.581 ± 22.4476 | | |

* $p<0.05$

표 3. 2분 제자리 걷기 검사 결과, 예측된 최대산소섭취량, 등속성 근력의 상관관계

(n=31)

| | 2MST | predicted O ₂ max | Isokientic Extension | Isokinetic Flexion |
|------------------------------|------|------------------------------|----------------------|--------------------|
| 2MST | 1 | | | |
| predicted O ₂ max | .119 | 1 | | |
| Isokientic Extension | .044 | .286 | 1 | |
| Isokinetic Flexion | .106 | .416* | .765** | 1 |

* p<0.05, ** p<0.01

서의 한계가 있음을 시사한다. 이는 2MST가 상대적으로 짧은 시간 동안 수행되며 부하 강도가 낮기 때문에 천장 효과(ceiling effect)가 발생했을 가능성과 관련이 있다. 실제로 Haas 등(2017)은 2MST와 6MWT가 높은 상관관계(r=.925)를 보고했지만 체력수준이 낮은 심폐재활 대상자와 체력 수준이 높은 건강한 대상자를 포함한 연구였다. Berlanga 등(2023)은 건강한 고령자에서 2MST와 6분 보행 검사(6MWT)사이의 높은 상관관계를 보고했지만, 600m 이상 측정된 수행력이 높은 집단에서는 예측 정확도가 낮아지는 경향이 있음을 지적했다.

Wegrzynowska-Teodorczyk 등(2016)의 연구는 심부전 환자를 대상으로 2MST 수행 결과와 최대산소섭취량(peak VO₂) 간의 중등도 상관관계(r=.33), 2MST 수행결과와 하지 근력(대퇴사두근)간에는 높은 상관관계(r=.61)를 보고 했으며, 2MST가 낮은 체력 대상자에게는 유의미한 평가 지표가 될 수 있음을 보여주었다. 이와 달리 Oliveros 등(2022)은 체력 수준이 더 높은 관상동맥질환 환자를 대상으로 한 연구에서 2MST와 6MWT 간 낮은 상관관계(r=.28)를 보고하며, 2MST는 독립적인 기능적 지표이기보다는 보완적인 수단으로 활용되어야 함을 제한했다.

2MST의 측정 속성에 대한 체계적 고찰에도 검사의 제한점이 확인된다. Bohannon과 Crouch(2019)는 체계적 문헌고찰을 통해 2MST가 간편하고 다양한 환경에서 활용 가능한 도구임을 인정하면서도, 기준 타당도, 신뢰도, 반응도에 대한 근거 수준이 낮고, 프로토콜 간 일관성이 결여되어 있다는 점을 문제로 지적했다. Vilarinho 등(2021)도 COPD 환자를 대상으로 측정 특성에 대한 결과의 근거 수준이 2MST를 포함한 대부분의 스텝 검사가 “낮음”에서 “매우 낮음” 수준을 보이며, 광범위한 임상적 적용에는 신중한 접근이 필요하다고 주장했다.

국내 연구에서는 Park 등(2023)이 한국 노인 대상 연구에서 2MST와 실제 측정된 VO₂max 간에 중등도 상관관계(r=.457)를 보고했으며, 수행 횟수와 연령, 체지방률을 활용한 VO₂max 예측식을 개발했다. 저자는 연령의 증가와 하지 근력 감소가 2MST 수행에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 지적하였으며, 2MST가 심폐체력보다 하지 근력의 영향을 더 많이 받을 수 있음을 시사했다. Chung과 Lee (2022)는 3가지 운동검사의 VO₂max 예측 정확도를 비교한 결과, YMCA 3분 스텝 검사보

다 PACER 검사가 더 높은 예측력을 보였으며, 간편한 검사일수록 VO₂max 예측 정확도는 상대적으로 낮을 수 있음을 보여주었다. 이는 본 연구에서 2MST와 VO₂max간 상관관계가 유의하지 않았던 결과와도 일치하며, 간이 평가 도구의 적용 범위에 대한 한계를 다시금 시사한다.

2MST는 짧은 시간 동안 반복적으로 무릎을 들어 올리는 동작을 통해 수행되며, 이는 심혈관계 부담뿐 아니라 하지 근육 기능과 협응력의 영향을 받는 복합적 운동이다. Yoo(2019)는 남자 대학생을 대상으로 한 연구에서 VO₂max와 무릎 굽힘 근력 간 유의한 상관관계(r=.402), 체지방률과의 부적 상관관계(r=-.536)를 확인하며, 하지 근육 특히 햄스트링 근육군의 기능성이 심폐체력과 관련이 있음을 보여주었다. 이는 본 연구에서 VO₂max와 무릎 굽힘근력 간 중등도 상관관계(r=.416)가 나타난 결과와 유사하며, 단순히 심폐계 지표만이 아닌 근 기능 요인까지 통합적으로 평가하는 것이 중요함을 뒷받침한다.

2MST, 예측된 VO₂max, 등속성 근력 검사는 체력을 평가하는 요소와 메커니즘의 차이를 고려할 필요가 있다. 2MST는 일정 높이 이상으로 무릎을 들어 올리는 반복적 동작을 기반으로 하며, 심폐체력뿐만 아니라 하지 근육 기능, 협응력의 영향을 복합적으로 받는 최대하 검사인 반면, 브루스 프로토콜을 기반으로 한 VO₂max 검사는 점증적으로 부하를 증가시키며 최대 심폐체력을 반영하는 검사다. 등속성 근력 검사는 특정 관절의 국소 근육의 근력과 근지구력을 평가하는 검사다. 이렇게 세 검사는 측정하는 체력 요소와 방법의 차이로 각 검사간 상관관계가 낮거나 유의하지 않게 나타났을 가능성이 있다.

본 예비 연구에서는 2MST가 고령자 및 기능 제한 환자에게 적합하다는 선행연구들의 맥락 속에서, 체력 수준이 높은 건강한 남성을 대상으로 실시하였다. 이는 기존 연구와 평가 대상자의 특성이 상이하다는 점에서 비교에 한계가 있지만, 이러한 특성의 차이를 고려한 예비적 접근으로 해석될 필요가 있다. 또한, 기존 2MST의 수행 방식인 제자리 걷기와 달리, 무릎 높이 기준을 유지하되 가볍게 뛰는 동작으로 수정하여 체력 수준이 높은 대상자에게 발생할 수 있는 천장효과 문제를 보완하고자 하였다. 그러나 기존 방식과 수정된 방식 간의 운동 부하 차이에 대한 정량적 비교가 이루어지지 않았기 때문에 해석에 주의가 필요하다. 이번

연구를 통해 수정된 2MST에 대한 별도의 검증이 추후 필요하다. 이는 점과 체력 수준이 높은 건강한 성인의 유산소 능력 검사로서 2MST의 수행한계와 천장효과 가능성을 파악하는데 임상적 의의가 있다.

본 예비 연구는 다음과 같은 몇 가지 제한점이 존재한다. 첫째, 본 연구는 20대 성인 남성이라는 제한된 인구 집단을 대상으로 하였기 때문에, 연구 결과를 다른 연령대나 여성, 혹은 다양한 체력 수준을 지닌 집단에 일반화하는데에는 한계가 있다. 특히 노년층이나 질환을 지닌 인구에 대한 적용 가능성은 별도의 추가 연구를 통해 검증이 필요하다. 둘째, VO_2max 은 직접 측정(direct VO_2 max measurement)이 아닌 브루스 프로토콜에 기반한 간접 예측 방식을 사용하였다. 이러한 간접 측정 방식은 실제 심폐지구력 수준을 정확히 반영하지 못할 수 있으며, 측정 오차 가능성이 존재한다. 특히 예측식은 개인의 생리적 특성이나 운동 습관에 따라 편차가 발생할 수 있으므로 해석에 주의가 필요하다. 셋째, 하지 근력은 무릎관절의 굽힘과 펴기 동작만 측정하였으며, 보행에 영향을 주는 엉덩관절과 발목 등 다른 주요 근육군에 대한 측정을 실시하지 않았다. 이로 인해 상관관계 해석 시 생리학적 메커니즘의 차이를 보다 면밀히 고려할 필요가 있다. 넷째, 2분 제자리 걷기 검사는 간단하고 공간 제약이 적은 장점이 있으나, 수행 시 개인의 협응력, 동기 수준, 리듬 조절 능력 및 상지의 보조 움직임 여부 등 다양한 외부 요인의 영향을 받을 수 있다. 이러한 비정량적인 요인은 검사 간 신뢰도 및 재현성을 저해할 수 있으므로 보다 표준화된 수행 지침 및 환경 조성이 필요하다.

V. 결론

본 연구는 건강한 대학생 31명을 대상으로 2분 제자리 걷기 검사 개수, 브루스 프로토콜 기반의 예측된 VO_2max 및 등속성 근력검사를 활용한 하지 근력간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 2분 제자리 걷기 검사 개수, 예측된 VO_2max 및 하지 근력과는 통계적으로 유의하지 않았다. 그러나 예측된 VO_2max 와 무릎 굽힘 근력 간에는 중등도 수준의 상관관계가 확인되었으며 이러한 결과는 2MST가 체력 수준이 높은 집단에서는 심폐체력을 민감하게 반영하기 어려울 수 있음을 시사한다. 향후 연구에서는 2MST의 임상적 활용 가능성을 보다 구체적으로 검증하기 위해서 다양한 임상 환경에서 실제 환자군을 대상으로 VO_2max 의 직접 측정과 검사 수행 절차의 표준화가 필요하며 보다 높은 강도를 유도할 수 있는 방법(뛰기, 점핑) 또는 검사 시간을 2분에서 6분으로 늘리는 수정된 형태의 검사를 활용하는 방안의 연구 설계가 필요하다.

참고문헌

- 이재순, 연평식, 최종환. 산림 걷기 운동이 여성 노인의 등속성 근력, 근지구력, 그리고 골밀도에 미치는 영향. 한국산림휴양학회지, 20(1), 1-9, 2016.
- 이한. 대학 축구선수의 신체구성, 심폐지구력 및 등속성 근력의 관련성 연구. 한국체육학회지, 54(2), 477-487, 2015.
- Berlanga LA, Matos-Duarte M, Abdalla P, Alves E, Mota J and L Bohn. Validity of the two-minute step test for healthy older adults. Geriatric Nursing, 51:415-421, 2023.
- Blair SN, Kohl H. W., Paffenbarger RS., Clark DG, Cooper KH and Gibbons LW. Physical fitness and all-cause mortality: a prospective study of healthy men and women. JAMA, 262(17):2395-2401, 1989.
- Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. Medicine & Science in Sports & Exercise, 14(5): 377-381, 1982.
- Bohannon RW and RH Crouch. Two-minute step test of exercise capacity: systematic review of procedures, performance and clinimetric properties. Journal of Geriatric Physical Therapy, 42(3):105-112, 2019.
- Bruce RA, Kusumi F and D Hosmer. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. American Heart Journal, 85(4):546-562, 1973.
- Chung J and K Lee. A comparison of the validity of three exercise tests for estimating maximal oxygen uptake in Korean adults aged 19-64 years. Applied Sciences, 12(3):1371, 2022.
- Drouin JM, Valovich-mcLeod TC, Shultz SJ, Gansneder BM and DH Perrin. Reliability and validity of the biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. European journal of applied physiology, 91:22-29, 2004.
- Evans JD. Straightforward statistics for the behavioral sciences. Thomson Brooks/Cole Publishing CO, 1996.
- Everson KR., Wen F, Herring AH, Di C, LaMonte MJ, Tinker LF, Lee IM, Rillamas-Sun E, LaCroix AZ and DM Buchner. Calibrating physical activity intensity for hip-worn accelerometry in women age 60 to 91 years: the women's health initiative OPACH calibration study. Preventive Medicine Reports, 2:750-756.

- Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, Coke LA, Fleg JL, Forman DE, Gerber TC, Gulati M, Madan K, Rhodes J, Thompson PD and MA Williams. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the american heart association. *Circulation*, 128(8): 873-934, 2013.
- Gkrilias P, Tsepis E, Kokkalis Z, Panagiotopoulos E and P Megas. The relationship between isokinetic strength and functional performance tests in patients with knee osteoarthritis. *Journal of physical therapy science*, 30(6):8880891, 2018.
- Glynn NW, Santanasto AJ, Simonsick EM, Boudreau RM, Beach SR and AB Newman. The pittsburgh fatigability scale for older adults: development and validation. *Journal of the American Geriatrics Society*, 63(1):130-135, 2015.
- Gurses HN, Zeren M, Kulli HD and E Durgut. The relationship of sit-to-stand tests with 6-minute walk test in healthy young adults. *Medicine*, 97(1):e9489, 2018.
- Haas F, Sweeney G, Pierre A, Plusch T and J Whiteson. Validation of a 2minute step test for assessing functional improvement. *Open Journal of Therapy and Rehabilitation*, 5(2):71-81, 2017.
- Izquierdo M, Merchant RA, Morley JE., Anker SD, Aprahamian I, Arai H, Aubertin-Leheudre M, Bernabei R, Cadore EL, Chen L-K, deSoutoBarreto P, Duque G, Ferrucci L, Fielding RA, Garcia-Hermoso A, Gutierrez-Robledo LM, Harridge SD. R, Kirk B, Kritchevsky S, Landi F, Lazarus N, Martin FC, Marzetti E, Pahor M, Ramirez-Velez R, Rodriquez-Marias L, Rolland Y, Ruiz JG, Theou O, Villareal DT, waters DL, Won C W., Woo J, Vellas B and MF Singh. International exercise recommendations in older adults(ICFSR): expert consensus guidelines. *The journal of nutrition, health & agining*, 25(7):824-853, 2021.
- Kim MK, Kong BS and KT Yoo. The effect of shoe type on static and dynamic balance during treadmill walking in young healthy women. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(9):1653-1657, 2017.
- Lee DC, Artero EG., Sui X and SN Blair. Mortality trends in the general population: the importance of cardiorespiratory fitness. *Journal of psychopharmacology*, 24(4_suppl):27-45.
- Oliveros MJ, Seron P, Roman C, Galvez M, Navarro R, Latin G, Marlleo T, Molina JP, Sepulveda P, Marzuca-Nassr GN and Munoz S. Two-minute step test as a complement to six-minute walk test in subjects with treated coronary artery disease. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9:848589, 2022.
- Park S, Lim J and O Lee. Validation of two-minute step test and development of vo2max prediction equation in older korean adults. *Korean Journal of Sport Science*, 34(3):374-381, 2023.
- Pereira HM, de Campos TF, Santos MB, Cardoso JR., de Camargo Garcia M and M Cohen. Influence of knee position on the postural stability index registered by the Biodex Stability System. *Gait & posture*, 28(4):668-672, 2008.
- Rikli RE and CJ Jones. Functional fitness normative scores for community-residing older adults, ages 60-94. *Journal of aging and physical activity*, 7(2):162-181, 1999.
- Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS., Despres JP, Franklin BA, Haskell WL, Kaminsky LA, Levine BD., Lavie CJ., Myers J. Niebauer J, Sallis R, Sawada SS., Sui X and U Wisloff. Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: a case for fitness as a clinical vital sign: a scientific statement from the american heart association. *Circulation*, 134(24):e653-e699, 2016.
- Sandvik L, Erikssen J, Thaulow E, Erikssen G, Mundal R and K Rodahl. Physical fitness as predictor of mortality among healthy, middle-aged norwegian men. *New England Journal of Medicine*, 328(8):533-537, 1993.
- Van Tittelboom V, Alemdaroglu-Gurbuz I, Hanssen B, Heyrman L, Feys H, Desloovere K, Calders P and C Van den Broeck. Reliability of isokinetic strength assessments of knee and hip using the biodex system pro 4 dynamometer and associations with functional strength in healthy children. *Frontiers in sports and active living*, 4:817216, 2022.
- Vilarinho R, Caneiras C and AM Montes. Measurement properties of step tests for exercise capacity in COPD: A systematic review. *Clinical rehabilitation*, 35(4):578-588, 2021.

Wegrzynowska-Teodorczyk K, Mozdzanowska D, Josiak K, Siennicka A, Nowakowska K, Banasiak W, Jankowska EA, Ponikowski P and M Wozniewski. Could the two-minute step test be an alternative to the six-minute walk test for patients with systolic heart failure?. *European journal of preventive cardiology*, 23(12):1307-1313, 2016.

Worobets J, Wannop JW, Tomaras E and D Stefanyshyn.

Softer and more resilient running shoe cushioning properties enhance running economy. *Footwear Science*, 6(3):147-153, 2014.

Yoo DH. Correlation between body composition, aerobic and anaerobic exercise performance in male college students. *Korean Journal of Sports Science*, 28(6): 1323-1332, 2019.