

상지 및 하지 등속성 근력과 폐 기능 및 호흡 근력 간의 연관성: 아마추어 러너 대상 단면 연구

<https://doi.org/10.32337/KACPT.2026.14.1.77>

대한심장호흡물리치료학회지 제14권 제1호 2026, PP.77-84

■ 이은호¹, 김진섭^{2*}

■¹원광보건대학교 물리치료학과, ^{2*}선문대학교 물리치료학과

Associations of Upper and Lower Limb Isokinetic Strength with Pulmonary Function and Respiratory Muscle Strength in Amateur Runners: A Cross-Sectional Study

Eun-Ho Lee¹, Jin-Seop Kim^{2*}

¹Department of Physical Therapy, Wonkwang Health Science University

²Department of Physical Therapy, Sunmoon University

Purpose: This cross-sectional study aimed to investigate the associations between isokinetic shoulder and knee strength as well as pulmonary function and respiratory muscle strength in amateur runners. Furthermore, it sought to determine whether upper and lower limb strengths are differently associated with these respiratory outcomes. **Methods:** A total of 48 amateur runners aged 20–45 years without known cardiopulmonary or neuromuscular disease were recruited from local running clubs. All participants completed a single laboratory session. Pulmonary function was evaluated via spirometry to measure forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in 1 second (FEV₁), and maximal voluntary ventilation (MVV). Respiratory muscle strength was assessed as maximal inspiratory and expiratory pressures. The isokinetic muscle strength of the upper and lower limbs was measured using a HUMAC NORM dynamometer at 60°/s (bilateral concentric shoulder and knee flexion/extension, five repetitions), and the highest peak torque values were averaged to obtain shoulder strength (SS) and knee strength (KS). Pearson correlation analyses and simple linear regression models were employed ($\alpha=.05$). **Results:** SS exhibited strong positive correlations with FVC ($r=.775$) and FEV₁ ($r=.744$), a moderate correlation with MVV ($r=.542$), and significant correlations with MIP ($r=.348$) and MEP ($r=.397$; all $p<.05$). KS showed a moderate-to-strong correlation with FVC ($r=.630$), FEV₁ ($r=.628$), and MVV ($r=.509$) and moderate correlations with MIP ($r=.488$) and MEP ($r=.472$; all $p<.01$). Regression analyses revealed that SS accounted for 60.1% of the variance in FVC and 55.4% in FEV₁, whereas KS explained 23.8% of the variance in MIP and 22.3% in MEP. **Conclusion:** In amateur runners, shoulder and knee isokinetic strength is positively correlated with pulmonary and respiratory muscle functions. Upper limb strength is more strongly associated with spirometric indices (FVC, FEV₁), whereas lower limb strength shows relatively stronger associations with respiratory pressures (MIP, MEP). These findings indicate that strengthening of the upper and lower limbs may contribute to the optimization of respiratory function in amateur runners in different ways.

Key words: Isokinetic muscle strength, Pulmonary function, Respiratory muscle strength, Amateur runners

Received: November 23, 2025 / **Revised:** December 09, 2025 / **Accepted:** December 10, 2025

I. 서론

1. 연구의 필요성

러닝은 비교적 적은 비용으로 수행할 수 있으면서 심폐지구력과 전신 건강을 향상시키는 대표적인 유산소 운동으로, 일반 성인

에서 참여 인구가 지속적으로 증가하고 있다(Oviedo 등, 2014). 규칙적인 유산소·저항운동 프로그램은 심폐체력과 말초 근력을 동시에 개선하는 것으로 알려져 있다. 특히 호흡근과 하지 근력은 보행 및 러닝과 같은 반복적 전신 운동에서 산소 공급능력과 피로 저항성에 핵심적인 역할을 한다(Choi 등, 2022; Oviedo 등,

이 논문은 2025학년도 선문대학교 교내학술연구비 지원을 받았음

교신저자: 김진섭

주소: 31460 충청남도 아산시 탕정면 선문로 221번길 70 선문대학교, 전화: 041-530-2741, E-mail: skylove3373@sunmoon.ac.kr

2014). 만성 폐질환 환자에서 호흡근 수행능력 지표가 최대산소 섭취량(peak oxygen uptake, VO_{2peak})과 밀접히 관련된다는 결과는, 호흡근과 주변근 기능이 운동능력에 중요한 기여를 한다는 점을 뒷받침한다(Choi 등, 2022).

최근 여러 선행연구는 폐 기능·호흡 근력과 사지 근력 사이의 밀접한 연관성을 다양한 집단에서 일관되게 보고하고 있다. 엘리트 유도·조정·체조 선수에서 무릎 굴곡·신전 등속성 피크 토크는 강제폐활량(forced vital capacity, FVC), 1초간 노력성 호기량(forced expiratory volume in 1 second, FEV_1), 최대 자발 환기(maximal voluntary ventilation, MVV)뿐 아니라 최대 흡기압(maximal inspiratory pressure, MIP)과 최대 호기압(maximal expiratory pressure, MEP)과도 중등도 이상의 양의 상관을 보여, 하지 주변근의 등속성 근력이 폐 기능과 호흡 근력의 발달과 평행하게 증가함을 시사하였다(Akmoğlu 등, 2019). 낭포성섬유증 소아·청소년에서는 대퇴사두근과 상지 근력 및 손아귀악력이 FEV_1 및 6분 보행거리와 유의하게 연관되어, 사지 근력 감소가 폐 기능과 기능적 운동능력 저하와 함께 나타나는 양상이 확인되었다(Arikan 등, 2015). 지역사회 노인을 대상으로 한 연구에서는 무릎 근력과 MIP, MEP, 6분 보행거리 사이에 중등도 상관이 보고되어(Simões 등, 2010), 하지 근력이 호흡 근력 및 보행능력과 구조적으로 연결되어 있음을 보여준다.

만성 폐쇄성 폐질환(chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 환자와 건강한 대조군을 비교한 연구에서는 대퇴사두근 근력이 FVC, FEV_1 와 유의한 양의 상관을 보였다(Shah 등, 2019). 또한 장기 산소치료를 받는 COPD 환자에서 대퇴사두근 피로도는 MIP, MEP 및 $FEV_1\%$ 예측치와 연관되는 것으로 나타나(Paneroni 등, 2024), 폐 기능·호흡 근력과 하지 근 기능 간 연관성이 병태생리적 측면에서도 반복적으로 확인되고 있다. 터키 국가대표 골볼 선수에서도 하지 등척성 근력이 FVC, FEV_1 , MVV와 유의한 상관을 보여, 장애 엘리트 선수에서도 하지 근력과 폐 기능의 긴밀한 연계가 보고되었다(Balcı 등, 2021).

손아귀악력(handgrip strength, HGS)은 전신 근력과 기능을 간편하게 추정하는 지표로 널리 활용되며, 폐 기능 및 호흡 근력과 연관성도 다수 보고되어 있다. 건강한 중국 성인 1,500여 명을 대상으로 한 연구에서는 HGS가 최대 폐활량(maximal vital capacity, VCmax), FVC, FEV_1 등과 매우 강한 양의 상관을 보였고, 악력 증가에 따라 FVC가 선형적으로 증가하는 관계가 제시되었다(Chen 등, 2020). 한국 노인 여성 코호트에서는 악력이 가장 낮은 군에서 FVC, FEV_1 저하 위험이 유의하게 증가하였으며(Son 등, 2018), 뇌졸중 환자에서도 HGS가 FVC, FEV_1 , 최대 호기 유속(peak expiratory flow, PEF)과 강한 양의 상관을 보이고 MEP와도 유의하게 연관되었다(Kim 등, 2018). 엘리트 남자 운동선수에서는 HGS가 FVC, FEV_1 , MVV뿐 아니라 MIP와 MEP의 예측인자로 제시되어(Kocahan 등, 2019),

말단 근력이 폐 용적과 호흡 근력을 동시에 반영하는 체력 지표가 될 수 있음을 보여준다. 지역사회 노인에서 HGS는 FVC, MVV와는 약한 상관을, MIP, MEP 및 2분 스텝 테스트와는 중등도 상관을 보여, 악력이 폐 기능, 호흡 근력, 심폐지구력과 모두 연관된다는 결과도 보고되었다(Li와 Hsu, 2023).

호흡 근력(MIP, MEP)은 전신 근육량 및 근력과의 연관성 측면에서도 주목받고 있다. 건강한 노인에서 MIP와 MEP는 악력과 사지·체간 골격근량과 독립적으로 연관되어, 호흡 근력이 근감소증 스펙트럼의 일부임을 시사하였다(Shin 등, 2017). 젊은 성인을 대상으로 한 연구에서도 호흡 근력은 골격근량과 악력과 유의한 상관을 보여(Ro 등, 2015), 호흡 근력이 전신 근 기능을 반영하는 지표가 될 수 있음을 보여준다. 최고령 노인 코호트에서는 호흡 근력이 악력과 기능 저하, 사망 위험과 연관되는 것으로 보고되었으며(Dreessen 등, 2024), 이는 호흡 근력과 사지 근력의 연관성이 노년기 예후와도 연동될 수 있음을 시사한다. 한편 브라질 육군 병사에서는 HGS가 어깨, 몸통, 무릎 등속성 근력의 합과 중등도 이상 상관을 보여, 악력이 전신 등속성 근력을 대표하는 지표로 활용될 수 있음을 제시하였다(Gonçalves 등, 2018).

운동선수 및 활동적인 집단에서도 이러한 경향은 일관되게 나타난다. 엘리트 가라테 선수에서 FVC와 MVV 등 폐 기능 지표는 HGS, 다리, 배근력 변동의 큰 비율을 설명하였고(Tokgöz 등, 2025), 휠체어 선수에서는 어깨 통증과 상지 기능, 악력, 호흡 기능 및 흉곽 팽창 사이의 상호작용이 관찰되어 상지 근골격계 상태가 호흡능력에 영향을 줄 수 있음이 제시되었다(Durmuş 등, 2025). 안정기 COPD 환자에서는 상지(팔꿈치) 등속성 근력이 FEV_1 , FEV_1/FVC , MVV뿐 아니라 MIP, MEP와도 유의하게 연관되어, 상지 근력이 보조호흡근과 함께 폐 기능 및 호흡 근력에 기여할 가능성이 보고되었다(Liu 등, 2019). 이러한 근력·호흡계 지표 간 연관성은 기능적 수행능력에도 연결되어, 무릎 근력과 MIP, MEP, 6분 보행거리 사이의 상관(Simões 등, 2010), 호흡근 수행능력과 VO_{2peak} 사이의 연관성(Choi 등, 2022), 유산소·저항·균형운동 병합 프로그램에 따른 심폐체력과 하지 근력의 동시 향상(Oviedo 등, 2014) 등이 보고되었다.

그러나 기존 연구 대부분은 노인이나 COPD, 낭포성섬유증, 뇌졸중 등 질환군 및 고령 집단을 대상으로 수행되었다(Arikan 등, 2015; Kim 등, 2018; Shah 등, 2019; Paneroni 등, 2024; Dreessen 등, 2024; Simões 등, 2010). 또한 사지 근력 평가는 HGS와 같은 단일 지표에 의존한 경우가 많았다(Chen 등, 2020; Son 등, 2018; Kocahan 등, 2019; Li와 Hsu, 2023; Gonçalves 등, 2018; Shin 등, 2017; Ro 등, 2015). 상지와 하지의 등속성 근력을 동시에 측정하고, 폐 기능 지표(FVC, FEV_1 , MVV)와 호흡 근력(MIP, MEP)을 함께 평가한 연구는 상대적으로 드물다. 특히 폐 질환 병력이 없는 아마추어 러너를 대상으로 어깨와

무릎 등속성 근력이 폐 기능과 호흡 근력에 어떻게 연관되는지를 검증한 연구는 거의 보고되어 있지 않다.

상지와 하지 근력이 서로 다른 호흡계 지표와 연관될 것이라는 가설은 해부·생리학적 특성에 기반한다. 어깨 및 견갑흉곽 주변 근육은 흉곽의 거상과 확장을 돕는 보조호흡근으로 작용하여 흉곽 팽창과 자세 안정성에 직접 관여한다. 따라서 상지 등속성 근력은 FVC와 FEV₁와 같은 스파이로메트리 지표와 더 긴밀히 연관될 가능성이 있다. 반면 하지 근육은 전신 골격근량과 기능적 체력의 큰 비중을 차지하며, 고강도 러닝 시 호흡근과 함께 산소 소비와 피로 누적에 공통된 부담을 받는다. 이로 인해 하지 등속성 근력은 MIP와 MEP와 같은 호흡 근력 지표와 상대적으로 더 밀접한 연관성을 보일 것이라고 예상할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 아마추어 러너에서 상지 및 하지 등속성 근력과 폐 기능(FVC, FEV₁, MVV), 호흡 근력(MIP, MEP) 간의 연관성을 규명하는 것이다. 특히 상지(어깨) 등속성 근력 지표와 하지(무릎) 등속성 근력 지표가 서로 다른 호흡계 지표와 상대적으로 더 긴밀한 연관성을 보일 것이라는 해부·생리학적 가설을 탐색적으로 검증하고자 하였다. 이를 위해 어깨 등속성 근력 지표(shoulder strength, SS)와 무릎 등속성 근력 지표(knee strength, KS)가 각 폐 기능 및 호흡 근력 지표와 맺는 관계를 피어슨 상관분석으로 평가하였으며, SS 또는 KS를 각각 하나씩 독립변수로 투입한 단순선형회귀분석을 통해 각 근력 지표가 폐 기능 및 호흡 근력 변동을 어느 정도 설명하는지 탐색적으로 확인하고자 하였다. 이러한 결과는 아마추어 러너에서 사지 근력 평가의 임상적·트레이닝적 의미를 재조명하고, 상·하지 근력 강화를 포함한 운동 처방이 폐 기능 및 호흡 근력 향상에 어떻게 기여할 수 있는지에 대한 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 아마추어 러너에서 폐 기능과 호흡 근력, 그리고 상·하지 등속성 근력 간의 관계를 규명하기 위해 수행된 단면 연구이다. 대상자는 A시 소재 러닝클럽 및 지역 체육시설을 이용하는 아마추어 러너 중, 폐 기능검사 및 호흡 근력 검사, 등속성 근력 검사를 안전하게 수행할 수 있는 만 20-45세 성인을 모집하였다.

모든 대상자에게 연구 목적과 절차, 검사에 수반될 수 있는 잠재적 위험에 대해 충분히 설명한 후, 연구 참여를 자발적으로 희망하는 대상자로부터 서면 동의를 받았다. 또한 언제든지 연구 참여를 중단할 수 있음을 안내하였다. 본 연구는 선문대학교 기관 생명윤리위원회의 심사 및 승인을 받은 후 수행되었다(SM-

202509-017-2).

선정 기준은 다음과 같다.

첫째, 만 20-45세의 성인으로서 최근 6개월 이상 일반적인 직업 또는 학업을 유지하면서 취미로 러닝을 수행하는 자.

둘째, 최근 6개월 동안 주 2회 이상 달리기를 지속했거나, 주간 누적 주행거리 10 km 이상을 유지한 자로서 일상적으로 러닝을 수행하는 아마추어 러너.

셋째, 본 연구에서 시행하는 폐 기능검사(FVC, FEV₁, MVV), 호흡 근력 검사(MIP, MEP) 및 등속성 근력검사를 시행함에 있어 의학적 금기가 없는 자.

넷째, 연구 목적, 절차, 잠재적 위험을 충분히 이해하고 자발적으로 연구 참여에 동의한 자.

제외 기준은 다음과 같다.

첫째, 의사진단을 받은 만성 호흡기 질환이 있거나 최근 2주 이내 급성 호흡기 감염 병력이 있는 자.

둘째, 폐 기능검사 또는 최대 노력 운동에 금기가 되는 조절되지 않은 심혈관 질환이나 운동 유발 실신, 흉통 병력이 있는 자.

셋째, 최근 3개월 이내 흉부·복부 수술을 받았거나, 검사 자세 유지 및 최대 노력 수축을 방해할 정도의 근골격계 손상 또는 통증이 있는 자.

넷째, 연구 절차 이해 및 검사 지시 수행에 중대한 장애가 있는 심각한 시각, 청각, 의사소통 장애가 있는 자.

다섯째, 등록된 프로 또는 엘리트 러닝/육상 선수이거나, 최근 6개월 내 해당 지위를 유지했던 자는 아마추어 러너 정의에서 제외하였다.

대상자 수 산출은 G*Power 3.1.9.7(Heinrich-Heine University, Düsseldorf, Germany)을 이용하여 Correlation: Bivariate normal model, two-tailed로 수행하였다. 선행연구에서 보고된 폐 기능, 호흡 근력과 사지 근력 간 상관계수를 참고하여(Akmoğlu 등, 2019; Kim 등, 2018; Li와 Hsu, 2023; Ro 등, 2015; Shah 등, 2019; Chen 등, 2020; Tokgöz 등, 2025) 효과크기 $r = .395$, 유의수준 $\alpha = .05$, 검정력($1-\beta$) = .80을 가정한 결과, 상관분석에 필요한 최소 표본 수는 48명으로 산출되었다. 이에 따라 본 연구의 최종 분석 대상자는 48명으로 설정하였으며, 모든 대상자는 폐 기능·호흡 근력 및 등속성 근력 검사를 완전하게 수행하였다.

2. 연구 방법

본 연구는 아마추어 러너에서 폐 기능과 호흡 근력, 그리고 상·하지 등속성 근력 간의 관계를 규명하기 위해 수행된 단면 연구이다. 본 연구는 1회 방문으로 수행되었으며, 모든 대상자는 실험실 방문 시 연구 목적과 절차에 대한 설명을 들은 후 연구 참여 동의서를 작성하였다. 이후 기본 정보를 조사한 뒤, 동일한

방문에서 폐 기능 및 호흡 근력 검사와 등속성 근력 검사를 순차적으로 시행하였다.

검사 순서는 피로의 영향을 최소화하기 위해 먼저 폐 기능 및 호흡 근력 검사를 시행한 뒤, 충분한 휴식 후 등속성 근력 검사를 실시하였다. 모든 검사는 동일한 검사자에 의해 수행되었으며, 대상자는 검사 전 간단한 준비 운동과 검사 방법에 대한 교육을 받았다.

연구의 주요 독립변수는 상지 및 하지의 등속성 근력으로, CSMi 장비를 이용하여 측정된 어깨(Shoulder Strength, SS)와 무릎(Knee Strength, KS)의 피크 토크 값으로 정의하였다. 종속 변수는 스파이로미터로 측정된 폐 기능 지표(FVC, FEV₁, MVV)와 호흡 근력 지표(MIP, MEP)였다. 상지·하지 근력과 폐 기능 및 호흡 근력 간의 관계를 확인하기 위해 먼저 피어슨 상관분석을 실시하였다. 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

3. 측정 도구 및 방법

1) 폐기능 검사(pulmonary function test, PFT)

폐 기능과 호흡 근력 평가는 스파이로미터(Pony fx, COSMED, Italy)를 사용하여 실시하였다. 측정 절차는 American Thoracic Society/European Respiratory Society(ATS/ERS)에서 제시한 스파이로메트리 및 호흡근력 검사 지침을 참고하여 표준화하였다. 대상자는 의자에 앉은 자세에서 비강 클립을 착용하고, 검사자의 구두 지시에 따라 최대한의 노력으로 검사에 참여하였다. FVC와 FEV₁ 측정을 위해 표준화된 강제호기법을 사용하였다. 대상자는 최대 흡기 후 가능한 한 빠르고 강하게 호기하도록 지시받았으며, 각 3회 수행하여 기술적으로 수용 가능한 시도 중 가장 높은 값을 채택하였다. MVV는 대상자가 최대 속도로 길게 호흡하도록 지시한 후 12-15초간 과호흡을 시행하여 측정하였고, 장비에서 제공하는 환산식을 이용해 1분당 환기량(L/min)으로 계산하였다.

MIP와 MEP는 최대 호흡 근력 측정을 위해 각각 잔기용적(near residual volume) 부근에서의 최대 흡기 노력, 전체폐용적(near total lung capacity) 부근에서의 최대 호기 노력으로 측정하였다. 각 지표는 3회 반복 측정하여 가장 높은 값을 분석에 사용하였다. 모든 측정은 검사자 간 변이를 줄이기 위해 동일 검사자가 동일 장비를 사용하여 시행하였다.

2) 등속성 근력 검사(isokinetic muscle testing)

상지 및 하지 근력은 등속성 근기능 검사장비(HUMAC NORM, CSMi, USA)를 사용하여 측정하였다. 상지 근력은 어깨 관절의 굴곡과 신전 동작, 하지 근력은 무릎 관절의 굴곡과 신전 동작으로 평가하였다. 등속성 근력 측정 프로토콜은 스포츠 선수 및 호흡기 질환자를 대상으로 한 선행연구에서 제시된 방법

을 참고하여 설정하였다(Akmoğlu 등, 2019; Liu 등, 2019). 검사에 앞서 대상자는 5분간의 가벼운 스트레칭으로 워밍업을 시행하였고, 각 동작별로 1-2회의 연습 시도를 통해 동작에 익숙해지도록 하였다. 본 검사는 모든 동작에서 각속도 60°/s로 설정된 동심성 수축(concentric contraction) 조건에서 시행되었다. 어깨와 무릎 각각에 대해 양측 굴곡·신전 동작을 5회 반복 수행하게 하였으며, 장비에서 출력되는 피크 토크(peak torque, Nm) 중 가장 높은 값을 해당 동작의 대표값으로 채택하였다. 상지 근력 지표인 SS는 양측 어깨 굴곡과 신전에서 얻은 최대 피크 토크 값들을 통합하여 평균을 산출하였다. 하지 근력 지표인 KS는 양측 무릎 굴곡과 신전의 최대 피크 토크 값들을 동일한 방식으로 통합하여 평균을 산출하였다. 이렇게 산출된 SS와 KS 값은 각각 상지 및 하지의 전반적인 등속성 근력 수준을 대표하는 변수로 통계 분석에 사용되었다.

4. 분석 방법

모든 자료는 IBM SPSS Statistics (Version 26.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하여 분석하였다. 먼저 대상자의 연령, 신체계측치, 러닝 관련 변수, 폐 기능(FVC, FEV₁, MVV), 호흡 근력(MIP, MEP), 상지와 하지 등속성 근력(SS, KS)에 대해 기술통계를 산출하였다. 연속형 변수는 평균과 표준편차(mean $\pm$ SD)로, 범주형 변수는 빈도와 백분율(%)로 제시하였다. 분석에 앞서 Shapiro-Wilk 검정을 통해 정규성 가정을 확인하였다.

폐 기능 및 호흡 근력과 상·하지 등속성 근력 간의 기초적인 연관성을 확인하기 위해 피어슨 상관분석(Pearson's correlation)을 시행하였다. 종속변수 후보는 FVC, FEV₁, MVV, MIP, MEP였으며, 주요 독립변수는 SS와 KS였다. 이와 함께 폐 기능 지표(FVC, FEV₁, MVV)와 호흡 근력 지표(MIP, MEP) 간 상관도 산출하여, 호흡계 지표들 사이의 관계를 파악하였다. 정규성이 뚜렷이 충족되지 않는 변수에 대해서는 보조적으로 스피어만 순위 상관계수(Spearman's ρ)를 참고하되, 본 연구의 주요 결과 제시는 피어슨 상관계수를 기준으로 하였다.

상지 및 하지 근력이 폐 기능과 호흡 근력 각각에 미치는 예측력을 탐색적으로 확인하기 위해 단순선형회귀분석(simple linear regression)을 추가로 시행하였다. 각 회귀모형에서는 FVC, FEV₁, MVV, MIP, MEP 중 하나를 종속변수로 설정하고, SS 또는 KS를 각각 하나씩 독립변수로 투입하여 분석하였다. 회귀 분석 시 선형성, 잔차의 정규성 및 등분산성 가정을 그래프와 관련 통계량을 통해 점검하였다. 각 모형에서는 비표준화 회귀계수(B)와 결정계수(R²)를 산출하였으며, 통계적 유의성은 양측 검정 기준 $p < .05$ 인 경우 유의한 것으로 판정하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구 대상자의 일반적 특성은 <표 1>에 제시되어 있다. 연구 대상자 중 31명(64.6%)이 남성이었으며, 대상자의 평균 연령은 32.98 ± 4 세, 평균 키는 170.44 ± 9.32 cm, 평균 몸무게는 69.53 ± 13 kg, 체질량지수는 23.77 ± 2.87 kg/m², 1주일 동안 뛰는 횟수는 3.35 ± 1.18 sess/wk, 1주일 동안 뛰는 거리는 28.15 ± 18.33 km/wk로, 대상자의 현재 러닝 훈련량을 반영하였다. 연구 대상자중 12명(25%)이 흡연자로 나타났다.

아마추어 러너 48명을 대상으로 상지 등속성 근력(SS)과 하지 등속성 근력(KS), 폐 기능(FVC, FEV₁, MVV) 및 호흡 근력(MIP, MEP) 간 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저 폐 기능과의 관계에서 SS는 FVC($r=.775$, $p<.001$), FEV₁($r=.744$, $p<.001$)와 강한 양의 상관관계를, MVV($r=.542$, $p<.001$)와는 중등도 양의 상관관계를 보였다. KS 역시 FVC($r=.630$, $p<.001$), FEV₁($r=.628$, $p<.001$), MVV($r=.509$, $p<.001$)와 중등도 이상의 양의 상관관계를 보여, 상·하지 등속성 근력이 모두 폐 기능과 유의하게 연관되어 있었다. 다만 FVC와 FEV₁에서는 SS의 상관관계수가 KS보다 일관되게 더 높아, 폐 용적 및 1초간 노력성 호기량은 하지 근력보다 상지 근력과 더 밀접하게 관련되는 경향을 보였다.

호흡 근력과의 관계에서는 MIP가 SS와 $r=.348$ ($p=.015$), KS와 $r=.488$ ($p<.001$)의 양의 상관관계를, MEP가 SS와 $r=.397$ ($p=.005$), KS와 $r=.472$ ($p=.001$)의 양의 상관관계를 보여 두 근력 지표 모두와 유의한 관련성을 보였으나, MIP와 MEP 모두에서 KS와의 상관관계가 SS보다 상대적으로 더 크게 나타났다. SS와 KS 사이에는 $r=.782$ ($p<.001$)의 강한 양의 상관관계가 관찰되어, 본 연구 대상에서 상·하지 근력이 전반적으로 함께 발달해 있음을 시사하였다.

단순선형회귀분석에서 SS는 FVC($R^2=.601$, $\beta=.775$,

$p<.001$)와 FEV₁($R^2=.554$, $\beta=.744$, $p<.001$)의 분산을 각각 약 60%, 55% 수준까지 설명하는 유의한 예측변수로 나타났으며, KS는 MIP($R^2=.238$, $\beta=.488$, $p<.001$)와 MEP($R^2=.223$, $\beta=.472$, $p=.001$)를 약 24%, 22% 설명하였다. 종합하면, 아마추어 러너에서 상지 등속성 근력은 주로 폐 기능 지표(FVC, FEV₁)와, 하지 등속성 근력은 호흡 근력 지표(MIP, MEP)와 상대적으로 더 강한 연관성을 보이는 경향이 확인되었다.

IV. 고 찰

본 연구는 아마추어 러너를 대상으로 상지 및 하지 등속성 근력과 폐 기능, 호흡 근력 간의 관계를 분석한 단면 연구로, 두 근력 지표가 모두 폐 기능 및 호흡 근력과 유의한 양의 상관관계를 보인다는 점을 확인하였다. 상관분석에서 어깨 등속성 근력(SS)은 강제폐활량(FVC; $r=.775$)과 1초간 노력성 호기량(FEV₁; $r=.744$), 최대 자발 환기(MVV; $r=.542$)와 강한/중등도 이상의 양의 상관관계를 나타냈고, 최대 흡기압(MIP; $r=.348$)과 최대 호기압(MEP; $r=.397$)와도 유의한 양의 상관관계를 보였다. 무릎 등속성 근력(KS)은 FVC($r=.630$), FEV₁($r=.628$), MVV($r=.509$)와 중등도 양의 상관관계를 보였을 뿐 아니라, MIP($r=.488$), MEP($r=.472$)와는 SS보다 더 큰 중등도 상관관계를 보여, 호흡 근력과의 연관성이 상대적으로 뚜렷한 패턴을 보였다. 단순선형회귀 분석에서도 SS는 FVC($R^2=.601$, $\beta=.775$)와 FEV₁($R^2=.554$, $\beta=.744$)에 대해 비교적 큰 설명력을 보였고, KS는 MIP($R^2=.238$, $\beta=.488$)와 MEP($R^2=.223$, $\beta=.472$)에 대해 약 22-24% 수준의 설명력을 보였다. 이러한 결과는 아마추어 러너에서 상지 등속성 근력이 주로 폐 용적 및 기류 지표와, 하지 등속성 근력은 호흡 근력과 상대적으로 더 강한 연관성을 보일 수 있다는 탐색적 패턴을 시사한다. 다만, 본 연구에서 사용한 회귀모형은 SS 또는 KS 하나만을 독립변수로 포함한 단순모형이었고, 두 변수를 동일 모형에 동시에 포함한 다중회귀분석은 수행되지 않았다는 점을 고려할 때, 상·하지 근력의 “독립적인” 기여도까지 단정적으로 해석하는 것은 적절하지 않다.

이러한 결과는 선행연구에서 보고된 주변근과 폐 기능, 호흡 근력 간 연관성과 대체로 일관된 방향성을 보인다. 엘리트 유도·조정 선수에서는 무릎 굴곡·신전 등속성 근력이 FVC, FEV₁, MVV뿐 아니라 MIP와 MEP와도 중등도 이상의 양의 상관관계를 보여, 하지 근력 발달이 폐 기능과 호흡 근력의 향상과 병행됨을 보고하였다(Akinoğlu 등, 2019). 터키 국가대표 골볼 선수에서도 하지 등속성 근력이 FVC, FEV₁, MVV와 유의하게 연관되었고(Balcı 등, 2021), 남포성섬유증 소아·청소년에서는 대퇴사두근과 상지 근력 및 악력이 FEV₁와 6분 보행거리와 모두 연관되어, 사지 근력 저하와 폐 기능 및 운동능력 저하가 함께 나타나는

표 1. 연구대상자의 일반적 특성

(N=48)

Characteristics	Mean±SD
Male/Female(%)	31/17(64.6/35.4)
Age(year)	32.98 ± 4
Height(cm)	170.44 ± 9.32
Weight(kg)	69.53 ± 13
BMI(kg/m ²)	23.77 ± 2.87
Sessions/week (sess/wk)	3.35 ± 1.18
Km/week (km/wk)	28.15 ± 18.33
Smoking status, n(%) : Current	12(25)

BMI, body mass index

양상이 확인되었다(Arikan 등, 2015). 만성 폐쇄성 폐질환 (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 환자에서 대퇴사두근 근력은 FVC, FEV₁와 유의한 상관을 보였고(Shah 등, 2019), 장기 산소치료 환자에서는 대퇴사두근 피로도가 MIP, MEP와 음의 상관을 보여, 폐 기능·호흡 근력과 하지 근 기능 간 병태생리적 연관성이 보고되었다(Paneroni 등, 2024). 본 연구에서 KS와 MIP·MEP 간 단순회귀모형($R^2 \approx .23-.24$, $\beta \approx .47-.49$)은 이러한 선행근거와 맥락을 같이 하며, 질환이 없는 활동적인 러너에서도 하지 등속성 근력이 호흡 근력 변동의 일정 부분을 설명할 수 있음을 시사한다.

상지 근력의 역할에 초점을 맞추어 보면, 본 연구에서 SS는 단순회귀모형에서 FVC와 FEV₁의 분산을 각각 약 60%, 55% 수준까지 설명하였다(FVC: $\beta=.775$, $R^2=.601$; FEV₁: $\beta=.744$, $R^2=.554$). SS가 10 Nm 증가할 때 FVC는 약 .09 L, FEV₁은 약 .07 L 증가하는 것으로 추정되는데, 이는 어깨 및 견갑하관 주변 근육이 흉곽 팽창과 보조호흡에 기여한다는 해부·생리학적 관점과 부합한다. 엘리트 남자 선수에서 손아귀악력이 FVC, FEV₁, MVV뿐 아니라 MIP, MEP의 예측인자로 제시되었고(Kocahan 등, 2019), 안정기 COPD 환자에서도 상지(팔꿈치) 등속성 근력이 FEV₁%pred, MVV 및 MIP, MEP와 동시에 연관된 바 있다(Liu 등, 2019). 휠체어 선수에서 상지 통증과 기능 저하, 악력 감소가 MIP, MEP 및 흉곽 팽창 감소와 연관되었다는 보고는(Durmuş 등, 2025), 상지 근골격계 상태가 흉곽 가동성과 폐 기능에 직접적인 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 건강인, 노인, 뇌졸중 환자 등 다양한 집단에서 손아귀악력이 FVC, FEV₁와 중등도~강한 양의 상관을 보인 연구들 역시(Chen 등, 2020; Son 등, 2018; Kim 등, 2018; Li와 Hsu, 2023), 상지 말단 근력이 폐 용적과 기류 지표의 중요한 결정요인임을 지지한다. 이러한 문헌과 비교할 때, 본 연구에서 어깨 등속성 근력이 FVC와 FEV₁ 분산의 상당 부분을 설명한 결과는 상지 근력이 러너의 폐 기능 수준을 반영하는 구조적 지표가 될 수 있음을 탐색적으로 시사한다.

반면 하지 근력과 호흡 근력 간의 연관성은 주로 전신 근육량 및 기능 수준과의 연계를 통해 설명할 수 있다. 건강한 노인에서 MIP와 MEP는 악력뿐 아니라 사지 및 체간 골격근량과 독립적으로 연관되어, 호흡 근력이 근감소증 스펙트럼의 일부임이 제시되었고(Shin 등, 2017), 젊은 성인을 대상으로 한 연구에서도 호흡 근력은 골격근량과 악력과 유의한 상관을 보여, 전신 근 기능의 지표가 될 수 있음이 보고되었다(Ro 등, 2015). 최고령 노인에서 호흡 근력 감소는 악력 저하와 기능 저하·사망 위험 증가와 연관되었으며(Dreessen 등, 2024), 지역사회 노인에서는 무릎 근력과 MIP, MEP, 6분 보행거리 사이의 중등도 상관이 보고된 바 있다(Simões 등, 2010). COPD 환자에서 대퇴사두근 피로도와 MIP, MEP, FEV₁%pred 간의 연관성(Paneroni 등,

2024), 지적장애 성인에서 복합 운동 프로그램이 하지 근력과 심폐체력을 동시에 향상시켰다는 보고(Oviedo 등, 2014), 호흡 근 수행능력 지표가 VO_{2peak} 및 하지 근력과 연관된 연구(Choi 등, 2022) 역시, 호흡 근력과 하지 근력·지구력 사이의 삼각관계를 보여준다. 본 연구에서 KS가 MIP와 MEP를 각각 약 24%, 22% 설명한 결과는, 하지 근력이 클수록 호흡 근력이 우수하고, 나이가 고강도 러닝 시 호흡근 피로에 덜 취약할 수 있음을 시사하지만, 이러한 해석 역시 단면 상관 및 단순회귀에 기반한 패턴 수준의 관찰이라는 점을 전제로 해야 한다.

본 연구 대상은 질환군이 아닌 20-45세 아마추어 러너라는 점에서 기존 연구와 차별성이 있다. 지금까지의 많은 연구는 노인, COPD, 뇌졸중, 낭포성섬유증 등 질환군이나 고령 집단을 대상으로 하였거나(Arikan 등, 2015; Kim 등, 2018; Shah 등, 2019; Paneroni 등, 2024; Dreessen 등, 2024; Simões 등, 2010), 사지 근력 중에서도 주로 손아귀악력과 같은 단일 지표에 의존하였다(Chen 등, 2020; Son 등, 2018; Kocahan 등, 2019; Li와 Hsu, 2023; Gonçalves 등, 2018). 엘리트 선수 연구는 존재하지만(Akınoğlu 등, 2019; Balcı 등, 2021; Tokgöz 등, 2025), 실제 임상 및 현장에서 접하는 대부분의 러너는 이러한 엘리트 수준에 미치지 못하는 아마추어라는 점을 고려할 때, 본 연구는 실질적인 적용 가능성이 높은 집단에서 상지·하지 등속성 근력과 폐 기능, 호흡 근력 간의 구조를 구체적으로 제시했다는 의의를 갖는다. 특히 어깨와 무릎 등속성 근력을 각각 상지·하지의 대표 지표로 사용하여, 폐 기능에는 상지 근력이, 호흡 근력에는 하지 근력이 상대적으로 더 밀접한 연관성을 보일 수 있다는 가설을 상관 및 단순회귀 결과를 통해 탐색적으로 제시한 점은 기존 문헌에서 상대적으로 드물게 시도된 부분이다.

실제 트레이닝 및 재활 관점에서 보면, 이러한 결과는 러너의 호흡기능 최적화를 위해 상지·하지 근력 강화를 차별적으로 설계할 필요가 있음을 시사한다. 예를 들어 FVC, FEV₁가 상대적으로 낮은 러너에서는 어깨 및 견갑하관 주위 근육을 대상으로 한 저항운동과 자세·흉곽가동성 훈련이, MIP, MEP가 낮거나 강한 호흡곤란을 호소하는 러너에서는 하지 근력 및 지구력 강화를 병행한 프로그램이 보다 직접적인 목표가 될 수 있다. 이는 COPD 환자에서 호흡근 훈련과 하지 저항운동을 병합한 프로그램이 폐 기능, 호흡 근력, 운동능력을 동시에 개선시켰다는 체계적 문헌고찰과도 맥락을 같이 한다(Gomes-Neto 등, 2016; Neto 등, 2016). 더 나아가, Gonçalves 등(2018)이 제시한 것처럼 손아귀악력으로 전신 등속성 근력을 어느 정도 추정할 수 있다면, 간단한 악력 측정과 몇 가지 기본적인 폐 기능·호흡 근력 검사만으로 러너의 전신 근력·호흡계 상태를 효율적으로 선별할 수 있을 가능성도 있다.

그럼에도 본 연구에는 몇 가지 중요한 한계가 존재한다. 첫째, 단면 연구 설계로 인해 상지·하지 근력과 폐 기능, 호흡 근력

사이의 인과관계를 단정할 수 없다. 예를 들어 상지 근력이 향상되었기 때문에 FVC, FEV₁가 증가했는지, 혹은 호흡계가 잘 발달된 러너가 자연스럽게 상지 근력도 높은지 여부는 종단 연구나 중재 연구를 통해 확인해야 한다. 둘째, 본 연구에서는 러닝을 시작한 이후의 경과 연수와 같은 러닝 경력 정보는 수집하지 못하였다. 주당 러닝 빈도와 주간 주행거리가 현재의 훈련량을 일부 반영하긴 하지만, 장기간의 누적 러닝 경력은 근골격계 및 호흡기능에 추가적인 영향을 줄 수 있으므로, 향후 연구에서는 러닝 경력까지 함께 평가할 필요가 있다. 셋째, 표본 수가 48명으로 비교적 적고, 20-45세라는 제한된 연령 범위의 아마추어 러너만 포함되었기 때문에, 고령 러너나 질환을 가진 집단으로 일반화하기에는 주의가 필요하다. 넷째, 등속성 근력은 60°/s 단일 각속도에서만 평가되었으며, 폭발적 파워나 근지구력 지표, 실제 러닝 수행능력을 포함하지 못해 기능적 의미를 직접적으로 연결하는데 제약이 있다. 다섯째, 본 연구에서 사용한 회귀모형은 각 폐 기능·호흡 근력 지표에 대해 SS 또는 KS 하나씩만 포함한 단순 모형으로 구성되어 있으며, 연령, 성별, 신장, 체중, 흡연 여부, 러닝 훈련량과 같은 잠재적 교란변수를 공변량으로 포함한 다중 회귀모형을 구축하지 못했다. 따라서 본 연구에서 관찰된 상지·하지 근력과 각 호흡계 지표 간의 ‘차별적 연관성’ 패턴은 체격 및 훈련 특성의 차이를 충분히 배제하지 못한 상태에서 도출된 결과이며, 이러한 요인들이 일부 연관성을 설명했을 가능성을 배제할 수 없으므로 해석에 각별한 주의가 필요하다. 여섯째, 상관 계수와 회귀계수에 대한 95% 신뢰구간 및 다중비교 보정은 제시하지 못하여, 효과크기의 불확실성과 다수 검정에 따른 제1종 오류 가능성을 충분히 통제하지 못했다는 통계적 한계가 있다. 향후 연구에서는 더 큰 표본과 다양한 연령층을 대상으로 상지·하지 근력, 폐 기능, 호흡 근력, 실제 러닝 퍼포먼스를 동시에 평가하고, 연령·성별·체격·흡연·훈련량 등을 포함한 다중회귀모형 및 보수적인 다중비교 보정을 적용한 분석을 통해 상지 및 하지 근력의 독립적인 기여도를 검증하는 것이 필요하다.

요약하면, 본 연구는 아마추어 러너에서 상지 및 하지 등속성 근력이 폐 기능과 호흡 근력과 모두 유의한 양의 상관을 보이고, 상지 근력은 FVC, FEV₁와, 하지 근력은 MIP, MEP와 상대적으로 더 강한 연관성을 보일 가능성이 있음을 상관분석과 단순회귀 결과를 통해 탐색적으로 제시하였다. 이러한 결과는 사지 근력 평가가 러너의 호흡기능과 전신 체력 상태를 파악하는 데 유용한 보조 지표가 될 수 있음을 시사하며, 상·하지 근력 강화를 포함하는 통합적인 운동 처방이 호흡기능 최적화와 수행능력 향상에 기여할 수 있다는 기초 근거를 제공한다. 다만, 공변량을 포함한 다중회귀 분석과 보다 엄밀한 통계적 검증이 이루어지지 못했다는 점을 고려하여, 본 연구의 결과는 탐색적 수준의 패턴으로 이해하는 것이 타당하다.

V. 결 론

본 연구는 아마추어 러너를 대상으로 상지 및 하지 등속성 근력과 폐 기능(FVC, FEV₁, MVV), 호흡 근력(MIP, MEP) 간의 관계를 분석한 단면 연구이다. 상관·단순회귀분석 결과, 어깨 등속성 근력(SS)은 FVC와 FEV₁ 분산의 약 절반 수준을 설명할 정도로 폐 기능 지표와 비교적 밀접한 연관성을 보인 반면, 무릎 등속성 근력(KS)은 MIP와 MEP 분산의 약 4분의 1을 설명하여 호흡 근력 지표와 상대적으로 더 강한 연관성을 보이는 경향이 관찰되었다. 이러한 패턴은 아마추어 러너에서 상지 근력이 주로 폐 기능 수준을, 하지 근력이 호흡 근력 수준을 가늠하는 보조 지표로 활용될 가능성을 시사하며, 폐 기능이 낮은 경우 상지 및 견갑흉곽 근력 강화, 호흡 근력이 저하된 경우 하지 근력 및 지구력 강화를 우선 목표로 하는 차별적 운동 처방을 고려해 볼 수 있음을 보여준다.

다만 본 연구는 단면 연구 설계와 20-45세 아마추어 러너 48명이라는 제한된 표본에 기반하고 있으며, 연령, 성별, 신장, 체중, 흡연 여부, 러닝 훈련량과 같은 잠재적 교란요인을 회귀모형에 포함하지 못했다는 점에서, 관찰된 ‘차별적 연관성’이 체격과 훈련 특성의 영향을 완전히 배제한 결과로 해석되기에는 한계가 있다. 또한 상관·회귀계수에 대한 신뢰구간과 다중비교 보정을 제시하지 못한 점 역시 통계적 해석에 주의를 요한다. 향후 연구에서는 더 큰 표본과 다양한 연령·수준의 러너를 대상으로 연령·성별·체격·흡연·훈련량 등을 포함한 다중회귀모형과 중재 연구를 통해 상·하지 근력의 독립적인 기여도와 인과적 관계를 규명함으로써, 보다 정교한 호흡·운동 재활 및 러닝 트레이닝 전략 수립에 기여할 필요가 있다고 판단된다.

참고문헌

- Akınoğlu B, Kocahan T, Özkan T. The relationship between peripheral muscle strength and respiratory function and respiratory muscle strength in athletes. *J Exerc Rehabil*, 15(1);44-49, 2019.
- Arikan H, Yatar İ, Calik-Kutukcu E, et al. A comparison of respiratory and peripheral muscle strength, functional exercise capacity, activities of daily living and physical fitness in patients with cystic fibrosis and healthy subjects. *Res Dev Disabil*, 45-46;147-156, 2015.
- Balcı A, Akınoğlu B, Kocahan T, et al. The relationships between isometric muscle strength and respiratory functions of the Turkish National Paralympic Goalball Team. *J Exerc Rehabil*, 17(1);45-51, 2021.

- Chen L, Liu X, Wang Q, et al. Better pulmonary function is associated with greater handgrip strength in a healthy Chinese Han population. *BMC Pulm Med*, 20(1);114, 2020.
- Choi HE, Moon JY, Park HK, et al. Peak oxygen uptake and respiratory muscle performance in patients with COPD using TIRE device. *Medicine (Baltimore)*, 101(42);e31244, 2022.
- Dreessen L, Langer D, Gosselink R, et al. Respiratory muscle strength and handgrip strength in the oldest old: an observational study. *Gerontology*, 70(5);526-535, 2024.
- Durmuş ET, Akınoğlu B, Aydın T, et al. The interplay between shoulder pain, upper limb function, and respiratory capacity in wheelchair athletes. *Med J Bakirkoy*, 21(3);323-330, 2025.
- Gonçalves MM, Pontes LM, dos Santos BFM, et al. The relationship between handgrip strength and total muscle strength in Brazilian army military personnel. *Med Sport (Roma)*, 71(3);461-473, 2018.
- Kim NS, Kim JS, Oh DW, et al. Correlation between grip strength and pulmonary function and respiratory muscle strength in stroke patients over 50 years of age. *J Exerc Rehabil*, 14(6);1017-1023, 2018.
- Kocahan T, Akınoğlu B, Özkan T, et al. Determination of the relationship between respiratory function and respiratory muscle strength and grip strength of elite athletes. *Med J Islam World Acad Sci*, 27(3);91-97, 2019.
- Li C, Hsu M-J. Relationship between handgrip strength and pulmonary function, respiratory muscle strength, and cardiopulmonary fitness in community-dwelling older adults. *Top Geriatr Rehabil*, 39(3);191-196, 2023.
- Liu X, Li P, Wang Z, et al. Evaluation of isokinetic muscle strength of upper limb and the relationship with pulmonary function and respiratory muscle strength in stable COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 14;2027-2036, 2019.
- Oviedo GR, Guerra-Balic M, Baynard T, et al. Effects of aerobic, resistance and balance training in adults with intellectual disabilities. *Res Dev Disabil*, 35(11);2624-2634, 2014.
- Paneroni M, Cavicchia A, Beatrice S, et al. The Influence of Lung Function and Respiratory Muscle Strength on Quadriceps Muscle Fatigability in COPD Patients Under Long-term Oxygen Therapy. *Arch Bronconeumol*, 60(7);410-416, 2024.
- Ro HJ, Kim DK, Yoo JY, et al. Relationship between respiratory muscle strength and conventional sarcopenic indices in young adults: a preliminary study. *Ann Rehabil Med*, 39(6);880-887, 2015.
- Shah S, Darekar B, Salvi S, et al. Quadriceps strength in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Lung India*, 36(5);417-421, 2019.
- Shin HI, Kim DK, Seo KM, et al. Relation between respiratory muscle strength and skeletal muscle mass and hand grip strength in the healthy elderly. *Ann Rehabil Med*, 41(4);686-692, 2017.
- Simões LA, Dias JM, Marinho KC, et al. Relationship between functional capacity assessed by walking test and respiratory and lower limb muscle function in community-dwelling elders. *Rev Bras Fisioter*, 14(1);24-30, 2010.
- Son DH, Yoo JW, Cho MR, et al. Relationship between handgrip strength and pulmonary function in apparently healthy older women. *J Am Geriatr Soc*, 66(7);1367-1371, 2018.
- Tokgöz G, Erpek S, Ozbey N, et al. Associations between pulmonary function and muscle strength in Turkish national karate athletes. *J Clin Med*, 14(18);6370, 2025.