



신장-단축 주기를 활용한 하지 저항성 운동이 노년기 여성의 보행 능력, 근 기능 및 반응 속도에 미치는 영향

최수지(국민대학교, 박사과정) · 김용암(국민대학교, 박사과정) · 전지현*(국민대학교, 조교수)

국문초록

본 연구는 신장-단축주기(Stretch-Shortening Cycle: SSC)를 활용한 하지의 저항성 운동이 노년기 여성의 보행 능력, 근 기능 및 반응 속도에 미치는 영향을 규명하는데 목적이 있다. 연구 대상은 65세 이상의 건강한 지역사회 여성 노인 28명으로 무작위 배정을 통해 중재군(Intervention Group: IG, n=15)과 통제군(Control Group: CG, n=13)으로 구분하였다. IG는 12주간 주 2회 SSC운동프로그램에 참여하였으며, 모든 대상자는 보행, 신체 반응 속도, 앉았다 일어서기 검사(30s STS), 악력을 사전, 사후에 측정하였다. SPSS WIN 29.0.2.0 Program을 활용하여 집단 내 변화는 대응표본 t-검정 및 Wilcoxon부호순위검정, 집단 간 변화는 독립표본 t-검정 및 Mann-Whitney U 검정, 중재 효과의 상호 작용은 2×2혼합설계 반복측정 분산분석과 선형혼합모형을 활용하였다. 그 결과 IG의 보행 지표 중 보행속도 ($p<.05$), 활보장의 변동계수 활보장 변동계수($p<.05$)에서 유의한 변화가 확인되었으며, 반응 속도 지표 중 반응 속도의 변동계수가 사전 대비 유의하게 감소하였으나($p<.05$) 집단 간 차이, 집단×시간 상호작용은 유의하지 않았다. 30s STS와 악력에서는 CG에서 유의하게 감소하였고($p<.05$) 반면, IG에서는 유지되는 경향을 보였다. 결론적으로 신장-단축주기 기반의 하지 저항성 운동은 여성 노인의 보행과 일부 기능적 지표에서 제한적이지만 의미있는 개선 효과를 보였으며, 보행속도 및 활보장의 변동성 개선과 근기능 유지에 기여할 수 있음을 확인하였다. 노인의 기능적 독립성과 낙상 예방을 위한 중재 전략으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

한글주요어 : 신장-단축 주기, 하지 저항성 운동, 보행 능력, 반응 속도, 여성 노인

* 전지현, 국민대학교, E-mail : chunjh@kookmin.ac.kr

I. 서론

노화는 근골격계, 신경계, 심혈관계의 기능적 퇴화를 초래하여 신체 능력의 전반적인 감소를 초래한다(Clouston et al., 2013). 특히 노화로 인한 근섬유의 단면적 감소, type II 섬유 비율의 저하, 운동단위 재구성 실패 등과 같은 근육의 구조적·신경생리학적 변화가 나타나며, 이러한 변화는 근수축 속도 및 근파위의 저하와 운동 조절 능력의 약화로 이어진다(Lexell, 1995; Narici & Maffulli, 2010). 이로 인한 하지 근력의 감소는 보행속도 저하와 보행 변동성 증가 등 이동 효율성을 저하시키고 이는 노화에 따른 기능적 독립성 상실의 주요 요인으로 작용한다(Bogen et al., 2019).

보행은 전신 건강 상태와 생존율을 예측할 수 있는 핵심 지표로 제시되어 왔으며, 보행 능력의 저하는 단순한 이동성 감소를 넘어 낙상 위험 증가, 인지 기능 저하, 삶의 질 저하와 밀접한 관련이 있다(Studenski et al., 2011; Montero-Odasso et al., 2012; Binotto et al., 2018). 반응 속도의 저하(reaction time slowing) 또한 노화 과정에서 나타나는 대표적인 신경 행동학적 변화이며, 이는 자극을 인지하고 적절한 운동 반응을 생성하기까지의 인지적 처리 속도(cognitive processing speed) 및 운동 실행속도(motor execution speed) 감소에 기인한다(Fozard et al., 1994; Der & Deary, 2006). 반응 속도가 느려질수록 예기치 못한 외부 자극에 즉각적으로 대응하기 어려워지며, 이러한 반응 스텝 처리

지연은 균형 회복 반응의 둔화로 이어져 낙상 위험을 증가시키고 보행 중 동적 안정성을 저하시킨다(Tisserand et al., 2016; Dubbeldam et al., 2023). 따라서 노인의 보행 능력, 근력, 반응속도 저하는 단순한 신체기능의 감소가 아니라, 노년기의 삶의 질과 생존에 직접적인 영향을 미치는 중요한 건강 결정 요인으로 인식되고 있으며, 이를 개선하기 위한 효과적인 운동 중재 전략의 개발이 요구된다(Studenski et al., 2011; Kim et al., 2012).

특히, 여성 노인은 신체활동 수준이 낮고, 폐경 이후 호르몬 변화로 인한 근육 단백질 합성이 감소로 하지 근력의 약화가 두드러진다(Collins et al., 2019). 이러한 변화는 남성보다 빠른 근감소(sarcopenia)의 진행과 근 기능 저하를 유발하며, 결국 허약(frailty)과 낙상 위험을 높이는 주요 요인이 된다(Santos-Eggimann et al., 2009). 또한 여성 노인은 동일 연령대 남성보다 균형, 보행, 하지근력 등 기능 수행 능력이 저하되어 있으며(Butler et al., 2009), 낙상 발생률 또한 더 높은 것으로 보고되었다(Dinh et al., 2024). 이에 따라 여성 노인에게 근력과 반응속도의 저하가 일상생활 수행 능력 및 삶의 질에 미치는 영향이 더 클 가능성이 있다(Petnehazy et al., 2024). 따라서 노화에 따른 신체기능 저하 및 운동 중재 연구에서는 여성 노인을 독립된 주요 연구집단으로 설정하여 그에 적합한 운동 중재 효과를 검증할 필요가 있다.

저항운동(resistance training)은 노화에 따른 근육량, 근력, 및 신체기능의 저하를 예방하고, 보행 능력과 전반적인 신체 수행 능력을 향상시키는 효과

적인 전략으로 권고되고 있다(Fragala et al., 2019), 그러나 기존의 등장성(isotonic) 또는 등척성(isometric) 중심의 운동을 통한 단순한 근력 향상만으로는 낙상 예방과 밀접한 신경근 반응 속도(neuromuscular reaction speed)나 근파워 개선에는 한계가 있다(Wojtys et al., 1996). 선행 연구에서도 단순한 근력 향상만으로는 실질적인 낙상 빈도 감소나 낙상 예방과 밀접한 균형 및 보행 능력이 충분히 개선되기 어려운 것으로 보고되었으며(Claudino et al., 2021) 국내 메타분석 연구에서도 근력 향상이 직접적인 낙상 예방효과로 이어진다는 근거는 부족하여(박연수, 신인수, 2011) 근력 외에 신경근 기능 개선을 위한 중재가 필요하다는 의견이 제시되었다.

신장-단축 주기(Stretch-Shortening Cycle, SSC)는 근육이 빠르게 신장(eccentric)된 후 즉시 단축(concentric)되는 생리적 수축 메커니즘으로 근건복합체(muscle-tendon complex)의 탄성에너지를 효율적으로 활용하여 근파워를 효율적으로 향상시킬 수 있으며(Komi, 2003). 이러한 운동 형태의 특성은 근력뿐 아니라 신경근 활성화(neuromuscular activation)와 반응 속도 개선에도 유리한 것으로 보고되었다(McDermott et al., 2022), 특히, 신장-단축 주기에서는 신장 반사(stretch reflex)에 의해 신경근 활성도가 증가하게 되는데 이러한 신경근 활성도의 증가는 특히 기저 근활성도가 낮은 노인에게서 보행속도 증가와 밀접한 관련성이 있는 것으로 보고되

었다(Hvid et al., 2016).

또한 이 과정에서 근방추(muscle spindle)의 반사적 흥분과 골지진기관(GTO) 억제 반응의 완화가 발생하여, 운동단위의 동시 발화(synchronous activation)와 신경계의 흥분-억제 균형(excitation-inhibition balance)이 최적화되며(Flanagan & Comyns, 2008), 이러한 신경계의 조절 능력 향상은 움직임 시 힘의 정교한 조절을 통해 보행의 일정한 리듬을 만들어 보행 변동성 감소에 기여하는 것으로 나타났다(Patel et al., 2021).

그러나 대부분의 신장-단축주기 운동에 대한 관련 연구는 젊은 성인 또는 선수 집단을 대상으로 수행되어 왔으며, 일부 연구에서는 노인을 대상으로 한 SSC 기반 운동이 근력, 근파워, 기능적 수행 능력을 향상 시킨다고 보고하였으나(Van Roie et al., 2020; Váczai et al., 2014). 노인을 대상으로 한 SSC 기반의 운동 중재 연구의 수는 제한적이며, 특히 여성 노인이 근육량과 근력, 근파워 모두 남성보다 낮고, 노화가 진행됨에 따라 감소 폭이 더 크에도 불구하고(Brady & Straight, 2014) 기존 연구들은 대부분 남성 노인에게 집중되어있다. 따라서 본 연구는 신장-단축 주기를 활용한 12주간의 하지 근력운동이 지역사회 여성 노인의 보행 능력과 근력 및 반응 속도에 미치는 영향을 규명함으로써, 노인의 기능적 독립성과 낙상 예방을 위한 효과적인 운동 중재 전략을 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구수행에 앞서 K대학교 생명윤리위원회(IRB)로부터 승인(KMU-202505-HR-466)을 받은 후 연구계획에 따라 수행되었다.

연구대상자는 서울특별시 성북구 소재에 거주하고 있는 65세 이상 여성 노인으로, 외과적 질환이 없고 운동 참여가 가능한 자를 모집하였다. 선정 기준은 선천적인 하지 근골격계 질환이 없는 자, 최근 6개월 이내 하지의 정형외과적 진단을 받지 않은 자, 보조기구 없이 자립적 보행이 가능한 자였다. 연구 참여 전 모든 대상자에게 연구의 목적과 절차를 충분히 설명한 뒤, 자발적 동의를 얻었다. 또한, 신체적, 의학적 위험요인 및 하지 근골격계 질환을 확인하고 운동 참여가 적합한 상태임을 확인하기 위해 신체활동 준비설문지(Physical Activity Readiness Questionnaire+, PAR-Q+)를 실시하였다. 총 33명이 연구에 참여하였으며, 이후 무작위배정(randomization)을 통해 신장-단축 주기를 활용한 하지 근력 운동 집단과 통제 집단으로 나누었다. 최종적으로 12주간의 중재를 완료한 28명(Intervention Group; IG, n=15; Control Group; CG, n=13)의 자료를 최종 분석에 사용하였다.

2. 실험 도구 및 방법

1) 보행(Gait)

본 연구에서 보행은 Opto Gait System(Micro

Gait Co., Ltd., Bolzano, Italia)을 사용하여 측정하였다. OptoGait는 노인의 보행 안정성과 변동성을 평가하는 데 적합한 도구로 활용되고 있다(Beauchet et al., 2017; Raffegau et al., 2019). 측정 전, 대상자는 <그림 1>과 같이 출발선에 양발을 위치한 상태로 서서 준비하도록 하였다. 검사자의 시작 신호에 따라 대상자는 자연스러운 보행 패턴으로 5m의 직선구간을 양옆에 설치된 Opto Gait센서 바(bar) 사이를 따라 걷도록 하였다. 자연스러운 보행을 수행하기 위해 측정 전 연습을 1회 실시한 후, 동일한 조건에서 본 측정을 1회 실시하였다.

OptoGait는 적외선 센서가 내장된 광학식 측정시스템으로 대상자의 보행시 센서를 통해 0.001초 단위의 정밀도로 감지하며, 측정치는 기존 연구에서 높은 신뢰도(ICC=0.933-0.999, $P < 0.001$)를 보인 것으로 보고되었다(Lee et al., 2014). 본 연구에서는



그림 1. Opto Gait을 이용한 보행 측정

OptoGait로 측정된 데이터를 바탕으로 접지시간(contact time), 활보장(stride length), 보행속도(gait speed) 및 각 변인들의 변동계수(coefficient of variation, CV)를 산출하였다.

2) 반응 속도(Visual reaction time)

본 연구에서 신체 반응 속도 측정은 Opto Gait System(Micro Gait Co., Ltd., Bolzano, Italia)을 사용하여 측정하였다. Opto Gait 기반 반응속도 측정은 시각 자극에 대한 신체 반응 시간을 평가할 수 있는 타당한 방법으로 제시되었으며 노인을 대상으로 한 연구에서도 활용되고 있다(Jiménez-García et al., 2021). 측정 전, 대상자는 <그림 2>와 같이 앞에 설치된 모니터를 바라보고 측정 장비(Opto Gait) 사이에 한쪽 다리가 위치하게 서도록 하였다. 측정이 시작되면 모니터에는 초록색 원이 나타나며, 초록색 원이 빨간색으로 바뀌는 순간 대상자는 빠르게 발을 지면에서 떼었다가 내려놓도록 하였다. 시각 자극이 주어지고 지면에서 발을 떼기까지의 신체 반응시간을 측정하였으며, 측정 장비에 설정되어있는 반응 속도 프로토콜을 활용하여 측정하였다. 3회 연습 후 대상자의 주동 다리로 3회를 측정하였으며 측정된 값의 평균값과 변동계수(coefficient of variation, CV)를 산출하였다. 측정 시 100ms미만의 반응은 선행연구에 따라 예측 반응(anticipation)으로 간주하여 제외시키고 재측정을 실시하였다(Otaki & Shibata, 2019).

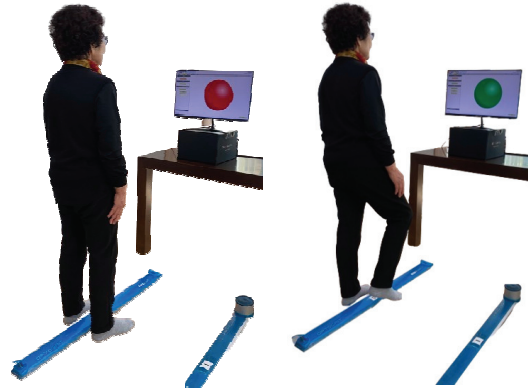


그림 2. 반응 속도 검사(Visual reaction time)

3) 앉았다 일어서기 검사(Sit to Stand: STS)

30초 앉았다 일어서기 검사는 노인의 하지의 근지구력 및 기능적 이동성을 평가하기 위한 표준화된 검사로 높은 신뢰도와 타당도가 보고되어 있다(Jones, Rikli, & Beam, 1999). 본 연구에서는 Senior Fitness Test(SFT; Rikli & Jones, 2001)의 프로토콜을 적용하여 시행되었다. 측정 전, 대상자는 표준 높이(43~45cm)의 의자에 앉아 발을 바닥에 평평하게 두고, 양팔을 가슴 앞에서 교차한 상태로 앉아서 준비하였다. 검사자의 신호와 함께 가능한 빠른 속도로 일어섰다 앉기를 30초 동안 반복하였다. 검사자는 정확하게 앉았다가 일어나 완전히 펴진 상태를 1회로 간주하여 횟수를 기록하였다. 측정 전 짧은 연습 시도(1~2회)를 시행하고, 본 측정 시 정확한 수행이 이루어지지 않은 시도는 점수에서 제외하였다.



그림 3. 앉았다 일어서기 검사(Sit to Stand)

4) 악력(Hand grip strength)

악력은 전신 근기능을 대표하는 지표로서 타당도와 신뢰도가 높아 노인의 근기능 평가에 표준적으로 사용되고 있다(Bohannon, 2019). 본 연구에서는 디지털 악력계(Takei Co., Ltd, Japan)를 사용하여 측정하였다. 측정 전 대상자는 양발을 어깨너비로 벌리고 선 상태에서 어깨를 중립 위치에 유지한 채, 손바닥이 몸을 향하도록 주동팔에 악력계를 잡고 준비하였다. 측정 시에는 검사자의 신호와 함께 시작 자세를 유지하면서 주먹을 최대한 강하게 쥐는 힘을 악력계를 통해 측정했으며 총 2회를 실시하여 높은 기록을 사용했다(Savas et al., 2023).

5) 운동 프로토콜

본 연구의 신장-단축주기를 활용한 하지 근력 운동은 Correa 등(2013), Flanagan과 Comyns(2008), Vaczi 등(2014)을 참고하여 구성하였으며 운동 중재



그림 4. 악력 측정

프로토콜은 등척성 운동, 등장성 운동, 신장성운동, 신장-단축주기 운동을 점진성의 원리에 입각하여 실시하였다. 1-3주차에는 등척성 및 등장성운동, 4-6주차에는 등장성 및 신장성운동, 7-9주차에는 저항도의 신장-단축주기(Stretch-shortening cycle) 운동, 10~12주차에는 중강도의 신장-단축주기 운동 순으로 운동 형태를 변경하였으며, 운동 강도는 Borg 6-20 RPE 척도를 이용하여 점진적으로 증가시켰다. 1-3주는 RPE 9-11, 4-6주는 RPE 11-13, 7-9주는 RPE 12-14, 10-12주는 RPE 13-15 수준을 목표로 하였고 각 세트 종료 시 참가자의 RPE가 설정 범위를 벗어날 경우, 반복 횟수 또는 휴식 시간을 조절하여 목표 강도가 유지되도록 하였다. 한 세션의 프로그램은 준비운동 10분, 본 운동 30분, 정리운동 10분으로 구성하였다. 운동 프로그램은 총 12주간 주 2회 실시하였다. 통제 그룹의 경우 운동 중재를 실시하지 않았으며 자세한 운동 중재 프로토콜은 다음<표 1>과 같다.

표 1. 운동프로토콜

| 주차 | 형태 | 운동 유형 | 시간 및 세트 수 | 강도 |
|--------------------------|----------------|--|-----------------------|-------|
| 1-3 | 등척성 및 등장성 운동 | - Warm-up | | |
| | | - Leg Extention (Isometric / Isotonic) | Warm-up: 10min | |
| | | - Leg Flexion (Isometric / Isotonic) | Isometric: | |
| | | - Hip Abduction (Isometric / Isotonic) | 10sec × 2set | RPE: |
| | | - Hip Adduction (Isometric / Isotonic) | Isotonic: | 9~11 |
| | | - Standing Squat (Isometric / Isotonic) | 20rep × 2sets | |
| | | - Both Leg calf raise (Isometric / Isotonic) | Coll down: 10min | |
| - Cool down (Stretching) | | | | |
| 4-6 | 등장성 및 신장성 운동 | - Warm-up | | |
| | | - Leg Extention (Isotonic / Eccentric) | Warm-up: 10min | |
| | | - Leg Flexion (Isotonic / Eccentric) | Isotonic: | |
| | | - Hip Abduction (Isotonic) | 25rep × 2sets | RPE: |
| | | - Hip Adduction (Isotonic) | Eccentric: | 9~13 |
| | | - Standing Squat (Isotonic / Eccentric) | 15rep × 2sets | |
| | | - Both Leg calf raise (Isotonic / Eccentric) | Coll down: 10min | |
| - Cool down (Stretching) | | | | |
| 7-9 | 저강도의 신장-단축주기운동 | - Warm-up | | |
| | | - Leg Extention (Low Intensity SSC) | | |
| | | - Leg Flexion (Low Intensity SSC) | Warm-up: 10min | |
| | | - Hip Abduction (Low Intensity SSC) | Low Intensity SSC: | RPE: |
| | | - Hip Adduction (Low Intensity SSC) | 15~25rep × 2sets | 12~14 |
| | | - Patial Standing Squat Jump (Low Intensity SSC) | Coll down: 10min | |
| | | - Both Leg Ankle bouncing (Low Intensity SSC) | | |
| - Cool down (Stretching) | | | | |
| 10-12 | 중강도의 신장-단축주기운동 | - Warm-up | | |
| | | - Leg Extention (Middle Intensity SSC) | | |
| | | - Leg Flexion (Middle Intensity SSC) | Warm-up: 10min | |
| | | - Hip Abduction (Middle Intensity SSC) | Middle Intensity SSC: | RPE |
| | | - Hip Adduction (Middle Intensity SSC) | 8~12rep × 2sets | 13~15 |
| | | - Standing Squat Jump (Middle Intensity SSC) | Coll down: 10min | |
| | | - Both Leg Ankle Jump (Middle Intensity SSC) | | |
| - Cool down (Stretching) | | | | |

3. 자료처리

본 연구에서 수집된 자료는 통계 프로그램 SPSS 29.0 for Windows를 이용하여 분석하였다. 각 변인

의 기술통계로 평균과 표준편차를 산출하였으며, 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였다. 사전 동질성 검정은 정규성을 충족한 변인에 대해 독립표본 t-검정을, 정규성을 충족하지 않은 변인에

대해서는 Mann-Whitney U 검정을 적용하였다. 집단 내 사전·사후 비교는 정규성을 충족한 경우 집단 대응표본 t-검정, 비정규 분포의 경우 Wilcoxon 부호순위검정을 사용하였다. 집단 간 사전·사후 변화의 비교는 각 변인의 변화량($\Delta = \text{post-pre}$)을 산출한 뒤, 정규 분포 변인은 독립표본 t-검정, 비정규 분포 변인은 Mann-Whitney U 검정을 통해 분석하였다. 중재 효과의 상호 작용은 시간(사전·사후) \times 집단(중재군·통제군)을 요인으로 2 \times 2 혼합설계 반복측정 분산분석으로 검증하였으며, 정규성 위반 등으로 혼합분석의 가정 충족이 어려운 경우에 보조적으로 선형혼합모형을 활용하였다. 모든 통계적 유의수준은 양측 검정을 기준으로 $p < .05$ 로 설정하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 신체적 특성

본 연구의 대상자는 중재군(Intervention Group; IG) 15명과 통제군(Control Group; CG) 13명으로 총 28명이 참여하였다. IG의 평균 연령은 75.0 ± 5.3 세, 평균키는 156 ± 5.4 cm, 평균 체중은 57.5 ± 7.7 kg, 평균 체질량지수(Body Mass Index; BMI)는 $23.8 \pm 2.4 \text{ kg/m}^2$ 이었으며 CG의 평균 연령은 76.3 ± 4.1 세, 평균키는 155 ± 6.4 cm, 평균 체중은 55.1 ± 5.5 kg, 평균 BMI는 $22.9 \pm 2 \text{ kg/m}^2$ 로 나타났다. 연구대상자의 신체적 특성에 대한 변인은 사전 동질성 검증 결과, 모든 항목에서 집단 간 유의한 차이가

나타나지 않아, 두 집단은 사전 동질성이 확보된 것으로 판단된다.

표 2. 연구대상자의 신체적 특성(N=28)

| Variable | IG(n=15) | CG(n=13) |
|-------------------------|----------------|----------------|
| Age(yr) | 75.0 ± 5.3 | 76.3 ± 4.1 |
| Height(cm) | 156 ± 5.4 | 155 ± 6.4 |
| Weight(kg) | 57.5 ± 7.7 | 55.1 ± 5.5 |
| BMI(kg/m ²) | 23.8 ± 2.4 | 22.9 ± 2.0 |

BMI = Body mass index

2. 신장-단축 주기를 활용한 12주간의 하지 운동에 따른 집단 내 사전-사후 비교

중재군(IG)의 보행 지표에는 유의한 개선이 나타났다. 평균 보행속도는 운동 전 $1.20 \pm 0.195 \text{ (m/s)}$ 에서 운동 후 $1.32 \pm 0.246 \text{ (m/s)}$ 로 유의하게 증가하였고($p < .05$), 지면 접촉시간(contact time)은 $0.64 \pm 0.04 \text{ (sec)}$ 에서 $0.60 \pm 0.04 \text{ (sec)}$ 로 유의하게 감소하였다($p < .05$). 활보장(stride length)은 $117 \pm 17.8 \text{ (cm)}$ 에서 $125 \pm 19.1 \text{ (cm)}$ 로 유의하게 증가하였으며($p < .001$), 활보장의 CV는 $8.47 \pm 3.2 \text{ (%)}$ 에서 $3.43 \pm 1.88 \text{ (%)}$ 로 감소하였다. 보행속도의 CV는 두 집단 모두 유의한 변화가 없었다.

반응 속도(reaction time)는 IG의 CV가 $11.5 \pm 0.07 \text{ (%)}$ 에서 $6.73 \pm 0.06 \text{ (%)}$ 으로 유의하게 감소하였다($p < .05$).

근기능 지표에서 IG의 변화는 나타나지 않았으나, 대조군(CG)의 30초 앉았다 일어서기 검사(30s sit-to-stand test, STS)의 결과, 반복 횟수가 $20.7 \pm 3 \text{ (reps)}$ 에서 $19.9 \pm 2.8 \text{ (reps)}$ 로 감소하였고($p < .05$),

약력(grip strength) 또한 23.0±3.15(kg)에서 22.7 ±3.29(kg)로 유의하게 감소한 것으로 나타났다 ($p<.05$). 세부 결과는 <표 3-1>, <표 3-2>, <표 3-3>에 제시하였다.

3. 신장-단축 주기를 활용한 12주간의 하지 운동에 따른 집단 간 변화량 비교 및 중재 효과

보행 관련 변인의 변화량 분석 결과, 보행속도(walking speed)는 IG에서 0.122 ± 0.16(m/s) 증가

한 반면, CG는 0.045 ± 0.17(m/s)로 감소하여 두 집단 간 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($t=2.654, p=.013$). 보행속도의 CV는 IG의 감소폭이 $-1.11 \pm 3.82(\%)$ CG의 감소폭 $0.90 \pm 1.99(\%)$ 보다 크게 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다. 지면 접촉시간은 IG가 $-0.04 \pm 0.05(\text{sec})$ 감소하고, CG는 $-0.01 \pm 0.08(\text{sec})$ 증가했으나 통계적으로 유의하지 않았다($t=-1.962, p=.061$). 지면 접촉시간의 CV는 IG의 감소폭이 $-0.35 \pm 3.49(\%)$ CG의 감소폭

표 3-1. 보행 관련 변인의 집단 내 사전·사후 비교

| Variable | Group | pre | post | t / Z | p |
|------------------------------|-----------|--------------|--------------|-----------|---------|
| Walking speed (mean, m/s) | IG (n=15) | 1.20 ± 0.195 | 1.32 ± 0.246 | t= -2,944 | .011* |
| | CG (n=13) | 1.08 ± 0.212 | 1.03 ± 0.184 | t= 0.946 | .363 |
| Walking speed (CV,%) | IG (n=15) | 5.64 ± 2.32 | 4.53 ± 2.24 | t= 1.125, | .279 |
| | CG (n=13) | 4.59 ± 1.85 | 5.49 ± 2.63 | t= -1.629 | .129 |
| Contact time (mean, sec) | IG (n=15) | 0.64 ± 0.04 | 0.60 ± 0.04 | t= 2.901 | .012* |
| | CG (n=13) | 0.68 ± 0.08 | 0.69 ± 0.06 | t= -0.528 | .607 |
| Contact time (CV,%) | IG (n=15) | 5.51 ± 1.99 | 5.57 ± 2.84 | t= 0.386 | .705 |
| | CG (n=13) | 5.28 ± 1.33 | 5.27 ± 1.38 | t= 0.029 | .978 |
| Stride Length (mean, cm) | IG (n=15) | 117 ± 17.8 | 125 ± 19.1 | Z= 3.210 | .001*** |
| | CG (n=13) | 101 ± 26.8 | 104 ± 16.0 | Z= -0.245 | .807 |
| Stride Length (CV,%) | IG (n=15) | 8.47 ± 3.20 | 3.43 ± 1.88 | Z= -3.011 | .003** |
| | CG (n=13) | 5.35 ± 4.46 | 5.60 ± 2.94 | Z= 0.140 | .889 |

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$, IG: Intervention group, CG: Control group, CV: Coefficient of Variation

표 3-2. 반응 속도 관련 변인 집단 내 사전·사후 비교

| Variable | Group | pre | post | t / Z | p |
|------------------------------|-----------|--------------|--------------|-----------|-------|
| Reaction time (mean, sec) | IG (n=15) | 0.605 ± 0.10 | 0.564 ± 0.11 | Z= -1,817 | .069 |
| | CG (n=13) | 0.622 ± 0.09 | 0.644 ± 0.07 | Z= 1.153 | .249 |
| Reaction time (CV,%) | IG (n=15) | 11.5 ± 0.07 | 6.73 ± 0.06 | Z= -2,158 | .031* |
| | CG (n=13) | 9.61 ± 0.07 | 6.61 ± 0.04 | Z= -0.874 | .382 |

* $p<.05$, IG: Intervention group, CG: Control group, CV: Coefficient of Variation.

표 3-3. 근기능 관련 변인 집단 내 사전·사후 비교

| Variable | Group | pre | post | t / Z | p |
|---------------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------|
| Reaction time (mean, sec) | IG (n=15) | 19.3 ± 4.4 | 20.9 ± 2.7 | t= -1.867 | .083 |
| 30s STS (reps) | CG (n=13) | 20.7 ± 3.0 | 19.9 ± 2.8 | t= 2.856 | .014* |
| Hand grip strength (kg) | IG (n=15) | 22.3 ± 3.97 | 23.5 ± 4.48 | t= -1.982 | .079 |
| | CG (n=13) | 23.0 ± 3.15 | 22.7 ± 3.29 | t= 2.291 | .041* |

* $p < .05$, IG: Intervention group, CG: Control group

표 4. 집단 간 변화량 비교 및 중재 효과

| Variables | IG Δ (M \pm SD) | CG Δ (M \pm SD) | t / Z | p |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|-------|
| Walking speed (mean, m/s) | 0.122 ± 0.16 | -0.045 ± 0.17 | t= 2.654 | .013* |
| Walking speed (CV, %) | -1.11 ± 3.82 | 0.90 ± 1.99 | t= -1.779 | .089 |
| Contact time (mean, sec) | -0.04 ± 0.05 | 0.01 ± 0.08 | t= -1.962 | .061 |
| Contact time (CV, %) | -0.35 ± 3.49 | -0.01 ± 1.45 | t= -0.341 | .737 |
| Stride Length (mean, cm) | 7.93 ± 7.01 | 2.61 ± 21.15 | Z= -2.050 | .041* |
| Stride Length (CV, %) | -5.04 ± 4.27 | 0.26 ± 6.56 | Z= -2.050 | .041* |
| Reaction time (mean, sec) | -0.04 ± 0.11 | 0.04 ± 0.13 | Z= -1.774 | .080 |
| Reaction time (CV, %) | -4.72 ± 7.53 | -3.00 ± 9.75 | Z= -1.083 | .294 |
| 30s STS (reps) | 1.667 ± 3.46 | -0.846 ± 1.07 | t= 2.672 | .016* |
| Hand grip strength (kg) | 1.227 ± 2.51 | -0.29 ± 0.46 | t= 2.295 | .036* |

* $p < .05$, ** $p < .01$ IG: Intervention group, CG: Control group, CV: Coefficient of Variation

-0.01 ± 1.45(%)보다 크게 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다. 활보장은 IG의 증가폭이 7.93 ± 7.01(cm) CG의 증가폭 2.61 ± 5.25(cm)보다 통계적으로 유의하였으며, 활보장의 CV 또한 IG의 감소폭이 -5.04 ± 4.27(%) CG보다 2.61 ± 6.56(%) 유의하게 감소하였다(Z=-2.052, p=.041). 반응 속도의 변화량은 IG가 -0.04 ± 0.11(sec) CG보다 0.03 ± 0.14(sec) 감소하였으나 유의하지 않았고(Z=-1.774, p=.08), 반응속도의 CV 또한 유의하지 않았다.(Z=-1.81, p=.071) 30s STS의 변화량은 IG가 1.667 ±

3.46(reps) CG가 -0.846 ± 1.07(reps)로 통계적으로 유의하였다. 악력의 변화량 또한 IG가 1.227 ± 2.51(kg) CG가 -0.29 ± 0.46(kg)으로 통계적으로 유의하였다. 결과는 <표 4>에 제시하였다.

4. 집단×시간 상호작용 효과

분석 결과, 보행 관련 변인에서 상호작용 효과가 확인되었다. 보행속도(Walking speed)는 시간×집단 상호작용 효과($p=.013$, partial $\eta^2=.213$)가 유의하였고, 보행속도의 변동계수(CV)는 유의하지 않았

다. 지면 접촉시간(Contact time)은 시간 × 집단 상호 작용 효과가($p=.042$, $r=.340$) 유의하였고, 접촉시간의 변동계수(CV)는 유의하지 않았다. 활보장(Stride length)은 유의하지 않았으며 활보장의 변동성(CV)은 시간 × 집단 상호작용 효과($p = .001$, $r = .57$)가 유의하였다. 반응 속도 관련 변인에서는 상호작용의 효과가 나타나지 않았다. 근기능 지표에서 30s STS는 시간 × 집단 상호작용 효과가 유의하였고($p = .018$, partial $\eta^2 = .195$) 약력 또한 시간 × 집단 상호작용 효과가

유의하였다($p = .042$, partial $\eta^2 = .150$). 결과는 <표 5-1>, <표 5-2>, <표 5-3>에 제시하였다.

IV. 논의

본 연구는 12주간의 신장-단축주기(Stretch-Shortening Cycle, SSC) 기반의 하지 저항운동이 지역사회에 거주하는 65세 이상인 여성 노인의 보

표 5-1. 보행 관련 변인 집단 × 시간 상호작용 효과

| Variable | Statistical test | Effect tested | Statistic | p | Effect Size |
|---------------------------|------------------|---------------|-----------|---------|---------------|
| Walking speed (mean, m/s) | Mixed ANOVA | Time × Group | F=7,046 | .013* | $\eta^2=.177$ |
| Walking speed (CV, %) | Mixed ANOVA | Time × Group | F=2,907 | .100 | $\eta^2=.101$ |
| Contact time (mean, sec) | LMM | Time × Group | t=2,21 | .042* | $r=.40$ |
| Contact time (CV, %) | Mixed ANOVA | Time × Group | F=0,105 | .749 | $\eta^2=.004$ |
| Stride Length (mean, cm) | Mixed ANOVA | Time × Group | F=0,846 | .366 | $\eta^2=.032$ |
| Stride Length (CV, %) | LMM | Time × Group | t=3,52 | .001*** | $r=.57$ |

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$ CV: Coefficient of Variation

표 5-2. 반응속도 관련 변인 집단 × 시간 상호작용 효과

| Variable | Statistical test | Effect tested | Statistic | p | Effect Size |
|---------------------------|------------------|---------------|-----------|------|-------------|
| Reaction time (mean, sec) | LMM | Time × Group | t=1,94 | .056 | $r=0.36$ |
| Reaction time (CV, %) | LMM | Time × Group | t=0,55 | .584 | $r=0.11$ |

CV: Coefficient of Variation

표 5-3. 근기능 관련 변인 집단 × 시간 상호작용 효과

| Variable | Statistical test | Effect tested | Statistic | p | Effect Size |
|-------------------------|------------------|---------------|-----------|-------|---------------|
| 30s STS (reps) | Mixed ANOVA | Time × Group | F=6.316 | .018* | $\eta^2=.195$ |
| Hand grip strength (kg) | Mixed ANOVA | Time × Group | F=4.59 | .042* | $\eta^2=.150$ |

* $p < .05$, CV: Coefficient of Variation

행, 반응 속도, 근력 등 기능적 수행 능력에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 연구 결과, 보행속도, 지면 접촉시간, 보행 변동성 등 일부 보행 지표와 근기능 지표인 30s STS, 악력에서 중재의 긍정적 변화가 관찰되었으나 모든 변인에서 일관되게 유의한 결과를 보이지는 않았다. 따라서 본 연구 결과는 SSC기반의 하지 저항운동이 여성 노인의 기능적 체력 향상에 기여할 가능성을 시사하지만 효과의 범위나 강도가 제한적일 수 있다는 것을 고려할 필요가 있다.

보행 관련 변인에서 IG는 보행속도, 지면 접촉시간, 활보장 및 활보장의 CV가 사전 대비 유의하게 증가하였으며, 집단 간 비교에서는 보행속도, 활보장 및 활보장의 CV가 유의미한 개선을 보였다. 반복 측정 분석에서는 보행속도, 지면 접촉시간, 활보장의 CV에서 집단 × 시간 상호작용 효과가 유의하게 확인되었고 보행속도의 CV와 지면 접촉시간의 CV는 집단 내 · 간 및 반복측정 분석에서 모두 유의하지 않았다.

이러한 SSC기반의 운동 효과는 신경생리적 적응(neural adaptation) 관점에서 이해할 수 있다. SSC는 근섬유의 신장-단축 과정에서 신장반사(stretch reflex)와 탄성에너지 활용을 극대화하여 근력뿐 아니라 근수축 속도, 반응속도, 신경근 협응을 동시에

자극한다. Van Roie 등(2020), Váczí 등(2014)의 연구에서 고령 남성을 대상으로 SSC 기반 플라ิโอ메트릭 운동이 전통적인 저항운동에 비해 힘 발현 속도(rate of force development: RFD) 및 근수축 반응속도(reaction latency) 향상 등 신경적 적응(neural adaptation)을 더 강하게 유도하는 것이 확인되었으며, 이러한 기전은 보행 시 빠른 근수축과 이완능력을 개선시키고 근섬유 내 근방추의 민감도를 높여 자세 반응 능력을 향상시킴으로써(Komi, 2003) 본 연구에서 확인된 보행속도 증가, 활보장 증가, 보행 변동성 감소 등 보행 효율성 향상으로 이어졌을 가능성이 높다. 실제로 Beijersbergen et al.(2017)은 파워 트레이닝이 노인의 하지 근신경 활성도를 증가시켜 보행속도를 향상시킨다고 보고하였고, Uematsu et al.(2018) 역시 SSC 특성을 갖는 운동이 보행속도와 활보장의 증가 및 보행의 운동 역학적 메커니즘 변화를 유도한다고 제시하였다. 따라서 본 연구에서 나타난 보행과 관련된 지표의 개선은 SSC 기반의 운동이 단순히 근파워를 향상시키는 데 그치지 않고, 신경근 조절(neuromuscular control) 및 기능적 안정성(functional stability)을 증진시킴으로써 보행 능력을 향상시키는데 기여 할 수 있음을 의미 한다.

반응 속도는 IG에서 향상되는 경향성이 나타났으

나 통계적으로 유의하지 않았고, 반응 속도의 CV는 집단 내 결과에서 유의하게 감소한 것으로 나타났으나 집단 간, 집단×시간 상호작용 효과에서는 유의하지 않았다. 이러한 결과는 IG에서 반응 수행의 일관성이 향상 될 가능성을 시사하지만, 그 변화가 통제군과 비교했을 때 충분히 강하거나 일관적이지 않았음을 의미한다. 이는 본 연구에서 적용된 SSC 기반 운동이 반응 속도 및 변동성을 개선하는데 강도나 자극 특성, 시간이 충분하지 않았음을 의미할 수 있다.

반응 속도는 근신경계의 민감성, 시각-인지 처리 속도, 신체적 반응 과정 등이 복합적으로 작용하는 변인으로 선행 연구인 LaRoche 등(2008)의 연구에서도 젊은 여성과 노인 여성을 대상으로 8주간의 폭발적 저항 훈련을 실시한 결과, 노인 여성은 신경근 적응의 둔화로 인해 반응 속도와 신경 활성화(premotor time)에는 유의한 변화가 없었다고 보고하였다. 또한 Kimura 등(2010)은 12주간의 근력 훈련 프로그램이 근지구력에는 긍정적인 영향을 주었으나, 반응 속도 및 인지적 수행에는 유의한 변화를 유발하지 못했다고 보고했는데, 이는 단기간의 근력 중심의 운동이 신체적 체력 요소 개선에는 효과적일 수 있으나, 신경생물학적 수준에서의 인지기능 개선을 유도하기에는 12주간의 비교적 짧은 저항운동으로는 뇌유래신경영양인자(BDNF)나 인슐린유사성장인자-1(IGF-1)의 증가를 유발하기에는 부족하며, 이에 따라 신경가소성(neuroplasticity)과 시냅스 효율성(synaptic efficiency)의 변화가 나타나지 않았을 가능성을 제시하였다.

이러한 선행 연구들은 단기간의 근력 중심운동만

으로는 신경 처리 속도나 인지-운동 통합 반응을 개선하기 어려움을 시사하며, 비교적 단기간인 12주간의 운동 중재로는 반응 속도의 변화가 집단 간 차이를 유발할 만큼 트레이닝 효과가 충분하지 않았음을 의미할 수 있다. 그럼에도 중재군의 집단 내 결과에서 나타난 변동계수(CV)의 개선은 절대적 반응 속도 보다 신경계의 자극-반응 회로안정화(stimulus-response loop stabilization)와 반응 수행의 일관성 향상이 우선적으로 나타났음을 의미하며, Meneghini 등(2022)의 연구에서도 저항운동 집단에서 반응 속도의 개인 내 변동성이 감소하는 경향이 확인되어, 초기 중재 단계에서는 반응 속도 그 자체보다 반응의 변동성 감소가 더 민감한 지표일 수 있음을 보여주었다. 따라서 본 연구의 결과 또한 중재 효과의 초기 형태로 해석 될 수 있으나, 운동 중재가 반응 속도를 유의하게 변화시키기 위해서는 시각 자극 반응 훈련 등 복합 운동 프로그램이 필요할 가능성이 있다.

한편, 하지 근지구력을 평가한 30초 STS 검사에서 중재군은 사전 대비 STS 반복 횟수에 유의한 변화를 보이지 않았으나 대조군은 유의하게 감소를 나타냈으며, 집단 간 비교와 집단×시간 상호작용 효과에서도 통계적으로 유의한 차이가 확인되었다. 이러한 결과는 본 연구 참여자의 사전 평균이 Rikli & Jones(1999)의 연수에서 제시한 미국 노인 표준값(15.4±3.1)을 상회하는 수준(19.3±4.4)이었던 점을 고려하면 훈련 후 유의한 증가가 제한적으로 나타난 것은 천장효과(ceiling effect)의 영향일 가능성이 있다. 또한 Bergland 와 Strand(2019)는 고기능 노인(high-functioning older adults) 집단에서는

STS 계열 검사가 미세한 근기능 변화를 향상을 탐지하기에는 민감도가 낮다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서도 STS 점수의 제한적인 변화는 측정 도구의 민감도 한계에 따른 결과로 해석될 수 있다. 또한, 대조군의 결과에서 나타난 것처럼 일반적으로 노화가 진행됨에 따라 하지 근기능은 점차 저하되지만 (Trombetti et al., 2016), 본 연구에서 중재군은 근력 저하 없이 수행 능력을 유지하였다. 이는 신장-단축 주기를 활용한 하지 운동이 노인의 하지 근기능 저하를 예방하고, 장기적으로 유지에 기여할 수 있음을 시사한다.

또한 악력에서도 CG는 사전 대비 유의한 감소가 나타난 반면, IG는 감소 없이 사전 수준을 유지하였다. 이러한 결과는 하지 중심운동이 악력 향상으로 직접 이어지지 않았다고 보고한 Yaginuma 등(2017)의 연구와 일치한다. 다만, IG의 악력이 유지되었다는 점은 훈련하지 않은 부위에서도 근기능이 간접적으로 보존되는 현상인 교차 훈련 효과(cross-education)와 관련될 가능성을 배제할 수 없다. 비훈련 사지(untrained limb)에서도 근력 향상이나 운동 수행 능력 개선이 나타나는 현상인 교차 교육 효과(cross-education)는 운동강도가 높고 편심성 수축이 포함될 때 뚜렷하게 나타나는 것으로 알려져 있으나(Altheyab et al., 2024) 본 연구의 운동 강도는 상대적으로 낮은 강도로 수행되어 이러한 신경적 적응을 충분히 유발하기에는 제한적이었을 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 중재군의 악력이 유지된 현상은 하지 근력운동을 통해 유발된 전신적 생리 반응(IGF-1, GH자극), 운동피질 활성화

(corticospinal drive) 증가 등을 통해 간접적으로 상지의 근기능 유지에 기여했을 가능성을 시사한다 (Curovic et al., 2024). 즉, 본 연구에서 관찰된 악력 유지 효과는 신경·내분비 기반의 보호 효과(neuroprotective or muscle-preserving effect)로 해석하는 것이 보다 타당하다.

따라서 본 연구의 결과를 종합하면 SSC 기반 하지 운동은 단순 근력 향상을 넘어 근수축 속도, 근파워, 신경근 활성화, 반응 안정성, 보행 효율성 등 기능적 요인에 대해 다차원적인 개선 가능성을 보여준다. 특히 여성 노인을 대상으로 한 본 연구의 결과는 SSC 기반의 저항 운동이 단순한 근력 향상뿐만 아니라 신경생리학적 적응과 운동 조절 능력 향상을 유도하여, 노인의 기능적 독립성과 낙상 예방에 기여할 수 있는 잠재적 중재 전략임을 시사한다.

V. 결론

본 연구는 지역사회에 거주하는 여성 노인을 대상으로 12주간의 신장-단축 주기를 활용한 하지 운동이 보행, 반응속도, 근력 등 기능적 수행 능력에 미치는 영향을 검증하여 노인 운동 프로그램을 위해 실질적인 기초자료를 제공하고자 하였다. 연구 결과, 일부 기능적 수행 지표에서는 긍정적인 변화가 관찰되었으나, 모든 변인에서 일관된 향상이나 강력한 효과가 나타나지는 않았다.

첫째, 보행 관련 변인에서 중재군(IG)은 보행속

도, 활보장의 변동계수(CV)에서 집단간 변화량 비교 및 집단×시간 상호작용 효과가 유의하게 나타났으며, 이는 SSC기반의 하지 저항운동이 보행기능 개선에 기여했음을 시사한다. 반면 보행속도의 변동계수(CV), 지면 접촉시간, 지면 접촉시간의 변동계수(CV), 활보장에서는 집단 내·간, 집단×시간 상호작용 효과에서 일관된 유의성을 보이지 않아 SSC기반의 하지 저항운동이 모든 보행 변인에 영향을 주지는 않는 것을 확인하였다.

둘째, 반응 속도에서는 중재군(IG)의 반응속도의 변동계수(CV)가 사전 대비 유의하게 감소하였으나, 집단 간 차이나 집단×시간 상호작용은 유의하지 않았다. 이는 SSC기반의 하지 저항운동이 반응 속도의 향상을 일으키기보다 반응 수행의 일관성을 다소 개선하는 데 그쳤음을 의미하며, 반응 속도 향상을 위해서는 보다 장기간 또는 인지 자극 요소가 포함된 복합 중재가 필요함을 시사한다.

셋째, 근기능 관련 변인에서는 30s STS와 악력 모

두 집단 간 상호작용 효과가 유의하였으며, IG에서는 사전 대비 유의한 변화가 없었으나, CG에서는 유의하게 감소하여 CG의 감소가 효과에 영향을 미친 것으로 보여진다. 즉 SSC기반의 하지 저항 운동이 하지 근지구력과 악력 유지에 보호적 역할을 수행했을 가능성은 있으나, 근력을 직접적으로 향상시키는 효과를 보였다고 단정하기는 어렵다.

결론적으로, 12주간의 신장-단축주기 기반의 하지 저항운동은 여성 노인의 보행과 일부 기능적 지표에서 제한적이지만 의미 있는 개선 효과를 보였으며, 특히 보행속도 및 활보장의 변동성 개선과 근기능 유지에 기여할 수 있음을 확인하였다. 그러나 반응 속도 향상에 대해서는 명확한 결론을 내리기 어려우며, 향후 연구에서는 더 높은 운동 강도, 긴 중재 기간, 인지 자극을 포함한 복합 운동을 고려하여 실제적인 신경생리학적 지표, 내분비계 반응, 근파워 지표 등을 확인할 수 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 박소연, 신인수(2011). 국내 노인을 대상으로 한 낙상 예방 운동프로그램이 근력증가에 미치는 효과: 메타분석. **한국전문물리치료학회지**, 18(3), 38-48.
- Altheyab, A., Alqurashi, H., England, T. J., Phillips, B. E., & Piasecki, M. (2024). *Cross-education of lower limb muscle strength following resistance exercise training in males and females: A systematic review and meta-analysis*. *Experimental Physiology*. Advance online publication.
- Beauchet, O., Allali, G., Annweiler, C., Bridenbaugh, S., Assal, F., Kressig, R. W., & Dubost, V. (2017). Association between gait variability and fall risk in older adults using an optical measurement system. *Journal of the American Geriatrics Society*, 65(11), 2510-2514.
- Beijersbergen, C. M. I., Granacher, U., Gbler, M., DeVita, P., & Hortobgyi, T. (2017). Power training-induced increases in muscle activation during gait in old adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(11), 2193-2202.
- Bergland, A., & Strand, B. H. (2019). *Norwegian reference values for the Short Physical Performance Battery (SPPB): The Tromsø Study*. *BMC Geriatrics*, 19, 216.
- Binotto, M. A., Lenardt, M. H., & Rodriguez-Martinez, M. C. (2018). Physical frailty and gait speed in community elderly. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 71(Suppl 2), 769-775.
- Bogen, B., Moe-Nilssen, R., Aaslund, M. K., & Ranhoff, A. H. (2019). Muscle strength as a predictor of gait variability after two years in community-living older adults. *The Journal of Frailty & Aging*, 9(1), 23-29.
- Bohannon, R. W. (2019). Grip strength: An indispensable biomarker for older adults. *Clinical Interventions in Aging*, 14, 1681-1691.
- Brady, A. O., & Straight, C. R. (2014). Muscle capacity and physical function in older women: What are the impacts of resistance training? *Journal of Sport and Health Science*, 3(3), 179-188.
- Butler, A. A., Menant, J. C., Tiedemann, A. C., & Lord, S. R. (2009). Age and gender

- differences in seven tests of functional mobility. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 6, 31..
- Claudino, R., dos Santos, J. F., de Oliveira, W. R., de Paula, A., Batista, M. B., & Pitanga, F. J. G. (2021). Strength training to prevent falls in older adults: A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Medicine*, 51(12), 249-263.
- Clouston, S. A. P., Brewster, P., Kuh, D., Richards, M., Cooper, R., Hardy, R., & Hofer, S. M. (2013). The dynamic relationship between physical function and cognition in longitudinal aging cohorts. *Epidemiologic Reviews*, 35(1), 33-50.
- Collins, B. C., Laakkonen, E. K., & Lowe, D. A. (2019). Aging of the musculoskeletal system: How the loss of estrogen impacts muscle strength. *Bone*, 123, 137-144.
- Correa, C. S., LaRoche, D. P., Cadore, E. L., Reischak-Oliveira, Á., Bottaro, M., & Kruel, L. F. M. (2013). Muscle power training improves neuromuscular economy during functional tasks in older women. *Experimental Gerontology*, 48(4), 373-380.
- Ćurović, I., Milanović, Z., García-de-Alcaraz, A., & Granacher, U. (2024). *Vertical strength transfer phenomenon between upper body and lower body exercise: A scoping review*. Sports Medicine.
- Der, G., & Deary, I. J. (2006). Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*, 21(1), 62-73.
- Dinh, M. M., Sotade, S., Smith, J., & Curtis, K. (2024). Gender differences in the incidence, characteristics and hospital admission outcomes of fall-related injuries in older adults in Victoria, Australia, over 5 years from 2018/19 to 2022/23. *Frontiers in Public Health*, 12, 1426726.
- Dubbeldam, R., Geerse, D. J., Weerdesteyn, V., & Bruijn, S. M. (2023). Systematic review of candidate prognostic factors for falling in older adults identified from motion analysis of challenging walking tasks. *European Review of Aging and Physical Activity*, 20(1), 4.
- Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D., & Ryan, E. D. (2019). Resistance training for older adults: position statement from the national strength and conditioning association. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(8).

- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the Reactive Strength Index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 32-38.
- Fozard, J. L., Vercruyssen, M., Reynolds, S. L., Hancock, P. A., & Quilter, R. E. (1994). Age differences and changes in reaction time: The Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 49(4), P179-P189.
- Jimenez-García, J. D., Martínez-Amat, A., Hita-Contreras, F., Fábrega-Cuadros, R., Álvarez-Salvago, F., & Aibar-Almazán, A. (2021). Muscle strength and physical performance are associated with reaction time performance in older people. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 5893.
- Jones, C. J., Rikli, R. E., & Beam, W. C. (1999). A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70(2), 113-119.
- Kim, H., Suzuki, T., Saito, K., Yoshida, H., & Kojima, N. (2012). Muscle strength is a determinant of health-related quality of life in community-dwelling older people. *Gerontology*, 58(5), 404-410.
- Kimura, K., Obuchi, S., Arai, T., Nagasawa, H., Shiba, Y., Watanabe, S., & Kojima, M. (2010). The influence of short-term strength training on health-related quality of life and executive cognitive function. *Journal of Physiological Anthropology*, 29(3), 95-101.
- Komi, P. V. (2003). *Stretch-shortening cycle*. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (pp. 184-202). Blackwell Science.
- LaRoche, D. P., Roy, S. J., Knight, C. A., & Dickie, J. L. (2008). Elderly women have blunted response to resistance training despite reduced antagonist coactivation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(9), 1660-1668.
- Lee, M. M., Song, C. H., Lee, K. J., Jung, S. W., Shin, D. C., & Shin, S. H. (2014). Concurrent validity and test-retest reliability of the OPTOGait Photoelectric Cell System for the assessment of spatio-temporal parameters of gait. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(1), 81-85.
- Lexell, J. (1995). Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences*, 50(Special Issue), 11-16.
- McDermott, E. J., Balshaw, T. G., Brooke-Wavell, K., Maden-Wilkinson, T.

- M., & Folland, J. P. (2022). Fast and ballistic contractions involve greater neuromuscular power production in older adults during resistance exercise. *Experimental Gerontology, 122*, 1639–1655.
- Meneghini, V., Kieling, D., & Xavier, R. F. (2022). Effects of exergaming and resistance training on reaction time and intraindividual variability in older adults. *Ageing International, 47*(4), 1355–1371.
- Montero-Odasso, M., Muir, S. W., & Speechley, M. (2012). Gait and cognition: A complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *Journal of the American Geriatrics Society, 60*(10), 2127–2136.
- Narici, M. V., & Maffulli, N. (2010). Sarcopenia: Characteristics, mechanisms and functional significance. *British Medical Bulletin, 95*(1), 139–159.
- Otaki, M., & Shibata, K. (2019). The effect of different visual stimuli on reaction times: A performance comparison of young and middle-aged people. *J Phys Ther Sci, 31*(3), 250–254.
- Petnehazy, N., Barnes, H. N., Newman, A. B., Kritchevsky, S. B., Cummings, S. R., Hepple, R. T., & Cawthon, P. M. (2024). Muscle mass, strength, power and physical performance and their association with quality of life in older adults: The Study of Muscle, Mobility and Aging (SOMMA). *The Journal of Frailty & Aging, 13*(4), 384–390.
- Raffageau, T. E., Krehbiel, L. M., Kang, N., Altmann, L. J., Cauraugh, J. H., & Hass, C. J. (2019). Aging and the use of predictive strategies during walking under dual-task conditions. *Experimental Gerontology, 120*, 50–57.
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (1999). Functional fitness normative scores for community-residing older adults, ages 60–94. *Journal of Aging and Physical Activity, 7*, 162–181.
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (2001). *Senior Fitness Test Manual*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Santos-Eggimann, B., Cuenoud, P., Spagnoli, J., & Junod, J. (2009). Prevalence of frailty in middle-aged and older community-dwelling Europeans living in 10 countries. *The Journals of Gerontology: Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 64*(6), 675–681.
- Savas, S., Kilavuz, A., Koçak, F. . K., & Cavdar, S. (2023). Comparison of grip strength measurements by widely used three dynamometers in outpatients aged

- 60 years and over. *Journal of Clinical Medicine*, *12*(13), 4260.
- Studenski, S., Perera, S., Patel, K., Rosano, C., Faulkner, K., Inzitari, M., Brach, J., Chandler, J., Cawthon, P., Connor, E. B., Nevitt, M., Visser, M., Kritchevsky, S., Badinelli, S., Harris, T., Newman, A. B., Cauley, J., Ferrucci, L., & Guralnik, J. (2011). Gait speed and survival in older adults. *JAMA*, *305*(1), 50-58.
- Tisserand, R., Robert, T., Chabaud, P., Bonnefoy, M., & Choukou, M. A. (2016). Elderly fallers enhance dynamic stability through anticipatory postural adjustments during a choice stepping reaction time test. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*, 613.
- Trombetti, A., Reid, K. F., Hars, M., Herrmann, F. R., Pasha, E., Phillips, E. M., & Fielding, R. A. (2016). Age-associated declines in muscle mass, strength, power, and physical performance: Impact on fear of falling and quality of life. *Osteoporosis International*, *27*(2), 463-471.
- Uematsu, A., Hortobágyi, T., Tsuchiya, K., Kadono, N., Kobayashi, H., Ogawa, T., & Suzuki, S. (2018). Lower extremity power training improves healthy old adults' gait biomechanics. *Gait & Posture*, *62*, 303-310.
- Vaczi, M., Nagy, S. A., Kőszegi, T., Ambrus, M., Bogner, P., Perlaki, G., Orsi, G., Tóth, K., & Hortobágyi, T. (2014). Mechanical, hormonal, and hypertrophic adaptations to 10 weeks of eccentric and stretch-shortening cycle exercise training in old males. *Experimental Gerontology*, *58*, 69-77.
- Van Roie, E., Walker, S., Van Driessche, S., Delabastita, T., Vanwanseele, B., & Delecluse, C. (2020). An age-adapted plyometric exercise program improves dynamic strength, jump performance and functional capacity in older men either similarly or more than traditional resistance training. *PLOS ONE*, *15*(8), e0237921
- Wojtys, E. M., Huston, L. J., Taylor, P. D., & Bastian, S. D. (1996). Neuromuscular adaptations in isokinetic, isotonic, and agility training programs. *The American Journal of Sports Medicine*, *24*(2), 187-192.
- Yaginuma, Y., Abe, T., Thiebaud, R. S., Kitamura, T., Kawanishi, M., & Fukunaga, T. (2017). Can handgrip strength improve following body mass-based lower body exercise? *BioResearch Open Access*, *6*(1), 19-27.

The effects of Stretch–Shortening Cycle–Based Lower–Limb Resistance Exercise on Gait Performance, Muscular Function, and Reaction Time in Older Women

Su–Ji, Choi(Kookmin University, Doctor’s student) · Yong–Am Kim(Kookmin University, Doctor’s student) ·
Ji–Hyun, Chun*(Kookmin University, Assistant professor)

ABSTRACT

This study aimed to examine the effects of lower-limb resistance exercise using the stretch - shortening cycle (SSC) on gait ability, muscle function, and reaction time in older women. Twenty-eight community-dwelling women aged ≥ 65 years were randomly assigned to an intervention group (IG, $n = 15$) or a control group (CG, $n = 13$). The IG performed a 12-week SSC exercise program twice weekly. Gait, reaction time, the 30-second sit-to-stand test (30s STS), and handgrip strength were assessed before and after the intervention. Paired/independent t-tests, Wilcoxon/Mann - Whitney U tests, mixed ANOVA, and linear mixed models were used. The IG showed significant improvements in gait speed and the coefficient of variation of stride length ($p < .05$). Reaction-time variability decreased within the IG, although no significant group differences or interactions were found. The CG demonstrated declines in 30s STS and handgrip strength, while the IG maintained performance. SSC-based exercise produced modest yet meaningful benefits for gait stability and functional maintenance, suggesting its potential for supporting independence and fall prevention in aging populations.

Key words: Stretch - shortening cycle, gait, reaction time, older women

논문 접수일 : 2025. 11. 17

논문 승인일 : 2025. 12. 08

논문 게재일 : 2025. 12. 31