



X-kit 기반 발 기능 통합 운동프로그램이 고령 여성의 하지 기능, 균형 능력 및 낙상효능감에 미치는 영향

최수지(국민대학교, 박사과정)·전지현*(국민대학교, 조교수)

국문초록

본 연구는 X-kit을 활용한 발 기능 통합운동 중재가 고령 여성의 발 기능, 하지 기능, 균형 수행 및 낙상효능감에 미치는 효과를 규명하는 데 목적이 있다. 연구 대상은 75세 이상의 고령 여성 34명으로, 운동군(Exercise Group: EG, n=18)과 통제군(Control Group: CG, n=16)으로 구분하였다. EG는 10주간 주 2회 운동프로그램에 참여하였고, CG는 별도의 운동 중재 없이 기존의 일상생활을 유지하였다. 모든 대상자는 발가락 근력, 엄지발가락 가동범위, 앉았다 일어서기 검사(30s STS), 한발 서기 검사, 기능적 전방도달 검사(Functional reach test), 낙상효능감을 사전, 사후에 측정하였다. SPSS version 29.0을 활용하여 집단 내 변화는 대응표본 t-검정 및 Wilcoxon 부호순위검정, 집단 간 변화는 독립표본 t-검정 및 Mann-Whitney U 검정, 중재 효과의 상호 작용은 혼합설계 이원분산분석을 실시하였다. 연구 결과, 모든 변인에서 집단 × 시간 상호작용 효과가 유의하게 나타났다($p < .001$). 운동군은 모든 변인에서 향상된 반면, 통제군은 전반적으로 감소하는 경향을 보여 집단 간 변화 양상의 차이가 확인되었다. 특히 발가락 근력, 엄지발가락 신전 가동범위, 기능적 전방 도달 능력 및 낙상효능감에서 상대적으로 큰 변화가 나타났다. 본 연구의 결과는 X-kit 기반 발 기능 통합운동이 고령 여성의 발 기능뿐 아니라 하지 기능, 균형 수행 및 낙상 관련 심리 요인과 관련된 전반적인 기능 변화와 연관될 가능성을 시사한다. 따라서 본 중재는 고령자의 기능 유지 및 낙상 예방을 위한 운동 프로그램으로 활용될 가능성을 제시한다. 향후 연구에서는 보다 다양한 대상자와 충분한 표본을 포함한 반복 연구를 통해 본 연구 결과를 추가적으로 검증할 필요가 있다.

한글주요어 : 발 기능 통합 운동, 고령 여성, 발가락 근력, 균형 수행, 낙상효능감

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

I. 서 론

노인의 낙상은 신체 손상뿐 아니라 활동 제한, 낙상 두려움 증가를 유발하여 독립적인 일상생활 수행 능력을 저하시킬 수 있는 중요한 건강 문제이다(Miri & Norasteh, 2024; Adam et al., 2024). 선행 연구에 따르면 노화에 따른 하지 근력 감소, 균형 능력 저하, 감각기능 약화는 낙상의 주요 위험 요인으로 보고되고 있으며, 특히 하지 기능 저하는 보행 안정성과 자세 조절 능력 감소와 관련되어 낙상 발생 가능성을 유의하게 증가시킨다(Moreland et al., 2004; Sherrington et al., 2019).

하지 기능 중에서도 발은 지면과 직접 접촉하는 신체 부위로서 자세 조절에 필요한 감각 정보를 최초로 수용하며, 이러한 특성으로 인해 발 기능(foot function)은 자세 조절과 균형 유지에 핵심적인 역할을 한다(Viseux, 2020; Song et al., 2021). 발 기능은 발가락 근력, 발 내재근 활성화, 발 감각 및 관절 가동범위를 포함하며(Mickle et al., 2009), 이러한 요소들은 상호작용을 통해 안정적인 자세 조절과 보행 수행에 기여한다.

그러나 노화가 진행됨에 따라 발바닥 압력 감각 수용기와 고유수용기의 기능이 저하되고, 발 내재근 약화 및 발가락 근력 감소가 동반되며, 이는 족궁 안정성 감소와 함께 균형 조절 능력 저하로 이어진다(Uritani et al., 2016). 실제로 프레이밍햄 발 연구(Framingham Foot Study)에 따르면 발 통증이 있는 노인은 그렇지 않은 노인에 비해 낙상 위험이 유의하게 높은 것으로 보고되었고(Bowling et al.,

2022) 이러한 기능 저하는 연령 증가에 따라 심화되는 경향을 보이며, 특히 후기 노인을 포함한 고령자 집단에서 두드러지게 나타났다(Menz et al., 2005).

이와 같은 발 기능 저하는 단순한 근력 감소를 넘어 감각기능(sensory function) 저하와도 밀접하게 관련되며, 시각, 전정감각, 체성감각의 통합 능력 감소는 균형 유지에 필요한 피드백 반응 저하로 이어진다(Wang et al., 2025). 또한 발바닥 감각 둔화는 보행 중 자세 조절 능력과 하지의 근신경 활성화에 영향을 미쳐 보행 안정성을 저하시킬 뿐 아니라, 낙상에 대한 두려움을 증가시켜 신체활동 감소와 기능 저하의 악순환을 초래할 수 있다(Sawa et al., 2014; Peters et al., 2016). 따라서 고령자의 균형 및 하지 기능 향상을 위해서는 단순한 근력 강화 중심의 운동 중재를 넘어 감각 입력과 운동 기능을 동시에 자극하는 감각-운동 통합 접근이 필요하다(Wang et al., 2020; Kim et al., 2021).

이러한 배경에서 고령자의 발 기능과 감각기능을 동시에 자극할 수 있는 운동 중재에 대한 필요성이 제기되며, 발바닥 감각 자극과 하지 기능 훈련을 통합적으로 제공할 수 있는 도구 기반 운동 프로그램이 대안으로 제시되고 있다. X-kit은 반원형의 돔(dome) 형태를 기반으로 설계된 발 감각 및 하지 기능 훈련 도구로, 사용자가 그 위에 서거나 발을 밀착시켜 운동을 수행함으로써 발바닥의 감각수용기를 자극하는 동시에 하지의 기능적 운동이 가능하도록 고안되었다. 이러한 구조는 발과 지지면 사이의 압력 분포와 힘의 방향을 변화시켜 자세 조절 전략에 영향을 미치는 좁은 지지면 운동 메커니즘과 유사한 특성을

지닌다. 실제로 좁은 지지면에서의 균형 과제에서는 발-지면 간 힘의 방향과 작용선이 발목 및 고관절 중심의 자세 조절 전략 선택에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되었다(Shiozawa et al., 2024). 또한 X-kit은 발을 딛는 위치에 따라 국소적인 압력 자극을 제공하여 발바닥 감각 입력의 공간적 분포를 변화시키고, 이에 따라 발의 하중 분포와 자세 조절 반응이 변화하는 foot sensory steering 메커니즘과 관련된 구조적 특성을 지닌다(Zehr et al., 2014; Shiozawa et al., 2024). 따라서 이러한 곡면 구조는 발바닥 압력 분포의 변화를 통해 고유수용감각을 활성화하고, 발 내재근 및 하지 근활성을 증가시켜 균형 조절에 필요한 기능적 향상에 기여할 수 있다.

이러한 감각-운동 통합 자극은 고령자의 발 기능 향상, 하지 근활성 증가 및 균형 조절 능력 개선에 긍정적으로 기여하는 것으로 보고되고 있다(정태경 등, 2011; Sluga & Kozinc, 2024). 특히 감각 피드백이 둔화된 후기 노인의 경우, 감각 입력과 운동 수행을 동시에 자극하는 훈련은 감각-운동 경로의 기능적 활성화를 유도하는 효과적인 중재 전략으로 제시되며, 감각 자극을 포함한 균형 훈련은 단순 저항 운동이나 스트레칭 중심의 중재보다 낙상 예방 효과가 더 큰 것으로 보고되고 있다(Sherrington et al., 2019; Wang et al., 2020).

이와 같은 감각-운동 통합 중재의 필요성은 특히 고령 여성에게 더욱 강조된다. 고령 여성은 남성에 비해 근감소와 균형 능력 저하가 더 빠르게 진행되고, 골밀도 감소와 관절 안정성 저하가 동반되는 특성으로 인해 낙상 위험과 관련된 기능적 취약성이 더 크게 나타나는 집단이다(Butler et al., 2009; Collins

et al., 2019; Santos-Eggimann et al., 2009). 또한 낙상효능감은 낙상에 대한 두려움과 대응 능력을 반영하는 중요한 심리적 요인으로, 낙상효능감이 낮을 경우 신체활동 감소와 기능 저하로 이어질 수 있다(Sherrington et al., 2008).

그러나 기존의 낙상 예방 운동 중재는 주로 하지 근력 강화 또는 균형 훈련 중심으로 구성되어 있으며, 발바닥 감각 자극과 발 기능 향상을 함께 고려한 중재는 상대적으로 제한적이다. 또한 지역사회 고령 여성을 대상으로 X-kit과 같은 도구 기반의 운동 프로그램 효과를 체계적으로 검증한 연구는 부족한 실정이다. 더 나아가 발 기능, 하지 기능, 균형 능력뿐 아니라 낙상효능감과 같은 심리적 요인을 포함하여 종합적으로 분석한 연구는 아직 충분히 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구는 X-kit을 활용한 발 기능 통합 운동프로그램을 지역사회 고령 여성에게 적용하여 발 기능, 하지 기능, 균형 능력 및 낙상효능감에 미치는 효과를 규명하고자 하였다. 특히 본 연구는 후기 고령 여성을 대상으로 X-kit 기반의 감각-운동 통합 중재를 적용하고, 발 기능, 하지 기능, 균형 수행 및 낙상효능감을 통합적으로 분석하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다. 이를 통해 본 중재가 고령 여성의 신체적·심리적 기능 향상에 기여하는지 확인하고, 지역사회 현장에서 적용 가능한 안전하고 효과적인 낙상 예방 운동 중재 모델의 실증적 근거를 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 K대학교 생명윤리위원회(IRB)로부터 승인(KMU-202511-HR-523)을 받은 후 수행되었으며, 연구 참여 전 모든 대상자들에게 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하고 서면동의를 받은 후 진행되었다.

연구 대상자는 서울특별시 성북구와 경기도 남양주시에 거주하는 75세 이상 고령 여성으로 선정하였다. 대상자는 자발적으로 연구 참여 의사를 밝힌 대상자 중 신체활동준비설문지(PAR-Q+)를 통해 신체 활동에 제한이 없는 자, 최근 6개월 이내 정형외과적 진단 또는 수술을 받지 않은 자, 보조 기구 없이 스스로 보행이 가능한 자, 연구 참여 및 측정 절차를 수행할 수 있는 자로 선정하였다.

연구 대상자 수는 G*Power 3.1.9.7 프로그램을 이용하여 산출하였다. 반복측정 분산분석(repeated measures ANOVA; within-between interaction)을 기준으로 효과크기(f)=0.25, 유의수준(α)=.05, 검정력(power)=.80, 집단 수 2, 측정 시점 2, 반복 측정 간 상관계수=.50으로 설정한 결과, 최소 표본 수는 총 34명으로 산출되었다. 이에 중도 탈락 가능성을 고려하여 총 40명을 모집하였다.

최종 선정된 대상자는 난수표를 이용하여 운동 중재 그룹과 통제 그룹에 20명씩 무선 배정(Random assignment)을 하였다. 운동 중재 그룹은 10주간 주 2회 X-kit 기반 발 기능 통합운동 프로그램에 참여하였으며, 통제 그룹은 별도의 운동 중재 없이 기존

의 일상생활을 유지하도록 하였다.

연구 기간 중 총 6명이 중도 탈락하였으며, 운동군 2명과 통제군 4명이 탈락하였다. 탈락 사유는 개인 일정 및 참여 의사 철회 등이었으며, 운동 프로그램 수행 중 중재와 관련된 낙상, 통증 및 상해 사례는 발생하지 않았다. 최종적으로 총 34명(Exercise Group: EG, $n=18$; Control Group: CG, $n=16$)의 자료를 최종 분석에 활용하였다.

2. 실험 도구 및 방법

1) 발가락 근력(Toe strength)

발가락 근력은 Toe Strength Dynamometer (T.K.K.3361; Takei Scientific Instruments Co., Ltd., Japan)을 이용하여 진행하였다(그림 1). 대상자는 등받이가 있는 의자에 바르게 앉아 무릎을 90도로 굽히고 발목은 중립 위치를 유지하도록 하였다. 측정하는 발을 장치의 발판 위에 올려놓고, 발의 크기에 맞춰 레버를 조정한 후 뒤꿈치를 고정된 위치에 정확하게 맞추어 발의 불필요한 움직임을 방지하였다. 이후 막대형 구조의 그립 바(Grip bar)위에 발가락을 올려 감싸 쥐고 검사자의 시작 신호에 따라 발가락으로 최대한의 힘을 내어 굽힘 동작을 수행하였고,



그림 1. 발가락 근력(Toe strength)

최대 굽힘력은 kg 단위로 기록하였다(Yamauchi & Koyama, 2019). 대상자는 총 3회 측정 후 가장 높은 값을 기록하였으며, 의자를 손으로 잡거나 신체의 비틀림을 통한 힘으로 수행한 경우 재측정을 진행하였다.

2) 엄지발가락 가동범위(ROM)

엄지발가락 중족지절관절(MTP)의 능동적 배측굴곡 가동범위(ROM)는 보행 시 요구되는 관절 운동 특성을 반영하여 발과 발목의 동적 기능 상태를 평가하는 지표로 활용된다(Allan et al., 2020).

대상자는 등받이가 있는 의자에 앉은 상태에서 무릎을 약 90도로 굽히고 발목을 중립 위치로 유지한 자세에서 실시하였다. 발바닥이 바닥에 완전히 닿도록 정렬한 후, 검사자의 지시에 따라 대상자는 엄지발가락을 가능한 최대 범위까지 능동적으로 배측굴곡시키고 해당 자세를 약 3초간 유지하도록 하였다. 관절각은 각도계(Goniometer, SAEHAN, Korea)를 이용하였으며, 기준점은 제1중족골두에 두고 고정자는 발배뼈(Navicular), 이동자는 제1지골 내측면과 평행하게 정렬하여 측정하였다(그림 2). 2회 반복 측정하였고, 가장 좋은 값을 분석에 사용하였다. 측



그림 2. 엄지발가락 중족지절관절(MTP)의 능동적 관절가동범위(ROM)

정 과정에서 제1중족골이 지면에서 들리거나 체간 균형 유지가 어려운 경우, 또는 다른 발가락의 동반 움직임이 관찰된 경우에는 해당 값을 제외하고 재측정을 실시하였다.

3) 앉았다 일어서기 검사(Sit to Stand:STS)

앉았다 일어서기 검사는 노인의 하지 근력과 기능적 이동 능력을 평가하기 위한 검사로, 본 연구에서는 Senior Fitness Test(SFT; Rikli & Jones, 2001)의 방법을 적용하여 측정하였다. 대상자는 등받이에 등을 대지 않은 상태로 의자 중앙에 앉고, 두 팔은 가슴 앞에서 교차하거나 손바닥을 반대쪽 어깨에 대고 팔을 사용하지 않도록 한다. 발은 바닥에 평평하게 두고, 무릎은 90도 굴곡 된 상태로 유지한다. 검사자의 “시작” 신호와 함께 대상자는 가능한 빠르게 앉았다 일어서기 동작을 30초 동안 반복하였다(그림 3). 완전히 선 자세에서 무릎과 엉덩이가 신전 된 상태를 1회로 간주하였고, 다시 앉을 때는 엉덩이가 의자에 완전히 닿도록 하였다. 30초 동안 반복한 횟수를 총 수행 횟수로 기록하였고, 중간에 균형을 잃거나 팔을 사용하면 해당 횟수는 제외하였다. 검사 도중 피로감



그림 3. 앉았다 일어서기 검사(Sit to Stand)

이나 어지럼증이 나타나면 즉시 중단하였다.

4) 한발 서기 검사(Single leg balance test: SLBT)

한발 서기 검사(SLBT)는 정적 균형 능력을 평가하기 위한 검사로, 일정 시간 동안 한쪽 다리로 버티는 능력을 측정함으로써 노인의 균형 유지 및 낙상 위험 가능성을 간접적으로 파악할 수 있다(Bohannon et al., 1984, Springer et al., 2007). 대상자는 양손을 허리에 얹고 두 발을 모으고 선 자세에서 시작한다. 검사자가 “시작” 신호를 주면, 한쪽 다리를 5~10cm 정도 들어 올린 상태에서 무릎을 굽히고 발이 바닥에 닿지 않도록 유지하면서 균형을 잡는다(그림 4). 대상자의 연령 특성상 한쪽 다리가 5~10cm 기준까지 오르지 못할 경우, 발이 지면에서 떨어져 있다면 유효하다고 판단하였다. 2회 측정하고, 더 긴 시간을 기록한 측정값을 최종값으로 기록하였다.



그림 4. 한발 서기 검사(SLBT)

5) 기능적 전방 도달 검사(Functional reach test:FRT)

기능적 전방 도달 검사(FRT)는 선 자세에서 팔을 뻗을 수 있는 최대 전방 도달 거리를 측정하여 노인

의 동적 균형 능력을 평가하기 위한 검사로 노인의 낙상 위험과도 밀접한 관련이 있다(Williams et al., 2017). 대상자는 벽으로부터 10cm 떨어진 곳에 측정할 팔을 어깨높이로 들어, 팔꿈치와 손목을 펴고 곧게 편 상태를 유지하고 기준점은 세 번째 손허리손가락관절 머리를 시작 위치로 하였다. 이후에 팔을 고정한 상태에서 팔을 가능한 한 멀리 앞으로 뻗도록 지시하여 정지 이후, 위치한 세 번째 손허리손가락관절 머리까지의 거리를 측정하였다(그림 5). 3회 반복 측정 후 마지막 두 번의 측정값의 평균값을 기록하였다(Merchán-Baeza, González-Sánchez & Cuesta-Vargas, 2014).



그림 5. 기능적 전방 도달 검사(FRT)

6) 낙상효능감 척도 (Falls Efficacy Scale-International; FES-I)

낙상효능감 척도는 노인의 일상생활 상황에서 낙상에 대한 두려움과 자신감 수준을 평가하기 위한 자기보고식 설문(self-report questionnaire)이다(Meimandi et al., 2021). 이 도구는 노인의 심리적 낙상 두려움을 신체활동 수행과 연계해서 파악할 수 있고, 균형 능력 및 신체기능 지표와의 분석에도 활용

용된다(Belloni et al., 2021). FES-I 은 총 10개의 문항으로 구성, 각 문항은 Likert 4점 척도로 구성되어 있다. 모든 문항 점수를 합산하여 총점을 계산하고, 총점의 범위는 10점(낙상 두려움 없음)~40점(낙상 두려움 매우 높음)으로 점수가 높을수록 낙상에 대한 두려움이 크고 효능감이 낮음을 의미한다.

7) X-kit 기반 발 기능 통합운동프로그램

본 연구의 X-kit 기반 발 기능 통합운동프로그램은 Okamura et al.(2020), Wei et al.(2022), 심현 & 전지현(2025) 등의 연구를 참고하여 본 연구에 맞게 구성하였다. X-kit은 반원형의 단단한 돔(dome) 형태로 제작된 발 감각 및 하지 기능 트레이닝 도구로, 사용자가 위에 서거나 발을 밀착시켜 운동을 수행함으로써 발바닥과 하지의 다양한 감각수용기를 자극하는 소도구이다(그림 6). 본 연구에 사용된 X-kit은 국내 엑시온랩(Xion Lab, Korea)에서 제작된 도구로, 길이 30 cm, 높이 6 cm, 폭 13 cm의 반원형 곡면 구조를 가지고 있으며, 표면에는 미끄럼 방지 코팅 및 패턴이 적용되어 체중 지지 및 균형 과제 수행 시 안정적인 감각 자극이 가능하도록 설계되었다. 또한 발을 딛는 위치에 따라 압력 분포와 감각 입력이 달라지는 특성을 지니며, 국내에서는 발과 발

목의 기능 향상 및 균형 훈련을 위한 운동 도구로 활용되고 있다.

운동 중재 프로토콜은 X-kit을 사용하여 감각-운동 활성화, 내재근 강화, 외재근 강화, 하지 통합운동의 점진적인 단계로 진행하였다. 1-2주차는 발바닥 압력에 대한 인지를 향상시키기 위한 발 감각 및 내재근 운동, 3-6주차는 1-2주차의 운동과 함께 발목의 안정성 및 외재근을 강화하는 운동, 7-10주차는 기존 운동과 함께 하지 통합 운동으로 구성하여 주차 및 형태별로 운동 강도, 시간 및 횟수를 증가시켰다. 스트레칭 및 이완 동작은 시간 기준으로 실시하였으며, 그 외 운동은 아래 표에 제시된 반복 횟수 기준으로 수행하였다.

운동 프로그램은 준비운동 10분, 본 운동 40분, 정리운동으로 10분으로 총 60분으로 구성하였고, 주 2회, 총 10주간 실시하였다. 본 운동 중에는 개인의 수행 능력에 따라 휴식을 허용하였다. 운동 강도는 Borg의 자각운동강도(Rating of perceived Exertion; RPE) 척도를 기준으로 초기에는 9-11수준, 이후에는 11-13수준으로 점진적으로 증가시켰다. 연구자는 운동 시작 전에 대상자들에게 RPE 척도의 의미와 강도 수준에 대해 충분히 설명하였으며, '편안한 수준'에서 '약간 힘든 정도'에 해당하는 운동 강도로 이해할 수 있도록 교육하였다. 또한 운동 중 지속적인 구두 확인을 통해 목표 강도가 유지되도록 모니터링 하였다. 자세한 운동 중재 프로토콜은 다음 <표 1>과 같다.



그림 6. X-kit

표 1. X-kit 기반 발 기능 통합 운동 프로토콜

주차	형태	운동유형	강도	수행시간(초) 및 반복횟수
1-2	발 감각 및 발 내재근 운동	- Plantar relaxation - Toes relaxation and stretching - Balancing on the x-kit - Weight shift - Big toe extension & Flexion - Toe extension & Flexion - Toe spread - Toe squeeze	RPE 9-11	Warm-up 10min 10sec×2sets 12rep×2sets Cool-down 10min
3-6	발 감각 & 발 내재근 및 외재근 운동	- Plantar relaxation & Toes stretching - Big toe extension & Flexion - Toe extension & Flexion - Toe Squeeze - Calf raise - Single leg tap down - Ankle Mobility Exercise(DF/PF,INV/EV) - Ankle Circle with Stick	RPE 11-13	Warm-up 10min 10sec×2sets 12rep×2sets Cool-down 10min
7-10	하지 통합 운동	- Plantar relaxation & Toes stretching - Big toe extension & Flexion - Toe extension & Flexion - Toe Squeeze - Calf raise - Ankle Mobility Exercise(DF/PF,INV/EV) - Tandem Stance on the x-kit - Half Squat - Side Step	RPE 11-13	Warm-up 10min 15sec×2sets 15rep×2sets Cool-down 10min
*모든 운동 세션은 10분간의 준비운동과 10분간의 정리운동을 포함하였다.				
운동 총 소요시간				60min

3. 자료처리

본 연구에서 수집된 자료는 통계 프로그램 SPSS 29.0 for Windows을 이용하여 분석하였다. 각 변인의 기술통계로 평균과 표준편차를 산출하였으며, 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였다. 사전 동질성 검정과 집단 내·집단 간 비교분석은 정규성 충족 여부에 따라 모수 또는 비모수 검정을 적용하였다. 집단 내 비교에서는 대응표본 t-검정 또

는 Wilcoxon 부호순위 검정을 적용하였고, 집단 간 비교에서는 독립표본 t-검정 또는 Mann-Whitney U 검정을 실시하였다.

운동 중재의 효과를 검증하기 위해 집단(운동군, 통제군)과 시점(사전, 사후)을 요인으로 한 혼합 설계 이원분산분석을 실시하였으며, 집단 × 시점 상호작용 효과를 중심으로 중재 효과를 해석하였다. 또한 중재에 따른 변화 양상과 집단 내 반응 특성을 보조

적으로 확인하기 위해 각 집단 내 사전-사후 비교를 실시하였고, 중재 효과를 보다 명확히 확인하기 위해 사전-사후 변화량(Δ 값)을 산출하여 집단 간 비교를 수행하였다. 통계 분석의 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 결과

1. 연구 대상자의 신체적 특성

본 연구의 대상자는 운동 중재군(Exercise Group; EG) 18명과 통제군(Control Group; CG) 16명으로 총 34명이 참여하였다. EG의 평균 연령은 77.2 ± 2.1 세, 평균키는 157 ± 4.1 cm, 평균 체중은 57.7 ± 4.9 kg, 평균 체질량지수(Body Mass Index; BMI)는 $23.2 \pm 1.3 \text{ kg/m}^2$ 이었으며 CG의 평균 연령은 78.1 ± 2.5 세, 평균키는 155 ± 5.4 cm, 평균 체중은 55.3 ± 6.1 kg, 평균 BMI는 $22.9 \pm 1.6 \text{ kg/m}^2$ 로 나타났다. 연구 대상자의 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. 연구 대상자의 신체적 특성 (N=34)

Variable	EG(n=18)	CG(n=16)
Age(yr)	77.2 ± 2.1	78.1 ± 2.5
Height(cm)	157 ± 4.1	155 ± 5.4
Weight(kg)	57.7 ± 4.9	55.3 ± 6.1
BMI(kg/m ²)	23.2 ± 1.3	22.9 ± 1.6

BMI = Body mass index

2. 집단 × 시간 상호작용 효과

집단과 시점 간 상호작용 효과를 검증한 결과, 발가락 근력($F=102.321$, $p<.001$, $\eta^2=.762$), 엄지발가락 신전($F=124.973$, $p<.001$, $\eta^2=.796$), 기능적 전방 도달 검사($F=87.921$, $p<.001$, $\eta^2=.733$), 낙상 효능감($F=128.120$, $p<.001$, $\eta^2=.800$)에서 모두 시간 × 집단 상호작용 효과가 유의하게 나타났다. 결과는 <표 3>에 제시하였다.

표 3. 집단 × 시간 상호작용 효과

Variable	F(1,32)	p	η^2
Toe Strength	102.321	$<.001^{***}$	.762
Big Toe Extension	124.973	$<.001^{***}$	.796
Sit to Stand	59.583	$<.001^{***}$	.651
Single Leg Balance	110.276	$<.001^{***}$	.775
Functional Reach Test	87.921	$<.001^{***}$	.733
Falls Efficacy Scale	128.120	$<.001^{***}$	.800

***p < .001

3. 발 기능 통합 운동에 따른 집단 내 사전-사후 비교

운동 중재군(EG)은 발가락 근력, 엄지발가락 신전, 앉았다 일어서기 검사, 한발 서기 검사, 기능적 전방 도달 검사 및 낙상효능감 등 모든 변인에서 사전 대비 유의한 변화가 나타났다. 발가락 근력은 6.01 ± 1.44 (kg)에서 7.43 ± 1.27 (kg)로 증가하였고($p<.001$), 엄지발가락 신전은 32.47 ± 7.20 (°)에서 37.89 ± 8.35 (°)로 증가하였다($p<.001$). 30초 앉았다

일어서기 검사는 14.83 ± 4.19 (reps)에서 17.00 ± 3.77 (reps)로 증가하였으며($p < .001$), 한발 서기 검사 또한 12.09 ± 4.45 (sec)에서 14.29 ± 4.84 (sec)로 증가하였다($p < .001$). 기능적 전방 도달 검사는 21.5 ± 6.75 (cm)에서 33.30 ± 7.65 (cm)로 증가하였으며($p < .001$), 낙상 효능감은 16.22 ± 2.42 에서 13.28 ± 1.93 으로 감소하여 낙상에 대한 두려움이 완화된 것으로 나타났다($p < .001$).

반면 통제군(CG)에서는 모든 변인에서 사전 대비 유의한 변화가 나타났으나, 전반적으로 감소 또는 악화 경향을 보였다. 발가락 근력은 5.66 ± 1.50 (kg)에서 5.10 ± 1.49 (kg)로 감소하였고($p < .001$), 엄지발가락 신전은 29.66 ± 8.60 (°)에서 27.25 ± 8.45 (°)로 감소하였다($p < .001$). 30초 앉았다 일어서기 검사는 13.06 ± 2.93 (reps)에서 12.00 ± 3.27 (reps)로 감소하였으며($p = .002$), 한발 서기 또한 11.04 ± 3.93 (sec)에서 10.19 ± 4.13

(sec)로 감소하였다($p = .003$). 기능적 전방 도달 검사는 19.0 ± 3.72 (cm)에서 18.0 ± 4.00 (cm)로 감소하였으며($p = .004$), 낙상효능감은 19.00 ± 3.72 에서 19.94 ± 3.57 로 증가하여 낙상에 대한 두려움이 증가한 것으로 나타났다($p = .008$). 결과는 <표 4>에 제시하였다.

4. 집단 간 변화량 비교 및 중재 효과

사전-사후 변화량(Δ)을 산출하여 집단 간 비교를 실시한 결과, 발가락 근력, 엄지발가락 신전, 앉았다 일어서기 검사, 한발 서기 검사, 기능적 전방 도달 검사 및 낙상효능감 등 모든 변인에서 운동군이 통제군에 비해 유의한 변화량을 나타냈다. 운동군은 모든 변인에서 증가 경향을 보인 반면, 통제군은 감소하는 경향을 보여 두 집단 간 변화 양상에서 차이가 확인되었다. 발가락 근력은 운동군에서 1.45 ± 0.38 (kg)

표 4. 집단 내 사전·사후 비교

Variable	Group	pre	post	t / Z	p
Toe Strength (kg)	EG (n=18)	6.01 ± 1.44	7.43 ± 1.27	$t = 15.68$	$< .001^{***}$
	CG (n=16)	5.66 ± 1.50	5.10 ± 1.49	$t = 3.09$	$.007^{**}$
Big Toe Extension (°)	EG (n=18)	32.47 ± 7.20	37.89 ± 8.35	$t = 10.82$	$< .001^{***}$
	CG (n=16)	29.66 ± 8.60	27.25 ± 8.45	$t = 4.98$	$< .001^{***}$
Sit to Stand (reps)	EG (n=18)	14.83 ± 4.19	17.00 ± 3.77	$t = 7.10$	$< .001^{***}$
	CG (n=16)	13.06 ± 2.93	12.00 ± 3.27	$t = 3.78$	$.002^{**}$
Single Leg Balance (sec)	EG (n=18)	12.09 ± 4.45	14.29 ± 4.84	$t = 12.61$	$< .001^{***}$
	CG (n=16)	11.04 ± 3.93	10.19 ± 4.13	$t = 3.58$	$.003^{**}$
Functional Reach Test (cm)	EG (n=18)	21.5 ± 6.75	33.30 ± 7.65	$Z = 3.73$	$< .001^{***}$
	CG (n=16)	19.0 ± 3.72	18.0 ± 4.00	$Z = 2.89$	$.004^{**}$
Falls Efficacy Scale (score)	EG (n=18)	16.22 ± 2.42	13.28 ± 1.93	$t = 17.22$	$< .001^{***}$
	CG (n=16)	19.00 ± 3.72	19.94 ± 3.57	$t = 3.03$	$.008^{**}$

** $p < .01$, *** $p < .001$, EG : Exercise group, CG: Control group

표 5. 집단 간 변화량 비교 및 중재 효과

Variables	EG Δ (M $\pm$ SD)	CG Δ (M $\pm$ SD)	t / Z	p
Toe Strength (kg)	1.45 $\pm$ 0.38	-0.59 $\pm$ 0.75	t= 10.12	<.001***
Big Toe Extension ($^{\circ}$)	5.42 $\pm$ 2.12	-2.47 $\pm$ 1.93	t= 11.18	<.001***
Sit to Stand (reps)	2.17 $\pm$ 1.29	-1.06 $\pm$ 1.12	t= 7.72	<.001***
Single Leg Balance (sec)	2.22 $\pm$ 0.74	-0.82 $\pm$ 0.95	t= 10.49	<.001***
Functional Reach Test (cm)	6.74 $\pm$ 3.02	-0.78 $\pm$ 0.76	t= 9.38	<.001***
Fall Efficacy Scale (score)	-2.94 $\pm$ 0.73	0.94 $\pm$ 1.24	Z= 5.09	<.001***

***p<.001 EG : Exercise group, CG: Control group,

증가한 반면, 통제군에서는 0.59 $\pm$ 0.75(kg) 감소하였고(t=10.12, p<.001), 엄지발가락 신전은 운동군에서 5.42 $\pm$ 2.12($^{\circ}$)증가하고 통제군에서는 2.47 $\pm$ 1.93($^{\circ}$) 감소하였다(t=11.18, p<.001). 앉았다 일어서기 검사에서도 운동군이 2.17 $\pm$ 1.29(reps) 증가한 반면 통제군에서는 1.06 $\pm$ 1.12(reps) 감소하였고, 한발 서기 균형 또한 운동군에서 2.22 $\pm$ 0.74(sec) 증가하였고 통제군에서는 0.82 $\pm$ 0.95(sec)감소하였다(t=10.49, p <.001). 기능적 전방 도달 검사에서도 운동군이 6.47 $\pm$ 3.02(cm) 증가한 반면 통제군에서는 0.78 $\pm$ 0.76(cm) 감소하여 유의한 차이를 보였다(t=9.38, p <.001). 또한 낙상효능감 점수는 운동군에서 2.94 $\pm$ 0.73 감소하였으나 통제군에서는 0.94 $\pm$ 1.24 증가하는 양상을 보여, 집단 간 변화량에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Z=5.09, p <.001). 이러한 결과는 운동군에서 기능적 향상이 나타난 반면 통제군에서는 기능 저하 경향이 나타난 데 따른 것으로, 본 중재가 신체 기능 및 낙상 관련 요인에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 세부 결과는 <표 5>에 제시하였다.

IV. 논 의

본 연구는 X-kit을 활용한 발 기능 통합 운동 중재가 고령 여성의 발 기능, 하지 기능, 균형 능력 및 낙상효능감에 미치는 효과를 규명하고자 하였다. 연구 결과, 발 기능, 하지 기능 및 균형 능력과 관련된 변인에서 전반적으로 유의한 변화가 나타났으며, 특히 운동군은 향상된 반면 통제군은 감소 경향을 보여 집단 간 변화 양상의 차이가 확인되었다.

본 연구에서 운동군의 평균 발가락 근력은 사전 6.01 kg에서 사후 7.43 kg으로 약 23% 증가한 것으로 나타났다. 이는 고령 여성에서 일반적으로 나타나는 근력 감소 경향과는 상반되는 결과로, 중재를 통한 기능적 향상이 이루어졌음을 의미한다. 선행연구에 따르면 일본 노인 여성의 발가락 근력은 약 7~10 kg 수준으로 보고되며(Uritani et al., 2014), 본 연구 대상자의 사전 값은 이에 다소 못 미치는 수준이었으나, 중재 이후에는 해당 범위에 근접하거나 진입하는 양상이 확인되었다. 이러한 결과는 단순한 유지 수준을 넘어 기능적 회복 또는 정상 범위로의 개선 가능성을 시사한다.

이와 같은 변화는 발의 지지 기능과 안정성 향상과 관련된 것으로 해석될 수 있다. 발가락 근력은 지지 기반의 안정성을 확보하고 자세 조절 능력에 기여하는 요소로 알려져 있으며, 자세 요구도가 증가하거나 체중부하 조건에서 균형 요구가 높아질수록 발바닥 내재근은 발의 종적 아치와 전족부 안정성을 유지하기 위해 지속적으로 동원된다(Ferrari et al., 2020; Ridge et al., 2022).

본 연구에서 적용된 X-kit 기반 운동프로그램은 상대적으로 좁고 불안정한 지지면에서 체중 지지를 요구하는 특성을 지니며, 이는 발을 통한 지지 기반 조절 전략의 사용을 증가시키는 환경으로 작용했을 가능성이 있다. 이러한 조건은 발의 외재근뿐 아니라 내재근의 기능적 참여를 동시에 요구하며, 반복적인 발가락 사용과 체중부하 자극을 통해 발가락 굴곡 및 지지 기능과 관련된 근육의 신경근 동원을 증가시키는 것으로 보고되고 있다(Kelly et al., 2012). 따라서 본 연구의 운동 환경은 발의 내재근을 중심으로 안정화 전략을 반복적으로 유도하고 기계적 부하를 증가시킴으로써 발가락 근력 향상에 기여한 것으로 보인다.

엄지발가락 신전의 증가는 제1중족지관절의 가동 범위가 향상되었음을 의미하며, 이는 전족부의 움직임 범위가 증가한 변화로 해석될 수 있다. 제1중족지관절의 신전 가동범위는 선행연구에 따라 약 60~90° 범위로 보고되며, 정상 보행을 위해서는 약 65° 내외의 가동범위가 요구되는 것으로 알려져 있다(Hopson et al., 1995). 또한 실제 보행 시에는 약 40~60° 수준의 신전이 사용되는 것으로 보고된다(Nawoczinski et al., 1999). 그러나 노인의 경우 연령 증가에 따라

발 및 발목 관절의 가동범위가 감소하며, 이러한 변화는 균형 능력 저하 및 기능적 수행 감소와 관련되는 것으로 보고된다(Menz et al., 2005). 본 연구에서 운동군의 엄지발가락 신전 가동범위는 사전 32.47°에서 사후 37.89°로 증가하였으며, 절대적인 정상 범위에는 미치지 못하였으나 기능적 기준에 점차 근접하는 양상이 확인되었다. 이는 단순한 유지 수준을 넘어 관절 기능의 개선이 이루어졌음을 시사한다.

특히 엄지발가락의 신전은 발바닥 근막의 긴장을 증가시켜 아치의 강성을 높이는 윈들라스 메커니즘(Windlass mechanism)과 밀접하게 관련되며(Hicks, 1954), 이러한 구조적 변화는 발가락과 아치 간의 기능적 결합을 통해 보행 시 추진 단계에서 체중의 전방 이동과 지지 기능을 강화하고 효율적인 힘 전달에 기여하는 것으로 보고되었다(Buchmann et al., 2024).

이러한 변화는 본 연구의 운동프로토콜이 발의 이완운동 및 스트레칭, 발가락 신전·굴곡 운동과 함께 전족부로의 체중 이동을 포함하고 있다는 점과 관련이 있는 것으로 보인다. 반복적인 체중 이동과 발가락 사용은 제1중족지관절의 능동적 및 수동적 움직임을 지속적으로 유도하며, 이러한 반복적 자극이 관절 가동범위 증가로 이어졌을 가능성이 있다. 이러한 해석은 발 및 발목 관절 가동성 운동과 스트레칭을 포함한 중재가 관절 가동범위를 향상시킨다는 선행연구의 결과와도 일치한다(Lepesis et al., 2023).

하지 기능과 관련된 앉았다 일어서기 검사(STS)에서도 운동군은 향상된 반면 통제군은 감소하는 경향을 보여 집단 간 차이가 나타났다. STS는 노인의 하지 근력과 기능적 수행능력을 반영하는 대표적인

검사로 보고되어 왔으며(Jones et al., 1999; Rikli & Jones, 2001), 수행 과정에서는 체중 이동과 자세 조절, 신경근 협응이 복합적으로 요구되는 과제이다(Yamako et al., 2023; Sadeh et al., 2023; Fujimoto et al., 2012). 따라서 본 연구의 결과는 하지 기능 수행과의 잠재적 관련성을 시사하며, 이는 발가락 근력 강화가 균형 및 기능적 수행 능력과 관련된 변화와 연관된다는 선행연구와 일관된 결과이다(Mickle et al., 2016). 그러나 STS는 다요인적 과제라는 점에서 발 기능의 단독 효과로 해석하기보다는 통합적 기능 향상의 결과로 이해하는 것이 타당하다.

또한 본 연구에서는 기능적 전방 도달 검사와 한 발 서기와 같은 균형 관련 변인에서도 운동군의 유의한 향상이 나타났다. 이러한 결과는 단순한 근력 향상뿐 아니라 감각-운동 통합 기능의 변화와 관련될 수 있음을 시사한다. 본 연구의 운동프로토콜은 발 기능 향상을 중심으로 균형 과제와 하지 근력 운동을 통합하여 구성되었으며, 발을 통한 체중 이동과 지지 조절이 반복적으로 요구되는 특성을 지닌다. 이러한 과제 수행 과정은 자세 유지 및 중심 이동 조절 능력 향상에 기여한 것으로 보인다.

이러한 결과는 감각-운동 통합 조절 이론과 과제 특이성 원리에 기반하여 설명될 수 있다. 인간의 자세조절 및 기능적 움직임은 촉각·압력 정보, 고유수용성 감각, 전정 및 시각 정보가 중추신경계에서 통합되어 운동 출력으로 조절되는 복합적인 과정이며(Richard J. Peterka, 2002), 특히 발은 체중 지지와 지면 접촉이 이루어지는 주요 감각 입력원으로서 자세 안정성 확보에 중요한 역할을 수행한다(Thibault Viseux et al., 2019).

본 연구에서 사용된 중재 도구는 발의 접촉 방식에 따라 국소적인 압력 자극을 변화시키는 특성을 가지며, 이러한 반복적 자극은 발바닥 체성감각 입력의 빈도와 민감도를 증가시켜 자세 조절 과정에서 해당 감각 정보의 활용도를 높였을 가능성이 있다(Peterka, 2002). 이러한 감각 입력의 강화는 자세 안정성 및 체중 이동 조절 전략의 효율성을 향상시켰을 것으로 해석되며, 이는 발바닥 감각 자극이 자세 안정성 향상 및 자세 조절에 중요한 역할을 한다는 선행연구에 의해 뒷받침된다(Bernard-Demanze et al., 2009; Maitre et al., 2016). 또한 실제로 발바닥 감각 자극을 적용한 선행 연구에서도 고령 여성의 전방 도달 범위가 유의하게 증가한 것으로 보고되어, 발을 통한 감각 입력 강화가 기능적 수행 향상과 관련될 수 있음이 제시된 바 있다(Wilmot et al., 2019).

따라서 기능적 전방 도달 검사와 같이 지지면 내에서 체중 이동 범위를 능동적으로 확장해야 하는 과제는 발을 통한 지지 기반 조절 전략이 수행 성과에 중요한 역할을 하는 특성을 가지며, 본 연구에서 관찰된 균형 능력의 향상 역시 이러한 기전과 관련된 결과로 해석될 수 있다.

또한 낙상효능감에서도 유의한 변화가 나타났으며, 이는 감각-운동 기능의 향상이 단순한 신체적 변화에 그치지 않고 주관적인 자신감 인식과도 관련될 가능성을 시사한다(Tinetti et al., 1990). 선행 연구에서도 균형 및 자세 조절 능력을 포함한 신체 기능의 향상은 낙상에 대한 두려움 감소와 낙상효능감 또는 균형 자신감 개선과 관련되는 것으로 보고되고 있다(Savvakis et al., 2024). 따라서 본 중재는 발 기능 및 균형 수행의 향상을 통해 낙상에 대한 주관적

자신감 변화와 연관된 결과를 나타냈을 가능성이 있으며, 이는 운동 수행 능력과 개인의 심리적 인식이 상호 연관되어 나타난 결과로 해석될 수 있다(Tinetti et al., 1990; Li et al., 2005).

한편, 본 연구에서는 통제군에서 발가락 근력, 하지 기능 및 균형 관련 변인들이 전반적으로 감소 양상을 보였다. 이러한 변화는 후기 고령 여성의 기능적 취약성과 일부 관련될 수 있으며(Butler et al., 2009; Collins et al., 2019), 통제군이 연구 기간 동안 별도의 운동 중재 없이 기존 생활을 유지하도록 하였다는 점 또한 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 다만 본 연구에서는 일상생활 활동량이나 외부 환경 요인을 직접 측정하지 않았으므로, 감소 경향의 원인을 명확히 규명하는 데에는 제한이 있다.

종합적으로 볼 때, 본 연구의 결과는 X-kit 기반 발 기능 통합운동이 발가락 근력, 엄지발가락 신전 가동범위, 하지 기능, 균형 수행 및 낙상효능감과 관련된 다양한 변인에서 긍정적인 기여 가능성을 시사한다. 특히 모든 변인에서 집단 $\times$ 시간 상호작용 효과가 유의하게 나타났으며, 운동군은 전반적인 향상 양상을 보인 반면 통제군은 감소 또는 유지 경향을 보여 집단 간 변화 양상의 차이가 확인되었다. 이러한 결과는 발을 중심으로 한 통합적 운동 중재가 발 기능뿐 아니라 하지 기능, 균형 수행 및 낙상 관련 심리 요인까지도 연관된 변화를 유도할 수 있음을 보여 준다. 따라서 본 중재는 단순한 근력 강화 중심의 접근을 넘어, 발을 통한 감각 입력과 기능적 움직임을 함께 고려한 운동 프로그램으로서 고령자의 기능적 수행 능력과 낙상 관련 심리 요인을 고려한 중재로 활용될 가능성을 제시한다.

다만, 본 연구는 비교적 적은 표본을 대상으로 수행되었기 때문에 효과크기가 크게 나타난 점에 표본 수의 영향이 반영되었을 가능성을 배제할 수 없으며, 발바닥 감각 기능을 직접적으로 측정하지 않아 관찰된 변화가 감각 기능 자체의 변화인지 감각 정보 활용 방식의 변화인지를 명확히 구분하는 데에는 한계가 있다. 또한 연구 대상이 지역사회 거주 고령 여성으로 한정되어 있어 본 연구 결과를 다른 성별이나 기능 수준이 상이한 집단으로 일반화하는 데에는 신중한 해석이 요구된다.

따라서 향후 연구에서는 다양한 대상자와 충분한 표본을 포함하고, 발바닥 감각 기능에 대한 직접적인 측정을 병행한 연구 설계를 통해 본 연구 결과를 확장 및 검증할 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구는 X-kit을 활용한 발 기능 통합운동 중재가 고령 여성의 발 기능, 하지 기능, 균형 수행 및 낙상효능감에 미치는 효과를 검증하고자 하였다. 연구 결과, 발가락 근력, 엄지발가락 신전 가동범위, 앉았다 일어서기, 한발 서기, 기능적 도달 능력 및 낙상효능감의 모든 변인에서 집단 $\times$ 시간 상호작용 효과가 유의하게 나타났다. 또한 운동군은 모든 변인에서 향상된 반면 통제군은 전반적으로 감소하는 경향을 보여, 본 중재가 다양한 기능적 변인에서 긍정적인 변화와 관련될 가능성을 시사하였다.

이러한 결과는 X-kit 기반 발 기능 통합운동이 발

기능뿐 아니라 하지 기능, 균형 수행 및 낙상 관련 심리 요인을 함께 고려한 중재 전략으로 활용될 수 있는 가능성을 제시한다. 향후 연구에서는 보다 다양

한 대상자와 충분한 표본을 포함한 반복 연구를 통해 이러한 결과를 추가적으로 검증할 필요가 있다.

참고문헌

- 심현 & 전지현(2025). 발 내재근 및 외재근 통합운동이 지역사회 여성 노인의 엄지발가락 관절가동범위 및 균형 능력에 미치는 영향. **한국여성체육학회지**, 39(2), 165-182.
- 정태경, 박정서, 최종덕, 이지연, 김진상(2011). 감각운동훈련이 노인의 균형 및 보행에 미치는 영향. **대한물리치료학회지**, 23(4), 29-36.
- Adam, C. E., Fitzpatrick, A. L., Leary, C. S., Ilango, S. D., Phelan, E. A., & Semmens, E. O. (2024). The impact of falls on activities of daily living in older adults: A retrospective cohort analysis. *PLOS ONE*, 19(1), e0294017.
- Allan, J. J., McClelland, J. A., Munteanu, S. E., Buldt, A. K., Landorf, K. B., Roddy, E., et al.(2020). First metatarsophalangeal joint range of motion is associated with lower limb kinematics in individuals with first metatarsophalangeal joint osteoarthritis. *Journal of Foot and Ankle Research*, 13(1), 33.
- Belloni, G., Seematter-Bagnoud, L., Krief, H., Aminian, K., & Büla, C. J.(2021). Falls efficacy is associated with better gait and functional outcomes after rehabilitation in older patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(6), 1134-1139.
- Bernard-Demanze, L., Vuillerme, N., Ferry, M., & Berger, L. (2009). Can tactile plantar stimulation improve postural control in the elderly? *Gait & Posture*, 29(4), 603-608.
- Bohannon, R. W., Larkin, P.A., Cook, A. C., Gear, J., & Singer, J. (1984). Decrease in timed balance test scores with aging. *Physical Therapy*, 64(7), 1067-1070.
- Bowling, F. L., Smith, K., Chevalier, T. L., Hannan, M. T., & Dufour, A. B. (2022). Foot pain and risk of falls in older adults: The Framingham Foot Study. *Journal of Foot and Ankle Research*, 15(1), 1-9.
- Buchmann, A., Wenzler, S., Welte, L., & Renjewski, D. (2024). The effect of including a mobile arch, toe joint, and joint coupling on predictive neuromuscular simulations of human walking. *Scientific Reports*, 14, 14879.
- 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.
- 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.
- Ferrari, M., Raiteri, B. J., & Hodges, P. W. (2020). Intrinsic foot muscles act to stabilise the foot when greater fluctuations in centre of pressure movement result from increased postural balance challenge. *Gait & Posture*, 79, 229-233.
- Fujimoto, M., et al. (2012). The relationship between balance control and movement strategy during sit-to-stand movement in older adults. *Journal of Biomechanics*, 45(12), 2164-2169.
- Hicks, J. H. (1954). The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *Journal of Anatomy*, 88(1), 25-30.
- Hopson, M., McPoil, T. G., & Cornwall, M. W. (1995). Motion of the first metatarsophalangeal joint: Reliability and validity of four measurement techniques. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 85(4), 198-204.
- 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. *Journal of Aging and Physical Activity*, 7(2), 113-129.
- Kelly, L. A., Kuitunen, S., Racinais, S., & Cresswell, A. G. (2012). Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clinical Biomechanics*, 27(1), 46-51.
- Li, F., Harmer, P., Fisher, K. J., & McAuley, E. (2005). Tai Chi and fall reductions in older adults: A randomized controlled trial. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(2), 187-194.
- Lord, S. R., Murray, S. M., Chapman, K., Munro, B., & Tiedemann, A. (2002). Sit-to-stand performance depends on sensation, speed, balance, and psychological status in addition to strength in older people. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(8), M539-M543.
- Maitre, J., Paillard, T., & Bourdin, M. (2016). Influence of plantar cutaneous information on postural control: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 62, 1-10.
- Meimandi, M., Fadavi-Ghaffari, M., Taghiadeh, G., Azad, A., Lajevardi, L. (2021). Falls efficacy scale and single item question: Screening accuracy for older adults residing in nursing homes. *Clinical Gerontologist*, 44(5), 544-551.
- Menz, H. B., Morris, M. E., & Lord, S. R. (2005).

- Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(12), 1546–1552.
- Mickle, K. J., Caputi, P., Potter, J. M., & Steele, J. R. (2016). Efficacy of a progressive resistance exercise program to increase toe flexor strength in older people. *Clinical Biomechanics*, 40, 14–19.
- Mickle, K. J., Munro, B. J., Lord, S. R., Menz, H. B., & Steele, J. R. (2009). Toe weakness and deformity increase the risk of falls in older people. *Clinical Biomechanics*, 24(10), 787–791.
- Miri, S., & Norasteh, A. A. (2024). Fear of falling, quality of life, and daily functional activity of elderly women with and without a history of falling: A cross-sectional study. *Annals of Medicine & Surgery*, 86, 2619–2625.
- Moreland, J. D., Richardson, J. A., Goldsmith, C. H., & Clase, C. M. (2004). Muscle weakness and falls in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52(7), 1121–1129.
- Nawoczenski, D. A., Baumhauer, J. F., & Umberger, B. R. (1999). Relationship between clinical measurements and motion of the first metatarsophalangeal joint during gait. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 81(3), 370–376.
- Okamura, K., Fukuda, K., Oki, S., Ono, T., Tanaka, S., & Kanai, S. (2020). Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus. *Gait & Posture*, 75, 40–45.
- Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 88(3), 1097–1118.
- Peters, R. M., McKeown, M. D., Carpenter, M. G., & Inglis, J. T. (2016). Losing touch: Age-related changes in plantar skin sensitivity, lower limb cutaneous reflex strength, and postural stability in older adults. *Journal of Neurophysiology*, 116(4), 1848–1858.
- Ridge, S. T., Johnson, A. W., Mitchell, U. H., Hunter, I., Robinson, E., Rich, B. S., & Brown, S. D. (2022). Contributions of intrinsic and extrinsic foot muscles during functional standing postures. *BioMed Research International*, 2022, Article ID 7708077.
- Sadeh, S., et al. (2023). Biomechanical and neuromuscular control characteristics of sit-to-stand transfer: A systematic review.

- Journal of Biomechanics*, 152, 111621.
- 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.
- Savvakis, I., Adamakidou, T., & Kleisiaris, C. (2024). Physical-activity interventions to reduce fear of falling in frail and pre-frail older adults: A systematic review of randomized controlled trials. *European Geriatric Medicine*, 15, 333-344.
- Sawa, R., Doi, T., Misu, S., Tsutsumimoto, K., Nakakubo, S., Asai, T., Yamada, M., & Ono, R. (2014). The association between fear of falling and gait variability in both leg and trunk movements. *Gait & Posture*, 40(1), 123-127.
- Sherrington, C., Fairhall, N., Wallbank, G., Tiedemann, A., Michaleff, Z. A., Howard, K., et al. (2019). Exercise for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1, CD012424.
- Sherrington, C., Lord, S. R., & Whitney, J. (2008). Effective exercise for the prevention of falls: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Geriatrics Society*, 56(12), 2234-2243.
- Shiozawa, K., Russo, M., Lee, J., Hogan, N., & Sternad, D. (2024). Human foot force informs balance control strategies when standing on a narrow beam. *Journal of Neurophysiology*, 132(5), 1302-1314.
- Sluga, S., & Kozinc, Ž. (2024). Sensorimotor and proprioceptive exercise programs to improve balance in older adults: a systematic review with meta-analysis. *European Journal of Translational Myology*, 34(1), 12010.
- Song, Q., Zhang, X., Mao, M., Sun, W., Zhang, C., Chen, Y., & Li, L. (2021). Relationship of proprioception, cutaneous sensitivity, and muscle strength with the balance control among older adults. *Journal of Sport and Health Science*, 10(5), 585-593.
- Springer, B.A., Marin, R., Cyhan, T., Roberts, H., & Gill, N.W. (2007). Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 30(1), 8-15.
- Tinetti, M. E., Richman, D., & Powell, L. (1990). Falls efficacy as a measure of fear of falling. *Journal of Gerontology*, 45(6), P239-P243.
- Uritani, D., Fukumoto, T., Matsumoto, D., & Shima, M. (2014). Reference values for toe grip strength among Japanese adults aged 20-79 years: A cross-sectional study.

- Journal of Foot and Ankle Research*, 7(1), 28.
- Uritani, D., Matsuo, S., & Ihashi, K. (2016). The relationship between toe grip strength and dynamic balance in older adults. *Gait & Posture*, 50, 214-218.
- Viseux, F. J. F. (2020). The sensory role of the sole of the foot: Review and update on clinical perspectives. *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*, 50, 55-68.
- Viseux, F., Lemaire, A., Barbier, F., Charpentier, P., Leteneur, S., & Villeneuve, P. (2019). How can the stimulation of plantar cutaneous receptors improve postural control? Review and clinical commentary. *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*, 49(3), 263-268.
- Wei, A., Zeng, Z., Liu, M., & Wang, L. (2022). Effect of intrinsic foot muscles training on foot function and dynamic postural balance: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, 17(4), e0266525
- Wilmot, S., Alfonso, A., Velez, J., & Edeer, A. (2019). The effect of sensory stimulation versus motor control cueing on balance and functional reach in elderly females. *Advances in Aging Research*, 8, 119-128.
- Yamako, G., et al. (2023). Evaluation of sit-to-stand movement in older adults with locomotive syndrome using inertial sensors. *Sensors*, 23(6), 3160.
- Yamauchi, J., & Koyama, K. (2019). Force-generating capacity of the toe flexor muscles and dynamic function of the foot arch in upright standing. *Journal of Anatomy*, 234(4), 515-522.
- Yardley, L., Beyer N., Hauer, K., Kempen, G., Piot-Ziegler, C., & Todd, C. (2005). Development and initial validation of the falls efficacy scale-international(FES-I). *Age and Ageing*, 34(6), 614-619.
- Zehr, E. P., Nakajima, T., Barss, T. S., Klarner, T., Miklosovic, T. K., & Mezzarane, R. A. (2014). Cutaneous stimulation of discrete regions of the sole during locomotion produces “sensory steering” of the foot. *PloS One*, 9(6), e100957.

The Effects of an X-kit Based Integrated Foot Function Exercise Program on Lower Extremity Function, Balance, and Fall Efficacy in Community-Dwelling Older Women

Su-Ji, Choi(Kookmin University, Doctor's Student) • Ji-Hyun, Chun(Kookmin University, Assistant Professor)

ABSTRACT

This study investigated the effects of an X-kit - based integrated foot function exercise program on foot function, lower-limb function, balance performance, and falls efficacy in older women. Thirty-four community-dwelling women aged 75 years or older were assigned to an exercise group (EG, n = 18) or a control group (CG, n = 16). The EG participated in the exercise program twice weekly for 10 weeks, while the CG maintained their usual daily activities. Toe flexor strength, hallux extension range of motion, sit-to-stand performance, one-leg standing balance, functional reach, and falls efficacy were assessed before and after the intervention. Group $\times$ time interaction effects were analyzed using two-way repeated measures ANOVA. Significant interaction effects were observed in all variables ($p < .001$), with the EG showing improvements across all measures, whereas the CG demonstrated a general decline or no change. Relatively larger changes were observed in toe strength, hallux extension, functional reach, and falls efficacy. These findings suggest that X-kit -based integrated foot function exercise may be associated with overall improvements in functional performance and falls-related psychological factors in older women.

Key words: Foot function training, Balance, Falls efficacy, Older women

논문 접수일 : 2026. 05. 07

논문 승인일 : 2026. 06. 02

논문 게재일 : 2026. 06. 30