



# 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 지역사회 여성 노인의 엄지발가락 관절가동범위 및 균형능력에 미치는 영향

심 현(국민대학교, 박사과정) · 전지현\*(국민대학교, 조교수)

## 국문초록

본 연구는 8주간의 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 지역사회 여성 노인의 엄지발가락 관절가동범위 및 균형능력에 미치는 영향을 규명하는데 목적이 있다. 연구 대상은 70~80대 건강한 지역사회 여성 노인 40명을 표집, 운동 집단과 통제 집단에 각각 20명씩 무선 배정하였고 운동 집단은 발 내재근 및 외재근 통합 운동을 적용하였다. 엄지발가락 관절가동범위(ROM)와 균형 능력은 능동적 폼 가동범위, 한 다리지지 전방 도달 검사(SLAR), 기능적 전방 도달 검사(FRT)를 통해 각 변인을 측정하였으며 SPSS WIN 28.0 Program을 활용하여 비모수 검정 통계인 Mann-Whitney Test, Wilcoxon Matched-Pairs Test, Quade's Nonparametric ANCOVA, Spearman correlation analysis를 실시하였다. 그 결과 운동 집단에서 비우세측과 우세측 모두 ROM( $p<.001$ ,  $p<.05$ ), SLAR( $p<.001$ ,  $p<.01$ ), FRT( $p<.001$ ,  $p<.001$ )이 통계적으로 유의하게 향상되었으며 사전 측정 값을 통제한 후에도 균형 능력의 유의한 향상이 확인되었다( $p<.001$ ,  $p<.01$ ,  $p<.05$ ). 둘째, 발 내재근 및 외재근 통합 운동 집단에서 엄지발가락 기능과 관련된 종속변인 개선 간의 유의한 정(+)적 연관성이 있는 것으로 나타났다( $p<.05$ ). 본 연구 결과를 통해 노화로 인한 엄지발가락 기능 저하가 두드러진 여성 노인에게 발 내재근과 외재근을 통합한 규칙적인 운동이 관절가동범위와 균형 능력 향상에 효과적이며 이는 낙상 예방을 위한 유용한 중재 방법 중 하나로 활용될 수 있음을 시사한다.

한글주요어 : 발 내재근, 발 외재근, 엄지발가락 관절가동범위, 균형능력, 낙상 예방

\* 전지현, 국민대학교, E-mail : [chunjh@kookmin.ac.kr](mailto:chunjh@kookmin.ac.kr)

## I. 서 론

발(Foot)은 26개의 뼈(Bones), 33개의 관절(Joints) 그리고 100개 이상의 인대(Ligaments)와 근육(Muscles)으로 구성된 복잡한 해부학적 구조물로(Manganaro, Dollinger, Nezwik & Sadiq, 2023) 발의 작은 뼈들과 인대, 아치(Arch) 그리고 다양한 근육들이 협응하여 신체를 지탱하고 균형을 유지하는데 핵심적인 역할을 한다(Chinpeerasathian, Sin Oo, Siriphorn & Pensri, 2024). 특히, 발은 지면과 직접적으로 접촉하는 유일한 기관으로 무릎과 엉덩이를 포함한 하지 사슬(Lower extremity kinetic chain)과 밀접하게 연결되어 있어 발의 구조적 및 기능적 이상(Dysfunction)이 발생할 경우 생체역학적 변화를 초래하여 다양한 근골격계 질환의 발생 위험을 증가시킬 수 있다(Lazzarini, O'Rourke, Russell, Clark & Kuys, 2012; Tong & Kong, 2013). 또한, 족부 병리학적 상태(Foot pathology)로 인한 통증 및 기능적 불편감은 보행(Gait)과 같은 기본적인 신체활동을 제한하여 낙상 위험(Fall risk)을 높이고 신체 전반에 걸친 만성질환(Chronic diseases) 발생률을 증가시키는 것으로 보고되었다(Eker & Belgen Kaygisiz, 2019; Zhang & Lu, 2020).

건강한 발은 건강한 발가락에서 비롯되며 다섯 개의 발가락 중 엄지발가락(Hallux)은 발 전체의 기능을 대표할 정도로 중요한 역할을 수행한다(Słomka & Michalska, 2024). 엄지발가락의 기능적 움직임은 윈드라스 메커니즘(Windlass mechanism)과 같은 다양한 생체역학적 요소와 연관되어 있으며(Welte

et al., 2021; Gómez-Carrión et al., 2024) 특히, 엄지발가락 관절가동범위(Range of motion; ROM)는 보행 시 신체의 안정성과 추진력을 생성 및 유지하는데 핵심적인 역할을 하고(Menz, 2015; Távara-Vidalón, Lafuente-Sotillos & Manfredi-Márquez, 2017; Castro-Ménde, Canca-Sánchez, Pabón-Carrasco, Jiménez-Cebrián & Córdoba-Fernández, 2023) 한발 서기 수행능력과 전방 및 후방으로의 체중 이동 시 방향 조절 능력에 필수적인 요소로 작용한다(Doi, Pataky, Tateuchi, Nagai-Tanima & Aoyama, 2024). 따라서, 엄지발가락의 충분한 관절가동범위가 확보되면 지면을 효과적으로 밀어내고 원활한 체중 이동 및 전방 추진력(Forward propulsion)을 생성함으로써 적절한 보행 속도와 보폭을 유지할 수 있게 되는 반면, 엄지발가락의 관절가동범위가 제한될 경우 보행 효율성이 저하되고 자세 안정성 및 균형 능력에 부정적인 영향을 미쳐 낙상 위험이 증가할 수 있다(Wisdish, Rice & Farris, 2025).

노화 과정에서 근골격계 및 신경계 기능 저하는 필연적으로 발생하며 이에 따라 엄지발가락의 관절가동범위 또한 점진적으로 감소하는 경향을 보인다(Núñez-Lisboa, Valero-Breton & Dewolf, 2023). 기존 연구에 따르면 60세 이상 노인의 엄지발가락 폼 가동범위는 젊은 성인보다 20~30% 감소하는 것으로 보고되었으며(Mickle, Angi, Crofts & Nester, 2016) 다른 연구에서는 노년기 엄지발가락 관절가동범위의 제한이 균형을 조절하는 과정에서 전방으로 체중을 효과적으로 이동시키는 능력을 저하시켜 낙상 위험 증가에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 확인

되었다(Wei, Zeng, Liu & Wang, 2022). 또한, 긴엄지굽힘근(Flexor hallucis longus; FHL)과 짧은엄지굽힘근(Flexor hallucis brevis; FHB)의 기능 저하는 보행 시 제1중족지절관절(First metatarsophalangeal joint; 1<sup>st</sup> MTP joint)의 지지 능력을 약화시키며 이로 인해 족저부 추진력(Plantar Propulsion)이 감소하고 결과적으로 보행 속도 및 보폭을 줄이는 주요 요인으로 작용한다고 보고되었다(Péter, Hegyi, Finni & Cronin, 2017). 이러한 선행 연구 결과는 노화에 따른 균형 능력 및 보행 속도의 현저한 감소 요인 중 엄지발가락의 관절가동범위 저하가 중요한 기여 인자로 작용한다는 점을 시사한다.

특히, 여성 노인은 남성 노인에 비해 노화 과정에서 엄지발가락 관절가동범위와 관련된 변화를 경험할 가능성이 유의하게 높은 것으로 보고되고 있다(Mickle et al., 2016; Jankowicz-Szymańska, Wódka, Bibro, Smoła & Bac, 2022). 정상적인 보행을 위해서는 60~65도의 엄지발가락의 펴기(Extension)가 필요하지만 여성 노인의 경우 폐경 후 체중 증가, 근육량 감소(Sarcopenia), 에스트로겐 수치 변화 등의 생리학적 변화로 인해 관절가동범위 제한, 근력 약화, 윈드라스 메커니즘의 효율성 감소와 같은 기능 저하가 나타나는 경향이 있다(Yokozuka, Okazaki, Sakamoto & Takahashi, 2019; Jankowicz-Szymańska et al., 2022; Zhang et al., 2024). 이러한 엄지발가락의 관절가동범위 제한은 발의 구조적 변형과 기능적 제한을 초래하여 지지 기능과 자세 안정성을 감소시키고 결과적으로 균형 능력, 보행 속도와 보폭 감소, 낙상 위험

증가 그리고 전반적인 삶의 질(Quality of Life; QoL) 저하로 이어질 수 있다(Puszczalowska-Lizis, Bujas, Omorczyk, Jandzis & Zak, 2017; Omae et al., 2021; Santos, Prado-Rico, de Oliveira Cirino & Perracini, 2021). 따라서, 여성 노인의 엄지발가락의 관절가동범위 개선을 위한 중재는 공중보건학적 측면에서 중요한 과제로 고려될 필요가 있다.

엄지발가락의 정상 가동 범위를 회복하기 위해서는 엄지발가락의 움직임을 조절하는 근육들의 기능을 이해하는 것이 중요하다. 엄지발가락의 움직임은 주로 발 내재근(Intrinsic muscles of the foot)과 발 외재근(Extrinsic muscles of the foot)의 협응에 의해 조절된다(Ridge et al., 2022). 발 내재근은 발 내부에 위치하며 엄지발가락 및 발 아치의 안정성을 조절하는 역할을 수행하고 보행 중 엄지발가락의 안정성을 유지하는데 기여한다(Kelly et al., 2014; Glasoe, 2016). 대표적인 발 내재근으로는 엄지벌림근(Abductor hallucis; AH), 짧은엄지굽힘근(Flexor hallucis brevis; FHB), 짧은발가락굽힘근(Flexor digitorum brevis; FDB) 등이 있다. 반면, 발 외재근은 발과 발목의 움직임을 조절하며 보행 시 발의 역학적 안정성을 유지하고 하지 근육과 협응하여 균형을 조절하는 기능을 한다(Sukprasert, Boonyarom & Somthavil, 2024). 대표적인 발 외재근으로는 긴발가락굽힘근(Flexor digitorum longus; FDL), 긴엄지굽힘근(Flexor hallucis longus; FHL), 뒤정강근(Tibialis posterior; TP) 등이 있다. Futrell, Roberts & Toole(2022)의 연구에 따르면 발 내재근이 약화될 경우 엄지발가락의 펴기 가동범위가 제한되

어 지면반발력 활용이 감소하고 균형 조절에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 보고하였으며 또 다른 연구에서는 발 외재근이 약화될 경우 보행 중 체중 부하를 효과적으로 분산하지 못하게 되어 엄지발가락의 폼 가동범위 감소를 초래하고 이로 인해 보행 효율성이 더욱 저하되는 악순환이 반복될 가능성이 높다고 보고하였다(Ridge et al., 2022). 이러한 선행 연구 결과는 발 내재근 및 외재근의 약화가 엄지발가락의 폼 기능 저하를 유발하며 이는 보행뿐만 아니라 균형 유지 및 기능적 움직임 수행에도 중요한 영향을 미친다는 점을 강조한다.

이에 최근 노인의 엄지발가락 기능 향상을 위한 다양한 중재 방법이 적용되고 있으나 대부분 발 내재근(황룡 & 최영준, 2018; 진홍범, 오재근, 지무엽, 박한수 & 윤진호, 2024) 또는 외재근(김선민, 이근수 & 장상훈, 2023) 중 한 가지 근육군에만 초점을 맞추는 경향이 있다. 그러나 실제 일상생활 동작에서 발은 내재근과 외재근의 협응적 작용을 통해 기능하므로 개별 근육군 강화만으로는 복합적인 보행 매커니즘과 균형 조절 능력을 충분히 향상시키는데 한계가 있을 것으로 생각된다. 발 내재근 및 외재근을 통합적으로 강화하는 접근법이 균형, 보행 안정성, 추진력 생성 등을 동시에 개선하는 데 더 효과적인 것으로 예상되지만 노인을 대상으로 한 연구는 부족한 실정이다. 특히, 앞서 언급한 바와 같이 노화 과정에서 엄지발가락 기능 저하가 더 뚜렷하게 나타나는 여성 노인을 대상으로 한 통합적 운동 중재 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 지역사회에 거주하는 건강한 여성 노인을 대상으로 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 엄지발가락 관절가동범위 및 균

형능력에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구 수행에 앞서 K대학교 생명윤리위원회(IRB)로부터 승인(KMU-202409-HR-429)을 받은 후 진행되었으며 연구 참여 전 대상자들에게 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하고 자발적 동의를 얻었다. 연구대상자는 서울특별시 성북구 소재 지역사회에 거주하고 있는 70~80대 건강한 여성 노인 40명으로 선정하였다. 모든 대상자들은 신체활동준비 설문지(PAR-Q+)를 통해 운동 참여에 적합한 상태임을 확인하였으며 신체적 결함 및 하지 근골격계 질환이 없는 것으로 확인되었다. 최종 선정된 대상자는 발 내재근 및 외재근 통합 운동 집단과 통제 집단에 20명씩 무선 배정(Random assignment)하였으며 총 40명(나이: 80.69±5.56세, BMI: 24.17±4.14 kg/m<sup>2</sup>)의 자료를 최종 분석에 활용하였다.

### 2. 실험 도구 및 방법

본 연구에서 엄지발가락 관절가동범위 및 균형능력과 관련된 변인 측정은 숙련된 연구자 1명에 의해 실시되었으며 측정을 진행하기 전 평가 항목 간의 서로 영향을 미치는 것을 방지하기 위해 엄지발가락 중족지절관절(Metatarsophalangeal joint; MTP)의 능동적 폼(Active extension) 가동범위(Range of motion; ROM), 한 다리지지 전방 도달 검사(Single

leg anterior reach: SLAR), 기능적 전방 도달 검사 (Functional reach test; FRT) 순으로 측정하였고 모든 측정은 사전과 사후 총 2회 진행되었다. 특히, 측정 전 설문을 통해 우세발(dominant)과 비우세발(non-dominant)을 확인한 결과 모든 대상자의 오른발이 우세발로 나타났다. 이에 따라 본 연구에서는 오른발을 우세발, 왼발을 비우세발로 정의하였다. 발 내재근 및 외재근 통합 운동 집단의 경우 운동 프로토콜에 따라 발 내재근 및 외재근 강화 운동을 진행하였다.

### 1) 엄지발가락 중족지절관절(MTP)의 능동적 관절가동범위(ROM)

본 연구에서 엄지발가락 중족지절관절(MTP)의 능동적 폼 가동범위(ROM)는 동적 움직임에서의 기능적 제한을 확인하고 보행 시 필요한 관절의 가동범위를 평가하는 것으로 발과 발목의 동적 기능을 분석하는 데 유용한 정보를 제공하는 평가 방법으로 알려져 있다(Allan et al., 2020).

대상자는 <그림 1>과 같이 등받이가 있는 의자에 바르게 앉아 무릎 90도 굽힘(Flexion), 발목 중립(Neutral ankle position)으로 한 상태에서 발바닥이 지면에 완전히 부착될 수 있도록 준비시켰다. 검사자의 신호에 따라 대상자는 엄지발가락을 최대 폼하여 그 상태를 3초간 유지할 수 있도록 하였으며 이때, 검사자는 각도계(Goniometer, SAEHAN, Korea)를 사용하여 지점선이 1번 중족골 머리, 고정자는 발배뼈(Navicular), 이동자는 1번 발가락뼈 내측 측면과 평행하도록 일치시켜 관절가동범위를 측정하였다. 측정은 우세발 및 비우세발 각 2회 실시하고 가

장 좋은 값을 기록으로 사용하였다(Allan et al., 2020). 측정 도중 1번 중족골이 지면에서 떨어지거나 균형을 잡을 수 없는 경우, 다른 발가락이 함께 움직이는 경우에는 기록으로 사용하지 않고 재측정을 실시하였다.



그림 1. 엄지발가락 중족지절관절(MTP)의 능동적 관절가동범위(ROM)

### 2) 한 다리지지 전방 도달 검사(SLAR)

한 다리지지 전방 도달 검사(SLAR)는 동적균형 및 전방 이동 기능을 평가하는 방법으로 특히, 노인의 동적 균형과 낙상 위험을 예측하는데 유효한 것으로 보고되었다(Tivadar & Kotnik, 2024).

평가는 Y-Balance test kit(Functional Movement Systems, Danville, VA)를 이용하여 실시하였으며 측정은 <그림 2>와 같이 대상자가 한 다리로지지한 상태에서 발가락으로 Kit의 reach indicator를 가장 멀리 뻗을 수 있을 만큼 전방으로 밀어내도록 지시하였다. 1회 연습 후 우세발 및 비우세발 각 3회씩 실시하고 가장 좋은 값을 0.5cm 단위로 기록하였으며 측정 도중 균형을 잡을 수 없거나 Kit의 reach indicator를 발로 차는 경우, 발가락이 아닌

발바닥을 이용하여 미는 경우에는 기록으로 사용하지 않고 재측정을 실시하였다.



그림 2. 한 다리지지 전방 도달 검사(SLAR)

### 3) 기능적 전방 도달 검사(FRT)

기능적 전방 도달 검사(FRT)는 상지 체간 조절 및 균형 능력을 확인하고 특히, 노인의 경우 낙상위험도를 예측할 수 있는 평가방법이다(Williams et al., 2017). 측정은 <그림 3>과 같이 벽으로부터 10cm 떨어진 곳에 어깨관절 90도 굽힘(Flexion)한 후 주먹을 쥐고 3번째 손허리손가락관절 머리를 시작 위치로 기록하였다. 이후 발을 고정된 상태에서 팔을 가



그림 3. 기능적 전방 도달 검사(FRT)

능한 한 멀리 앞으로 뻗도록 지시하여 새롭게 위치한 3번째 손허리손가락관절 머리까지의 거리를 측정하였다. 우세발 및 비우세발 각 3회씩 측정 후 마지막 두 번의 측정값의 평균값을 기록으로 사용하였다(Merchán-Baeza, González-Sánchez & Cuesta-Vargas, 2014).

### 4) 발 내재근 및 외재근 통합 운동 프로토콜

본 연구의 발 내재근 및 외재근 통합 운동은 Fraser & Hertel(2019), Pabón-Carrasco et al. (2020), Okamura et al.(2020), Ridge et al.(2022) 등의 연구를 참고하여 구성하였으며 운동 중재 프로토콜은 발 내재근 운동, 발 외재근 운동, 발 내재근 및 외재근 통합 운동 순으로 구성하여 실시하였다. 발 내재근 운동은 발바닥 아치 유지 및 발가락 기능 향상에 직접적인 영향을 주며(Fraser & Hertel, 2019; Okamura et al., 2020; Pabón-Carrasco et al., 2020) 외재근 운동은 하지 전체의 근활성도와 균형 유지에 기여하는 요소로 알려져 있다(Ridge et al., 2022). 따라서 본 연구는 연구 목적과 가설을 충족하기 위한 중재 전략으로 두 근육군을 분리하여 접근하기보다는 통합적으로 적용하였으며 이를 통해 발의 고유수용성감각 자극을 유도하고 근력, 근지구력 및 협응력 향상을 동시에 도모하고자 하였다.

운동 중재는 주 2회, 50분 총 8주 실시하였고 매 차시마다 대상자의 안정성과 운동 수행 가능성을 확인하였다. 또한, 체중 부하 증가를 통한 운동 강도 증진을 위해 1~4주까지는 앉은 자세에서, 5~8주까지는 선 자세에서 연구책임자의 관리감독 하에 진행되었다. 자세한 운동 중재 프로토콜은 다음 <표 1>과

표 1. 발 내재근 및 외재근 통합 운동 프로토콜

구분 및 운동유형		운동강도	주	시간 및 세트 수
발 내재근 운동	Big toe extension&flexion			15 rep × 2 sets (15 min)
	Toes extension&flexion			
	Toes rolling			
	Toe spread			
발 외재근 운동	Double leg heel raise	앉은 자세	1~4	15 rep × 2 sets (15 min)
	Alternated leg heel raise			
	Dorsi flexion&Plantar flexion			
	Inversion&Eversion			
	Ankle circle(inside&Outside)			
발 내재근 및 외재근 통합 운동	Lift object with ball, band			15 rep × 2 sets (15 min)
	Short foot exercise with paper, towel, band			
정리 운동	Self foot massage			5 min
발 내재근 운동	Big toe extension&flexion			15 rep × 2 sets (15 min)
	Toes extension&flexion			
	Toes rolling			
	Toe spread			
발 외재근 운동	Double leg heel raise	선 자세	5~8	15 rep × 2 sets (15 min)
	Alternated leg heel raise			
	Dorsi flexion&Plantar flexion			
	Inversion&Eversion			
	Ankle circle(inside&Outside)			
발 내재근 및 외재근 통합 운동	Lift object with ball, band			15 rep × 2 sets (15 min)
	Short foot exercise with paper, towel, band			
정리 운동	Self foot massage			5 min
운동 총 소요시간				50 min

같다.

### 3. 자료처리

본 연구에서 수집된 모든 자료는 통계 프로그램 SPSS 28.0 WIN을 이용하여 평균과 표준편차로 산출하였으며 연구 목적에 따른 본격적인 분석에 앞서 수집된 모든 종속변인 자료 값의 정규성을 검정하기 위해 데이터 검증 실시한 결과, 정규성을 만족하지 않아 비모수 통계기법을 적용하였다. 먼저, 각 그룹의 사전 측정 값 차이에 대한 여부를 확인하기 위해

Mann-Whitney test를 실시하였으며 8주간의 발 내재근 및 외재근 통합 운동 전후 효과를 검증하기 위해 Wilcoxon Matched-Pairs test를 실시하였다. 또한, 발 내재근 및 외재근 통합 운동 후 종속변인 간의 상관관계 정도를 확인하기 위해 Spearman correlation analysis를 실시하였으며 모든 통계적 유의수준은  $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

### Ⅲ. 결 과

본 연구는 지역사회 건강한 여성 노인을 대상으로 8주간의 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 엄지발가락 기능에 미치는 영향을 검토하였다.

발 내재근 및 외재근 통합 운동 집단과 통제 집단 모두 사전 및 사후 측정에서 대상자의 신장과 체중에 대한 변화는 없었으며 두 집단 간 사전 값의 차이를 확인하기 위해 비모수 검정 통계인 Mann-Whitney Test를 실시한 결과 Non-dominant single leg anterior reach, Dominant single leg anterior reach, Dominant functional reach test에서 유의한 차이가

나타났다( $p < .05$ ). 이에 따라, 사전 검사에서 나타난 집단 간 차이를 보정하기 위해 비모수 검정인 Quade's Nonparametric ANCOVA를 실시하였다.

#### 1. 발 내재근 및 외재근 통합 운동에 따른 엄지 발가락 기능 전후 변화

8주 간 발 내재근 및 외재근 통합 운동을 실시하고 발 내재근 및 외재근 통합 운동 집단의 엄지발가락 기능 전후 변화는 다음 <표 2>와 같다. 첫째, 발 내재근 및 외재근 통합 운동 집단의 엄지발가락 관절가동 범위(ROM)은 운동 전 비우세측  $30.2 \pm 13.6(^{\circ})$ , 우세측  $29.8 \pm 11.4(^{\circ})$ 에서 운동 후 비우세측  $50.9 \pm 10.6(^{\circ})$ , 우세측  $49.2 \pm 8.9(^{\circ})$ 로 유의하게 증가한 것으로

표 2. 발 기능 변인의 Mann-Whitney Test와 Wilcoxon Matched-Pairs Test 결과

Variables	Group	pre	post	Mann-Whitney		Wilcoxon Matched-Pairs	
				t	p	t	p
Non-dominant Big toe ROM	TG (n=20)	30.2±13.6	50.9±10.6	-1.671	.096	3.922	.000***
	CG (n=20)	24.1±16.1	20.7±19.0			-2.103	.035*
Dominant Big toe ROM	TG (n=20)	29.8±11.4	49.2±8.9	-1.635	.108	3.827	.000***
	CG (n=20)	22.5±19.5	20.4±21.0			-1.782	.075
Non-dominant Single leg Anterior reach	TG (n=20)	38.5±19.3	58.7±13.5	-3.592	.000***	3.503	.000***
	CG (n=20)	22.2±9.0	27.3±13.1			-1.000	.317
Dominant Single leg Anterior reach	TG (n=20)	46.3±11.4	57.2±15.2	-4.007	.000***	2.888	.004**
	CG (n=20)	27.3±13.1	27.2±13.0			-1.000	.317
Non-dominant Functional reach test	TG (n=20)	16.5±11.1	35.7±9.4	1.612	.108	3.922	.000***
	CG (n=20)	22.1±12.8	22.3±12.3			1.342	.180
Dominant Functional reach test	TG (n=20)	17.5±10.1	34.7±8.8	2.462	.013*	3.753	.000***
	CG (n=20)	34.8±21.6	34.7±21.8			-1.000	.317

(M ± SD), \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ , ROM : Range of motion, AR : Anterior reach, FRT : Functional reach test

나타났다( $p < .001$ ,  $p < .05$ ). 둘째, 한다리지지 전방 검사(AR)에서 운동 전 비우세측 38.5±19.3(cm), 우세측 46.3±11.4(cm)에서 운동 후 비우세측 58.7±13.5(cm), 우세측 57.2±15.2(cm)로 유의하게 향상되었으며( $p < .001$ ,  $p < .01$ ) 기능적 전방 도달 검사(FRT)에서는 운동 전 비우세측 16.5±11.1(cm), 우세측 17.5±10.1(cm)에서 운동 후 비우세측 35.7±9.4(cm), 우세측 34.7±8.8(cm)로 유의하게 향상되는 결과가 나타났다( $p < .001$ ,  $p < .001$ ).

표 3. Quade's Nonparametric ANCOVA 결과

Variable	Quade's Nonparametric ANCOVA		
	DF	t	p
Non-dominant Single leg Anterior reach	38	5.404	.000***
Dominant Single leg Anterior reach	38	2.803	.005**
Dominant Functional reach test	38	2.176	.038*

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

또한, 사전 측정 결과 두 그룹 간 균형 능력의 차이가 있었으며 이에 따른 집단 간 차이를 보정하기 위해 비모수 검정인 Quade's Nonparametric ANCOVA를 실시하여 운동 중재의 효과를 보다 정밀하게 검증한 결과는 다음 <표 3>과 같다. 그 결과, 사전 측정 값을 공변량으로 통제한 후에도 발 내재근 및 외재근 통합 운동 집단의 Non-dominant single leg anterior reach, Dominant single leg anterior reach, Dominant functional reach test의 향상은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다( $p < .001$ ,  $p < .01$ ,  $p < .05$ ).

## 2. 발 내재근 및 외재근 통합 운동에 따른 엄지발가락 기능과 관련된 변인 간 상관관계 분석 결과

본 연구의 종속변수인 엄지발가락 관절가동범위(ROM), 한 다리지지 전방 도달 검사(SLAR), 기능적 전방 도달 검사(FRT) 간의 관련성을 분석하기 위해 비모수 통계 기법인 스피어만 상관관계분석(Spearman correlation analysis)을 실시하였다(표 4). 비우세측과 우세측 모두 ROM과 SLAR (Non-dominant:

표 4. 운동 중재에 따른 종속 변인 간 Spearman correlation analysis 결과

Variable	Non-dominant ROM	Non-dominant SLAR	Non-dominant FRT	Variable	Dominant ROM	Dominant SLAR	Dominant FRT
Non-dominant ROM	1			Dominant ROM	1		
Non-dominant SLAR	.463*	1		Dominant SLAR	.635*	1	
Non-dominant FRT	.523*	.558*	1	Dominant FRT	.563*	.583*	1

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ , ROM : Range of motion, SLAR : Single leg Anterior reach, FRT : Functional reach test

$r=.463, p<0.5$ , Dominant:  $r=.635, p<.05$ ), ROM과 FRT(Non-dominant:  $r=.523, p<0.5$ , Dominant:  $r=.563, p<.05$ ), SLAR과 FRT(Non-dominant:  $r=.558, p<0.5$ , Dominant:  $r=.583, p<.05$ )에서 통계적으로 유의한 정(+)적 상관관계를 보였다.

#### IV. 논 의

본 연구에서는 지역사회에 거주하는 건강한 여성 노인을 대상으로 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 엄지발가락 관절가동범위 및 균형능력에 미치는 영향을 알아보기 위해 8주간 발 내재근 및 외재근 통합 운동 중재 여부에 따른 엄지발가락 관절가동범위 및 균형능력의 변화를 관찰하고 비교하였다. 그 결과, 발 내재근 및 외재근 통합 운동을 8주간 진행했을 때 여성 노인의 엄지발가락 관절가동범위와 균형 능력은 유의하게 향상되었다.

발 내재근은 발가락과 발바닥 안쪽에 위치하여 구조적으로 발 아치를 유지하여 안정성을 확보하고 주로 정밀한 움직임과 미세한 위치 감각 조절 등의 기능적 역할을 수행한다(Lai, Wang, Zhou, Chen & Wang, 2023). 반면, 발 외재근은 발과 발목을 통과하며 각 근육들은 발가락과 아치의 여러 뼈에 교차처럼 연결되어 있고 내재근에 비해 비교적 크기가 커서 주로 큰 움직임, 충격 흡수 및 에너지 발산 기능을 담당한다(Mickle et al., 2016; Lai et al., 2023).

한편, 엄지발가락은 발 내재근과 외재근의 협응을 통해 다양한 움직임을 수행하며 두 개의 뼈로 이루어

진 지렛대 구조를 기반으로 다른 발가락보다 더 강한 지지력을 제공하는 것으로 알려져 있다(McKeon, Hertel, Bramble & Davis, 2015; Farris, Kelly, Cresswell & Lichtwark, 2019). 이러한 엄지발가락의 구조적 및 기능적 특성은 보행이나 균형 유지 시 지면을 밀어내는 추진력 생성과 체중 지지에 핵심적인 역할을 하며 이를 효과적으로 수행하기 위해서는 충분한 관절가동범위가 확보되어야 한다(Goldmann & Brüggemann, 2012). 본 연구에서 발 내재근 및 외재근 통합 운동을 진행한 집단의 비우세측과 우세측 모두 엄지발가락 관절가동범위( $p<.001, p<.05$ )가 유의하게 향상되는 결과가 나타났다. Arge, Lenzner, Gapeyeva & Pääsuke(2012)의 연구에서 중년 여성을 대상으로 발 근육 및 엄지발가락 가동성 운동을 2개월 간 규칙적으로 실시한 결과 제1중족지절관절의 수동적 폼 각도 및 발 통증이 유의하게 개선되었다고 보고하였으며 Fraser & Hertel(2019)의 연구에서는 건강한 성인을 대상으로 4주간의 발 내재근 운동을 적용한 결과 엄지발가락 폼 가동범위 및 운동 시 인지되는 난이도가 유의하게 개선되는 결과를 도출하였다. 또한, Cerrahoglu, Koşan, Sirin & Ulusoy(2016)의 연구에서는 당뇨병 환자에게 4주간의 발 내재근 및 외재근 통합 강화 운동이 첫번째 중족지절관절의 관절가동범위를 유의하게 개선시켰다는 결과를 입증하였다. 이러한 결과는 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 제1중족지절관절의 능동적 안정성을 향상시키고 근육군의 반복적인 수축과 이완을 통해 장력-신장 관계를 개선함으로써 엄지발가락 폼 가동범위를 증가시킨 것으로 해석된다. 이와 더불어 두 근육군 간 협응의 최적화는 연부조직의 유연성

항상과 수동적 저항 감소를 유도하여 관절의 가동범위를 보다 효과적으로 증대시키는데 기여한 것이라 생각된다.

또한, 발 외재근은 안쪽세로활(Medial longitudinal arch; MLA)를 위로 당겨올려주는 역할을 하고 이때 내재근은 올려진 안쪽세로활(MLA)의 장력을 유지하여 발의 구조적 안정성을 확보함으로써 목말뼈(Talus) 및 회전축을 중심으로 발목이 중립 위치를 유지할 수 있게 한다(Neville, Flemister & Houck, 2010; Kelly et al., 2014; McKeon et al., 2015). 특히, 발 내재근 및 외재근의 유연성은 발과 발가락이 지면을 안정적으로 접지할 수 있게 하여 신체 무게 중심을 분산시켜주기 때문에 발에 가해지는 힘의 방향을 능동적으로 조절할 수 있게 되어 균형 능력을 잘 발휘할 수 있게 된다고 알려져 있다(Ridge et al., 2018; Ferrari, Cooper, Reeves & Hodson-Tole, 2020). 본 연구에서 발 내재근 및 외재근 통합 운동을 진행한 집단의 경우 정적 및 동적 균형 능력, 전방 이동 기능을 평가하는 SLAR( $p < .001$ ,  $p < .01$ ), FRT( $p < .001$ ,  $p < .001$ )에서 비우세측과 우세측 모두 통계적으로 유의하게 개선되는 결과가 나타났으며 사전 측정값을 통제한 상황에서도 균형 능력은 통계적으로 유의하게 향상되어 해당 운동 중재의 효과성을 입증하였다( $p < .001$ ,  $p < .01$ ,  $p < .05$ ). 또한, 엄지발가락 관절가동범위와 균형 능력 간의 연관성을 확인하기 위해 스피어만의 상관관계 분석을 실시한 결과 모든 변인에서 유의한 정(+)적 상관관계가 나타났음을 알 수 있었다( $p < .05$ ). Moon & Jung(2021)의 연구에서는 6주간 숏 풋 운동(Short-foot exercise; SFE) 및 발 감각운동 프로그램에 참여한 유연성 평

발을 가진 건강한 성인의 SLAR이 향상되었으며 Rodrigues et al.(2023) 연구에서 전기 자극이 포함된 발 내재근 강화 운동에 참여한 노인의 경우 FRT 점수가 개선되는 결과가 나타나 발 내재근과 외재근 강화 운동은 노인의 기능적 및 동적 균형 능력을 향상시키는 데 효과적이라는 결론을 도출하였다. 이러한 결과는 규칙적인 발 내재근 및 외재근 통합 운동을 통해 발과 발가락의 유연성이 향상됨에 따라 지면을 안정적으로 접지하는 능력이 개선되고 이로 인해 한발 지지시 발의 흔들림이 최소화되면서 정교한 자세 조절이 가능해져 동적 균형 능력 개선과 전방 및 후방으로의 효율적인 체중 이동 수행에 도움이 되었을 것으로 사료된다. 이처럼 본 연구의 발 내재근 및 외재근 통합 운동 집단과 비슷한 운동을 적용한 다양한 연구들에서도 엄지발가락 관절가동범위 및 균형 능력이 향상되는 연구 결과를 입증하였기 때문에 노화 과정에서 엄지발가락 기능 저하가 더 뚜렷하게 나타나는 여성 노인의 엄지발가락 관절가동범위 및 균형 능력 개선에 효과적인 중재 방법으로 판단된다.

본 연구 결과 및 선행 연구 결과를 종합해볼 때 노년기의 발과 발가락 근력 및 가동성, 기능적 움직임 감소는 여러 요인에 의해 복합적으로 작용하기 때문에 단일 기능에 초점을 둔 운동 중재보다는 통합된 운동 중재가 더 효과적임을 입증하였다. 특히, 엄지발가락 관절가동범위 개선은 발과 발가락의 구조적 안정성을 높여 정적 및 동적 균형 능력에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 그러나 대부분의 선행연구들은 발의 기능학적 우선순위에 따라 발 내재근 또는 외재근에 초점을 맞춘 단일 운동 중재 효과 검증에 집중되어 있으며 노인을 대상으로 발 내재

근 및 외재근 통합 운동을 적용한 사례는 거의 이루어지지 않았다. 따라서, 후속 연구를 통해 단기적으로는 다양한 노인 집단과 성별을 대상으로 확대해나가야 하며 장기적으로는 추적 관찰을 통해 이러한 운동 효과의 지속성을 검증하는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 특히, 신체 노화 과정에서 엄지발가락 기능 저하가 더 뚜렷하게 나타나는 여성 노인에게서 낙상 발생 위험이 높다는 점을 고려할 때 이를 예방하기 위한 발 내재근 및 외재근 통합 운동은 지역사회 노인 건강 증진 프로그램으로의 적용 가능성을 고려해 볼 필요가 있다. 이러한 통합적 접근은 궁극적으로 노인의 보행 안정성, 낙상 예방, 전반적인 삶의 질 향상에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구는 70~80대 지역사회 건강한 여성 노인을 대상으로 8주간 이루어진 발 내재근 및 외재근 통합 운동의 효과를 규명한 연구로써 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 여성 노인의 엄지발가락 관절가동

범위와 균형 능력을 개선시키고 엄지발가락의 폼 가동범위가 개선되면 균형 능력이 향상되어 나아가 보행 안정성 및 낙상 예방에 도움이 될 수 있음을 확인하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 8주간의 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 여성 노인의 엄지발가락 관절가동범위와 균형 능력(SLAR, FRT)을 유의하게 개선시키는 것으로 나타났다.

둘째, 발 내재근 및 외재근 통합 운동 후 엄지발가락 관절가동범위와 균형 능력(SLAR, FRT) 간의 유의한 정(+)적 상관관계가 나타나 발 내재근 및 외재근 통합 운동에 따른 엄지발가락 관절가동범위 개선이 균형 능력 향상에 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 엄지발가락의 기능 저하로 인해 높은 낙상 발생 위험률을 나타내는 여성 노인에게 규칙적인 발 내재근 및 외재근 통합 운동이 권장됨을 시사하며 이와 같은 통합적 운동 접근은 노인의 낙상 예방을 위한 효과적인 운동 중재 방법 중 하나로 임상 및 지역사회에서 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- 김선민, 이근수, 장상훈(2023). 치료적 운동을 병행한 발목 관절가동술이 만성 발목 불안정성을 가진 노인의 발목 관절가동범위와 균형에 미치는 영향. **대한물리치료과학회지**, **30**(2), 52-64.
- 진홍범, 오재근, 지무엽, 박한수, 윤진호(2024). 6주간의 발 내재근 Exercise Snack이 성인 여성의 무릎 동적 외반 각도, 균형, 내측 종아치 및 통증에 미치는 영향. **한국스포츠학회**, **22**(1), 337-349.
- 황룡, 최영준(2018). 쏘풋 운동이 발의 안쪽 세로활과 균형에 미치는 영향과 효율적 적용에 대한 연구. **운동과학**, **27**(4), 252-259.
- 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.
- Arge, A., Lenzner, A., Gapeyeva, H., & Pääsuke, M. (2012). Range of motion and pain intensity of the first metatarsophalangeal joint in women with hallux valgus deformation after two-month home exercise programme. *Acta kinesiologiae universitatis tartuensis*, *18*, 111-118.
- Castro-Méndez, A., Canca-Sánchez, F. J., Pabón-Carrasco, M., Jiménez-Cebrián, A. M., & Córdoba-Fernández, A. (2023). Evaluation of Gait Parameters on Subjects with Hallux Limitus Using an Optogait Sensor System: A Case-Control Study. *Medicina*, *59*(9), 1519.
- Cerrahoglu, L., Koşan, U., Sirin, T. C., & Ulusoy, A. (2016). Range of motion and plantar pressure evaluation for the effects of self-care foot exercises on diabetic patients with and without neuropathy. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *106*(3), 189-200.
- Chinpeerasathian, C., Sin Oo, P., Siriphorn, A., & Pensri, P. (2024). Effect of foot orthoses on balance among individuals with flatfoot: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, *19*(3), e0299446.
- Doi, N., Pataky, T., Tateuchi, H., Nagai-Tanima, M., & Aoyama, T. (2024). Biomechanical gait analysis and rehabilitation in a traumatic hallux deficit patient: a case report. *Journal of Medical Case Reports*, *18*(1), 105.

- Eker, Y., & Belgen Kaygısız, B. (2019). The effect of pain severity on balance, postural stability and fall risk in patients with shoulder pathologies. *Archives of Medical Science : AMS*, *17*(2), 390-396.
- Farris, D. J., Kelly, L. A., Cresswell, A. G., & Lichtwark, G. A. (2019). The functional importance of human foot muscles for bipedal locomotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(5), 1645-1650.
- Ferrari, E., Cooper, G., Reeves, N. D., & Hodson-Tole, E. F. (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.
- Fraser, J. J., & Hertel, J. (2019). Effects of a 4-week intrinsic foot muscle exercise program on motor function: a preliminary randomized control trial. *Journal of Sport Rehabilitation*, *28*(4), 339-349.
- Futrell, E. E., Roberts, D., & Toole, E. (2022). The effects of intrinsic foot muscle strengthening on functional mobility in older adults: A systematic review. *Journal of the American Geriatrics Society*, *70*(2), 531-540.
- Glaseo, W. M. (2016). Treatment of progressive first metatarsophalangeal hallux valgus deformity: a biomechanically based muscle-strengthening approach. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *46*(7), 596-605.
- Goldmann, J. P., & Brüggemann, G. P. (2012). The potential of human toe flexor muscles to produce force. *Journal of Anatomy*, *221*(2), 187-194.
- Gómez-Carrión, Á., Reguera-Medina, J. M., Coheña-Jiménez, M., Martínez-Nova, A., Jiménez-Cano, V. M., & Sánchez-Gómez, R. (2024). Biomechanical Effect on Jack's Test on Barefoot Position, Regular Socks, and Biomechanics Socks. *Life*, *14*(2), 248.
- Jankowicz-Szymańska, A., Wódka, K., Bibro, M., Smoła, E., & Bac, A. (2022). Selected hallmarks of hallux valgus in older women with symptomatic hallux valgus compared to middle-aged women with and without deformation of the forefoot. *Scientific Reports*, *12*(1), 18338.
- Lai, Z., Wang, R., Zhou, B., Chen, J., & Wang, L. (2023). Difference in the recruitment of intrinsic foot muscles in the elderly under static and dynamic postural conditions. *PeerJ*, *11*, e15719.
- Lazzarini, P. A., O'Rourke, S. R., Russell, A. W., Clark, D., & Kuys, S. S. (2012). What are

- the key conditions associated with lower limb amputations in a major Australian teaching hospital?. *Journal of Foot and Ankle Research*, 5, 1–9.
- Manganaro, D., Dollinger, B., Nezwik, T. A., & Sadiq, N. M. (2023). Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Foot Joints. In *StatPearls [Internet]*. StatPearls publishing.
- McKeon, P. O., Hertel, J., Bramble, D., & Davis, I. (2015). The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *British Journal of Sports Medicine*, 49(5), 290–290.
- Menz, H. B. (2015). Biomechanics of the ageing foot and ankle: a mini-review. *Gerontology*, 61(4), 381–388.
- Merchán-Baeza, J. A., González-Sánchez, M., & Cuesta-Vargas, A. I. (2014). Reliability in the parameterization of the functional reach test in elderly stroke patients: a pilot study. *BioMed Research International*, 2014(1), 637671.
- Mickle, K. J., Angin, S., Crofts, G., & Nester, C. J. (2016). Effects of age on strength and morphology of toe flexor muscles. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 46(12), 1065–1070.
- Moon, D., & Jung, J. (2021). Effect of incorporating short-foot exercises in the balance rehabilitation of flat foot: A randomized controlled trial. *In Healthcare*, 9(10), 1358.
- Neville, C., Flemister, A. S., & Houck, J. R. (2010). Deep posterior compartment strength and foot kinematics in subjects with stage II posterior tibial tendon dysfunction. *Foot & Ankle International*, 31(4), 320–328.
- Núñez-Lisboa, M., Valero-Breton, M., & Dewolf, A. H. (2023). Unraveling age-related impairment of the neuromuscular system: exploring biomechanical and neurophysiological perspectives. *Frontiers in Physiology*, 14, 1194889.
- Omae, H., Ohsawa, T., Hio, N., Tsunoda, K., Omodaka, T., Hashimoto, S., et al. (2021). Hallux valgus deformity and postural sway: a cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 22(1), 503.
- 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.
- Pabón-Carrasco, M., Castro-Méndez, A., Vilar-Palomo, S., Jiménez-Cebrián, A. M., García-Paya, I., & Palomo-Toucedo,

- I. C. (2020). Randomized Clinical Trial: The Effect of Exercise of the Intrinsic Muscle on Foot Pronation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4882.
- Péter, A., Hegyi, A., Finni, T., & Cronin, N. J. (2017). In vivo fascicle behavior of the flexor hallucis longus muscle at different walking speeds. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(12), 1716–1723.
- Puszczalowska-Lizis, E., Bujas, P., Omorczyk, J., Jandzis, S., & Zak, M. (2017). Feet deformities are correlated with impaired balance and postural stability in seniors over 75. *PLoS One*, 12(9), e0183227.
- Ridge, S. T., Olsen, M. T., Bruening, D. A., Jurgensmeier, K., Griffin, D., Davis, I. S., et al. (2018). Walking in minimalist shoes is effective for strengthening foot muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 104–113.
- Ridge, S. T., Rowley, K. M., Kurihara, T., McClung, M., Tang, J., Reischl, S., et al. (2022). Contributions of intrinsic and extrinsic foot muscles during functional standing postures. *BioMed Research International*, 2022(1), 7708077.
- Rodrigues, M. M., Borges, D. C., Oliveira, L. V. D., Cabreira, M. T., Silveira, M. F. D., & Hentschke, V. S. (2023). Intrinsic foot strengthening and electrostimulation in older adults—Randomized clinical trial. *Fisioterapia em movimento*, 36, e36127.
- Santos, A. D., Prado-Rico, J. M., de Oliveira Cirino, N. T., & Perracini, M. R. (2021). Are foot deformity and plantar sensitivity impairment associated with physical function of community-dwelling older adults?. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 25(6), 846–853.
- Słomka, K. J., & Michalska, J. (2024). Relationship between the strength of the ankle and toe muscles and functional stability in young, healthy adults. *Scientific Reports*, 14(1), 9125.
- Sukprasert, O., Boonyarom, O., & Somthavil, S. (2024). Flexible flatfoot: effects of foot muscle exercises on dynamic balance, plantar pressure, and muscle strength. *Journal of Health Research*, 38(1), 11–19.
- Távora-Vidalón, P., Lafuente-Sotillos, G., & Manfredi-Márquez, M. J. (2017). Advanced hallux limitus and its relationship with the internal rotational pattern and the foot progression angle. *Revista española de podología*, 28(1), e1–e8.
- Tivadar, B. K., & Kotnik, P. (2024). Dynamic single-leg balance tests of physiotherapy students: A comparison of body-

- active weight shift test and two sudden disturbance tests. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 12(2), 322–329.
- Tong, J. W., & Kong, P. W. (2013). Association between foot type and lower extremity injuries: systematic literature review with meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(10), 700–714.
- Wei, Z., 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.
- Welte, L., Kelly, L. A., Kessler, S. E., Lieberman, D. E., D'Andrea, S. E., Lichtwark, G. A., et al. (2021). The extensibility of the plantar fascia influences the windlass mechanism during human running. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1943), 20202095.
- Williams, B., Allen, B., Hu, Z., True, H., Cho, J., Harris, A., et al. (2017). Real-time fall risk assessment using functional reach test. *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2017(1), 2042974.
- Wisdish, S. J., Rice, H. M., & Farris, D. J. (2025). Torque-angle relationships of human toe flexor muscles highlight their capacity for propulsion in gait. *Journal of Experimental Biology*, 228(1).
- Yokozuka, M., Okazaki, K., Sakamoto, Y., & Takahashi, K. (2019). Relationship between foot morphology and toe muscle strength in female university students. *Journal of Physical Therapy Science*, 31(5), 457–461.
- Zhang, B., & Lu, Q. (2020). A current review of foot disorder and plantar pressure alternation in the elderly. *Physical Activity and Health*, 4(1).
- Zhang, C., Feng, X., Zhang, X., Chen, Y., Kong, J., & Lou, Y. (2024). Research progress on the correlation between estrogen and estrogen receptor on postmenopausal sarcopenia. *Frontiers in Endocrinology*, 15, 1494972.

## Effects of Integrated Training Program for Intrinsic and Extrinsic Foot Muscles on Hallux Range of Motion and Balance Ability in Community-Dwelling Older Adults

Hyeon Sim(Kookmin University, Doctor's Student) ·  
Ji-Hyun Chun(Kookmin University, Assistant Professor)

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of an 8-week integrated intrinsic and extrinsic foot muscle exercise program on hallux range of motion (ROM) and balance ability in community-dwelling older women. Forty healthy women aged 70 to 80 years were randomly assigned to either an exercise group ( $n = 20$ ) or a control group ( $n = 20$ ). The exercise group received an integrated exercise intervention targeting both intrinsic and extrinsic foot muscles. Hallux ROM and balance ability were assessed using active extension ROM, the Single-Leg Anterior Reach (SLAR) test, and the Functional Reach Test (FRT). Nonparametric analyses, including the Mann - Whitney U test, Wilcoxon signed-rank test, Quade's nonparametric ANCOVA, and Spearman correlation analysis, were conducted using SPSS (Version 28.0). The exercise group showed significant improvements in bilateral hallux ROM ( $p < .001$ ,  $p < .05$ ), SLAR ( $p < .001$ ,  $p < .01$ ), and FRT ( $p < .001$ ,  $p < .001$ ). These improvements remained significant after adjusting for baseline values ( $p < .001$ ,  $p < .01$ ,  $p < .05$ ). Furthermore, significant positive correlations were found between improvements in hallux function and balance-related outcomes ( $p < .05$ ). These findings suggest that an integrated intrinsic and extrinsic foot muscle exercise intervention is effective for enhancing joint mobility and balance in older women and may serve as a useful strategy for fall prevention.

Key words: Intrinsic foot muscles, Extrinsic foot muscles, Hallux ROM, Balance ability, Fall prevention

논문 접수일 : 2025. 05. 19

논문 승인일 : 2025. 06. 09

논문 게재일 : 2025. 06. 30