

능동적 정강뼈 돌림 운동이 정강뼈 비틀림 각, 발목 운동범위, 근신경 조절에 미치는 급성 효과

김준혁^{1,†} MS, 이광진^{2,†} PhD, 안근옥¹ PhD

¹한국교통대학교 스포츠의학전공, ²충북대학교 체육교육과

Acute Effect of Active Tibial Rotation Exercise on Tibial Torsion Angle, Ankle Range of Motion, and Neuromuscular Control

JunHyuk Kim^{1,†} MS, Kwang-Jin Lee^{2,†} PhD, Keun-Ok An¹ PhD

¹Sports Medicine Major, Division of Sports, Korea National University of Transportation, Cheongju; ²Department of Physical Education, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

PURPOSE: This study aimed to analyze the acute effect of active tibial rotation exercise on tibial torsion angle, ankle range of motion, and neuromuscular control.

METHODS: This study was based on AB/BA Cross-over design, and participants were divided into two conditions (core-tex tibial and manual tibial rotation exercises). Before and after the exercise intervention, tibial torsion angle, non-weight bearing ankle range of motion, weight-bearing ankle range of motion and dynamic balance test, and Shark skill test were conducted.

RESULTS: An interaction effect was found in the left non-weight-bearing ankle range of motion and the right posterolateral (PL) of the Y Balance Test. In addition, there were significant differences between periods in left tibial torsion angle, non-weight-bearing ankle range of motion, bilateral weight-bearing ankle range of motion, bilateral AN, bilateral posteromedial, right PL, bilateral composite score, and bilateral Shark skill test.

CONCLUSIONS: Tibial rotation exercise is considered valuable as sports injury prevention training due to its effectiveness for lower extremities functionally and structurally regardless of tibial rotation exercise type.

Key words: Active tibial rotation exercise, Tibial torsion angle, Ankle range of motion, Neuromuscular control

서론

정강뼈는 하지 중 넓적다리뼈 및 발목 복합체와 관절하는 뼈로 발 등굽힘시 안쪽 돌림, 발바닥굽힘시 바깥 돌림과 함께 발목의 옆침과 뒤침 및 근위부 원위부의 관절 운동 변화를 일으킬 수 있는 세로축의 정강뼈 비틀림을 만든다[1-3]. 정강뼈의 비틀림은 무릎의 넓적다리뼈 안쪽 위관절용기와 가쪽 위관절용기를 잇는 축에 비해서 발목의 정강

뼈 안쪽 위관절용기와 가쪽 위관절용기를 잇는 축이 비틀어진 상태이며[4], 정상적인 정강뼈의 비틀림은 성인 기준 약 18-23도 이다[4,5]. 정강뼈의 비틀림은 정도와 방향에 따라 보행과 근육 기능에 큰 영향을 미칠 수 있으며[6], 정강뼈의 가쪽 비틀림이나 안쪽 비틀림은 팔자걸음이나 안짱걸음을 일으키고 비정상적 옆침을 발생시킬 수 있다[1,4].

정강뼈의 과도한 비틀림은 정중면 관절의 근육 능력 감소 및 선 자세 능력을 감소에 영향을 주며[6], 보행과 발목의 옆침 및 발의 변형과

Corresponding author: Keun-Ok An **Tel** +82-43-841-5995 **Fax** +82-43-841-5990 **E-mail** koan@ut.ac.kr

[†]These authors contributed equally.

*이 논문은 김준혁의 석사학위 논문을 수정 보완하였음.

Keywords 능동적 정강뼈 돌림 운동, 정강뼈 비틀림 각, 발목 운동범위, 근신경 조절

Received 10 May 2023 **Revised** 31 May 2023 **Accepted** 31 May 2023

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

관련이 있을 수 있다[7,8]. 정강뼈의 과도한 안쪽 돌림은 무릎 관절의 부상을 만들 수 있으며, 무릎 뼈관절염 및 앞십자인대재건술 후에 특 정자세에서(쪼그리고 앉는 등) 과도한 정강뼈의 바깥 돌림 현상이 나타나기 때문에 부상 확률이 높은 것으로 나타났다[9]. 전술한 바와 같이 정강뼈의 과도한 비틀림과 비정상적 돌림성 움직임은 인접한 관절에서 비정상적 운동 패턴을 일으킬 수 있으며, 정강뼈는 넓적다리뼈 및 발목 복합체와 관절하는 뼈로 그 움직임과 위치가 하지의 여러 부상에 밀접한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 대상자의 특성을 고려하여 정강뼈의 과도한 안쪽 돌림을 예방할 수 있는 다양한 중재방법들을 적용할 필요가 있다.

아킬레스 힘줄염을 가진 22-50세의 달리기 동호인과 병력이 없는 달리기 동호인을 비교한 선행연구에서는 수평면에서의 정강뼈 비틀림 각 제어를 개선하기 위한 운동프로그램이 아킬레스 힘줄염을 예방하거나 재활에 도움을 줄 수 있으며[10], 정강뼈를 최대한 안쪽 돌림을 유지하면서 레그 프레스를 실시한 선행연구에서는 관절염 환자의 기능 향상과 통증이 감소되었다[11]. 또한 도수를 이용하여 정강뼈를 수동적으로 바깥 돌림 시킨 선행연구에서는 근력과 보행 능력의 향상 및 관절 운동 범위의 증가가 나타났다[12]. 여자 농구 선수를 대상으로 총 4주간 시행한 하지 정렬 조정 운동(alignment control exercise)이 앞십자인대의 부상을 감소시킬 수 있는 정강뼈 비틀림 각 제어에 긍정적인 영향을 미쳤다[13]. 따라서 근신경 조절 운동 및 기능성 운동과 관련된 운동의 중재는 정강뼈의 움직임 변화에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 확인되어 정강뼈 조절 능력 향상이 필요하지만 현재까지 능동적 환경에서 정강뼈 돌림 운동만을 적용하여 그 효과를 규명한 연구는 없기 때문에 실천적으로 검토할 필요가 있다.

기능적으로 연결된 인간의 몸을 바탕으로 보았을 때 정적 부정렬로 볼 수 있는 과도한 정강뼈의 비틀림은 신체 정렬과 움직임에서 불안정성을 야기할 수 있으며, 관절의 기계적 수용기와 수용체의 기능 감소로 인해 근신경 조절 능력 및 운동조절 능력이 감소될 수 있다[14]. 움직임 중 나타나는 비정상적 정강뼈의 돌림 조절은 비틀림 힘을 발생시켜 다양한 부상과 관련이 있으며, 고유수용성감각이 저하되어 근방추와 신경 활성화 등 반사적인 요소들을 변형시키고 관절의 기능적 안정성과 관련된 근육의 강직성에 미치는 부정적 영향을 추론할 수 있다. 또한 다양한 연구들을 통해 부상 예방 및 근골격계 질환을 예방하기 위하여 정강뼈의 수평면 움직임 조절의 중요성이 부각되는 것으로 볼 수 있다[10,11]. 지금까지 선행연구에서 다양한 방식의 정강뼈 움직임

의 중요성과 정강뼈 돌림 조절 운동의 효과를 확인하였다. 그러나 한 방향으로만 수동적 정강뼈 돌림 운동으로 한정되어 있어 양방향 수동적 및 능동적 정강뼈 돌림 운동의 효과를 정확히 알기 어려운 실정이다. 또한 정강뼈 돌림 운동이 하지의 구조적인 측면과 기능적인 측면 양측에 미치는 효과를 확인하여야 운동 지도 현장에서 정강뼈 돌림 운동을 잘 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

이에 이 연구에서는 능동적 정강뼈 돌림 운동이 정강뼈 비틀림 각, 발목 운동범위 및 근신경 조절 능력에 미치는 급성 효과에 대해 분석하고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상

이 연구는 20대 남자 대학생 17명을 대상으로 선정하였다. 연구대상자 수는 G-Power3.1을 활용하여 산정하였다(effect size = 0.25, α -error = 0.05, power = 0.90). 대상자들은 실험 전 6개월 동안 부상 경험이 없으며, 무선 할당 방법으로 무작위로 Core-tex 정강뼈 돌림 운동(core-tex tibial rotation exercise, CTRE) 조건과 Manual 정강뼈 돌림 운동(manual tibial rotation exercise, MTRE) 조건으로 분류하고 AB/BA 교차설계(AB/BA cross-over designs)를 적용하였다. 운동 대상자에게 연구의 취지와 내용을 이해시키고 참가에 희망하는 인원들에게만 동의를 구하고 실험을 진행하였다. 연구대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구 설계

이 연구의 설계 및 절차는 Table 2와 같다. 독립변인은 운동프로그램 적용 전과 적용 후(시기), 운동프로그램 종류(CTRE, MTRE; 조건)이며. 종속변인의 세부 내용은 Table 2의 운동프로그램 적용 전/후 검사 항목이다.

3. 운동중재

이 연구에서 실시하는 운동프로그램은 Core-tex와 Manual로 하는 조건으로 나누어 실시 하였으며, Byrd et al. [15]의 Core-tex를 이용하여 진행한 연구와 Jung et al. [12]의 연구를 연구의 목적과 대상자들의 상황에 맞게 수정 보완하였다. 능동적 운동을 적용한 CTRE 집단은 참가자가 한 발을 Core-tex에 올려둔 후 정강뼈를 안쪽 돌림에서 바깥 돌림까지 스스로 움직임을 수행하며, 1회 수행하는 속도는 20초 이내로

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Condition	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
CTRE (n=17)	23.18±2.21	175.56±5.76	76.00±10.25	23.16±5.52
MTRE (n=17)				

CTRE, Core-tex tibial rotation exercise; MTRE, Manual tibial rotation exercise.

Table 2. Research procedure

Step 1	Measurement before exercise Intervention tibial torsion angle, non-weight bearing ankle range of motion, weight-bearing ankle range of motion, Y-balance test, shark skill test	
▼		
Step 2	Group A: Core-tex tibial rotation exercise (n=9)	Group B: Manual tibial rotation exercise (n=8)
▼		
Step 3	Measurement after exercise Intervention tibial torsion angle, non-weight bearing ankle range of motion, weight-bearing ankle range of motion, Y-balance test, shark skill test	
▼		
Step 4	Wash out (4 weeks)	
▼		
Step 5	Group A: Manual tibial rotation exercise (n=9)	Group B: Core-tex tibial rotation exercise (n=8)
▼		
Step 6	Measurement after exercise Intervention tibial torsion angle, non-weight bearing ankle range of motion, weight-bearing ankle range of motion, Y-balance test, shark skill test	

한정하여 적용하였다. 수동적 운동을 적용한 MTRE 집단은 측정자가 참가자의 정강뼈를 잡고 수동적으로 안쪽 돌림에서 바깥 돌림까지 움직이며, 1회 수행 속도를 20초 이내로 한정하였다. 각 조건의 운동프로그램은 Core-tex를 이용한 사전 연구 및 정강뼈의 돌림 운동을 중재한 사전 연구를 참고하여 10회씩 3세트, 세트 사이 휴식 시간 1분으로 구성하였다. 운동프로그램은 Table 3과 같다.

4. 측정 방법

모든 측정은 운동사 경력 8년의 동일인이 측정하였다.

정강뼈의 비틀림 각 검사는 고니어미터를 이용하여 측정하였다. 측정은 엎드린 자세에서 양쪽의 복숭아뼈 기점의 선과 넓적다리뼈의 안쪽 위관절용기, 가쪽 위관절용기를 가로로 이어주는 선 사이의 각도를 측정하였다[16,17].

비체중부하 발목 운동범위 검사는 고니어미터를 이용하여 앉은 자세에서 측정하였다. 각 동작의 측정시 중심축은 가쪽 복숭아뼈, 기본축은 종아리뼈의 머리 부분로 하였으며 이동축은 제5 발허리뼈로 하였다[18-20]. 체중부하 발목 운동범위 검사는 Daniel et al. [21]의 수정된 체중부하 런지테스트로 측정하였다. 벽에서 발을 35 cm 띄운 상태에서

Table 3. Core-tex tibial rotation and manual tibial rotation exercise program

Type	Rep	Set	Rest
CTRE	10	3	1 min
MTRE	10	3	1 min

1 rep exercise speed: 20 sec
(tibial internal rotation → tibial external rotation)

CTRE, Core-tex tibial rotation exercise; MTRE, Manual tibial rotation exercise.

측정을 하며 무릎 뼈에서 벽까지 거리를 측정한다.

하지 동적 안정성 검사는 Y-balance test (Move2Perform, Evansville, Inc., USA)를 실시하였다. Y-balance test (YBT)는 전방(anterior, AN), 후내측(posterior medial, PM), 후외측(posterior lateral, PL) 방향으로 뻗어 있는 선을 따라 균형을 잃지 않는 선에서 발을 최대한 멀리 밀어내는 거리를 측정하는 것이다[20]. 종합점수(composite score)는 우측과 좌측 각각 3방향으로 뻗은 거리의 합을 ‘하지 길이 ×3’으로 나눈 다음 100을 곱하여 진행하였으며, 각 3방향의 점수는 각각 뻗은 거리를 하지 길이로 나눈 다음 100을 곱하여 정규화(normalization)하였다. 하지 길이는 전상장골극의 가장 아래부분부터 안쪽 복사뼈의 가장 원위부까지 측정하였다. 모든 검사는 두 번 실시하였으며 두 번의 검사 중 높은 값을 측정값으로 채택하였다[22].

샤크 스킬 검사(shark skill test)는 하지의 민첩성과 근신경 조절 능력을 평가하기 위한 검사다. 30 cm 정사각형의 모양을 3×3으로 만든 후 시간 안에 모든 칸을 한발 호핑 동작으로 들어갔다가 중앙의 칸으로 되돌아오는 것을 목표로 하며 각 다리의 1회 연습이 부여되고 각 다리 별 2회 측정하고 높은 점수를 기록하는 방식으로 하며 선을 밟거나 실패할 시 파울로 측정하여 0.1초를 더한다[23].

5. 자료처리

이 연구의 가설을 검증하기 위하여 실험에서 얻어진 검사 자료를 IBM SPSS Ver 22.0 통계 프로그램을 사용하여 분석하였다. 모집단이 정규성을 만족하는지 확인하기 위해 Shapiro-Wilk test를 실시하였으며 ($p>.05$), 운동프로그램 적용 전과 적용 후(시기), 조건(CTRE, MTRE)을 독립변인으로 하는 각 종속 변인에 대해서 반복측정 이원분산분석(two-way repeated measures ANOVA)를 실시하였다. 통계학적 유의 수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

연구 결과

1. 정강뼈 비틀림 각(tibial torsion angle)

정강뼈 돌림 운동 전과 후의 정강뼈 비틀림 각 변화는 Table 4에 제시한 바와 같다. 오른쪽 정강뼈 비틀림 각의 시기와 조건에 따른 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 시기 간 및 조건 간에서는 유의한 차이는 나타나지 않았다. 왼쪽 정강뼈 비틀림각의 시기와 조건에 따른 상호

Table 4. Change of tibial torsion angle

	Condition	Pre	post		F	p
TTA-Rt	CTRE	18.09±4.55	16.24±3.21	T	2.960	.095
	MTRE	17.50±3.16	17.19±4.07	C	.024	.877
				T*C	1.498	.230
TTA-Lt	CTRE	18.09±3.70	16.94±6.07	T	4.961	.033*
	MTRE	18.25±3.87	17.31±5.06	C	.037	.849
				T*C	.050	.824

Values are means ± SD.

TTA-Rt, tibia torsion angle-right; TTA-Lt, tibia torsion angle-left; CTRE, Core-tex tibial rotation exercise; MTRE, Manual tibial rotation exercise; T, time; C, condition; TxC, time x condition.

* $p < .05$.

Table 5. Change of ankle range of motion

	Condition	Pre	post		F	p
NWBAR-Rt	CTRE	16.32±4.85	20.29±5.95	T	37.606	<.001***
	MTRE	16.00±3.08	20.94±5.95	C	.011	.916
				T*C	.443	.511
NWBAR-Lt	CTRE	17.11±5.01	18.97±4.60	T	18.958	<.001***
	MTRE	16.06±4.17	21.44±5.45	C	.232	.633
				T*C	4.501	.042*
WBAR-Rt	CTRE	21.08±2.76	19.53±3.25	T	54.047	<.001***
	MTRE	22.51±3.21	21.08±2.76	C	1.844	.184
				T*C	.068	.797
WBAR-Lt	CTRE	21.26±3.46	19.78±3.25	T	30.153	<.001***
	MTRE	22.07±2.93	20.86±2.44	C	.843	.366
				T*C	.347	.560

Values are means ± SD.

NWBAR-Rt, non weight bearing ankle rom-right; NWBAR-Lt, non weight bearing ankle rom-left; WBAR-Rt, weight bearing ankle rom-right; WBAR-Lt, weight bearing ankle rom-left; CTRE, Core-tex tibial rotation exercise; MTRE, Manual tibial rotation exercise; T, time; C, condition; TxC, time x condition.

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

작용 효과는 나타나지 않았다. 시기 간에서는 유의한 차이가($p = .033$) 나타났으며, 조건 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. 발목 운동범위 검사

1) 비체중부하 발목 운동범위(non-weight bearing ankle rom)

정강뼈 돌림 운동 전과 후의 비체중부하 발목 운동범위 변화는 Table 5에 제시한 바와 같다. 오른쪽 비체중부하 발목 운동범위의 시기와 조건에 따른 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 시기 간에서는 유의한 차이가 나타났으며($p < .001$), 조건 간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 왼쪽 비체중부하 발목 운동범위는 시기와 조건에 따른 상호작용 효과가 나타났으며($p = .042$). 시기 간에서는 유의한 차이가 나타났으며($p < .001$) 조건 간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2) 체중부하 발목 운동범위(weight bearing ankle rom)

정강뼈 돌림 운동 전과 후의 체중부하 발목운동범위 변화는 Table 5에 제시한 바와 같다. 오른쪽 체중부하 발목 운동범위의 시기와 조건

에 따른 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 시기 간에서는 유의한 차이가 나타났으며($p < .001$), 조건 간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 왼쪽 체중부하 발목 운동범위의 시기와 조건에 따른 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 시기 간에서는 유의한 차이가 나타났으며($p < .001$), 조건 간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3. 근신경 조절 능력 검사

1) 하지 동적 안정성 검사

정강뼈 돌림 운동 전과 후의 하지 동적 안정성 변화는 Table 6에 제시한 바와 같다. 오른쪽 YBT의 PL에서는 시기와 조건에 따른 상호작용 효과가 나타났으며($p = .020$), 나머지 변인에서는 상호작용 효과가 나타나지 않았다. 시기 간에서는 AN ($p = .003$), PM ($p = .001$), PL ($p = .020$) 및 종합점수($p < .001$)에서 유의한 차이가 나타났으며, 조건 간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 왼쪽 YBT에서 시기와 조건에 따른 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 시기 간에서는 AN ($p = .002$), PM ($p < .001$), 종합점수($p < .001$)에서 유의한 차이가 나타났으며, 조건

Table 6. Change of Y-balance test

Condition		Pre	post		F	p
AN (Rt)	CTRE	63.97±7.89	65.14±5.96	T	10.190	.003**
	MTRE	62.07±7.72	65.22±6.97	C	.144	.707
				T*C	2.117	.156
PM (Rt)	CTRE	113.73±9.75	118.05± 9.53	T	14.139	.001**
	MTRE	112.76±10.70	118.68±10.45	C	.003	.957
				T*C	.343	.562
PL (Rt)	CTRE	122.33±9.22	122.37±10.04	T	6.026	.020*
	MTRE	119.07±9.29	123.53± 9.26	C	.095	.761
				T*C	5.802	.022*
CS (Rt)	CTRE	100.00±6.40	101.85±7.29	T	30.015	<.001***
	MTRE	97.96±7.51	102.48±8.54	C	.330	.570
				T*C	2.388	.132
AN (Lt)	CTRE	63.88±6.05	65.90±5.74	T	11.598	.002**
	MTRE	64.13±7.35	66.49±6.06	C	.040	.843
				T*C	.070	.794
PM (Lt)	CTRE	116.47±7.83	120.91± 9.12	T	24.373	<.001***
	MTRE	120.91±9.12	122.44±12.07	C	.011	.918
				T*C	2.114	.064
PL (Lt)	CTRE	122.08±9.03	123.55± 7.68	T	4.016	.054
	MTRE	116.84±9.90	120.48±11.55	C	1.800	.189
				T*C	.728	.400
CS (Lt)	CTRE	100.81±5.83	103.45±6.15	T	30.015	<.001***
	MTRE	98.42±7.01	103.14±8.81	C	.330	.570
				T*C	2.388	.132

Values are means ± SD.

AN, anterior; PM, posteromedial; PL, posterolateral; CS, composite score; Rt, right; Lt, left; CTRE, Core-tex tibial rotation exercise; MTRE, Manual tibial rotation exercise; T, time; C, condition; TxC, time x condition.

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

Table 7. Change of Shark skill test

Condition		Pre	post		F	p
Rt	CTRE	7.04±0.70	6.27±0.49	T	50.586	<.001***
	MTRE	7.19±0.63	6.41±0.67	C	.594	.447
				T*C	.001	.974
Lt	CTRE	7.20±0.65	6.19±0.45	T	70.952	<.001***
	MTRE	7.74±1.15	6.56±0.74	C	3.560	.069
				T*C	.434	.515

Values are means ± SD.

Rt, right; Lt, left; CTRE, Core-tex tibial rotation exercise; MTRE, Manual tibial rotation exercise; T, time; C, condition; TxC, time x condition.

*** $p < .001$.

간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2) 샤크 스킬 검사

정강뼈 돌림 운동 전과 후의 샤크 스킬의 변화는 Table 7에 제시한 바와 같다. 오른쪽 샤크 스킬의 시기와 조건에 따른 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 시기 간에서는 유의한 차이가 나타났으며($p < .001$), 조건 간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 왼쪽 샤크 스킬의 시기와 조건에 따른 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 시기 간에서는

유의한 차이가 나타났으며($p < .001$), 조건 간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

논 의

이 연구는 능동적 정강뼈 돌림 운동이 정강뼈 비틀림 각 및 발목 운동범위의 변화와 근신경 조절 능력에 미치는 급성 변화를 분석하기 위하여 CTRE 집단과 MTRE 집단으로 분류하고 AB/BA 교차설계(AB/

BA cross-over designs)를 적용하였다. 그 결과, 왼쪽 비체중부하 발목 운동범위, YBT의 오른쪽 PL에서 상호작용 효과가 나타났다. 또한 왼쪽 경골 비틀림 각, 양측 비체중부하 발목 운동범위, 양측 체중부하 발목 운동범위, YBT의 양측 AN, 양측 PM, 오른쪽 PL, 양측 종합점수 및 양측 샤크 스킵 검사에서 시기 간에 유의한 차이가 나타났다.

정강뼈 과도한 비틀림 각이 만성 발목 불안정성과 관련이 있으며 [24], 보행 중 전족과 후족의 디딤에 정강뼈 비틀림이 영향을 준다[25]. 또한 정강뼈의 비틀림의 정도와 방향에 따라 보행과 근육 기능, 감소 및 직립 자세에 부정적인 영향을 바탕으로 볼 때 다양한 연구들에서 정강뼈 과도한 안쪽 비틀림이나 바깥 비틀림이 신체에 부정적 영향을 일으키는 것을 확인할 수 있다[6]. 하지만 이 연구에서 정강뼈의 돌림 운동과 비틀림 변화의 관계를 확인하기 위해 CTRE와 MTRE 적용한 결과 두 집단 간 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 그 이유는 이 연구의 참여한 대상자가 20대 성인으로 발목 및 무릎의 근골격계 질환이 없고, 정강뼈의 비틀림 각도가 비교적 작은 범위에 있기 때문이라고 추측된다. 따라서 추후 연구에는 정강뼈 비틀림 각도가 18도 이하, 23도 이상인 대상자 또는 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability)을 가진 환자를 모집하여 검증할 필요가 있다.

발목의 발등굽힘시 정강뼈는 안쪽 돌림, 발바닥굽힘시 바깥 돌림되며 발의 옆침과 뒤침과 연관이 있으며[3], 정강뼈의 안쪽 돌림 감소가 발등굽힘 감소와 밀접한 연관이 있어 정강뼈 돌림 기능의 회복이 중요하다[26]. 근력과 균형 훈련이 병합된 고유 수용성 운동프로그램은 발목염좌의 경험이 있는 대상자의 발목 운동범위 향상에 효과적이며[27], 스트레칭과 근력 훈련이 병합된 운동프로그램은 20대의 건강한 성인의 발목의 운동범위 향상에 긍정적인 영향을 미쳤다[28]. 게다가 도수를 이용하여 수동적 정강뼈 돌림 운동은 근력과 보행 능력의 향상 및 관절 운동 범위를 증가시켰다[12]. 이 연구에서는 기존의 선행 연구와 다르게 능동적 정강뼈 돌림 운동을 적용하였으며, 그 결과 왼쪽 하지의 비체중부하 관절운동범위에서 상호작용 효과가 나타났으며, 모든 변인에서 시기 간의 차이가 나타났다. Ryu & Hong [29]은 수동적 정강뼈 돌림 운동이 근 긴장도를 낮추고 목말뼈의 움직임은 원활하게 만들어 발목굽힘 증가에 효과적이라고 하였다. 이와 유사하게 Core-tex를 이용한 능동적 정강뼈 돌림 운동은 수동적 정강뼈 돌림 운동과 비슷하게 발목 굽힘 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 사실을 확인하였다. 추후 연구에서는 다양한 특성을 가진 대상자를 모집하여 Core-tex를 이용한 능동적 정강뼈 돌림 운동이 발목 운동범위에 미치는 영향을 확인할 필요가 있다.

하지의 동적 자세 조절은 하지의 피로나 부상 및 고유수용성 감각과 관련이 있을 수 있고[30], 관절의 고유수용성 감각은 근신경 조절 능력과 관련 있다[14]. 특히 하지에서 앞십자인대 및 안쪽결인대는 정강뼈 돌림 운동을 제한시키고 무릎 인대의 손상 예방에 중요한 역할

을 하기 때문에 정강뼈의 돌림은 하지의 손상에 영향을 줄 수 있다 [31,32]. 또한 비정상적인 정강뼈 돌림은 보상기전으로 무릎관절 주변의 근육의 활성화 및 무릎 굽힘 기능에 영향을 주는 등 근신경 결손 현상과 연결되어 있다[33]. Ruparelia & Patel [34]는 수동적인 muscle energy technique (MET)와 positional release therapy (PRT)는 Y-balance test 개선에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고하였으며, Nguyen et al. [35]은 아급성(subacute) 외측 발목 염좌 증상이 있는 대상자들에게 수동적인 Mulligan mobilization을 적용한 결과, 발목의 운동범위와 YBT 개선에 효과적이라고 보고하였다. 이 연구에서는 오른쪽 하지의 PL에서 상호작용효과가 나타났으며, 왼쪽 하지의 PL을 제외한 모든 변인에서 운동 중재전과 비교해서 운동 중재 후에 유의하게 개선되었다. 결과적으로 CTRE는 MTRE 만큼 근신경 개선에 효과적이며, 두가지 운동 모두 YBT 증가에 긍정적인 영향을 미친 것은 관절운동범위의 증가와 함께 무릎주변의 근육 활성화 등 감각-운동 통합과 관련된 가소성의 변화와 관련이 있음을 추론할 수 있다[36].

이 연구의 제한점으로는 연구 대상자가 정강뼈의 정상 비틀림 각도에 해당하므로 비정상적 정강뼈 비틀림을 가진 대상자의 정강뼈 돌림 운동 효과를 확인하지 못하였다. 또한 이 연구에서 살펴본 변인 이외의 생체역학적 측면과 생리학적 측면의 다양한 영향이 있을 것이다. 따라서 이 연구 결과의 모든 내용에 대해 직접적인 논의가 어려울 것으로 생각되므로, 추후 이러한 내용을 반영하여 정강뼈 돌림 운동 효과를 확인하기 위한 다양한 측면의 후속 연구를 진행할 필요가 있다.

결론

이 연구의 실험 결과를 종합해 볼 때 정강뼈 돌림 운동은 능동적 정강뼈 돌림 운동과 수동적 정강뼈 돌림 운동의 종류에 상관없이 정강뼈 비틀림 각, 발목 운동범위 변화, 근신경 조절 측면에서 모두 좋은 효과가 나타났다. 따라서 정강뼈 돌림 운동은 하지의 구조적인 측면과 기능적인 측면에서 긍정적인 영향을 줄 가능성이 있으며, 운동손상 예방 프로그램으로서의 활용도 고려할 필요가 있다. 또한 하지교차증후군 등 추후에는 다음 같은 제한점을 토대로 추가적인 연구가 진행될 필요가 있다. 첫째, 일회성 운동 이후 즉각적인 급성 효과만 확인하였으므로, 일정 기간 이상 규칙적으로 적용된 정강뼈 돌림 운동 프로그램의 효과를 검증할 필요가 있다. 둘째, 정강뼈 돌림 운동이 급성 및 만성적인 근골격계 질환에 대한 운동손상예방 프로그램으로서의 효과를 검증할 필요가 있다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의

지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: KO An, JH Kim, KJ Lee; Data curation: KO An, JH Kim; Formal analysis: KO An, JH Kim, KJ Lee; Methodology: KO An, JH Kim, KJ Lee; Project administration: KO An, JH Kim, KJ Lee; Visualization: KO An, JH Kim; Writing - original draft: KO An, JH Kim, KJ Lee

ORCID

JunHyuk Kim	https://orcid.org/0009-0004-0527-9634
Kwang-Jin Lee	https://orcid.org/0000-0002-5065-2424
Keun-Ok An	https://orcid.org/0000-0001-6792-3617

REFERENCES

1. Bayrak A, Kürklü GB, Yargic MP, TUNCER. Comparison of tibial torsion angles between elite athletes and sedentary people. *Turk J Sports Med.* 2018;20(3):137-9.
2. Snow M. Tibial torsion and patellofemoral pain and instability in the adult population: current concept review. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2021;14:67-75.
3. Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. *Orthop Traum.* 2016;30(3):232-8.
4. Song DH, Lee Y, Eun BL, Lee KJ, Kang SK, et al. Usefulness of tibia counter rotator (TCR) for treatment of tibial internal torsion in children. *Korean J Pediatr.* 2007;50(1):79-84.
5. Yagi T, Sasaki T. Tibial torsion in patients with medial- type osteoarthritic knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1986;(213):177-82.
6. Hicks J, Arnold A, Anderson F, Schwartz M, Delp S. The effect of excessive tibial torsion on the capacity of muscles to extend the hip and knee during single-limb stance. *Gait Posture.* 2007;26(4):546-52.
7. Rodrigues P, Chang R, TenBroek T, van Emmerik R, Hamill J. Evaluating the coupling between foot pronation and tibial internal rotation continuously using vector coding. *J Appl Biomech.* 2015;31(2):88-94.
8. Ciufu DJ, Baker EA, Gehrke CK, Vaupel ZM, Fortin PT. Tibial torsion correlates with talar morphology. *Foot Ankle Surg.* 2022;28(3):354-61.
9. Keays SL, Sayers M, Mellifont DB, Richardson C. Tibial displacement and rotation during seated knee extension and wall squatting: a comparative study of tibiofemoral kinematics between chronic unilateral anterior cruciate ligament deficient and healthy knees. *The Knee.* 2013; 20(5):346-53.
10. Williams III DB, Zambardino JA, Banning VA. Transverse-plane mechanics at the knee and tibia in runners with and without a history of achilles tendonopathy. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy.* 2008;38(12):761-76.
11. Hanada K, Hara M, Hirakawa Y, Hoshi K, Ito K, et al. Immediate effects of leg-press exercises with tibial internal rotation on individuals with medial knee osteoarthritis. *Physiother Res Int.* 2018;23(4):e1725.
12. Jung SM. Effects of excessive Pronation of the Foot on Knee joint Strength and Gait. *J Korean Acad Orthop Man Physi Ther.* 2021;27(2): 77-85.
13. Kato S, Urabe Y, Kawamura K. Alignment control exercise changes lower extremity movement during stop movements in female basketball players. *The Knee.* 2008;15(4):299-304.
14. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train.* 2002;37(1):80-4.
15. Byrd BR, Carroll AI, Forbes PH, Durchslag JB, Dalleck LC. The acute and chronic responses to exercise with the core-tex™. *Int J Res Exerc Physiol.* 2019;15(1):13-22.
16. Jeon HG, Lee IJ, Jeong HS, Kim BH, Kim MJ, et al. Analysis of differences in static lower extremity alignment among chronic ankle instability, coper, and control groups. *Korean J Sport Sci.* 2021;19(2): 345-57.
17. Shultz SJ, Nguyen AD, Schmitz RJ. Differences in lower extremity anatomical and postural characteristics in males and females between maturation groups. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008;38(3):137-49.
18. Lee HS. Effects of ankle strengthening exercise on range of motion, isokinetic muscular function and static balance in adolescent female taekwondo athlete. *Korean J Sport Sci.* 2020;29(4):1033-45.
19. Park JY, Ahn YJ, Song, YJ. A Study on isokinetic strength and range of motion of low extremity in fin-swimming athletes with chronic ankle instability. *Journal of Sport and Leisure Studies.* 2012;50(2):835-44.
20. Choi WH, Kim BG, Lim SK. Relationship between Y Balance Test and mobility of lower extremity in college baseball players. *Korean J Sport Sci.* 2021;30(5):1187-97.
21. Daniel C, Danielle P, Aly P, Alexis R, Teresa B. A proposed modification to the ankle dorsiflexion lunge measure in weight bearing: clinical application with reliability and validity. *Orthopaedic Practice.* 2020;

- 32(2):88-90.
22. Lee HS, Ko SS, An KO. Differences between male and female college students in dynamic stability change through measuring lower extremity muscle fatigue. *Asian J Kinesiol.* 2019;21(3):9-14.
23. Haksever B, Soylu C, Micoogullari M, Baltaci G. The physical characteristics and performance profiles of female handball players: influence of playing position. *Eur j hum mov.* 2021;46:37-49.
24. Lee SY, Kim RB, Choi JY. Effects of wearing orthotics on ankle joint complex eversion and tibia medial rotation during running. *Int J Hum Mov Sci.* 2001;40(3):923-33.
25. Yang PF, Kriechbaumer A, Albracht K, Sanno M, Ganse B, et al. On the relationship between tibia torsional deformation and regional muscle contractions in habitual human exercises in vivo. *J Biomech.* 2015; 48(3):456-64.
26. Stanek JM, Brown B, Barrack J, Parish J. A novel manual therapy technique is effective for short-term increases in tibial internal rotation range of motion. *J Exerc Rehabil.* 2021;17(3):184.
27. Lazarou L, Kofotolis N, Pafis G, Kellis E. Effects of two proprioceptive training programs on ankle range of motion, pain, functional and balance performance in individuals with ankle sprain. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2018;31(3):437-46.
28. Kato E, Kurihara T, Kanehisa H, Fukunaga T, Kawakami Y. Combined effects of stretching and resistance training on ankle joint flexibility. *Physiology Journal.* 2013;1-8.
29. Ryu BH, Hong HP. The comparison of the effects of joint mobilization, incline board and pnf stretching to increase the dorsiflexion of the ankle joint on ankle dorsiflexion and the muscle tone of the plantar flexor the ankle in subjects with stroke. *J Korean Acad Orthop Man Physi Ther.* 2020;26(1):55-63.
30. Fatahi M, Ghasemi GA, Mongashti Joni Y, Zolaktaf V, Fatahi F. The effect of lower extremity muscle fatigue on dynamic postural control analyzed by electromyography. *Phys treat.* 2016;6(1):37-50.
31. Badawy CR, Jan K, Beck EC, Fleet N, Taylor J, et al. Contemporary principles for postoperative rehabilitation and return to sport for athletes undergoing anterior cruciate ligament reconstruction. *ASMAR.* 2022;4(1):e103-13.
32. Logan CA, O'Brien LT, LaPrade RF. Post operative rehabilitation of grade III medial collateral ligament injuries: evidence based rehabilitation and return to play. *Int J Sports Phys Ther.* 2016;11(7):1177.
33. Jónasson G, Helgason A, Ingvarsson Þ, Kristjánsson AM, Briem K. The effect of tibial rotation on the contribution of medial and lateral hamstrings during isometric knee flexion. *Sports Med.* 2016;8(2):161-6.
34. Ruparelia H, Patel S. Immediate effect of muscle energy technique (MET) and positional release therapy (PRT) on SLR90°-90°, ankle dorsiflexion range and Y-balance test—an experimental study. *Int J Health Sci Res.* 2019;9(9):53-8.
35. Nguyen AP, Pitance L, Mahaudens P, Detrembleur C, David Y, et al. Effects of Mulligan mobilization with movement in subacute lateral ankle sprains: a pragmatic randomized trial. *J Man Manip Ther.* 2021; 29(6):341-52.
36. Haavik H, Murphy B. The role of spinal manipulation in addressing disordered sensorimotor integration and altered motor control. *J Electromyogr Kinesiol.* 2012;22(5):768-76.