

The Correlation between Lower Limb Torsion and Gait Angle: A Study on the Range of Motion of Hip and Knee Joints

Seok-Bin Lee^a, Hyeong-gyeong Kim^a, Da-Yeon Nam^a, Ju-Ha Shin^a, Dae-Sung Park^{a*}

^aDepartment of Physical Therapy, Konyang University, Daejeon, Republic of Korea

Objective: This study investigates the influence of femoral and knee torsion angles on toe in-out orientation in adults.

Design: Cross-sectional study design.

Methods: We measured the passive internal and external rotation range of motion (ROM) of the hip and knee joints in 21 participants using a goniometer. Toe in-out orientation was assessed with the GaitRite gait analysis system during slow and fast walking trials over a 6-meter walkway. Pearson correlation analysis was used to examine the relationship between joint ROM and gait angle at both walking speeds. Intra- and inter-rater reliability were assessed, and simple linear regression was conducted to explore these relationships.

Results: Intra-rater reliability demonstrated high reliability ($0.84 < ICC < 0.94$), while inter-rater reliability ($0.44 < ICC < 0.83$) exhibited moderate to high reliability. Significant correlations were found between the hip joint's range of motion and the gait angle at slow walking speed. Similar results were observed at fast walking speed for the hip joint. Multiple regression analysis revealed that the neutral angle of the hip joint ($\beta = 0.660, p < 0.001$) and the neutral angle of the knee joint ($\beta = 0.284, p = 0.034$) significantly contributed to the toe-out angle.

Conclusions: Our findings indicate a significant correlation between the range of motion of the hip joint and toe in-out orientation. A decrease in the hip joint internal rotation angle was associated with a decrease in toe in-out, while an increase in the mid-angle was associated with an increase in toe in-out.

Key Words: Lower Extremity / Leg, Gait / Walking, Range of Motion, Articular / Hip, Gait

서론

보행각(Gait angle)이란 제2 중족골까지의 발의 장축과 보행 진행선이 이루는 각도로 정의된다. 음의 보행각은 인-토잉(medial gait angle)을 나타내며 양의 보행각은 아웃-토잉(lateral gait angle)을 나타낸다[1]. 성인에서 보행각에 영향이 있는 것으로 밝혀진 두가지 변수는 넙다리뼈 비틀림각(torsion angle)과 무릎 비틀림각이 있다[2,3,4]. 걸을 때 엉덩관절의 안쪽돌림 각도를 결정하는 요인은 넙다리뼈 비틀림각이며, 이는 넙다리뼈목과 넙다리뼈 관절용기(condyle)를 연결하는 수평축의 비틀림각을 의미한다. 이 각도가 15°보다 큰 경우를 넙다리뼈 앞쪽 뒤틀림(femoral neck anteversion)이라 한다[5]. 비정상적인 하지 비틀림은 안짱다리, 슬개골 주행 방해

및 골관절염과 관련이 있다[6].

또한 성인에서 비정상적인 비틀림은 대퇴골 골두 충돌, 전방 무릎 통증 및 무릎 골관절염을 포함한 하지 관절병증의 발병기전과 관련이 있다[7]. 이는 보행 중 외측보다 내측에 분산되는 하중이 더 크기 때문인데 골관절염이 진행된 무릎은 진행되지 않은 무릎에 비해 보행 분석기에서 측정된 보행각이 작은 것으로 나타났다[8]. 생체역학적 관점에서 보행 중 나타나는 운동학적 변화는 내측 부하를 줄일 수 있다. 특히 보행각을 개선함으로써 무릎에 가해지는 내측 부하를 줄일 수 있다[8]. 이러한 대퇴골 비틀림을 측정하는 방법에는 고니오메트릭 방법이 수술 중 측정과 비교할 때 방사선 사진 또는 2D-CT를 사용하는 것보다 더 정확하다[9]. 보행 중 보행각을 알면 임상적이 대퇴골 비틀림, 무릎 골관절염 및

Received: Jul 9, 2024 Revised: Sep 28, 2024 Accepted: Sep 30, 2024

Corresponding author: Dae-Sung Park (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4258-0878>)

Department of Physical Therapy, Konyang University, 158, Gwanjeodong-ro, Seo-gu, Daejeon, Republic of KOREA

Tel: +82-42-600-6419 E-mail: daeric@konyang.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

Copyright © 2024 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

족저 질환을 포함한 하지 질환을 인식하고 관리하는 데 도움이 될 수 있다[1]. 게다가 하지의 뼈의 정렬과 발 진행 각도는 무릎 관절에서 발생하는 힘에 영향을 미칠 수 있다[10]. 그러나 엉덩관절과 무릎관절의 관절가동범위와 보행 중 보행각의 상관관계를 비교한 연구는 부족하다.

이에 본 연구에서는 무릎관절 비틀림과 엉덩관절 비틀림을 건강한 성인의 보행 중 발 진행 각도를 예측하는 데 어떻게 사용할 수 있는지 조사하고자 한다. 최근 하지뼈의 정렬관계와 힘의 역학적 변화에 대한 연구가 점차 중요해지고 있지만, 현재까지의 문헌에서 관련된 연구는 여전히 부족한 실정이다. 특히, 기존의 연구들은 특정 환경이나 조건에서의 사례에 국한되어 있어 일반화에 한계가 있다. 이러한 연구의 부족은 하지뼈의 정렬 및 힘의 변화가 개인의 기능적 움직임과 재활에 미치는 영향을 충분히 이해하지 못하는 결과를 초래할 수 있다.

또한, 하지뼈의 정렬과 힘의 역학적 변화는 임상적 치료와 재활 과정에서 중요한 요소로 작용한다. 예를 들어, 운동 선수의 부상 예방이나 회복 과정에서 이러한 요소들이 미치는 영향을 명확히 파악하는 것이 중요하다. 따라서, 관련 연구가 부족한 현 상황에서는 임상적 적용 가능성을 높이기 위한 연구가 필수적이다.

더 나아가, 다양한 생체 역학적 요소가 하지뼈의 정렬에 영향을 미친다는 점에서, 종합적인 접근이 요구된다. 현재까지의 연구는 단편적인 관점에서 진행된 경우가 많아, 이를 종합적으로 분석하고 이해하는 연구가 필요하다. 최신 기술의 발전으로 인해, 과거에는 측정하기 어려웠던 데이터를 수집하고 분석할 수 있는 기회가 생겼으므로, 이러한 기회를 활용한 연구가 더욱 필요하다.

결론적으로, 하지뼈의 정렬관계와 힘의 역학적 변화에 대한 보다 체계적이고 종합적인 연구가 필요하며, 이는 향후 임상적 적용 및 부상 예방에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다. 고니오미터 측정법과, 보행각의 상관

관계를 분석하여 하지 관절가동범위와 정상적인 보행각을 비교하고, 보행각에 엉덩관절 비틀림과 무릎관절 비틀림각간의 연관성을 알아보려고 한다.

연구 설계 및 방법

연구 설계

본 연구는 비교 연구 디자인을 채택하여, 하지뼈의 정렬관계와 힘의 역학적 변화를 분석하고자 하였다. 연구의 주 목적은 건강한 성인을 대상으로 하지뼈의 정렬과 관련된 다양한 생체 역학적 요소를 이해하고, 이를 통해 임상적 응용 가능성을 제시하는 것이다.

연구대상자

대상자는 20세 이상 25세 이하의 성인 21명(남7명 여14명)을 대상으로 하였다. 대상자는 연구 목적을 이해하고 본 연구에 참여하기로 동의서에 서명한 자를 연구 대상으로 하였다. 선정 기준은 건강한 20세 이상 25세 이하의 성인으로 하였고 제외기준은 현재 일상생활이 힘들 만큼 신체에 정형외과적 손상이 있는 자, 최근 6개월 이내에 하지에 정형외과적 외상이나 수술 경력이 있는 자, 실험 중 어지러움 및 근피로에 의해 실험 진행이 불가하다고 판단되는 자로 하였다.

연구 절차

관절각도 측정 도구인 각도계(goniometer)를 사용하여 엉덩관절의 안쪽돌림-가쪽돌림 관절가동범위를 측정하였고, 옆드려 누운 자세에서 무릎을 90° 굽힌 상태에서 검사자가 수동적으로 엉덩관절을 안쪽돌림-가쪽돌림하여 최대 각도를 측정하였다(figure 1a). 무릎관절의 안쪽돌림-가쪽돌림 관절가동범위를 측정하기 위해서 옆드



(a)



(b)

Figure 1. Measurements of (a) hip external/internal rotation angles and (b) knee internal/external rotation angles using a goniometer

린 자세에서 무릎을 90° 굽히고 발바닥면이 위로간 상태로 검사자가 발을 잡고 수동적으로 무릎관절을 안쪽 돌림과 가쪽돌림하여 최대 각도를 측정하였다(Figure 1b).

GAITRite는 젊은 피험자(34세 미만)의 보행 속도를 측정할 때 높은 신뢰도를 갖는 것으로 나타났다[11]. GAITRite는 발자국을 사다리꼴로 만들어 형성한다. 사람의 발뒤꿈치, 발 중간 및 앞발의 센서를 통해 보행 중 발자국을 식별한다. 측정은 편안한 보행속도와 빠른 보행속도에서 각각 3회씩 측정하였다. 편안한 보행속도와 빠른 보행속도는 구두지시로 조절하였다.

통계 분석

모든 데이터의 분석은 통계분석소프트웨어 SPSS ver 18.0 (IBM Inc., Chicago, USA)를 사용하였다. 데이터의 Shapiro-Wilks 검정을 이용하여 정규성검정을 하였고, 데이터는 모두 정규분포하였다. 엉덩관절과 무릎관절 관절가동범위와 보행각의 상관관계 분석을 위해 Pearson 상관관계 분석을 하였다. 보행각에 관절각이 미치는 영향을 분석하기 위해 단순회귀분석을 실시하였다.

모든 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

연구 결과

엉덩관절과 무릎관절 가동범위를 측정하여 가쪽돌림각, 안쪽돌림각, 중간각 총 6개의 항목에 대한 값을 얻을 수 있었다. 보행분석기를 이용한 보행각의 신뢰도 검사는 빠른 보행속도와 느린 보행속도에서 모두 높은 검사-재검사 신뢰도(ICC=0.94, ICC=0.96)를 보였다(Table 1).

엉덩관절과 무릎관절의 중립각이 보행각에 미치는 상호 영향을 살펴보기 위해 회귀 분석을 실시하였으며, 다음과 같은 회귀모형이 도출되었다(Table 2).

$$\text{GaitRite Toe in/out} =$$

$$0.362 + 0.266 \times H \text{ neutral} + 0.170 \times K \text{ neutral}$$

엉덩관절과 무릎관절의 중립각과 보행각간에 연관성을 살펴보기 위해 회귀분석을 실시하였을 때(table 3), 다음과 같은 회귀모형이 도출되었다. 이 결과는 엉덩관절과 무릎관절의 중립각이 보행각에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 시사한다. 엉덩관절의 안쪽 돌림각과 중

Table 1. Tester reliability and inter-tester reliability of hip joint and knee joint range of motion tests

Variables		Range of motion (°)			ICC	
		A1	A2	B1	intra-rator A1-A2	inter-rator A1-B1
HIP	external	46.60 ± 9.16	46.52 ± 10.04	44.76 ± 7.67	0.90	0.65
	Internal	35.62 ± 8.59	36.48 ± 9.83	37.10 ± 10.07	0.86	0.83
	neutral	11.21 ± 13.41	8.88 ± 13.78	8.24 ± 15.86	0.93	0.74
KNEE	external	23.43 ± 9.29	24.67 ± 9.28	24.10 ± 8.04	0.92	0.77
	Internal	18.48 ± 8.17	18.26 ± 8.30	17.33 ± 7.23	0.94	0.73
	neutral	4.95 ± 9.04	6.17 ± 7.88	6.76 ± 7.20	0.84	0.44

Table 2. The correlation between joint range of motion and gait angle on slow and fast gait velocity

Variables		Range of motion (°)	Gait velocity	
			Slow (r)	Fast (r)
HIP	external	46.60 ± 9.16	0.220	0.256
	Internal	35.62 ± 8.59	-0.511*	-0.475*
	neutral	11.21 ± 13.41	0.485	0.498
KNEE	external	23.43 ± 9.29	0.082	-0.136*
	Internal	18.48 ± 8.17	-0.027*	-0.161*
	neutral	4.95 ± 9.04	0.082	-0.136*

* : $p < 0.05$

Table 3. Regression Analysis Results for Hip and Knee Joint Neutral Angles and Gait Angle

Model Summary						
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate		
1	.635	.404	.373	4.28423		
Predictors: (Constant), Knee Joint Neutral Angle, Hip Joint Neutral Angle						
ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Regression	484.647	2	242.324	13.202	.000
1	Residual	715.829	39	18.355		
	Total	1200.476	41			
Predictors: (Constant), Knee Joint Neutral Angle, Hip Joint Neutral Angle						
Dependent Variable: Gait Angle						
Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	B		
	Constant	.362	1.031		.351	.728
1	Hip Neutral Angle	.266	.052	.660	5.091	.000
	Knee Neutral Angle	.170	.078	.284	2.193	.034
Dependent Variable: Gait Angle						

간각의 변화가 보행각의 변동에 유의미한 상관관계를 보였으며, 특히 안쪽 돌림각의 증가가 보행각의 감소와 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

논의

본 연구는 20세 이상 25세 미만의 건강한 성인의 엉덩관절과 무릎관절의 각도에 따른 보행각에 대한 연구이다.

이 연구의 결과는 건강한 성인의 보행 중 수동적 엉덩관절 안쪽돌림이 발진행각도에 의미 있는 양을 예측하거나 설명할 수 있다는 가설을 뒷받침한다.

보행각은 하지의 비틀림각에 영향을 받을 수 있다. 보행각은 또한 보행 중 발끝이 들어가고 나가는 방향과 정도를 결정한다. 발끝을 바깥으로 내미는 보행에서는 내측 무릎관절 압박이 증가하고 발끝이 안쪽으로 들어오는 보행에서는 외측 무릎관절 압박이 증가한다[12]. 따라서 보행각에 기여할 수 있는 요인을 이해하는 것은 하지 근골격 문제를 치료할 때 중요하게 작용된다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 건강한 성인을 대상으로 보행각, 엉덩관절 비틀림과 무릎관절 비틀림의 상관관계를 조사하였다.

관절가동범위와 보행각간의 상관관계에서는 빠른 보행속도와, 느린 보행속도 두 가지 항목 모두 엉덩관절의 안쪽돌림과 중간각도에서의 유의미한 상관관계가 있었는데, 안쪽돌림의 상관계수가 음의 상관계수를 나타낸 것을 보았을 때 안쪽 돌림각이 증가하면 보행각이 감소함을 알 수 있다. 또한 중간각도의 상관계수는 양의 상관계수를 나타낸 것을 보았을 때, 중간각도 값이 커지면 보행각도 커진다는 것을 알 수 있다. 엉덩관절의 가쪽 돌림각을 증가 시키면 보행각이 커진다는 것을 알 수 있는데, 안쪽 돌림각이 감소된 하지 질환에서 운동학적 개선을 통해 보행각을 증가 시킬 수 있는 가능성을 보여준다.

엉덩관절 안쪽돌림과 엉덩관절 바깥쪽돌림의 양은 한 쪽측마다 유사해야하며 오른쪽 왼쪽은 거의 대칭이어야 한다. 건강한 사람의 전체 엉덩관절 ROM은 약 90° 이며 이는 연령과 성별에 따라 약간의 차이가 있다[13,14,15]. 보행각이 감소된 사람은 엉덩관절 안쪽돌림이 증가함에 따라 엉덩관절 바깥쪽 돌림이 감소하는 반면 보행각이 증가된 사람은 엉덩관절 안쪽돌림이 감소하고 엉덩관절 바깥쪽 돌림이 증가한다[1].

선행 연구에서는 엉덩관절 안쪽돌림이 더 큰 사람들이 감소된 보행각과 상관관계가 있는 반면, 경골 비틀림

의 증가는 증가된 보행각 또는 발가락 바깥쪽 발 각도와 상관관계가 있다고 하였다. 또다른 연구에서는 보행각이 큰 그룹에서 경골 비틀림이 유의하게 높게 나타났으며 이는 보행각과도 유의한 관련이 있었다고 말했다. 또 엉덩관절 비틀림은 엉덩관절의 안쪽돌림과 관련이 있었고 보행각의 각도가 성인의 비틀림에 영향을 줄 수 있음을 시사했다[1,7]. 이러한 연구들과 우리의 결과는 유사한 결과를 얻었다. 골관절염과 보행각을 비교한 논문에서는 골관절염이 진행된 무릎은 건강한 무릎에 비해 보행분석기에서 측정된 보행각이 상당히 작은 것으로 나타났는데[8] Stuberg 등[16]의 연구에서는 보행각의 증가가 경골비틀림 증가와 연관되는 반면에, 보행각의 감소는 경골비틀림 감소와 연관된다고 말하였다. 앞선 연구 결과들을 보았을 때 경골비틀림과의 연관성에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 또한 여성은 남성보다 더 큰 엉덩관절 각도를 가지고 있는 것에 대해서는 고려해야 할 사항이다. 그러나 본 연구에서는 보행각에 직접적인 영향을 미치는 여러 요인을 들어, 고관절의 anteroversion, pelvis의 움직임, ankle 변형 등에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않았다는 점이 주요 제한점으로 지적될 수 있다. 이러한 요인들은 보행 각도와 관절 가동범위 간의 관계를 이해하는데 있어 필수적이므로, 향후 연구에서는 이러한 변수를 포함하는 것이 중요하다.

고관절의 anteroversion은 엉덩관절의 회전과 보행의 안정성에 중요한 역할을 하며, pelvis의 움직임 또한 엉덩관절과 무릎관절의 기능적 협력에 필수적이다. 마지막으로, ankle의 구조적 변형은 보행 메커니즘에 중대한 영향을 미칠 수 있으므로, 이들 요인들을 통합적으로 분석하는 후속 연구가 필요하다.

결론

엉덩관절의 안쪽돌림각 및 중간각은 보행각에 기여하고 있다. 엉덩관절 안쪽돌림각의 감소는 보행각의 감소와 관련이 있는 반면 중간각의 증가는 보행각의 증가와 관련이 있다. 임상적은 이러한 데이터를 활용하여 보행 중 개 개인의 보행각을 설명하는데 도움을 줄 수 있다. 또한 이러한 정보를 이용하여 하지 관절에 문제를 겪고 있는 환자들에게 도움을 줄 수 있는 접근법이 될 수 있다.

참고문헌

1. Cibulka MT, Winters K, Kampwerth T, McAfee B, Payne L, Roegenhaus T, et al. PREDICTING FOOT PROGRESSION ANGLE DURING GAIT USING TWO CLINICAL MEASURES IN HEALTHY ADULTS, A PRELIMINARY STUDY. *Int J Sports Phys Ther.* 2016 Jun;11(3):400-8.
2. Bruderer-Hofstetter M, Fenner V, Payne E, Zdenek K, Klima H, Wegener R. Gait deviations and compensations in pediatric patients with increased femoral torsion. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* 2015 Feb;33(2):155-62.
3. Lee KM, Chung CY, Sung KH, Kim TW, Lee SY, Park MS. Femoral anteversion and tibial torsion only explain 25% of variance in regression analysis of foot progression angle in children with diplegic cerebral palsy. *J Neuroengineering Rehabil.* 2013 Jun 15;10:56.
4. Seber S, Hazer B, Köse N, Göktürk E, Günel I, Turgut A. Rotational profile of the lower extremity and foot progression angle: computerized tomographic examination of 50 male adults. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2000 Apr 25;120(5-6):255-8.
5. Nyland J, Kuzemchek S, Parks M, Caborn DNM. Femoral anteversion influences vastus medialis and gluteus medius EMG amplitude: composite hip abductor EMG amplitude ratios during isometric combined hip abduction-external rotation. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004 Apr;14(2):255-61.
6. Hudson D. A comparison of ultrasound to goniometric and inclinometer measurements of torsion in the tibia and femur. *Gait Posture.* 2008 Nov; 28(4):708-10.
7. Hudson D. The rotational profile: A study of lower limb axial torsion, hip rotation, and the foot progression angle in healthy adults. *Gait Posture.* 2016 Sep;49:426-30.
8. Chang A, Hurwitz D, Dunlop D, Song J, Cahue S, Hayes K, et al. The relationship between toe-out angle during gait and progression of medial tibiofemoral osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 2007 Oct;66(10):1271-5.
9. Ruwe PA, Gage JR, Ozonoff MB, DeLuca PA. Clinical determination of femoral anteversion. A comparison with established techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1992 Jul;74(6):820-30.
10. Andrews M, Noyes FR, Hewett TE, Andriacchi TP. Lower limb alignment and foot angle are related to stance phase knee adduction in normal subjects: A

- critical analysis of the reliability of gait analysis data. *J Orthop Res.* 1996 Mar;14(2):289-95.
11. van Uden CJT, Besser MP. Test-retest reliability of temporal and spatial gait characteristics measured with an instrumented walkway system (GAITRite). *BMC Musculoskelet Disord.* 2004 May 17;5:13.
 12. Koblauch H, Heilskov-Hansen T, Alkjær T, Simonsen EB, Henriksen M. The effect of foot progression angle on knee joint compression force during walking. *J Appl Biomech.* 2013 Jun;29(3):329-35.
 13. Svenningsen S, Terjesen T, Auflem M, Berg V. Hip rotation and in-toeing gait. A study of normal subjects from four years until adult age. *Clin Orthop.* 1990 Feb;(251):177-82.
 14. Li YH, Leong JC. Intoeing gait in children. *Hong Kong Med J Xianggang Yi Xue Za Zhi.* 1999 Dec;5(4):360-6.
 15. Svenningsen S, Terjesen T, Auflem M, Berg V. Hip motion related to age and sex. *Acta Orthop Scand.* 1989 Feb;60(1):97-100.
 16. Stuberg W, Temme J, Kaplan P, Clarke A, Fuchs R. Measurement of tibial torsion and thigh-foot angle using goniometry and computed tomography. *Clin Orthop.* 1991 Nov;(272):208-12.