

침족보행의 위험도 평가를 위한 지수개발에 관한 연구

Development of a severity index to evaluate the degree of equinus gait

임용훈* 김영진* 최안렬* 이상식* 문정환*
비회원 비회원 비회원 정회원 정회원
Y. H. Rim Y. J. Kim A. R. Choi S. S. Lee J. H. Mun

1. 서론

침족보행은 뇌성마비와 같은 신경계 이상과 근이영양증에 의한 마비성 근육이상, 특발성 요인에 의해 발생하는 질환이다. 침족보행 환자는 보행 중에 후족부를 이용한 구름운동을 하지 않으며, 전족부의 구름운동만을 이용하여 보행하는 특징을 나타낸다. 따라서, 발목의 상대각과 모멘트 및 파워의 변화가 과도해지며, 이러한 특성에 의하여 후족부를 들어올리는 경향이 나타난다(Jacquelin Perry et al, 2003).

보행분석에서는 관절의 상대각, 모멘트, 파워를 보행의 한 주기(One gait cycle)로 정상화(Normalization)하여 분석하며, 환자의 증상을 판단하는 기준이 된다(Jacquelin Perry, 1992). 따라서, 보행분석을 통해 추출된 관절의 상대각, 모멘트, 파워는 정상인과 침족보행 환자의 비교평가에 사용되며, 선행연구에서는 발목에서 발생하는 11개 특징커브의 최대값을 이용하여 데이터를 분석 하거나 보행구간(Gait phases)의 평균치를 이용하여 그 차이를 평가하였다(Stephane Armand et al, 2005 ; D. Casey Kerrigan et al, 2000). 또한, 침족보행의 증상별 평가를 위해서는 증상에 따라 Normal and Mild와 Moderate, Severe의 3등급으로 구분하고 보행분석을 통해 특징을 규명하려는 연구가 진행되었다(Bonita J. Sawatzky et al, 2001). 그러나 보행분석의 결과는 인체 움직임에 의한 다양한 에러를 포함한다. 특히, 그 중에서 관절 모멘트 및 파워는 보행 속도, 보폭, 보장 등의 변화에 의해 큰 영향을 받게 된다(Katherine S. Rudolph et al, 1999). 또한, 해부학적 특징점(Anatomical landmark)에 부착되는 마커를 통해 추출되는 관절 상대각의 경우는 피부의 움직임에 의한 에러(Skin marker error) 및 부착되는 위치의 변화 등 다양한 요소에 의해 영향을 받게 된다(Kevin P. Granata, 1998). 그러므로, 3차원 보행분석을 통해 제시되는 상대각과 모멘트, 파워는 이러한 에러에 의하여 증상정도(Degree of equinus)에 따라 구분된 침족보행 환자의 평가율을 저하시킬 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 침족보행 환자의 정밀한 진단을 위해서 증상정도에 따라 구분된 환자의 특성을 명확히 평가할 수 있는 평가지수(Index)를 개발하고, 선행연구에서 제시된 발목 상대각과 모멘트, 파워를 통한 분석과의 비교평가를 통해 그 정확성을 평가하는데 있다

* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

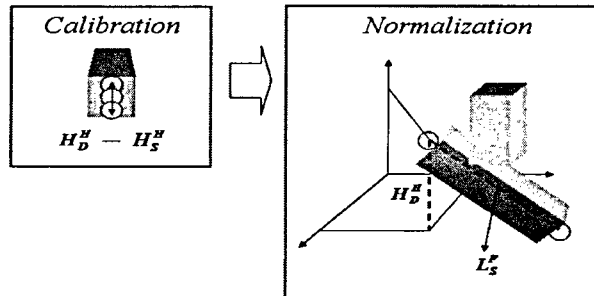
2. 실험 방법

20대 성인 남성 8명이 실험에 참여하였다. 평균 키는 170.3cm였으며, 몸무게는 65.3kg이다. 실험자들은 하지에 16개의 광학마커를 부착하고 테이핑을 통해 발목을 구속한 상태에서 지면 반력기가 부착되어 있는 10m 직선구간을 보행하였다. 침족보행의 증상별 구속을 위해 <Table 1>과 같은 조건으로 실험자의 발목을 구속하였다. 또한, 평가치(Rating scale)를 적용하여 그룹을 정의하였다.

<Table 1> Test groups definition

Test Group	Motion Definition	Rating scale
Normal and Mild (NM)	- Normal walking - Footflat walking	1
Moderate (MO)	- 5deg~20deg plantar flexion group - Forefoot contact	2
Severe (SE)	- Maximum plantar flexion group - Forefoot contact	3

침족보행은 증상의 정도에 따라 후족부를 들어 올리는 경향이 과도해지며, 이러한 특징을 이용하여 평가지수(Index)를 결정하기 위한 방법은 다음과 같은 단계로 나누어 진다.



<Fig. 1> The calculating procedure of SIEG

1) 캘리브레이션(Calibration) 단계 :

정적서기 상태에서의 후족부마커(Rearfoot marker)의 위치를 초기화 하는 단계는

$H_D^H - H_S^H$ 로 정의된다.

여기서, H_D^H : 보행중(D) 발생하는 후족부 마커의 위치 변화

H_S^H : 정적서기 상태(S)에서 후족부 마커의 위치이다.

2) 정량화(Normalization) 단계 :

실험자들 간의 정량적 비교 평가를 위해 족부의 길이로 후족부 마커의 위치변화를

정량화 하는 단계는 $(H_D^H - H_S^H) / L_S^F$ 로 정의된다.

여기서, L_S^F : 피실험자의 족부길이(Heel to 2nd metatarsal joint)이다.

위의 2단계를 통해 정량화된 후족부의 패턴변화는 입각기 동안의 총 변화량으로 표현하기 위하여 구간의 움직임을 입각기 초기 시점에서 말기 시점까지 적분하여 나타내었다. 후족부의 리프팅 현상을 나타내는 지수(Severity index)는 식(1)과 같다.

$$SIEG = \int_{HC(t)}^{TO(t)} \left(\frac{H_D^H - H_S^H}{L_S^F} \right) dt \dots\dots\dots(1)$$

여기서, $HC(t)$: 초기 입각기 시점(Heel contact time)

$TO(t)$: 전족부의 초기 유각기 시점(Toe off time)

SIEG 및 보행분석 11요소(발목상대각, 모멘트, 파워)를 통한 평가율을 검정하기 위해 ANOVA와 퍼지 이론을 적용하였으며, 그 정확성을 평가치(Rating scale)를 기준으로 평가율의 정확성을 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

<Table 2>는 본 연구에서 제시된 SIEG와 보행분석11요소에서 각각 NM과 MO, NM과 SE 그리고 MO와 SE간의 분류율을 검정한 결과를 나타낸다(P<0.05). 보행분석 11요소의 경우 NM과 MO그룹을 유의성 있게 분류하지 못하는 것으로 나타났으나, SIEG의 경우 모든 그룹간의 분류에 유의성이 있는 것으로 나타났다. 또한, SIEG를 포함한 12요소를 이용할 경우에는 NM과 MO 그룹간의 분류율이 향상되는 것으로 나타났다(P<0.05).

<Table 2> The result of Tukey's significant difference test

	Code	Variable	Type	Unit	Statistical difference(PWC)								
					NM vs MO			NM vs SE			MO vs SE		
					1	2	3	1	2	3	1	2	3
Index	SIEG	Foot	-	-	*	*		*	*		*	*	
Gait 11 factors	A0	Ankle	Angle	°	*			*			*		
	A1	Ankle	Angle	°	-			*			*		
	A2	Ankle	Angle	°	*			*			*		
	A3	Ankle	Angle	°	*			*			*		
	A4	Ankle	Angle	°	*			*			*		
	M0	Ankle	Moment	Nm/kg	*	-	*	*	*		-	*	*
	M1	Ankle	Moment	Nm/kg	-			-	*		-	*	
	M2	Ankle	Moment	Nm/kg	-			*			*		
	P0	Ankle	Power	W/kg	*			*			*		
	P1	Ankle	Power	W/kg	-			*			-		
	P2	Ankle	Power	W/kg	*			*			*		
P3	Ankle	Power	W/kg	-			-			-			

* Significant at p<0.05

PWC : Pariwise comparisons

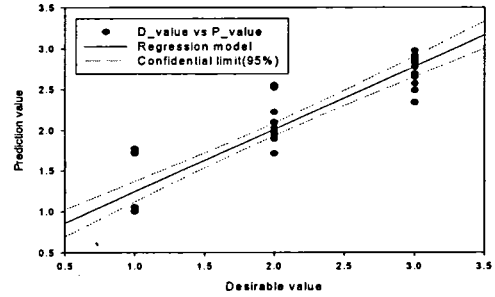
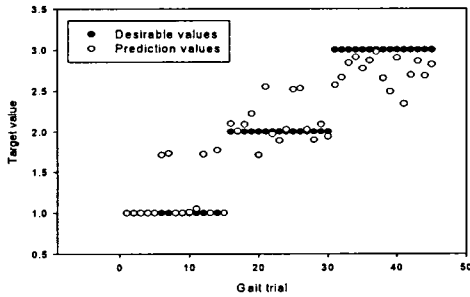
NM : Normal and Mild group, MO: Moderate group, SE : Severe group

1 : Comparison in each variable

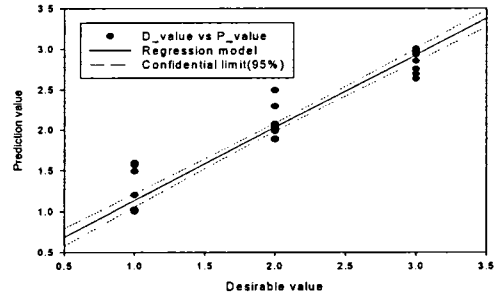
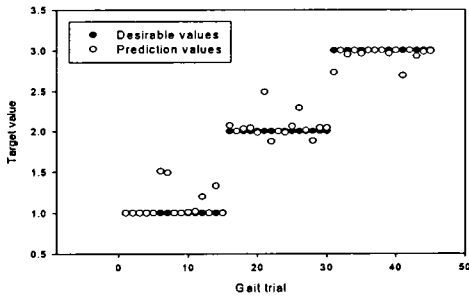
2 : Comparison with SEIG and Gait 11 factors

3 : PWC with 12 factors including SEIG and Gait 11 factors in 3 groups

<Fig. 2>는 퍼지 모델을 이용하여 (a)의 보행분석 11요소만을 이용한 퍼지모델 및 (b)의 SIEG를 포함한 12요소 퍼지모델의 검증결과이다. 평가치(Rating scale)을 기준으로 접합도를 평가하였을 경우 보행분석 11요소를 이용한 예측모델의 접합도(R^2_{Model})는 0.8529이며 SIEG를 포함한 12요소 퍼지모델의 접합도(R^2_{Model})는 0.9430으로 나타났다.



(a) Validation model using gait 11 factors ($R^2_{Model}= 0.8529$)



(b) Validation model using gait 12 factors including SIEG ($R^2_{Model}= 0.9430$)

<Fig. 2> Validation result of equinus gait classification model using 11 gait factors and SIEG

4. 요약 및 결론

SIEG 및 보행분석 11요소를 이용하여 3개의 실험그룹을 분류한 결과, 분산분석에서 SIEG는 3그룹간의 차이를 모두 5%유의수준에서 분류가 가능한 것으로 나타났다. 그러나, 보행분석 11요소만을 이용한 분석에서 Normal and Mild group과 Moderate group의 분류율이 통계적인 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 보행분석 11요소의 과도한 분산율에 기인한다. 특히, M1과 P4는 세 그룹간의 차이를 설명하는데 유의성이 없으므로 분석에 부적절한 요소로 판단할 수 있다.

이러한 통계적인 분석법의 한계점은 집단별 평균이 모두 동시에 동일하다고 볼 수 있는지의 여부만을 판정할 수 있다. 특히, 보행분석 11요소의 경우, 각 변수간의 연관성(Correlation)이 크게 존재하기 때문에 이러한 효과를 고려한 모델을 구현하기 위하여 퍼지 모델을 이용하여 분석하였다. 평가치(Rating scale)를 기준으로 보행분석 11요소만을 이용하여 분석된 예측모델의 접합도(R^2)는 0.8529로 나타났으며, SIEG와 보행분석 11요소를 결합

하여 분석한 예측모델의 접합도(R^2)는 0.9430으로 나타났다. 이러한 결과는 SIEG와 보행분석 11요소를 통합한 척측보행 분석 모델은 보행분석을 통해 11요소만을 이용한 분석 모델보다 분류율을 9%정도 높일 수 있음을 나타낸다.

본 연구결과를 요약하면, 발목과 족부의 패턴변화를 이용한 SIEG가 보행분석을 통한 데이터분석법보다 그룹간의 낮은 분산율을 보이며, 질환의 심각도에 따른 평가에서 더 나은 판별율을 나타낸다. 또한, 퍼지 모델을 이용하여 예측모델을 구현한 결과, 보행분석 11요소와 SIEG를 통합한 분석모델은 보행분석 11요소만을 이용한 예측 모델보다 높은 정확도를 나타내는 것으로 판단된다. 따라서, 개발된 SIEG를 이용하여 환자의 질환정도를 평가하는 것은 진단의 정확성을 높일 수 있으며, 환자를 이용한 검증이 이루어질 경우에는 임상 적용에 높은 가능성을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고 문헌

1. Bonita J. Sawatzky, PhD, Christine M. Alvarez, MD, Richard D. Beauchamp, MD, Alec H. Black, MSc, Valerie Ward, PT, Severity of toe walking in children based on gait analysis, GCMAS conference, 1999
2. D. Casey Kerrigan, MD, Patrick O. Riley. PhD, Shannon Rogan, BS, David T. Burke, MD, Compensatory Advantages of Toe walking, Arch Phys Med Rehabil: 2000, vol(81)
3. Edwards P Schwentker, MD, Toe walking : Article, E_medicine, 2004
4. Ernst B. Zwick, Lutz Leistriz, Berko Milleit, Vinay Saraph, Gertrude Zwick, Mirosław Galicki, Herbert Witte, Gerhard Steinwender, Classification of equinus in ambulatory children with cerebral palsy- discrimination between dynamic tightness and fixed contracture, Gait and Posture: 2003, 1-7
5. Jacquelin Perry, MD, ScD, Judith M. Burnfield, PT, JoAnne K. Gronley, DPT, Sara J. Mulroy, PhD, PT, Toe Walking: Muscular Demands at the Ankle and Knee, Arch Phys Med Rehabil: 2003, vol(84), 7-16
6. Michael J. Goodman, Jason L. Menown, Jay M. West, Jr. kory M. Barr, Darl W. Vander Linden, Ma가 L. McMulkin. Secondary gait compensations in individuals without neuromuscular involvement following a unilateral imposed equinus constraint, Gait and Posture, 2003
7. Michael Tidwell, MD, The Child with Tip-Toe Gait : Clinical article, International Pediatrics: 1999, vol(14),no(4), 38-44
8. Patrick O. Riley, D. Casey Kerrigan, The effect of voluntary toe walking on body propulsion, Clinical Biomechanics, 2001 vol(16), 681-687
9. P. Crenna, E. Fedrizzi, E. Andreucci, C. Frigo, R. Bono, The heel-contact pattern of habitual toe walkers, Gait and posture, 2004,
10. Jacquelin Perry, MD, 1992, Gait analysis: normal and pathological function, Chief of Pathokineology Rancho Los Amigos Medical Center Downey, CA