

## 특발성 침족보행의 재활평가 예측모델 개발

### Development of Prediction Model to evaluate the rehabilitation procedure of idiopathic toe walking

임용훈*	김영진*	박성진**	이상식*	문정환*
비회원	비회원	비회원	정회원	정회원
Y. H. Rim	Y. J. Kim	S. J. Park	S. S. Lee	J. H. Mun

#### 1. 서론

침족보행은 뇌성마비와 같은 신경계 이상, 이영향증에 의한 마비성 근육이상 및 특발성 요인에 의해 발생하는 질환이다. 병적보행(Pathological gait)의 주요 증상으로 나타나는 침족보행은 보행 중에 발 뒤꿈치를 사용하지 않으며, 앞꿈치만을 이용하여 보행하는 특징을 나타낸다.(Schwentker, 2004) 이러한 병적 보행을 특성에 따라 분류하고 재활 및 시술을 통한 정상보행을 유도하기 위해 다양한 연구들이 이루어져 왔다.(Bonita등, 1999; Perry등, 2003; Kerrigan등, 2004)

1999년 Bonita J.등은 보행분석을 통해 뇌성마비 아동의 침족보행 증상을 3단계(Type A, B, C)로 분류하고 적절한 치료법을 제안하고자 하였으며, 2003년 Michael J. Goodman등은 정상 보행군과 강제로 침족보행을 유발한 실험군을 통해 보행 중에 하지의 무릎 관절 및 고관절에서 발생하는 보상 메카니즘에 관한 연구를 수행하였다. 2004년 Ernst B. Zwick등은 뇌성마비 아동에게 발생하는 두 가지 주요 증상인 근의 과도한 동적수축 및 과도한 구축을 인공신경망을 통해 분류하고 진단모델을 구현하고자 하였다.

그러나 대부분의 선행연구는 뇌성마비 환자라는 특수한 조건에서 발생한 침족보행 특성을 분석한 자료이며, 마비성 근육이상이나 특발성 요인에 의해 발생한 침족보행에 대한 근본적인 연구는 아니다. 특히, 특발성 침족보행이 신경계의 이상이 아닌 습관성이나 아킬레스건의 과도한 선천적 구축에 의해 발생한다(Schwentker, 2004)는 점을 고려할 때, 선행연구는 이러한 특발성 침족보행 환자의 분류 및 진단을 위한 방법으로는 적합하지 않다. 또한, 보행분석에서 환자의 진단 및 재활 평가를 위한 파라미터 선정이 극대치 분석(Goodman등, 2003; Crenna등, 2004)이나 임상적 관점을 기준(Bonita등, 1999)으로 이루어진 정성적 평가이기 때문에 이러한 평가를 정량적으로 수치화하기 위한 연구의 필요성이 있다.

본 연구의 목적은 보행분석을 통해 특발성 침족보행을 증상에 따라 분류하고 정량적으로 평가하는데 있다. 따라서, 통계적으로 유의한 주요 파라미터를 제안하기 위해 진단 및 재활 평가 예측모델 개발을 위한 기초자료를 정량적으로 추출하였으며, 선행연구에서 제시된 주요 파라미터와 본 연구를 통해 제시된 파라미터를 이용하여 진단 및 재활 평가율을 높이기 위한 방법을 제시하였다.

\* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

\*\* 카톨릭대학교 성바오로병원

## 2. 실험 방법

20대 성인 남성 5명이 실험에 참여하였다. 평균 키는 171.5cm였으며, 몸무게는 65.8kg이다. 실험자들은 하지에 16개의 광학마커를 부착한 상태에서 지면 반력기가 부착되어 있는 10m 직선구간을 보행하였다. 침족보행은 증상의 심각도에 따라 Normal and Mild, Moderate, Severe로 구분하였으며, 분류된 기준은 다음과 같다.

- ㄱ. Normal and Mild group : 정상 보행 및 편평족 보행 그룹
- ㄴ. Moderate group: 보행중 입각기 초기에 앞꿈치 접지가 이루어지며 뒤꿈치 접지가 가능한 그룹
- ㄷ. Severe group : 보행중 앞꿈치 접지만이 가능하여 뒤꿈치 접지가 불가능한 그룹

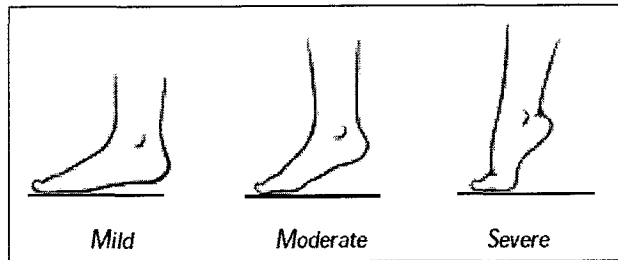


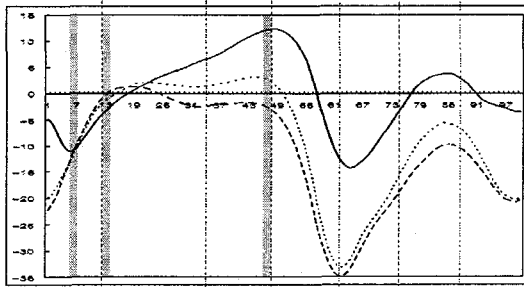
Fig. 1 Typical classification of toe walking

보행 분석을 통해 침족보행의 심각도에 따라 구분된 각 그룹에서 발목의 관절상대각, 모멘트 그리고 관절과위를 구하였으며, 모멘트와 과위는 각각 실험자의 몸무게(kg)로 정량화(Normalization)하였다. 통계학적 분석을 위하여 SAS 프로그램을 이용하였으며 보행의 한 사이클(100%)로 표현된 100개의 데이터에 다중 회귀분석법(Multiple regression)중 단계적 회귀 분석(Stepwise method)을 적용하여 주요 파라미터를 추출하였다. 또한, 추출된 파라미터들 간의 다중 공산성(Multicollinearity) 유무를 파악하여 가장 적합도가 높은 파라미터를 선정하였으며, 선행연구에서 제시된 식(1)의 Moment ratio를 통한 평가율과 실험을 통해 추출된 파라미터를 이용한 평가율을 비교분석하였다.

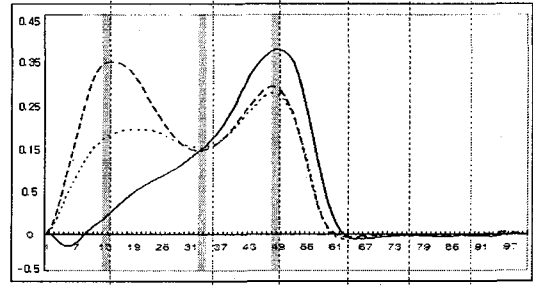
$$\text{Moment ratio} = \text{First peak of moment variable(Nm/kg)} / \text{Second peak of moment variable(Nm/kg)} \dots\dots\dots(1)$$

## 3. 결과 및 고찰

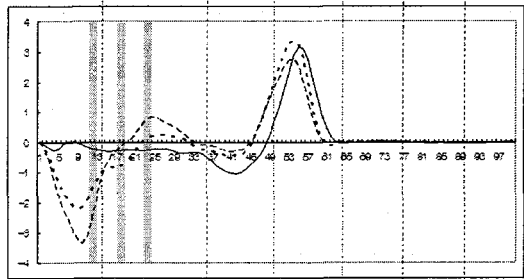
보행 분석을 통해 나타난 각 보행그룹의 평균 변화율 그래프와 추출된 파라미터는 그림 2. 와 같이 나타났으며, x축은 보행 사이클(100%), y축은 각각 (a)상대각(degree)과 (b)모멘트(Nm/kg) 그리고 (c)과위(W/kg)를 나타낸다. (a),(b),(c)는 각각 유의수준 5%(P<0.05)에서 다중공산성이 없는 3개의 파라미터로 분류가 되었으며, 각각 추출된 3개의 파라미터는 (a)에서 85.2%, (b)에서 94.7% 그리고 (c)에서 88.1%의 R-Square를 나타내었다. 선행 연구에서 재활평가를 위한 기준으로 제시된 Moment ratio[2]를 이용하여 그룹간의 분류를 실시한 결과와 추출된 파라미터를 이용한 분류율은 표. 1에 나타나있다.



(a) Ankle relative angle (degree)



(b) Ankle moment(Nm/kg)



(c) Ankle power(W/kg)

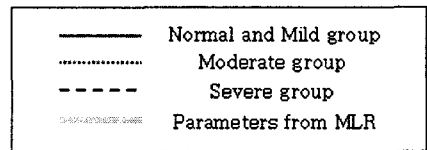


Fig. 2 The average joint kinematic and kinetic data in each group

관절의 상대각, 관절 모멘트, 관절 파워에서 추출된 9개의 파라미터 중 관절 모멘트에서 추출된 3개의 파라미터에서 가장 높은 R-Square 94.7%를 나타냈으며, 선행연구에서 제시된바 있는 Moment ratio를 이용하여 분석한 결과 R-Square 90.1%를 나타내었다.

Table. 1 The main parameters extracted by using Multiple linear regression(stepwise) with respect to ankle kinematic and kinetic data

	Step	Number	Variables	Partial R-Square	F	Pr>F
Ankle angle (degree)	1	1	x7	0.7901	173.20	<0.001
	2	2	x47	0.8273	9.69	<0.001
	3	3	x13	0.8522	7.42	<0.001
Ankle moment (Nm/kg)	1	1	x12	0.8882	349.63	<0.001
	2	2	x33	0.9382	34.72	<0.001
	3	3	x48	0.9472	7.16	<0.01
Ankle power (W/kg)	1	1	x11	0.6969	105.77	<0.001
	2	2	x18	0.8559	52.35	<0.001
	3	3	x23	0.8810	7.79	<0.001
Moment ratio	1	1	MR	0.9013	428.09	<0.001

\*\* xn : nth variables in a gait cycle(100%)

#### 4. 요약 및 결론

특발성 척추보행의 심각도에 따라 분류된 Normal and mild group, Moderate group,

Severe group의 보행분석을 통해 주요 파라미터를 추출하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 발목 상대각, 관절 모멘트, 관절 파워를 분석한 결과, 증상의 심각도에 따른 분류 및 모델 적용을 위해서는 관절 모멘트의 분석이 가장 정확한 결과를 나타낸다.
2. 그룹간의 분류의 정확도가 가장 높으며 재활 예측 평가모델에 적용하기 위한 파라미터는 관절 모멘트에서 x12, x33, x48로 나타났다.
3. 선행 연구에서 제시된 Moment ratio에 의한 그룹 분류보다 추출된 파라미터(x12, x33, x48)를 이용한 분류에서 4%이상의 분류율 증가를 나타냈다.
4. 본 연구를 통해 추출 및 분류율이 검증된 파라미터를 임상분석에 적용할 경우, 선행 연구의 분석에서 나타난 결과보다 정밀한 평가가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 임상분석을 위한 예측 모델 개발에 정밀한 초기치(Input data)로서 활용될 것이다.

## 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, Miroslaw Galicki, Herbert Witte, Gerhardt 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