

하지 근골격계질환 평가를 위한 삼차원 근·건모델의 임상적용

임용훈 최재일 최안렬 민경기 윤태선 박광용 문정환

A Clinical Application of 3D Muscle-Tendon Complex Model for the Estimation of Lowerbody Musculoskeletal Disorders

Y. H. Rim J. I. Choi A. R. Choi K. K. Min T. S. Yun K. Y. Park J. H. Mun

Abstract

Kinematic analysis of MTC (Muscle-Tendon Complex) units is a key indicator for diagnosis of patients with musculoskeletal disorders because the contracture or shortening of musculo-tendinous units is known to produce pathological gaits. Therefore, the principal objective of this study was to assess the length change in the triceps surae prior to and after wearing an AFO (Ankle-Foot Orthoses) in patients with musculoskeletal disorders during a gait. In this study, analyses were conducted using a Muscle Tendon Complex model coupled with the trajectory data from markers attached to anatomical landmarks. As a result, the maximum length change in the triceps surae during a gait was 4.87% when a barefoot walking group and a walking group with AFO were compared. In particular, the difference in length changes between both groups in Soleus MTC units was found to be statistically significant in all gait phases. Our results revealed that MTC length in the AFO walking group was clearly increased over that of the barefoot walking group. In the future, further studies will be required in order to more adequately assess musculoskeletal disorders using many cases studies with regard to agricultural working conditions because this study deals with the kinematic analysis of musculo-tendinous units in the case of clinical experiments.

Keywords : Gait analysis, Lowerbody musculoskeletal disorders, AFO (Ankle-Foot Orthoses), MTC (Muscle-Tendon Complex) model, Clinical application

1. 서론

일반적으로 농작업은 특정 기간 동안에 작업이 집중적으로 이루어지는 노동집약적인 특성이 있으며, 작업이 표준화되어 있지 않고 비연속적이라는 특징이 있다. 또한, 농업인들의 대부분이 고령화 노인들이기 때문에 근골격계질환 문제는 농업인들에게 매우 중요한 건강문제로 부각되고 있다(Lee and

Lee, 2006). 농업인의 전체 상해 중 43%정도의 질환이 근골격계질환과 관련되어 있고, 이러한 질환은 신체적으로 노화와 근력저하 등이 나타나는 연령이 많은 노인에게서 유발 정도가 심한 것으로 알려져 있다(Lee, 2005). 이러한 질환은 허리, 어깨, 무릎과 같은 주요 유발부위 뿐만 아니라 상·하지에서 전반적으로 발생하는 것으로 조사되었다(Lee, 2008). 따라서, 근골격계질환의 평가 및 분석을 위하여 다양한 임

“This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MOEHRD, Basic Research Promotion Fund) (KRF-2006-331-D00719)”, in which main calculations were performed by using the supercomputing resource of the Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI). The article was submitted for publication on 2008-10-28, reviewed on 2008-11-25, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2008-12-30. The authors are Yong Hoon Rim, Researcher, KSAM member, Jae Il Choi, Professor, Dept. of sport and leisure studies, Semyung University, Ahn Ryul Choi, Researcher, KSAM member, Kyoung Kee Min, Researcher, KSAM member, Tae Sun Yun, Researcher, Kwang Yong Park, Researcher, and Joung Hwan Mun, KSAM member, Associate Professor, Dept. of Biomechanics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: J. H. Mun, Associate Professor, Dept. of Biomechanics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea; Tel: +82-31-299-4820; Fax: +82-31-299-4825; E-mail: <jmun@skku.ac.kr>.

상분석 기법 및 연구가 진행되어 오고 있다(Frigo et al., 1996; Eames et al., 1997; Rim et al., 2006). 특히 생체역학 분야에서의 관련 연구는 3차원 운동 분석 장치와 인체모델을 이용하여 관절에서 발생하는 상대운동 및 힘과 모멘트 등을 추정하여 작업의 부하를 평가하는 방법이 주로 사용된다. 하지만, 이러한 선행연구의 대부분은 인체의 각 분절을 강체로 가정하여 분석하고 있으며, 근육이나 건과 같이 상해발생 빈도가 높은 연조직에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 근건 복합체의 기구학적/역학적 평가를 위한 연구가 최근에 진행되어 오고 있다(Frigo et al., 1996; Eames et al., 1997; Rim et al., 2006).

Frigo et al.(1996)은 무릎과 발목에서 발생하는 시상면(Sagittal plane)상의 상대 각을 이용하여 보행중 발생하는 근건 복합체의 기구학적 변화를 측정할 수 있는 근건 모델을 개발하였으며, Eames et al.(1997)은 대퇴골상과(femoral condyle) 부위의 형상을 포함하는 하퇴삼두근(Triceps surae muscle group)의 2차원 모델을 개발하여 임상적인 평가에 사용하였다. 최근에 해부학적 모델과 사체실험 그리고 MRI를 이용한 모델을 비교하여 근건 복합체의 기구학적 평가를 위한 모델들의 정확성을 비교 평가한 바 있다. 하지만, 이러한 연구가 인체운동중 시상면상의 자료를 기반으로 하므로 관절의 모든 움직임을 포함하지 못한다는 한계점이 제시되었으며, 이에 따라 Rim et al.(2006)은 인체 표면에 부착된 마커로부터 근건 복합체의 3차원 위치정보를 추출하여 근 건의 기구학적 평가를 수행하였다.

이러한 다양한 선행연구에도 불구하고 개발된 3차원 근건 복합체 모델(3D Muscle-Tendon Complex Model)의 임상적인 적용 및 평가는 이루어진 바 없다. 특히, 농업인의 근골격계 질환의 평가를 위하여 개발된 3차원 근건 복합체 모델의 임상 적용 및 평가가 요구된다. 또한, 모델 적용의 객관성을

확보하기 위하여 임상 진단이 명확히 내려진 근골격계 환자를 대상으로 실험을 수행할 필요성이 있다.

따라서, 본 연구에서는 개발된 3차원 근·건 모델을 이용하여 하지 관절중 발목에 과도한 저축굴곡이 발생한 환자를 대상으로 보행중 하퇴삼두근의 기구학적 변화를 계산하고, 이를 통하여 단하지 보조기 착용이 환자 근·건의 기구학적 변화에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고자 한다. 이러한 평가를 통하여 개발된 3차원 근·건 기구학적 모델의 임상적 유용성을 분석하고 향후에 농업인에게서 발생하는 하지 근골격계 질환자의 평가를 위한 기반을 마련하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 3D MTC Model

Rim et al.(2006)은 피부에 부착된 마커를 이용하여 삼차원 공간상에서의 근·건 복합체의 부착위치를 측정하고 또한 대퇴골상과(femoral condyle)의 굴곡을 고려한 모델을 그림 1과 같이 개발하였다. 그림 1(a)에서 r은 대퇴골상과의 반경으로 정의되며, L1은 비복근건 복합체(Gastrocnemius-tendon complex unit)의 기시부(origin)로부터 대퇴골상과의 반경으로 포함한 길이, L2는 L1의 말단부위로부터 아킬레스건의 부착부(insertion)까지의 거리를 나타낸다. 그림 1(b)는 무릎관절 중심에 생성한 지역좌표 시스템을 나타내고 있으며, 그림 1(c)는 발목의 중심점과 그 중심점으로부터 아킬레스건까지의 거리인 d를 정의하고 있다. 또한, 가자미근건 복합체(Soleus-tendon complex unit)의 기구학적 변화를 측정하기 위한 가자미근건 복합체의 부착부(Soleus insertion)를 나타내고 있다.

언급한 바와 같이 가자미근 및 비복근건 복합체의 기구학적 변화를 측정하기 위하여 먼저, 하지 분절에 20개의 마커를

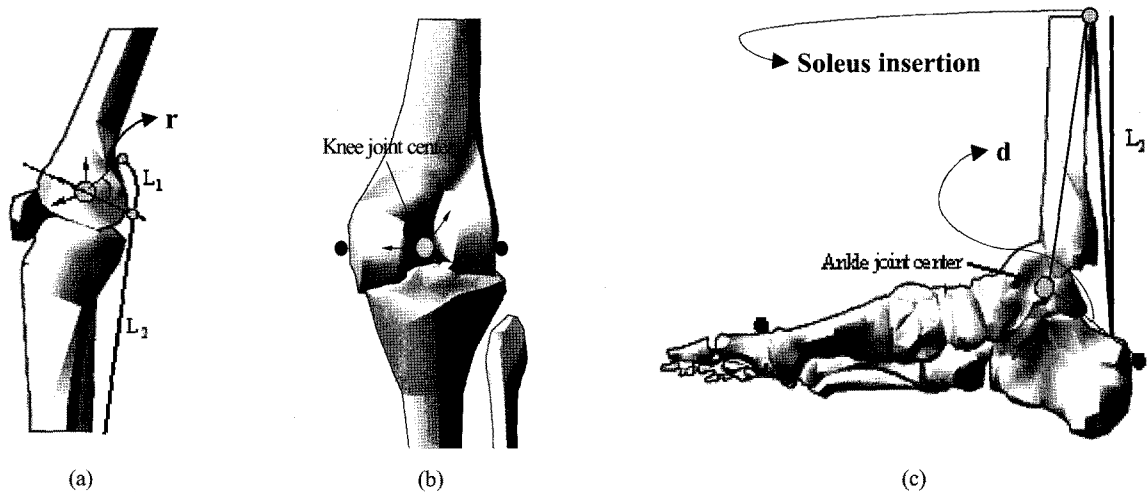


Fig. 1 The foot and knee diagrams for MTC kinematic analysis.

부착하였다. 마커들은 골반부위에 4개, 무릎관절을 포함하는 대퇴부에 6개, 발목관절을 포함하는 전강이부위에 6개 그리고 고 족부에 4개가 부착되었다.

비복근건 복합체 모델은 크게 두 부분인 L1과 L2로 나뉜다. L1은 대퇴골상과의 둘레 길이로 정의되며, L2는 무릎관절 중심으로부터 아킬레스건의 부착부까지의 거리로 정의된다. 비복근건 복합체의 기시부를 계산하기 위하여 무릎의 내측 과상돌기와 외측 과상돌기 그리고 고관절 중심점을 이용한 지역좌표계를 생성하고 선행연구에서 제시하고 있는 대퇴골상과 비복근건 복합체의 기시부인 30.1도 부위 대퇴골상과의 반경을 고려하여 생성된 지역좌표계를 위치시킨다.

운동 상태에서의 L1을 측정하기 위해 무릎 관절 중심과 비복근건 복합체의 기시부 그리고 L1의 초기위치를 이용하여 지역좌표를 생성하였으며, 언급된 2개의 지역좌표의 회전각 변화를 이용하여 L1의 최종위치를 계산하였다.

L2는 이렇게 계산된 L1의 말단부위로부터 아킬레스건의 부착부까지의 거리를 계산하여 구하였다. 가자미근건 복합체의 경우 언급된 아킬레스건의 부착부로부터 전강이 부위의 가자미근 기시부까지 거리를 이용하여 계산하였다.

이러한 방법은 기존에 제시된 발목관절 및 무릎관절의 시상면상의 상대각 변화만을 이용한 계산방법과 비교하면 무릎 및 발목의 3차원 각 및 축방향의 병진운동을 모두 고려할 수 있다는 장점을 가지게 된다. 식 (1)과 식 (2)는 Eames et al.(1997)에 의하여 개발되었으며, 식 (3)은 Frigo et al.(1996)에 의하여 개발되었다. 식 (1)은 대퇴골상과의 반경을 구하기 위한 식이며, 식 (2)는 발목 중심점으로부터 발뒤꿈치 부위의 아킬레스건의 부착부까지 거리를 나타낸다. 또한, 식 (3)은 발목으로부터 가자미근건 복합체의 전강이 부분 기시부까지 길이를 나타낸다.

$$r = -0.0001801 \times Height^2 + 0.0669015 \times Height - 2.3627337 \quad (1)$$

$$d = 0.0002459 \times Height^2 + 0.0907381 \times Height - 5.49315 \quad (2)$$

$$Soleus\ insertion = 0.7427 \times Shanklength - 31.501 \quad (3)$$

- where, r : femoral condyle radius
 d : distance between achilles insertion and ankle joint center
 Height: subject height (cm)
 Soleus insertion: distance between Soleus insertion and ankle joint center
 Shanklength: distance between ankle joint center and knee joint center

나. 재료 및 방법

본 연구에는 3명의 환자(mean ± standard deviation [SD], age: 5 y±9.2; height: 95.3±4.3 cm: weight, 15.2±2.1 kg)가 실험에 참여하였다. 실험에 참여한 환자들의 주요 증상은 발목의 저축굴곡(plantar flexion)이었으며, 이러한 증상을 완화시키고 아킬레스건 및 하퇴삼두근의 연장효과를 유발하기 위하여 그림 2와 같은 단하지 보조기를 착용하였다. 보조기 착용 전/후의 하퇴삼두근의 길이변화 측정을 위하여 보조기 착용 전과 후에 대하여 각 5회의 보행을 실시하였다. 보행거리는 8m 구간이었으며, 환자들의 평균 보행속도 및 보폭은 각각 0.36(±0.18) m/s와 0.15(±0.19) m로 나타났다. 수행된 실증에 유효한 보행 한 주기를 선정하여 각 5회의 반복실험을 평균 및 편차 처리하였다. 영상 데이터 측정을 위하여 피부에 부착된 마커의 측정을 위한 6대의 Vicon 460 system(Oxford Metrics Limited, Oxford, UK)을 사용하였다. 보행 중에 측정되는 표본 데이터는 60 Hz로 측정되었으며, 실험 데이터 처리를 위하여 4차 Butterworth 필터를 사용하였다. Cut-off 주파수는 7 Hz이다. 그림 3은 실험 개요도를 나타낸다.

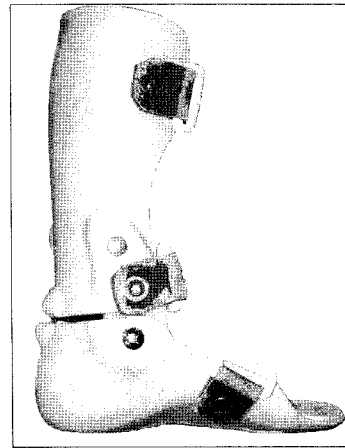


Fig. 2 Hinged AFO used in this study.

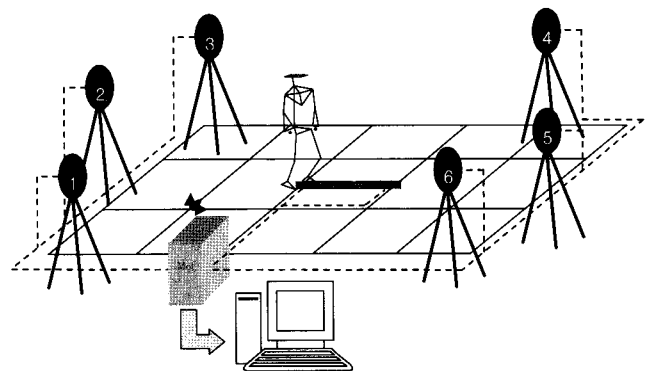


Fig. 3 Schematic view of the gait analysis apparatus.

3. 결과 및 고찰

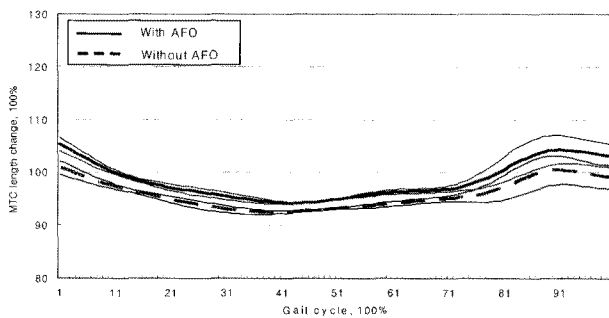
그림 4는 3명의 환자에서 보행중 발생하는 근건 복합체의 길이 변화를 나타내고 있다. 실선은 각 보장구를 착용한 후 각 환자의 근건 복합체의 길이 변화를 나타내고 있으며, 점선은 보장구 착용하기 전 각 환자의 근건 복합체의 길이 변화를 나타내고 있다.

각 그래프의 x축은 보행 1주기(100%)를 나타내며, y축은 정적상태에서 측정된 근건 복합체의 길이를 이용하여 동적상태에서 측정된 근건 복합체의 길이 변화를 정량화(Normalization)한 결과이다. 또한 각 그래프의 굵은 실선 및 점선은 각 환자의 보행 중 발생한 근·건 복합체의 길이변화의 평균치를 나타내며, 가는 실선은 편차영역을 나타낸다. 각 그림에

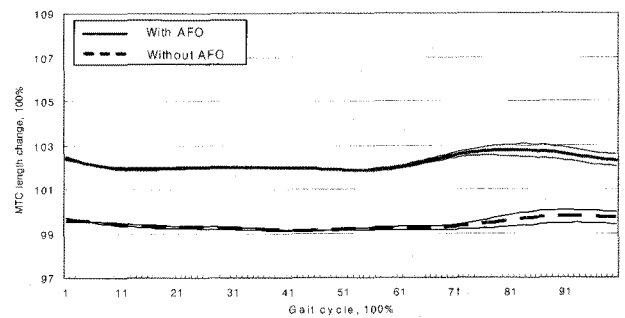
서 나타난 바와 같이 단하지 보조기 착용 전·후의 하퇴삼두 근·건 복합체의 길이 변화는 세 명의 환자에서 모두 유의 수준 1%내에서 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히, 비복근건 복합체의 길이 변화가 가자미근건 복합체의 길이 변화보다 크게 나타나는 것으로 확인되었다.

그림 5는 단하지 보조기 착용 후 발생하는 각 근·건 복합체 모델의 평균 길이 변화를 나타내고 있다. 비복근·건 복합체는 약 60% ~ 65% 보행주기에서 가장 큰 변화의 차이를 나타냈으며, 70% ~ 80%에서는 가장 적은 길이 변화의 차이를 나타냈다.

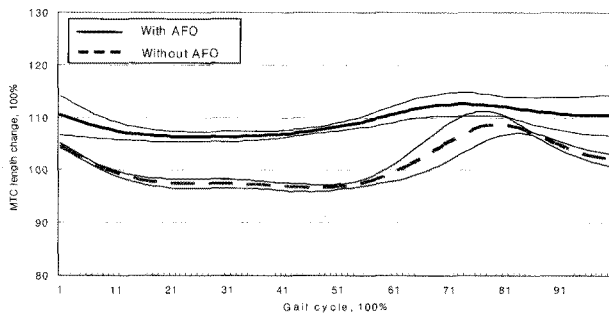
이러한 결과를 각 실험자별로 정리한 결과는 표 1과 같으며, 각 환자의 증상에 따라 단하지 보조기 착용 후에 근건 복합체의 길이 연장 효과가 다르게 나타났다. 비복근건 복합체



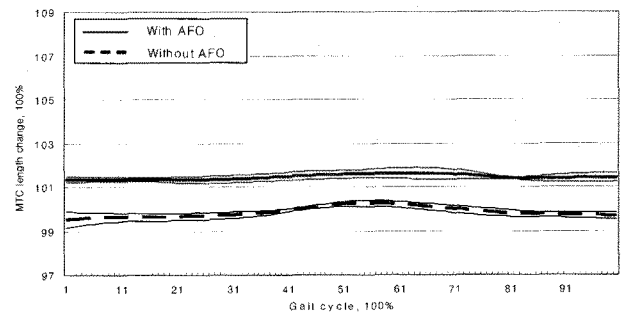
(a) 1st Patient: Gastrocnemius length change ($P < 0.01$)



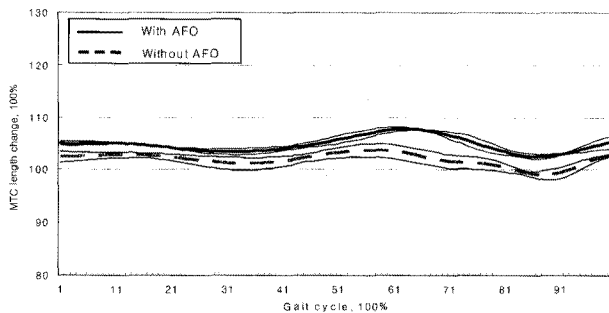
(b) 1st Patient: Soleus length change ($p < 0.01$)



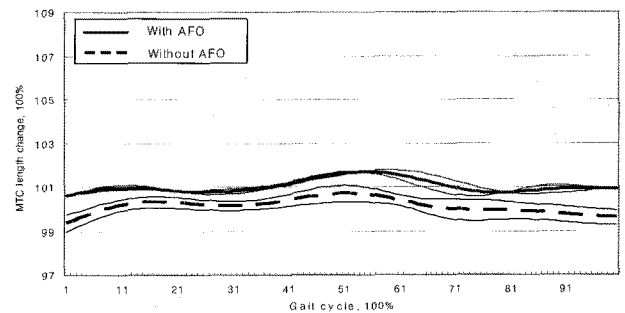
(c) 2nd Patient: Gastrocnemius length change ($p < 0.01$)



(d) 2nd Patient: Soleus length change ($p < 0.01$)



(e) 3rd Patient: Gastrocnemius length change ($p < 0.01$)



(f) 3rd Patient: Soleus length change ($p < 0.01$)

Fig. 4 The length change of Gastrocnemius and Soleus muscle-tendon complex models during a gait in cerebral palsy patients (Bold line: gait with AFO, Dotted line: gait without AFO).

Table 1 Gastrocnemius and Soleus tendon complex lengthening ratio during a walking with AFO in each patient (*MTC: Muslee-Tendon Complex unit)

	Gasctronemius MTC			Soleus MTC		
	Max diff (%)	Min diff (%)	Mean (S.D) diff (%)	Max diff (%)	Min Diff (%)	Mean (S.D) diff (%)
Subject1	4.46	1.58	2.64 (0.82)	3.32	2.56	2.83 (0.22)
Subject2	11.6	3.54	8.26 (2.32)	1.84	1.36	1.61 (0.12)
Subject3	5.25	1.88	2.98 (0.93)	1.31	0.55	0.91 (0.22)

* S.D: Standard deviation

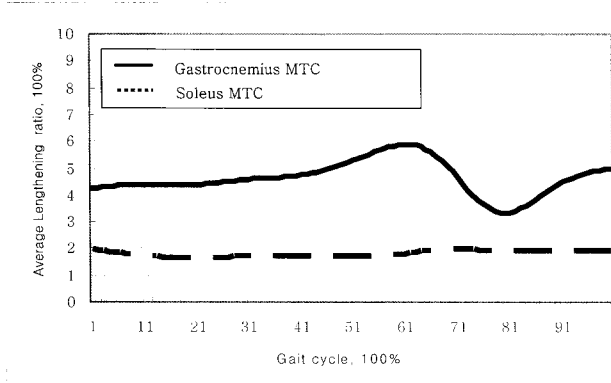


Fig. 5 Gastrocnemius and Soleus tendon complex lengthening ratio during a walking with AFO (% Anatomical Neutral Length, *MTC: Muslee-Tendon Complex unit).

의 경우, 최대 11.6%(21.76 mm), 최소 1.58%(4.02 mm)의 길이 변화가 나타났으며, 가자미근건 복합체는 최대 3.32%(8.4 mm), 최소 0.55%(1.4 mm)의 길이 변화가 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 개발된 3차원 근건 복합체 모델의 임상적인 적용 및 평가를 위하여 수행되었다. 따라서, 농업인의 근골격계 질환의 평가를 위하여 임상 진단이 명확히 내려진 근골격계 환자를 대상으로 개발된 3차원 근건 복합체 모델의 임상평가를 수행하였다.

본 연구는 3D 근건 복합체 모델을 이용하여 단하지 보조기 착용 전/후 인체의 하퇴삼두근의 길이 변화를 측정하고 이를 통하여 하지 관절중 발목의 과도한 저축굴곡이 발생한 환자의 단하지 보조기(Ankle-Foot Orthoses: AFO) 착용이 근건 복합체의 기구학적 변화에 미치는 영향을 분석하고자 하였으며, 이를 위해 개발된 3차원 근건 기구학적 모델의 임상적으로 적용하였다. 보행중 발생하는 환자 근건 복합체의 기구학적 변화를 단하지 보조기를 이용하여 관찰한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 본 연구에서는 피부 표면에 부착된 마커를 이용하여 근육의 유착부위를 계산하고 유착부위와 관련된 지역좌표시스템을 이용하여 비복근 및 가자미근건 복합체의 길이 변화를 계산할 수 있는 모델을 제시하였으며, 이를 이용하여 하지 근골격계 질환이 있는 뇌성마비 환자를 대상으로 보행중 근건 복합체의 길이 변화를 측정하였다.
- (2) 또한, 단하지 보조기를 착용하는 발목의 과도한 저축굴곡이 발생한 환자의 근건 복합체의 길이연장 비율을 측정하기 위하여 단하지 보조기 착용 전/후에 본 모델을 적용하여 근건 복합체의 길이 변화를 분석하였다.
- (3) 분석 결과 단하지 보조기 착용은 하퇴삼두근의 연장에 효과가 있는 것으로 나타났다. 비복근의 경우 약 평균 6.5% 정도, 가자미근의 경우에는 평균 2.3% 정도의 연장 효과가 있는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 환자의 증상에 따라 조금씩 다른 결과를 나타내었다.

본 연구는 3D 근건 복합체 모델의 임상적용 가능성을 평가하기 위하여 실시되었으며, 향후에는 각기 다른 질환을 가진 환자 및 농업인을 대상으로 한 검증 실험이 필요할 것이다. 향후 연구를 통하여 충분한 임상평가가 이루어진다면 개발된 3차원 근건 기구학적 모델은 근골격계 질환이 빈번한 농업인의 질환을 평가 및 예측하는 시스템에 적용 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Eames, W. A. Naill, R. J. Baker and A. P. Cosgrove. 1997. Defining gastrocnemius length in ambulant children. *Gait and Posture* 6:9-17.
2. Frigo, C., J. Neilsen and P. Crenna. 1996. Modelling the triceps surae muscle-tendon complex for the estimation of length changes during walking. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 6:191-203.
3. Lee, K. S. 2008. A study on the management system for

- occupational disease and injury of farmers. National academy of agricultural science, Suwon, Korea.
4. Lee, S. J. and K. S. Lee. 2006. Prevalence of the farmwork related musculoskeletal disorders and ergonomic risk factors, Proceeding in Korean society of Health education and promotion. pp.11-13.
 5. Lee, S. Y. 2005. A Study on Realities and Countermeasures of Musculoskeletal Disease to Farm Worker. Master thesis, Chungju university, Chungju, Korea.
 6. Rim Y. H., A. R. Choi, S. S. Lee and J. H. Mun. 2006. Noninvasive Kinematic analysis of the triceps surae muscle-tendon complex during a gait. Key engineering Materials 321:1085-1089.