

인체 운동변화에 따른 하지관절(고관절, 슬관절)에 대한 생체역학적 파라미터 도출을 위한 동역학적 해석 연구

Optimization of biomechanical parameters for lower limb joint (Hip Joint, Knee Joint) by motion changes based on dynamic analysis

* # 김성민¹, 양인철², 강호철³, 류계형⁴, 조현석⁴

*#S. M. Kim¹(sungmin2009@gmail.com), I. C. Yang², H. C. Kang³, J.C. Ryu⁴, H.S. Cho⁴

¹ 동국대학교 의생명공학과, ² 동국대학교 생명과학연구원, ³ 건국대학교 대학원 신기술융합학과, ⁴ 재활공학연구센터

Key words : Gait analysis, Dynamic Simulation, Knee Joint, Hip Joint, Torques

1. 서론

최근 교통사고와 산업재해 그리고 질병으로 인한 하반신 마비 환자가 증가하고 있으며, 우리나라의 장애인수는 130만 이상이고 이 가운데 지체장애인수는 75만을 넘는 것으로 추정됨에 따라 독립적인 보행이 불가능한 환자들을 위한 여러 가지 방안이 연구 되고 있다.¹ 보행보조기기로는 휠체어, 지팡이, Crutch, 워커(Walker), RGO 등이 있으며, 하지 관절의 구축 방지, 골다공증의 최소화, 혈액순환의 촉진 등 장점이 있으나, 사용자가 쉽게 지지고, 경사로 보행이나 계단 보행 등 다양한 환경에 사용이 어려우며 걷는 속도는 너무 느려서 실용적이지 못하다는 단점이 있다.²

따라서 보다 실용적인 보조기의 개발을 위해서는 사용자가 다양한 환경에서 보행 시 에너지 소비를 감소시키며 하지 마비환자들이 자연스럽게 보행 할 수 있는 기능이 개발 되어야 한다.

이에 본 연구에서는, 웨어러블 보행보조로봇을 개발하기 위해 기초 연구인 정상인의 자세 변화에 따른 관절 부하특성을 연구하였다. 삼차원적인 동작분석법을 이용하여 주요 자세변화(계단 오르기, 의자에서 기립 등)에 따른 하체관절인 슬관절, 고관절에 대한 동역학적 분석을 하여 최종적으로 웨어러블 보행보조로봇의 관절부에 적용되는 구동토크나 제동토크 값을 도출하고자 한다.

2. 본론

2.1 인체 모델링

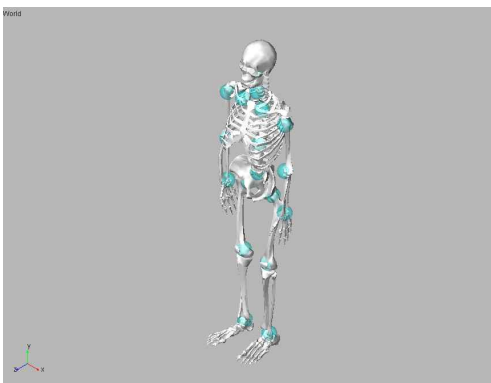


Fig 1. Skeletal FullBody Model of Human

본 연구에서는 인체모델을 하기 위해 인체모델링 프로그램인 BRG.LifeMOD 2005.5.0(Biomechanics Reserch Group, Inc., USA)(Fig. 1) 을 이용하여 인체모델을 생성하고, 생성된 인체모델을 ADAMS(MSC Software, USA) 를 통해 인체 운동변화에 따른 하체 관절의 동역학적 해석을 수행하였다.

다양한 인체 운동 변화 해석에 적용된 모델은 정상인 보행 시뮬레이션 연구에서는 28세의 남성, 키 176cm, 몸무게 78.9kg으로 지정 하였고, 계단 오르기 와 의자에서 기립 시뮬레이션 환경에서는 27세의 남성, 키 178cm, 몸무게 83kg으로 지정하였다.

2.2 계단 및 의자 모델링

계단 오르기에서 지정한 계단 모델은 길이 88cm, 높이 22.2cm, 폭 30cm와 길이 88cm, 폭40cm, 높이26cm 인 두 개의 Step으로 모델링 하였고, 의자에서 기립 시 선택한 의자 모델은 높이 46cm, 폭40cm, 길이 40cm 인 지지대 없는 의자를 모델링 하였다.(Fig. 2)

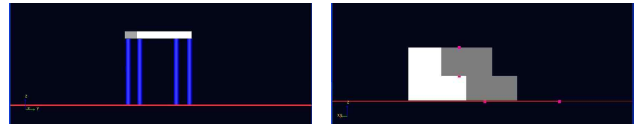


Fig 2. Chair(Left) and Stair(Right) Model

2.3 Motion Capture Method



Fig 3. Plug-in-Gait Marker Set

Motion Capture 실험은 상체와 하체의 운동을 기록하기 위해 인체 특징점에 반사 마커를 부착하였다.(Fig. 3) 인체 변화에 따른 다양한 동작 동안 23개의 marker들의 공간상 움직임을 측정 하였고, 23개의 반사 마커의 모션 데이터 값들은 시간에 따라 시뮬레이션을 진행함에 있어 각각 입력 값으로 사용 되었다. 그 입력 값들은 X, Y, Z의 각 방향으로 공간상에서 궤적을 그리게 되고 이러한 궤적들을 따라 컴퓨터 모델의 marker들이 움직임으로서 실제 인체 변화에 따른 동작과 같은 모션을 얻을 수 있었다.

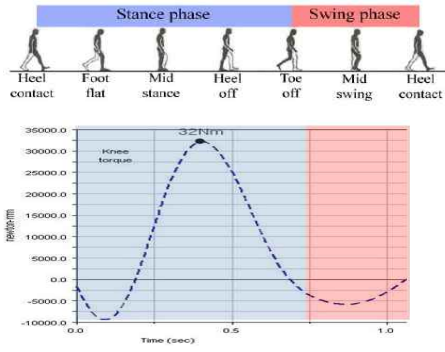
2.4 인체 모델 파라미터 획득 및 검증

인체 모델 파라미터 획득을 위해 정상인 보행 시뮬레이션을 구축하였다. 정상보행에서 고관절과 슬관절의 모멘트는 체중의 영향을 받으며 정상인의 보행 패턴 시 고관절과 슬관절의 동역학적 해석 결과 슬관절과 고관절의 시상면에서 토크의 최대값은 각각 0.4Nm/kg, 1.26Nm/kg (Fig. 4) 으로 0.46Nm/kg, 1.15Nm/kg의 이전의 연구결과와 유의한 차이가 없었다.³

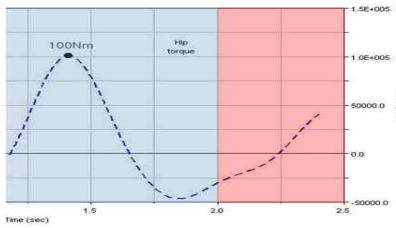
정상인 보행 연구에서 검증한 인체 모델 파라미터는 계단 오르기, 지지대 없는 의자에서 기립 연구에 한하여 적용하였다.

3. 결과

검증된 인체 모델 파라미터를 통해 계단 오르기 또는 의자에서 기립 시 각 하지관절(고관절, 슬관절)의 토크를 시뮬레이션 방법을 통해 도출 하였다.



(a) Knee Torque



(b) Hip Torque

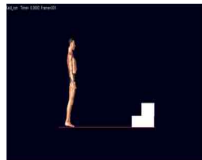
Fig 4. 정상인의 일반 보행 시 고관절과 슬관절 토크

3.1 계단 오르기

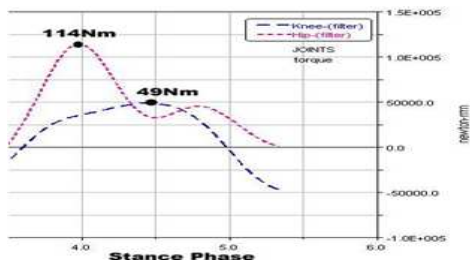
계단 오르기에서 고관절과 슬관절의 동역학적 분석을 하기 위해 ADAMS(MSC Software, USA) 시뮬레이션을 통해 정상인의 고관절과 슬관절의 모멘트 값을 도출 하였다.(Fig. 5)



(a) 실험 연구



(b) 시뮬레이션 연구



(c) 고관절과 슬관절 토크

Fig 5. Result of Stair Climbing

계단을 오르는 동안 슬관절과 고관절의 시상면에서 토크의 최대값은 각 0.59Nm/kg, 1.26Nm/Kg으로 슬관절 보다 고관절에서 토크값이 더 크게 나오는 결과를 확인 할 수 있었다.

3.2 의자에서 기립

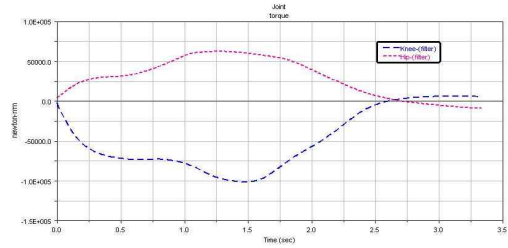
지지대 없는 의자에서 기립 시 고관절과 슬관절의 동역학적 분석을 하기 위해 ADAMS(MSC Software, USA) 시뮬레이션을



(a) 실험 연구



(b) 시뮬레이션 연구



(c) 고관절과 슬관절 토크

Fig 6. Result of Sit-to-Stand

통해 정상인의 고관절과 슬관절의 모멘트 값을 도출 하였다.(Fig. 6) 지지대 없는 의자에서 기립 시 슬관절과 고관절의 시상면에서 토크의 최대값은 1.20Nm/kg, 0.87Nm/kg으로 고관절 보다 슬관절에서 토크값이 더 크게 나오는 결과를 확인 할 수 있었다.

4. 결론

이 논문에서는 웨어러블 보행보조로봇의 최적화 설계를 목적으로 설계변수를 도출하기 위한 기초연구가 주를 이루었다.

자세 변화에 따른 관절 부하특성을 연구하기 위해 먼저 인체 모델의 파라미터를 획득하기 위해 20대 성인 정상인의 일반 보행 실험을 하였으며, 그 값을 통해 인체 모델의 파라미터를 검증한 후 20대 성인 정상인을 대상으로 인체 운동 변화에 따라 각 하지관절의 평가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 계단 보행 시 기존의 연구결과들은 슬관절과 고관절의 토크값 비율이 매우 다양하며, 이 연구에서는 슬관절의 토크값 49Nm 보다 고관절의 토크값 114Nm 가 대략 2배 정도 크게 나온 것으로 확인할 수 있었으며, 이는 계단 보행 시 슬관절 보다는 고관절에 더 많은 힘이 요구되며 평지 보행보다 더 많은 힘이 요구 된다는 것을 의미한다.4.5.6.

2) 지지대 없는 의자에서 기립 시 고관절의 토크값 72Nm 보다 슬관절에서 토크값 100Nm 이 1.3배 가량 더 크게 나온 것을 확인할 수 있었으며, 이는 기립 시 고관절 보다 슬관절에 하중이 좀 더 집중 된다는 것을 의미한다.

이런 인자를 이용하여 더 낫은 보행보조 메커니즘 동적 시뮬레이션을 개발 중이다.

본 연구에서는 계약적인 모델을 사용하여 시뮬레이션 해석을 수행하였기 때문에 이후에는 하지관절의 보다 정확한 데이터를 얻기 위해서 관절의 복합적인 운동을 기술 할 수 있는 모델링기법과 실험에 사용 되는 의자와 계단의 규격화, 각 하지 관절의 더욱 정확한 움직임을 측정하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 그리고 지지대를 이용하여 인체 운동변화에 따른 하지관절에 관한 기초 연구를 수행하기 위하여 향후 실험자 수의 확대와 지속적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후기

위 논문은 산업기술연구회에서 주관하는 협동 연구 과제인 일환으로 진행되었음.

참고 문헌

1. 보건복지부, 2002, “장애인 실태 조사 결과”
2. 김진호, 오경환, 정진우, “보조기학과 의지학”, 2001
3. Harrison P. , 2002, Exoskeleton Power and Torque Requirements Based on Human Biomechanics
4. Christopher L. Vaughan, 1996, Are Joint torques the Holy Grail of human gait analysis, pp423-443
5. Alex Stacoff, 2005, Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age, pp24-38
6. James E. Zachazewski, 1993, Biomechacical analysis of body mass transfer during stair ascent and descent of healthy subjects, pp412-422