

# 노인 보행 특성과 Assistive Technology

이 글에서는 노인들의 보행특성에 대해 소개하고, Assistive Technology에 대해 알아본다.

글 · 홍정화 / 고려대학교 제어계측공학과, 교수  
e-mail · hongjh32@korea.ac.kr

글 · 박경택 / 한국기계연구원 지능형정밀기계연구  
책임연구원

노화란 생식기 또는 성숙기 이후에 일어나는 개체의 전반적인 변화이다. 일반적 노화란 발육이 완성된 성숙기 이후 고령화에 따른 기능의 감퇴현상으로, 노인이란 노화 과정으로 생리적, 심리적, 정서적, 행동적 측면의 능력이 감퇴시기에 있는 남, 녀를 말한다. 최근 우리나라에서는 은퇴 시기의 연장과 평균 수명의 증가로 노인을 규정하는 연령을 65세 이상으로 정의하고 있다.

국내에서는 65세 이상 노인 인구의 비율이 1970년에 3.1%에서 1995년 5.9%, 2002년 현재 전체 인구의 7.9%인 약 377만 명이다. UN의 기준에 따라 전체 인구 중 65세 이상 노인 인구가 7~14%인 고령화사회에 이미 진입하였으며, 2019년에는 노인 인구 비율이 14.4%에 도달, 고령사회로 진입할 것으로 전망된다. 노인 인구의 증가는 국내만의 현상이 아니며 세계적인 현상으로서 노화에 따른 다양한 신체적 변화는 사회적 관심의 대상이 되고 있으며, 노화에 따른 인체의 동작과 기능에 대한 연구의 중요성이 증가되고 있다. 최근에는 인체 역학적 측면에서 노화와 관련되어 나타나는 여러가지 문제점들에 대한 연구가 많이 되고 있으며, 노인과 젊은 사람을 비교하는 연구가 시작되고 있다.

노화에 따른 감각 기능의 퇴화와 근골격

계의 다양한 변화는 인체의 균형과 운동조절 능력을 감소시키며 보행의 운동형상학적(kinematic), 운동학적(kinetic) 변화를 야기한다. 또한 노화의 육체적 변화와 더불어 영양 부족, 약물, 우울 등과 같은 사회적, 정신적인 요소들은 노년기의 보행 능력을 제한하고, 낙상의 위험을 증가시킨다. 노년기의 낙상 예방은 노화와 관련된 균형 조절 시스템의 변화를 중심으로 많은 연구자들의 목표가 되어왔고 대다수의 연구는 이것을 노인들의 보행 동작과 연관시키고 있다. 노인들은 이러한 생리적, 병리적 원인에 의하여 보행과 같은 인체 동작의 기능적 능력이 퇴화하게 된다. 생존에 필요한 일상생활(ADL)을 영위하기 위하여 최근 세계적인 고령인구 증가와 함께 선진국에서 연구 개발되고 있는 SE(Silver Engineering) 기술 중 하나인 Assistive Technology에 의한 첨단 보행 보조기기 개발은 필수적이다. 이를 위하여 노인의 보행 특성에 대한 심층적인 생체역학적인 이해를 돕기 위한 연구가 선행되어야 한다. 특히 독일 Fraunhofer IPA에서는 노인 일상생활에 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 노인 보행에 도움을 줄 수 있는 로봇을 개발하였다. 일본 K. Yamamoto는 병원에서 간호원이 환자를 자유롭게 돌볼 수 있도록 Power



그림 1 Care-O-bot II(Fraunhofer, IPA)

그림 2 Power Assistant Suit(일본)

Assist Suit를 개발하였는데, 이것은 근골격이 약화된 노인의 보행이나 작업에 많은 도움을 줄 수 있는 보조기기이다.

### 노화와 인체 근골격계 변화

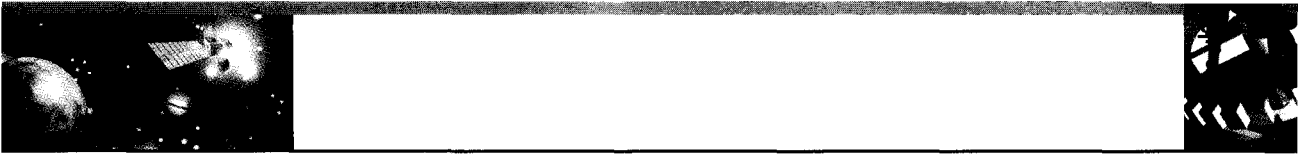
노화는 인체의 근골격계, 신경계, 순환기계, 호흡기계, 소화기계, 비뇨기, 내분비기, 대사 등의 여러 가지 변화를 야기한다. 특히 노화에 따른 근골격계는 근육 작용이 감소되고 신체 구성에 다양한 변화를 일으켜 기능의 감소를 가져온다.

노화에 따른 근육계는 근섬유의 부피 감소로 인해 근육의 크기가 줄어들며 근육량의 감소가 나타난다. 근육량의 감소는 근력 저하의 주된 요인이며, 이러한 약화는 노인의 활동성을 저하시켜 결국에는 근육의 폐용성 위축을 초래한다. 노화와 관련된 근력과 근육 크기의 변화는 빠른 수축을 하는 근섬유(fast twitch muscle fiber)나 type II 섬유의 특정한 위축으로 지배 영

역이 감소되어 나타난다고 하였으나, 근섬유의 형태와는 관계없이 근섬유 영역이 감소된다는 것이 일반적이다. 근섬유의 감소는 운동 신경원과 운동 단위의 손실과 연관되며, 보행 시 보행 속도를 느리게 한다. 근력은 보행 속도(velocity)와 직접적으로 관련이 있으며, 정적, 동적 균형과도 연관

성이 있다. 정적, 동적 근력은 약 45세 이후부터 수행 능력이 10년에 약 5%씩 저하되며, 이러한 노인의 근력 약화는 보행, 낙상, 그리고 기능적 활동에 영향을 미친다. 특히 하지 근력 약화는 낙상의 위험 요소이다.

골격계의 수핵 퇴행, 골관절염, 척추 후만, 골다공증의 변화는 관절의 가동성과 신장을 감소시킨다. 노인의 육체적 활동 저하는 골 질량을 감소시키고, 골다공증을 야기하며 노인은 파골 세포에 의한 골 흡수가 골아 세포에 의한 골 형성보다 과도하여 칼슘양과 골 밀도, 골 피질의 비율이 감소하기 때문에 이러한 변화는 골다공증으로 발전되기 쉽다. 골 질량의 감소는 체중 부하나 외부 힘에 대한 생체역학적 기능을 감소시키며, 골절의 위험을 증가시킨다. 디스크의 높이, 흉추 후만, 복벽 근육의 약화는 골반과 연관되어 자세를 변화시키고 인체의 질량 중심을 변화시킨다. 또한 활동성이 저하되어 앉아 있는 시간이 늘어남에 따라 고관



절의 굴곡 구축, 슬관절의 굴곡 구축이 발생하며 골반과 체간이 앞으로 구부러지고, 중력선이 고관절과 슬관절의 굴곡근으로 작용하여 기능적 보행을 방해한다.

신경계는 대뇌피질의 위축과 신경 세포의 감소로 기억력과 인지력이 감소되어, 자극에 대한 반응 시간을 지연시킨다. 신경 전달 물질 감소, 청각, 전정기관, 시각의 정확성이 감소되며 고유수용감각 또한 노화와 함께 감소된다. 고유수용감각의 변화와 발바닥의 위축은 발바닥의 압력 감지 기능을 저하시키게 되며, 보행 시 발의 기능에 영향을 미치게 되고 이러한 변화에 적응하기 위해 보행 시 대상작용이 나타난다. 감각 기능 또한 보행의 중요한 인자로 시각 감소, 민감성의 감소, 장애물 인지력이 현저하게 감소되어 낙상과 골절의 위험요소가 된다.

결합 조직의 변화는 노인의 가동성을 저하시킨다. 특히 노화와 함께 인대, 관절낭, 근과 근막, 근육의 결합조직을 포함하는 관절 주변 결합조직(PCT : periarticular connective tissue)에 존재하는 콜라겐의 트로포콜라겐은 인접한 분자들과 결합되어 인대 및 근의 신장력을 감소시킨다. 이러한 변화는 근역학을 변화시키며, 콜라겐의 석회화는 관절 연골에 역학적 변화를 일으킨다.

### 노인보행의 생체역학 특성

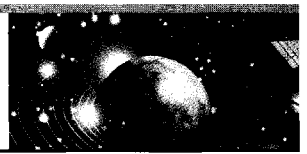
노인들은 보행 시 연령이 증가함에 따라 한 걸음 길이와 분당 발짝 수가 감소되고, 보폭이 증가되며, 단하지 지지의 비율이 줄

어드는 반면 양하지 지지의 시간이 길어진다. 또한 입각기 시간이 길어지나, 전체적인 보행 주기 시간은 단축되며, 발이 외측으로 편향되는 특징이 있다. 특히 근육의 단축이나 관절 질환들에 의하여 족관절의 최대 배측 굴곡과 슬관절과 고관절 신전을 포함한 관절 운동이 제한을 받게 된다.

노인과 젊은 성인 대상을 비교한 보행 분석에서 관절 가동 범위 특히, 고관절과 족관절 등의 관절 가동 범위 감소와 같은 노인 보행의 운동형상학적 특징과 시간적 변수 등에 관한 연구는 많이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 노인 보행의 특징은 노화의 과정으로서 보편적인 변화이며 기능적 결함은 아니다. 노인 보행의 기능적 제한을 알아보기 위해서는 운동 형상학과 시간적 변수와 더불어 근육과 관련된 분절의 힘(power)에 대한 분석도 요구된다.

건강한 노인들을 대상으로 한 보행 분석의 자료 수집은 노인 인구의 실질적인 재할을 확립하기 위하여 필수적이다. 국내에서는 보행 분석에 대한 운동형상학적 및 운동학적 분석이 체계적으로 이루어진 연구는 극히 드물며 지금까지 시도된 대다수의 보행에 관련된 연구도 비정상인의 보행 패턴이나 정상 성인을 대상으로 한 연구가 대부분이었기 때문에 노인을 대상으로 한 보행 분석 연구와 관련된 부분의 기초 연구 자료가 극히 부족한 실정이다.

노인 보행 관련 생체역학적 연구는 최근의 세계적인 노인 인구의 증가 추세에 따라 이루어지고 있으나, 초기 단계임은 이미 언급하였다. 현재 전 세계적으로 수행된 관련 연구를 살펴보면 노인 보행에 관하여 젊은



대상자와 비교한 연구가 있었고, 보행 시 내전 모멘트에 관한 연구는 골관절염 환자의 수술 후 슬관절 부하의 변화를 조사하기 위한 연구를 시작으로 수술 전, 후의 방사선적 정렬 상태와 내전 모멘트의 관련성을 측정 한 보행 분석이 있었다. 그러나 국내, 외의 연구 중에서 노인을 대상으로 보행 보조용 Assistive Prosthesis를 개발하기 위하여 필수적인 노화된 하지 골격과 노인 보행과의 관계를 규명하기 위한 생체역학 연구는 거의 없는 실정이다. 국내에서는 65세 이상의 여성 노인을 대상으로 하지의 정렬상태와 슬관절의 생체역학 거동과의 관계에 대한 연구가 수행되었으나, 전체적 노인에 대한 심층적인 연구가 필요하다.

### 노인 하지의 근골격계 변화와 보행과의 관계

하지 주요 구조에 대한 임상 측정은 보행에 문제를 일으킬 수 있는 비정상적 구조와 인접한 관절의 병리를 이해하기 위해서이며, 노인에 대한 보행분석은 이러한 하지

근골격의 생체역학적 기능 연구를 위해 유용한 도구로 사용될 수 있다. 노인 하지 정렬에 대한 정적평가는 보행 시 일어나는 생체역학적 움직임을 완전히 이해하기 위해서 필요하며, 보행 입각기 동안 하지는 폐쇄 운동 사슬로 작용하여, 각 분절의 정렬 상태가 인접한 분절의 결정 인자로 작용하므로 하지 정렬과 각 분절의 관련성에 대한 이해가 무엇보다 중요하다.

하지관절에서 발생하는 모멘트는 노인 보행 시 하지관절의 내·외측의 체중 분산의 주된 결정 요인으로, 하지관절에서 발생하는 힘을 나타내며, 하지관절 모멘트와 연관된 보행 분석은 노화로 인한 근골격계 변화에 의하여 변화된 하지와 발의 정렬이 하지관절에서 관찰되는 힘에 어떻게 영향을 미치는가에 대한 정보를 제공하여 준다.

다음에 소개될 내용은 노인보행분석에 대한 연구의 예이며, 슬관절 내전 모멘트와의 노인의 하지 정렬과 상관관계에 관한 연구이다. 이와 관련된 연구는 노인용 첨단보행 보조기기를 개발하기해서는 필수적이며, 소개되는 연구는 우리나라 정상 노인 여성의 보행 분석을 실시하여 하지 정렬과 슬관절의 부하를 나타내는 내전 모멘트의 객관적 상관관계 이해를 목적으로 수행되었다. 연구는 노인 보행에 관한 기초 자료와 체중부하비율에 따른 슬관절 내전 모멘트의 상관관계, 발의 진행방향에 따른 슬관절 내전 모멘트의 상관관계를 조사하기 위하여 하지관절의 이환된 질환이 없는 건강한 여자 노인 15명을 선정하여 실험하였으며 생체 역학적 특성은 다음과 같았다.

1) 보행 선형지표인 분당 발짝 수는



그림 3 생체신호를 이용한 노인용 첨단 보행 보조기

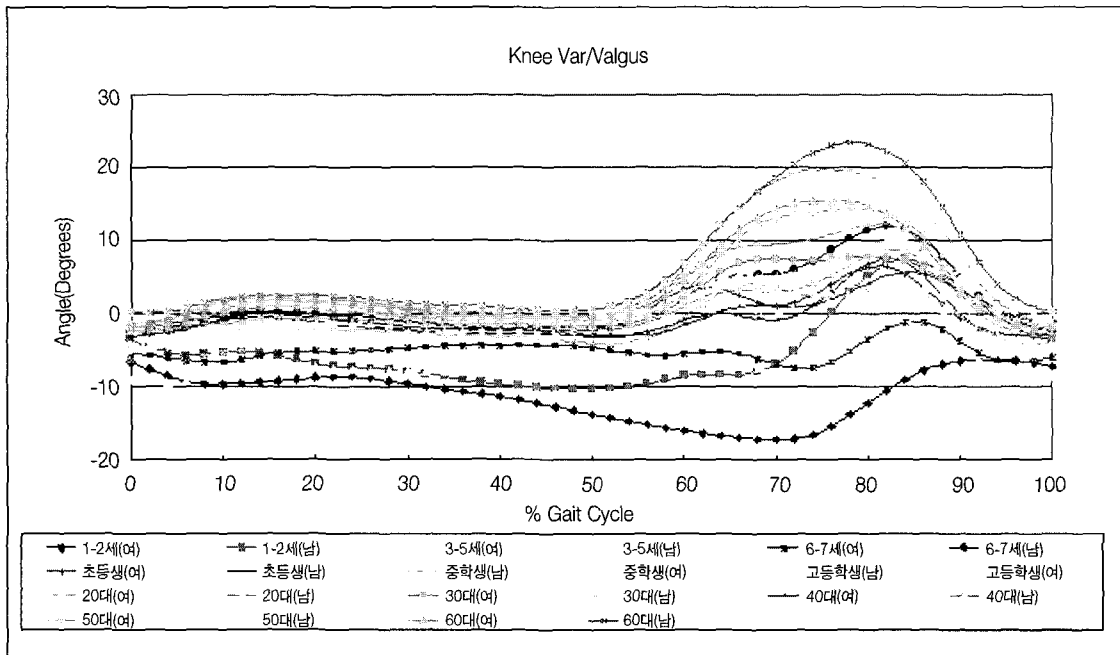


그림 4 보행분석을 통하여 얻어진 노인의 슬관절 내·외반(varus, valgus) 거동 및 다른 연령대와 비교한 결과(수직축 양방향은 외반, 음방향은 내반)

114.8 step/min, 보행 속도 1.05m/s, 한 걸음 시간 1.06sec, 한 발짝 시간 0.53sec, 단하지 지지기 0.41sec, 양하지 지지기 0.24sec, 한 걸음 길이 1.04m, 한 발짝 길이는 0.56m이었다.

2) 슬관절의 운동형상학적 지표로 유각기를 통한 최대 굴곡 각도는 왼쪽 46.82°, 오른쪽 40.19° 이었고 슬관절 최대 신전 각도는 왼쪽 -1.32°, 오른쪽 2.01° 이었다. 슬관절 내반은 왼쪽 26.90°, 오른쪽 30.93° 이었다.

3) 슬관절의 운동학적 지표 중 모멘트는 최대 신전 모멘트가 왼쪽 0.389Nm/kg, 오른쪽 0.463Nm/kg로 나타났으며, 최대 내전 모멘트는 왼쪽 0.332Nm/kg, 오른쪽

0.379Nm/kg이었다. 최대 내회전 모멘트는 왼쪽 0.13Nm/kg, 오른쪽 0.140Nm/kg이었다.

4) 체중부하선과 내전 모멘트는 입각기 중기에서 높은 음의 상관관계를 보여, 내반 정렬을 가진 대상자일수록 높은 슬관절 내전 모멘트를 나타내었다.

5) 발의 진행 방향에 따라 슬관절 내전 모멘트가 입각기 말기에서 유의한 높은 양의 상관관계를 나타냄으로써 발이 외측으로 편향되어 걷는 대상자일수록 낮은 슬관절 모멘트를 나타내었다. 결론적으로 본 연구를 통해 건강한 여자 노인의 보행 특성과 하지 정렬 상태가 슬관절 내전 모멘트와 관련성이 있음을 확인하였다.