Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 15, No.1, 1996

자세의 유지성 및 안정성에 관한 해석

Identification of Postural Steadiness and Stability : State-of-the-art

정 병 용* · 박 경 수**

ABSTRACT

Since Romberg's test in 1953, the analysis of postural sway during upright stance has been widely used as a tool for evaluating balance and disorders of the postural control system. This review describes the methods that have been used to evaluate the static and dynamic performance of the postural control system. Various identification methods of postural control system based on standing balance are discussed and measures of postural sway are described. The application areas of standing balance research, with an emphasis on postural control evaluations, are also briefly described. This review can be used to gain an understanding of the dynamics of human standing balance.

1. 서 론

인간은 몸을 지탱하는 지지 면이 좁은데 비하여 무게 중심은 지지 면에서 위로 올라가 있기 때문에 평형을 유지하는데는 불리한 직립 자세를 취한다[15]. 따라서, 인체의 신체에는 자세의 평형을 유지하기 위한 신경, 근육 조직들이 발달되어 있다. 신체 평형 유지 과정을 보면, Figure 1과 같이 자세에 대한 정보가 시각, 전정기관, 고유수용체(proprioceptor)들로부터 받아들여지면, 중추 신경계에서 종합하여 판단되고, 전신의 골격 근육 기관에서 근의 수축 이완을 통하여 목적에 맞게 조절되게 된다[45]. 이렇게 복잡한 감각피드백(sensory feedback)시스템이 작용하여 신체 평형은 유지되며, 똑바로 서 있는 자세에서도 평형을 유지하기 위해서는 미세한 자세의 변화

* 한성대학교 산업공학과
** 한국과학기술원 산업공학과

가 연속적으로 요구되기 때문에 신체는 끊임없이 동요하고 있다.

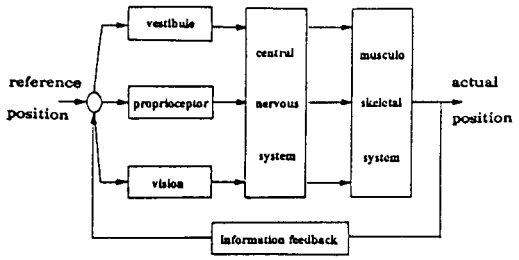


Figure 1. Postural control mechanism

1853년 Romberg가 사람이 똑바로 서 있는 자세에서도 평형을 유지하기 위하여 끊임없이 동요하고 있다는 사실을 관찰한 이래로, 인간의 평형 기능과 능력을 조사하기 위한 연구가 의학 분야를 중심으로 이루어져 왔다. 특히, 선 자세에서의 자세의 변화를 파악하는 신체 동요(postural sway)에 관한 연구는 신체 평형 능력을 조사하기 위한 대표적인 수단으로 이용되어 왔다[3]. 신체 동요는 1) 서 있는 자세에서의 특정 신체 부위의 움직임, 2) 자세를 유지하는데 관련된 근육들의 활동 정도, 3) 신체 압력 중심(center of pressure)의 위치 이동 등에 의해 표현된다[58]. 특정 신체 부위의 움직임을 관측하는 방법은 머리, 관절, 몸통의 움직임을 측정하여 분석한다. 특정 신체 부위의 근육 활동 정도를 측정하는 방법은 EMG를 측정하여 분석한다[36]. 그러나, 앞의 두 방법은 신체 자세의 전체적인 중심 변화를 측정하는데 어려움이 있으므로, 신체를 지탱하고 있는 발바닥에서의 압력 중심의 변화를 측정하는 방법이 가장 일반적으로 이용되고 있다. 선 자세에서 신체압력 중심의 변화를 측정하기 위해서는 힘판(force platform)을 이용한다.

힘판(force platform)은 Hellebrandt[37]가 좌우 방향과 전후 방향의 신체 중심 이동을 측정하는데 사용한 이후로 많은 평형 연구가들에 의해 이용되어 왔다. 힘판을 이용하면 서 있는 자세에서의 발바닥에 분포하고 있는 지면반력(ground reaction force)의 압력 중심(COP : center of pressure)을 구할 수 있다[89]. 힘판을 이용한 연구에서의 신체 동요는 압력 중심의 변화에 의해 표현된다. 압력 중심(COP) 위치는 신체 무게 중심(COG : center of gravity)의 위치와는 비교된다. 정적 자세에서는 압력 중심의 위치나 무게 중심의 위치가 대체로 일치되지만 몸이 지지 면에 무게 중심이 위치되도록 움직이기 때문에, 압력 중심 위치는 무게 중심의 이동보다 동요량이나 주파수가 더 크게 나타난다[66,76,83].

신체 평형 연구는 정적 자세에서의 자세의 유지성(postural steadiness)에 관한 특성을 다루는 정적 평형(static equilibrium) 연구와 동적 자세에서의 자세의 안정성(postural stability)을 다루는 동적 평형(dynamic equilibrium) 연구로 분류할 수 있다[73,85].

본 연구에서는 지금까지 이루어진 선 자세에서의 신체 평형 연구에 관한 여러 문헌 결과들을 조사, 정리하여, 주로 힘판을 이용한 신체 동요 측정과 신체 평형 능력 평가에 관한 연구 현황을 서술하고자 한다. 즉, 힘판을 이용하여 자세의 유지성 및 안전성 측면에서 신체 평형 시스템을 평가하는 방법론과 연구 및 응용 분야 등에 대한 현황을 정리하여, 향후 이 분야에 관한 국내 연구의 활성화에 기여하고자 한다.

2. 자세의 유지성 및 안전성

2.1 정적 자세에서의 평형 : 자세의 유지성

정적 자세에서의 신체 동요는 신체 평형 시스템의 내적 평형 조절 작용에 대한 반응을 나타낸다. 정적 자세에서의 신체 동요에 연구를 자세의 유지성(postural steadiness)

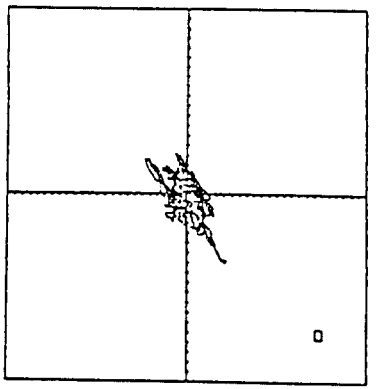
또는 정적 평형(static equilibrium) 연구라고 한다. 신체의 정적 평형은 특정 자세에서의 지속적인 자세의 유지를 필요로 하며, 소뇌 및 척수에서 이루어지기 때문에 반사적인 반응을 필요로 한다[73,85].

자세의 유지성 평가는 주로 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태를 대상으로 신체의 움직임을 측정한다. 눈을 뜬 상태와 감은 상태에서의 신체 동요량의 비를 Romberg 계수라 하며, 신체 동요에 미치는 시각 효과를 파악하는데 이용된다[23,26,43,60].

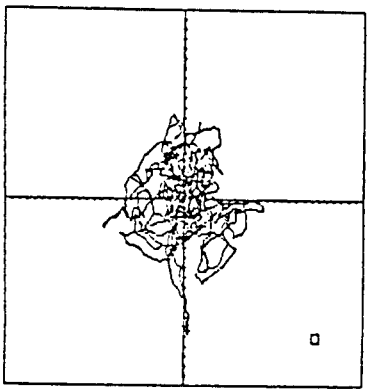
정적 평형 연구에서는 고정형 힘판을 주로 사용하며, 똑바로 선 자세에서 힘판 위에 작용한 전후, 좌우 방향별 신체 압력 중심(COP)의 위치의 변화에 관한 자료를 측정하여 분석한다. 이러한, 신체 압력 중심의 전후, 좌우 위치 변화는 중심 동요량을 계산하거나 동요 특성을 이해하는데 이용된다. Figure 2와 같이 특정 시간 동안에 측정한 신체 중심의 이동 경향을 좌표계에 나타낸 것을 중심 동요도(posturography, posturometry, stabilometry, stabilography)라 부른다[3,73]. 힘판을 이용한 정적 평형 연구에서 신체 동요는 선 자세에서의 신체 압력 중심의 변화를 나타내며, 중심 동요도와 압력 중심의 위치에 관한 자료들이 분석을 위하여 이용된다. 그 밖에 정적 평형 연구에서는 위치 센서[1,23,26], 가속도계(accelerometer)[83], goniometer[60] 등을 이용하여 머리, 관절, 몸통의 움직임을 직접 측정하는 방법이 이용되었다.

정적 평형 연구에서의 피실험자는 주로 힘판 위에 정해진 발의 위치에서 팔을 늘어뜨려 몸에 붙이고, 양 무릎을 붙인 상태로 똑바로 서서, 정면의 특정 위치를 보고 있는 자세를 취한다. 신체 동요의 측정 시간은 10초에서 3분까지가 이용되었다[17].

정적 평형 연구는 평형 시스템에 영향을 미치는 요인들을 파악하기 위하여 실험 환경 변수들을 달리한 후 신체 동요를 측정하여 분석하거나, 평형 질환자와 정상인들의 동요 특성을 비교하기 위하여 많이 이용된다.



(a)



(b)

Figure 2. Posturographies for a normal subject(a) and an abnormal subject with right leg poliomyelities(b).

자세의 유지성을 평가하는 정적 평형 연구에서는 힘판만 준비되면 피실험자를 대

상으로 쉽게 측정할 수 있으며, 평가를 위한 척도들이 개발되어 있어 힘들이지 않고 평형 질환을 파악하거나 평형 시스템을 해석하기 위한 연구에 착수할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 평형 질환자들을 대상으로 할 경우에는 주로 정적 자세에서의 평형 연구가 주로 이용된다.

2.2 동적 자세에서의 평형 : 자세의 안전성

신체 평형 시스템에서 내외란에 대한 신체 자세의 적응 반응을 분석하는 것을 자세의 안전성(postural stability) 연구 또는 동적 평형(dynamic equilibrium) 연구라고 한다. 즉, 신체의 동적 평형은 외부적인 충격이나 흐트러진 자세로부터 평형을 다시 이루려는 신체 평형 시스템의 반응을 나타낸다. 동적 평형은 중뇌 및 대뇌 피질에서 종합 처리가 이루어지기 때문에 정교하고 복합적인 반응이 이루어진다[73,85]. 동적 평형 연구에서는 신체 외부에서 충격을 주거나 자세의 변화에 대한 신체 평형 시스템의 적응을 파악하여 분석한다.

신체 외부의 외란(충격)에 대한 자세의 제어는 평형으로부터의 편차를 줄이기 위한 신체 동작 반응을 반영한다[73]. Maki [58]는 동적 평형 연구에 이용되는 외부의 외란을 운동 형태, 지속 시간, 진폭, 주파수 범위, 파형의 형태에 따라 구분하였다. 외부 충격에 의한 평형 연구에서는 힘판을 주로 주기적 또는 랜덤하게 움직이는 형태나 일시적인 충격을 줄 수 있는 것을 사용한다[46,58,69,70,88]. 따라서 전후 또는 좌우의 한 방향으로 움직이거나, 수평면에서 전후 또는 좌우면의 각도를 다르게 기울일 수 있는 힘판을 특별히 제작하여 이용한다.

신체 자세의 변화(내란)에 대한 적응 반응 연구는 신체 일부분 근육에 기계적 진동을 주거나[46], 전기적 자극을 주는 방법이나[59], 몸을 앞쪽으로 숙이는 상태[28,51, 64], 또는 다리 하나로 서있거나 발끝으로 서는 등[28,67,79]의 신체적 자세의 변화를 시도한다. 또한, 기계적 동요뿐만 아니라 시각의 다양한 효과를 조사하기 위하여 실험 대상자의 앞면에 스크린을 설치하여 직선을 움직이게 하거나, 어두운 방에서 앞뒤 또는 좌우로 띠 모양의 빛을 이동하게 하거나, 다양한 크기의 원 모양을 이동하게 한 뒤 자세의 적응 반응을 조사한다[53,73].

동적 평형 연구에서는 다양한 동적 상황에서 신체의 평형 적응 능력에 관한 해석을 하는데 이용될 수 있다. 또한, 외부의 충격을 입력으로 동요 형태를 출력으로 하여 해석하는 등 다양한 분석 방법을 이용할 수 있다. 그러나, 외부 충격을 줄 수 있는 힘판 등의 측정 장비를 구축하는데 비용이나 측정의 정밀성을 유지하는 데 어려움이 존재한다. 또한, 평형 질환자들에게는 적용하기가 힘드므로, 정상인을 대상으로 한 신체 평형 시스템의 특성이나 해석을 위하여 주로 사용된다.

3. 평형 연구에 사용되는 평가 척도

본 연구에서는 주로 힘판을 이용한 신체 평형 연구 분야에서 사용되는 평가 척도를 중심으로 서술하고자 한다. 힘판 위에서 똑바로 서 있는 사람의 압력 중심의 변화 형태는 중심 동요도(posturography)에 의해 관측할 수 있다. 이들 신체 압력 중심 동요 자료에서 변화량이나 경향을 묘사할 수 있는 척도는 평형 연구에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 특히, 신체 평형 연구 분야에서 신체 압력 중심 이동에 관한 정보의 압축 및 표현과 동요 경향에 관한 분석은 신체 평형 체계에 대한 이해와 신체 평형 능

력과 비정상 여부를 파악하기 위하여 필수적이다.

힘판 위에 작용된 힘에 따라 신체 압력 중심의 위치가 시간에 따라 구해지면 실험 기간 동안의 신체 중심의 이동 거리에 의하여 신체 동요량을 분석, 평가할 수 있다. 신체 압력 중심의 동요는 앞뒤 방향과 측면 방향으로 움직인 거리와 중심 동요의 총 움직인 거리로 나타낼 수 있다. 여기서 움직인 거리란 압력 중심에 관한 각 샘플 값들 사이의 산술적인 거리를 나타낸다.

신체 평형 연구에서 지금까지 사용되어 온 중심 동요 척도로는 크게 시간 영역의 척도와 주파수 영역의 척도로 분류할 수 있으며, 시간 영역에서의 평가 척도는 정량적 중심 동요량과 정성적 동요 경향에 관한 척도로 분류할 수 있다.

정량적 중심 동요량 척도는 다음과 같은 척도가 이용되는데, 1) 전후 또는 측면 방향으로 움직인 거리의 총합 또는 단위 시간당 평균 거리, 최대값, 최소값, 평균 속도, 평균 가속도 [8,19,21,48,52,54,55,57,67,68,79,83], 2) 압력 중심 사이의 거리의 총합 또는 단위 시간당 평균, 거리의 최대값, 최소값[16, 21,43,44,52,67], 3) 동요 면적이 있다. 압력 중심 값들이 지나간 경로에 의하여 형성된 동요 면적은 1) N × N 격자형 블럭위에서 중심 위치들이 지나간 블럭들만을 이용하여 표시하는 방법[30,31,47,80]과 2) 반경 벡터를 이용하여 표시하는 방법[21,31,52,60]이 있다. 정량적 동요 특성평가는 주로 눈을 뜬 상태와 감은 상태에서 행하여지는데, 눈을 뜬 상태와 감은 상태에서의 동요량의 비를 Romberg 계수라 한다. Romberg 계수[23,26,43,60]는 중심 동요에 미치는 시각 효과를 나타낸다.

검사 시간당 동요 거리에 관한 척도는 일차적인 중심 동요량을 나타내고 있으나, 동요의 경향에 관한 정보는 제공하고 있지 못하다. 지금까지 신체 동요에 관한 정성적 동요 경향은 주로 중심 동요도와 3차원 중심 동요 분포도[30]를 통한 관측에 의해서만 이루어져 왔으며, 중심 동요의 경향을 나타내는 평가 척도에 관한 연구는 부족하였다. 3차원 동요 분포도(postural sway distribution)는 압력 중심의 위치를 나타내는 전후-측면 방향 좌표계에서 각 구역당 압력 중심 값들이 지나간 비율을 표시한 3차원 동요 분포도로 각 구역당 압력 중심 값들이 머무른 시간 비율을 나타내며, 동요의 형태 및 분포 상황을 시각적으로 표현하여 준다. 동요 형상에 관한 정보는 정량적 중심 동요량 척도와 더불어 동요 특성을 이해하는 중요한 판단 자료로 이용될 수 있으며 특히, 재활의학 분야 등에서 컴퓨터를 이용한 자동 진단을 위하여는 동요 경향을 표현할 수 있는 척도의 개발이 필요하다. Jeong[44]은 반경 벡터를 이용하여 동요 경향을 파악하는 방법을 제시하였다.

주파수 영역에서의 중심 동요 자료 분석은 전후 또는 좌우 방향별 위치의 변화가 어떤 주파수 성분을 가지고 있는지를 분석함으로써 동요 특성을 표현하며, power spectral density, peak frequency, mean frequency, frequency dispersion 등[60,63, 73] 이 이용된다.

4. 평형 연구에서의 분석 방법론

힘판을 이용한 신체 평형 시스템의 연구는 크게 Figure 3과 같은 형태의 분석 방법론으로 분류할 수 있다. 이는 저자의 관점에서 지금까지의 연구들을 평형 시스템의 분석 방법에 따른 측면에서 정리하여 분류한 것이다.

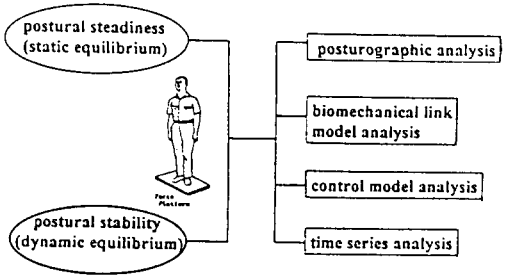


Figure 3. Research fields and methods on standing balance.

4.1 중심 동요도에 의한 분석

주로 고정형 힘판 위에서 특정 시간 동안 서 있는 자세를 취한 후에 신체의 중심 동요에 관한 정량적인 동료량 및 중심 동요의 경로에 의하여 분석하는 방법이다. 일정 시간 동안 측정 자세로부터 무게 중심이 움직인 총 거리나 몸이 전후 방향으로 움직인 총 거리, 좌우 방향으로 움직인 총 거리, 무게 중심 값들이 지나간 경로에 의하여 만들어진 동요 윤곽의 경향 및 면적 등을 이용하여 평형 체계의 이상 유무와 평형에 영향을 미치는 요인 등을 찾는 방법이다.

이 방법은 주로 정적 자세의 평형 연구에 주로 이용된다. 또한, 힘판을 이용하여 중심 동요도를 도출하기가 쉽고, 정량적 평가 척도가 잘 정립되어 있다. 특히, 재활의학 분야에서는 신체 평형시스템의 이상 여부에 관한 진단 및 치료에 주로 중심 동요도에 의한 방법을 이용하고 있다.

4.2 link model 이용 방법

신체 평형 제어를 모델링하기 위하여 신체가 한 개(single-link) 또는 몇 개의 link (multi-link)로 구성되어 있다고 가정하고, 기계 구조 역학 모델에 근거한 생체 역학적 모형을 이용하여 신체관절 부위들의 각도와 torque들 사이의 관계를 정량화 하는 방법이다. 즉, 신체 관절 부위들을 중심으로 역학적인 모델을 세우고, link들의 움직임을 관측하여 신체 동요 특성을 평가하는 방법이다. 주로 1개의 link로 이루어진 역진자 모형(inverted pendulum model)을 이용하거나[33,40,42,46], 3개의 link model[34,49, 50], 5개[35], 또는 11개의 link model[75] 등이 이용되어 왔다. 이들 모형들은 외부의 충격 등에 반응하여 관절에 걸리는 torque나 관절 각도의 변화 등을 평가하며, 주로 앞뒤 방향이나 좌우 방향의 한 쪽을 대상으로 분석한다. 이 방법은 힘판뿐만이 아니라 link의 위치를 관찰하기 위한 촬영 장치 등이 요구된다.

4.3 제어 이론(control theory) 방법

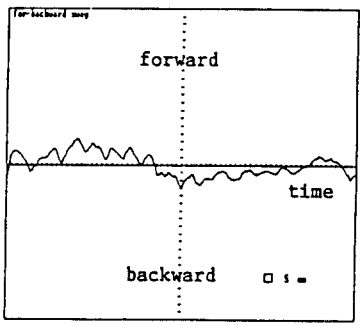
제어 이론에 의한 해석 방법은 입력에 대한 출력의 결과를 제어 이론을 통하여 전달함수를 구하여 시스템을 해석하는 방법이다. 즉, 신체에 대한 내외란을 입력으로, 신체 동요를 출력으로 생각하여 제어 이론을 적용하는 방법이다. 힘판 위에 사람이 서 있을 때 힘판에 외적인 충격을 주어 움직이게 한후 입력인 충격량에 대해 출력으로 얼마만큼 동요되는가를 측정하여 전달함수를 구하거나 스펙트럼 분석을 통하여 신체 평형 시스템을 해석하는 방법이다.

외부 입력으로는 힘판을 좌우로 일정한 속도로 움직이거나[58,81], 일시적으로 좌우 방향으로 충격을 주거나[20,40,41,88], 수직 방향으로 움직이는 방법[55]이 이용된다. 신체 내란은 상체를 기울이거나, 양팔을 들어올리거나 하는 등의 신체 자세의 변화[25,51]를 입력으로 한다.

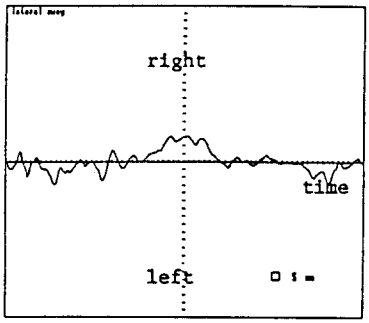
4.4 시계열 분석 방법

힘판 측정 장치를 이용하여 시간에 따른

중심 동요의 위치 값들을 얻을 수 있다. 시계열 분석 방법은 시간에 따른 측면 방향과 전후 방향의 무게 중심의 위치들을 시계열 자료로 보고 시계열 모형을 적용하는 것이다. Figure 4는 정상인이 30초 동안 중심 동요 측정을 하였을 때, 시간에 따른 전후 방향과 좌우 방향의 중심 동요를 나타낸 예이다. 지금까지는 AR 모델을 이용하여 각 방향에 대한 모형을 세운 후 계수들을 추정하고, 스펙트럼 등을 구하여 비교하는 방법[5]이 이용되었다.



(a)



(b)

Figure 4. Frontal stabilogram(a) and sagittal stabilogram(b).

5. 연구 및 응용 분야

5.1 신체 평형 시스템의 특성 해석

신체 평형 시스템의 특성을 해석하기 위한 연구는 전통적인 평형 연구 분야로, 신체 평형 시스템 내부의 이상 여부에 따른 영향과 외부 환경(내외란)에 따른 영향을 다루는 분야이다.

선 자세에서의 중심 동요에 관한 연구에 의해 현재까지 밝혀진 신체 평형에 영향을 미치는 요인들로는 신경 근육 체계의 결합[17,67]외에 시각[23,29,30,40,43,71], 내이의 고장[17,38], 호흡의 형태[43], 심장의 박동[28], 양다리의 길이차[57] 등의 신체 내부에 관한 요인과 알콜 등 약품[2,4], 서 있는 자세에서의 발의 위치[48,79], 육체 피로도 등의 신체 평형 시스템의 외적 요인 등에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 특히, 연령 증가에 따른 평형 체계 특성에 관한 연구는 정적 자세[25,32,55,56,72,84], 동적 평형 연구[7,25,39,59,78,88]를 통하여 연령에 따라 평형 유지 능력이 감소됨을 밝혔다.

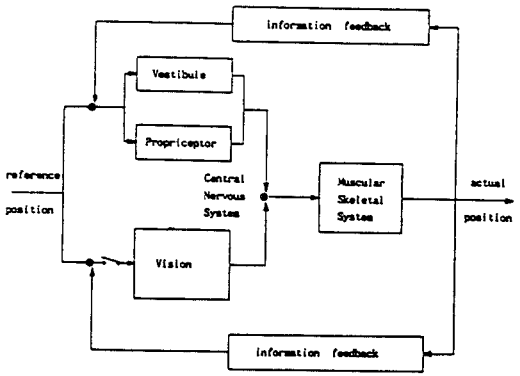


Figure 5. Block diagram of postural control under conditions of open and closed eyes.

신체 평형에 영향을 미치는 요인들은 연구 실험 시에 조절되어야 하는 인자들을 제공한다. 따라서, 신체 평형에 관한 연구를 할 경우에는 시간, 서 있는 자세, 발의 위치, 피로도 등 제어되어야 할 인자들을 고려하여 실험 환경을 정해야 한다. 일반적으로 대표적인 실험 환경은 정해진 자세에서 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태를 대상으로 이루어진다. Figure 5는 눈을 감은 상태와 뜬 상태를 고려하기 위하여 신체 평형 시스템을 묘사한 그림이다[45].

5.2 신체 평형 시스템의 모델링

신체 평형에 관한 연구는 평형에 영향을 미치는 요인들을 개별적으로 파악하려는 시도는 많았으나, 총체적인 관점에서 평형 시스템을 모델링 하려는 측면에서의 연구는 없었다.

지금까지 신체 평형 시스템의 모델링에 관한 연구는 자세의 안전성에 관한 측면에서 주로 이루어져 왔다. 즉, 외부의 충격에 대한 평형 시스템의 반응을 제어 이론을 이용하여 해석하거나, link model을 이용하여 분석하려는 시도가 대부분이었다.

신체 중심 동요 현상을 모델링 하는 작업은 어려운 점이 있다. 동적 평형 연구에서는 외부의 충격에 대한 신체 평형 시스템의 반응을 주로 개회로(open loop) 시스템으로 분석하기 때문에 전체적인 시스템을 묘사하는데는 부족하였다. 또한, 정적 평형 연구에서는 실제 입력이 없는 상황에서 동요 출력만으로 시스템을 묘사하는데 어려움을 가지고 있었다.

그러나, Collins와 Luca[9]는 정적 자세에서의 자세의 유지성에 관한 중심 동요 현상을 브라운 운동(Brownian motion)이론[9]과 random walk 이론[10,11] 등 확률과정론 이론을 이용하여 모델링 하려고 시도하였으며, 이를 이용하여 시각에 의한 영향[12], 연령에 따른 영향[13], 우주여행에 따른 영향[14]을 분석하였다. 또한, Mitchell 등[62]은 파킨스병 질환자를 대상으로 특성을 분석하였다.

신체 평형 시스템에 관한 제어 모형은 중심 동요를 줄이기 위하여 신체 각 평형 요소들이 어떻게 반응하는가에 대한 답을 제공할 수 있을 것으로 여겨진다. 그러나, 아직까지 신체 평형 시스템이 시각과 전정기관, 표피 감각 기관 등의 정보를 받아들여 평형을 유지하는 메커니즘 과정을 설명하여 줄 수 있는 연구는 없었다. 앞으로 제어 이론을 이용한 신체 평형 시스템의 모델링에 관한 연구가 활성화 될 것으로 예견된다.

5.3 평형 질환자의 진단 해석

의학 분야에서 정상인과 평형 질환자 집단 사이의 신체 동요의 차이를 분석하기 위한 연구는 평형 질환자들의 진단에 응용할 수 있다. 의사들은 신체 동요 측정에 의한 동요 평가 방법을 임상분야에 응용하기 위하여 노력하여 왔으며, 의학 분야에서의 연구는 주로 정상인과 신체 평형 질환자와의 중심 동요 경향의 특성을 파악하는데 초점이 모아졌다. Sugano와 Takeya[80]는 Parkinson 질환자를, Mauritz 등[60,61]은 만기 소뇌 피질 위축증 (late cortical cerebellar atrophy), 신소뇌 반구 질환자 (neocerebellar hemispherical lesion), 소뇌 전정부 질환자(vestibulo-cerebellar lesion)를, Diener 등[21]은 41명의 소뇌 질환자들을, Shumway-Cook 등[77]은 반신마비환자를, Lehmann 등[52]은 사고로 인한 뇌손상 환자들을, 강창수와 신승헌 등[87]은 고관절 시술환자들을 대상으로 중심 동요 특성을 연구하였다. 이들 정상인과 평형 기능

이상 질환자들의 비교에서 연구가들은 평형 질환 종류에 따라 정량적 척도뿐만 아니라 동요의 경향이나 패턴을 파악하려고 노력하였다.

힘판 측정 장비에 의해 얻어진 중심 동요 자료들을 분석하고 임상 분야 등에서 실제 응용하기 위해서는 자료들의 표현 방법과 평가 척도의 선정이 필요하다. 평형 연구가들은 다양한 신체 동요 측정 방법들을 이용하였으며, 측정한 동요 자료들을 이용하여 평형 시스템의 평가, 해석을 위한 척도 개발에 노력하여 왔다. 지금까지는 주로 정량적인 동요량에 관한 척도들이 이용되어 왔으나, 평형 기관의 질환별 동요 경향 등을 해석하기 위하여 정성적 평가 척도의 개발이 시도되고 있다. 이러한 평형 질환자들의 정량적 특성과 정성적 특성을 파악하는 것은 컴퓨터를 이용한 자동진단 등에 이용할 수 있는 데이터베이스를 구축한다는 측면에서 의의를 갖는다고 볼 수 있다.

5.4 인간공학적 응용

아직까지는 자세의 유지성 및 안전성 평가를 이용한 연구가 보이지 않는다. 그러나, 앞으로는 작업자가 작업 수행 시에 당면하게 되는 자세의 안전성 문제라든가, 여가 또는 가정에서의 활동에서 발생하는 자세의 안전성에 관한 문제 등을 해석하는데 응용될 수 있을 것으로 보인다. 또한 연령에 따른 평형 유지 능력의 파악, 건설 업종 등에서 평형 능력이 요구되는 분야에 대한 작업자의 작업 배치 등에 이용하거나, 가상 현실 상황에 노출되는 추세에서의 신체 평형에의 영향 등을 조사하는데 응용될 수 있을 것으로 여겨진다. 특히, 인간공학 분야의 연구에서 힘판은 널리 쓰이고 있는 측정 장비로써, 앞으로 자세의 유지성과 안전성에 관한 평가를 이용한 응용 연구가 활성화될 것으로 여겨진다.

6. 결론 및 검토

본 연구에서는 신체 평형 시스템의 해석 및 평가에 관한 연구 결과를 문헌적으로 고찰하였다. 특히, 신체 평형 시스템에 관한 연구를 방법론적인 측면에서 분류하여 전체적인 평형 연구의 분야 및 흐름을 파악할 수 있도록 하였다. 또한, 본 연구자의 관점에서 본 앞으로의 평형 연구에 관한 방향을 검토하여 앞으로의 평형 연구에 관한 지침을 제공하려고 노력하였다. 본 연구는 앞으로 의학, 체육학 및 인간공학 분야 등에서 신체 평형에 관한 연구가 활성화되는데 기여할 수 있을 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

[1] Barlett, S.A., Maki, B.E., Fernie, G.R., and Holliday,P.J., "On the classification of a geriatric subject as a faller or nonfaller", Med. Biol. Eng. comput., Vol. 24, pp. 219-222, 1986.

[2] Begbie, G.H., "The effects of alcohol and of varying amounts of visual information on a balancing test", Ergonomics, Vol. 9, No. 4, pp. 325-333, 1966.

[3] Berme, N., Cappozzo, A., "Biomechanics of human movement: applications in rehavilitation, sports, and ergonomics", pp. 387-395, Bertec Co., 1990.

[4] Bhattacharya, A., Morgan, R., Shukla, R., Ramakrishanan, H.K., Wang, L., "Non-invasive estimation of afferent

inputs for postural stability under low levels of alcohol", Annals of Biomedical Engineering, Vol. 15, pp. 533-550, 1987.

[5] Brauer, D., Seidel, H., "The auto-regressive structure of postural sway", In International Series on Biomechanics, Vol. Ⅶ-A, pp. 155-160, 1981.

[6] Carroll, J.P., and Freedman, W., "Non-stationary properties of postural sway", J. Biomech., Vol. 26, pp. 409-416, 1993.

[7] Chandler, J.M., Duncan, P.W., and Studenski, S.A., "Balance performance on the postural stress test: Comparison of young adults, healthy elderly, and fallers", Phys. Ther., Vol. 70, pp. 410-415, 1990.

[8] Chow, C.C., and Collins, J.J, "Pinned polymer model of posture control", Physical Review, Vol. 52, No. 1, pp. 907-912, 1995.

[9] Collins, J.J., Luca, C.J.D., "Open-loop and closed-loop control of posture: a random work amalysis of center-of-pressure trajectories", Exp. Brain Res., Vol 95, pp. 308-318, 1993.

[10] Collins, J.J., Luca, C.J.D., "Ramdom walking during quiet standing", Physical Reviews Letters, Vol. 73, No. 5, pp. 764 767, 1994.

[11] Collins, J.J., Luca, C.J.D., "Upright, correlated random walks: A statical-biomechanics approach to the human postural control system", Chaos, Vol. 5, No. 1, pp. 57-63, 1995.

[12] Collins, J.J., Luca, C.J.D., "The effects of visual input on open-loop and closed-loop postural control mechanisms", Exp. Brain Res., Vol. 103, pp. 151-163, 1995.

[13] Collins, J.J., Luca, C.J.D., and et al., "Age related changes in open-loop and closed-loop postural control mechanism", Exp. Brain Res., Vol. 104, pp. 480-492, 1995.

[14] Collins, J.J., Luca, C.J.D., and et al., "The effects of spaceflight on open-loop and closed-loop postrual control mechanisms: human neurovestibular studies on SLS-2", Exp. Brain Res., Vol. 107, pp. 145-150, 1995.

[15] Cromer, A.H., Physics for the life sciences, McGraw-Hill, Inc., 1977.

[16] Daley, M.L., and Swank, R.L., "Quantitative posturography: use in multiple sclerosis", IEEE Trans. Biomedical Eng, Vol. 28, pp. 668-671, 1981.

[17] Dean, E.M., Griffiths, C.J., and Murray, A., "Stability of the human body investigated by sway magnetometry", J. Med. Eng. Tech, Vol. 10, No. 3, pp. 126-130, 1986.

[18] Dickinson, J., "The training of mobile balancing under a minimal visual cue situation", Ergonomics, Vo. 11, No. 1, pp. 69-75, 1968.

[19] Diner, H.C., Bootz, F., Dichgans, J., and Bruzek,W., "Variability of postural "reflexes" in humans", Exp. Brain Res., Vol. 52, pp. 423-428, 1983.

[20] Diner, H.C., Dichgans, J., Bootz, F., and Bacher, M., "Early stabilization of human posture after a sudden disturbance: Influence of rate and

amplitude of displacement", Exp. Brain Res., Vol. 56, pp. 126-134, 1984.

[21] Diner, H.C., Dichgans, J., Bacher, M., Gompf, B., "Quantification of postural sway in normal and patients with cerebellar diseases", Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., Vol. 57, pp. 134-142, 1984.

[22] Diner, H.C., Dichgans, J., Bruzek, W., and Selinka, H., "Stabilization of human posture during induced oscillations of the body", Exp. Brain Res., Vol. 45, pp. 126-132, 1982.

[23] Dornan, J., Fernie, G.R., and Holliday, P.J., "Visual input: Its importance in the control of postural sway", Arch. Phys. Med. Rehabil, Vol. 59, pp. 586-591, 1978.

[24] Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J., and Studenski, S., "Functional reach: A new clinical measure of balance", J. Gerontol., Vol. 45, pp. M192-197, 1990.

[25] Era, P., and Heikkinen, E., "Postural sway during standing and unexpected disturbance of balance in random samples of men of different ages", J. Gerontol., Vol. 40, pp. 287-295, 1985.

[26] Fernie, G.R., and Holliday, P.J., "Postural sway in amputees and normal subjects", J. Bone Joint Surg., Vol. 60A, No. 7, pp. 895-898, 1978.

[27] Garg, D.P., Ross, M.A., "Vertical mode human body vibration transmissibility", IEEE Trans. SMC, Vol. SMC-6, No. 2, pp.102-112, 1976.

[28] Goldie, P.A., Bach, T.M., and Evans, O.M., "Force platform measures for evaluating postural control: reliability and validity", Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 70, pp. 510-517, 1989.

[29] Hamman, R.G., Mekjavic, I., Mallinson, A.I., Longridge, N.S., "Training effects during repeated therapy sessions of balance training using visual feedback", Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 73, pp. 738-744, 1992.

[30] Harris, G.F., and Knox, T.A., Larson, S.J., Sances, A., and Millar, E.A., "A method for the display of balance platform center of pressure data", J. Biomech., Vol. 15, No. 10, pp. 741-745, 1982.

[31] Hasan, S.S., Lichtenstein. MJ., Shiavi, R.G., "Effect of loss of balance on biomechanics platform measures of sway: influence of stance and a method for adjustment", J. Biomechanics, Vol. 23, No. 8, pp. 783-789, 1990.

[32] Hasselkus, B.R., and Shambes, G.M., "Aging and postural sway in women", J. Gerontol., Vol. 30, pp. 661-667, 1975.

[33] Hemami, H., Weimer, F.C., Koozekanani, S.H., "Some aspects of the inverted pendulum problem for modeling of locomotion systems", IEEE Trans. Automatic Control, Vol. AC-18, pp. 658-661, 1973.

[34] Hemami, H., Weimer, F.C., Robinson, C.S., Stockwell, C.W., Cvetkovic, V.S., "Biped stability considerations with vestibular models", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.

AC-23, No. 6, pp. 1074-1079, 1978.

[35] Hemami, H., Farnsworth, R.L., "Postural and gait stability of a planar five link biped by simulation", IEEE Trans. Automatic Control, pp. 452-458, 1977.

[36] Henriksson, N.G., Johansson, G., Olsson, L.G., and Ostlund, H., "Electrical analysis of the Romberg test", Acta Otolaryng., Vol. 224 Suppl, pp. 272-279, 1967.

[37] Hellebrandt, F.A., "Standing as a geotropic reflex: mechanism of a synchronous rotation of motor units", Am. J. Physiol., Vol. 121, pp. 471-474, 1938.

[38] Horak, F.B., Nashner, L.M., and Diner, H.C., "Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss", Exp. Brain Res., Vol. 82, pp. 167-177, 1990.

[39] Inglin, B., and Woollacott, M., "Age-related changes in anticipatory postural adjustments associated with arm movements", J. Gerontol., Vol. 43, pp. M105-113, 1988.

[40] Ishida, A., and Miyazaki, S., "Maximum likelihood identification of a posture control system", IEEE Trans. Biomedical Eng., Vol. BME-34, No. 1, 1987.

[41] Ishida, A., and Imai, S., "Responses of the posture-control system to pseudorandom acceleration disturbances", Med. & Biol. Eng. & Comput., Vol. 18, pp. 433-438, 1980.

[42] Jaeger,R.J., "Design and simulation of closed-loop electrical stimulation orthoses for restoration of quiet standing in paraplegia", Biomechanics, Vol. 19, No. 10, pp. 825-835, 1986.

[43] Jeong, Byung Yong, "Respiration Effect on Standing Balance", Archives of Physical Medicine & Rehabilitation, Vol. 72, No. 9, pp. 642-645, 1991.

[44] Jeong, Byung Yong, "Contour Representation of Sway Area in Posturography and Its Application", Archives of Physical Medicine & Rehabilitation, Vol. 75, No. 9, pp. 951-956, 1994.

[45] Jeong, Byung Yong, "Evaluation of Body Balance System Using Postural Sway Data", Ph.D. Dissertation, KAIST, 1995.2.

[46] Johansson, R., Magnusson, M., and Akesson, M., "Identification of human postural dynamics", IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. 35, pp. 858-869, 1988.

[47] Kapteyn, T.S., and Wit. G., "Posturography as an auxiliary in vestibular investigation", Acta Otolaryng., Vol. 73, pp. 104-111, 1972.

[48] Kirby, R.L., Price, N.A., and MacLeod, D.A., "The influence of foot position on standing balance", J. Biomechanics, Vol. 20, No. 4, pp. 423- 427, 1987.

[49] Koles, Z.J., and Castelein, R.D., "The relationship between body sway and foot pressure in normal man", J. Med.Eng. Tech., Vol. 4, No. 6, pp. 279-285, 1980.

[50] Koozekanani, S.H., Stockwell, C.W.,

McGhee, R.B., and Firoozmand, F., "On the role of dynamic models in quantitative posturography", IEEE Trans. Biomedical Eng., Vol. 27, No. 10, pp. 605-609, 1980.

[51] Lee, W.A., "A control systems framework for understanding normal and abnormal posture", Am. J. Occup. Ther., Vol. 43, pp. 291-301, 1989.

[52] Lehmann, J.F., Boswell, S., Price, R., Burleigh, A., Lateur, J., Jaffe, K.M., Hertling, D., "Quantitative Evaluation of sway as an indicator of functional balance in post-traumatic brain injury", Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 71, pp. 955-962, 1990.

[53] Lestienne, F., Soechting, J., and Berthoz, A., "Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes", Exp. Brain Res., Vol. 28, No. 3, pp. 363-384, 1977.

[54] Lichtenstein, M.J., Burger, M.C., Shields, S.L., and Shiavi, R.G., "Comparison of biomechanics platform measures of balance and videotaped measures of gait with a clinical mobility scale in elderly women", J. Gerontol., Vol. 45, pp. M49-54, 1990.

[55] Lichtenstein, M.J., Shields, S.L., Shiavi, R.G., and Burger, C., "Exercise and balance in aged women: a pilot controlled clinical trial", Arch. Phys. Med. Rehavil., Vol. 70, pp. 138-142, 1989.

[56] Lord, S.R., Clark, R.D., and Webster, I.W., "Postural stability and associated pysiological factors in a population of aged persons", J. Gerontol, Vol. 46, pp. M69-76, 1991.

[57] Mahar, R.K., Kirby, R.L., and Macleod, D.A., "Simulated leg-length discrepancy: Its effect on mean center-of-pressure position and postural sway", Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 66, pp. 822-824, 1985.

[58] Maki,B.E., "Selection of perturbation parameters for identification of the posture-control system", Med. Biol. Eng. Comput., Vol. 24, pp. 561-568, 1986.

[59] Manchester, D., Woollacott, M., Zederbauer-Hylton, N., and Marrin, O., "Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult", J. Gerontol., Vol. 44, pp. M118-127, 1989.

[60] Mauritz, K.H., Dichgans, J., and Hufschmidt, A., "Quantitative analysis of stance in late cortical cerebellar atrophy of the anterior lobe and other forms of cerebellar ataxia", Brain, Vol. 102, pp. 461-482, 1979.

[61] Mauritz, K.H., Schmitt, C., and Dichgans, J., "Delayed and enhanced long latency reflexes as the possible cause of postural tremor in late cerebellar atrophy", Brain, Vol. 104, pp. 97-116, 1981.

[62] Mitchell, S.L., Collins, J.J, and et al., "Open-loop and closed-loop postural mechanisms in Parkinson's disease: increased mediolateral activity during quiet standing", Neuroscience Letters, Vol. 197, pp. 133-136, 1995.

[63] Mizrahi, J., Solzi, P., Ring, H., and Nisell, R., "Postural stability in stroke patients: Vectorial expression of asymmetry, sway activity and relative sequence of reactive forces", Med. Biol. Eng. Comput., Vol. 27, pp. 181-190, 1989.

[64] Moore, S.P., Rushmer, D.S., Windus, S.L., and Nashner, L.M., "Human automatic postural response: Responses to horizontal perturbations of stance in multiple directions", Exp. Brain Res., Vol. 73, pp. 648-658, 1988.

[65] Motriuk, H.U., Nigg, B.M., "A technique for normalizing center of pressure paths", J. Biomechanics, Vol. 23, No. 9, 927-932, 1990.

[66] Murray, M.P., Seireg, A., and Scholz, R.C., "Center of gravity, center of pressure, and supportive forces during human activities", J. Appl. Physiol., Vol. 23, pp. 831-838, 1967.

[67] Murray, M.P., Seireg, A.A., and Sepic. S.B., "Normal postural stability and steadiness: Quantitative assessment", J. Bone Joint Surg., Vol. 57A, pp. 510-516, 1975.

[68] Murrell, p., Cornwall, M.W., Doucet, S.K., "Leg-length Discrepancy: effect on the amplitude of postural sway", Arch. Phys. Med., Rehabil., Vol. 72, pp. 646-648, 1991.

[69] Nashner, L.M., "A model describing vestibular detection of body sway motion", Acta Otolaryng, Vol. 72, pp. 429-436, 1971.

[70] Nashner, L.M., "Vestibular postural control model", Kybernetik, Vol. 2, pp. 106-110, 1972.

[71] Owen Balck, F., Conrad Wall, Rockette, H.E., Russell kitch, "Normal subject postural sway during the Romberg test", Am. J. Otolaryngol., Vol. 3, pp. 309-318, 1962.

[72] Peeters H., Breslau, E., Mol, J., and Caberg, H., "Analysis of posturographic measurements on children", Med. & Biol. Eng. & Comput., Vol. 22, No. 4, pp. 317-321, 1984.

[73] Prieto, T.E., Myklebust, J.B., Myklebust, B.M., "Characterization and modeling of postural steadiness in the elderly: A review", IEEE Trans. Rehabilitation Eng., Vol. 1, No. 1, pp. 26-34, 1993.

[74] Riccio, G.E., Martin, E.J., Stoffregen, T.A., "The role of balance dynamics in the active perception of orientation", Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol. 18, No. 3, pp. 624-644, 1992.

[75] Riley, P.O., Mann, R.W., and Hodge, W.A., "Modeling of the biomechanics of posture and balance", J. Biomech., Vol. 23, pp. 503-506, 1990.

[76] Shimba, T., "Anestimation of conter of gravity from before plat form data", J. Biomech. Vol. 17, No. 1, pp.53~60, 1984.

[77] Shumway-Cook, A., Anson, D., Haller, S., "Postural sway biofeedback: its effector reestablishing stance stability in hemiplegic patients", Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 69, pp. 395-400,

1988.

[78] Stelmach, G.E, Phillips, J., Difabio, R.P., and Teasdale,N., "Age, functional postural reflexes, and voluntary sway", J. Gerontol., Vol. 44, pp. B100-106, 1989.

[79] Stribley, R.F., Albers, J.W., Tourtellotte, W.W., and Cockrell, J.L., "A quantitative study of stance in normal subjects", Arch. Phys. Med., Rehabil., Vol. 55, pp. 74-80, 1974.

[80] Sugano, H., and Takeya, T., "Measurement of body movement and its clinical application", The Japanese Journal of Physiology, Vol. 20, pp. 296-308, 1970.

[81] Talbott, R.E., and Brookhart, J.M., "A predictive model study of the visual contribution to canine postural control", Amer. J. Physiol., Vol. 239, pp. R80-R92, 1980.

[82] Terekhov, Yu.V., "Instrumentation for automatic measurement and real-time evaluation of men's postural equilibrium", J. Medical Eng. and Technology, Vol. 2, No. 4, pp. 182-186, 1978.

[83] Thomas, D.P., and Whitney, R.J., "Postural movements during normal standing in man", J. Anat., Vol. 93, pp. 524-539, 1959.

[84] Thyssen, H.H., Brynskov, J., Jansen, E.C., and Munster-Swendsen, J., "Normal ranges and reproducibility for quantitative Romberg's test", Acta Neurol. Scandinav., Vol. 66, No. 1, pp. 100-104, 1982.

[85] Travis, R.C., "An experimental analysis of dynamic and static equilibrium", J. Exp. Psychol., Vol. 45, pp.216-234, 1945.

[86] White, K.D., Post, R.B., Leibowitz, H.W., "Saccadic eye movements and body sway", Science, Vol. 208, pp. 621-623, 1980.

[87] 강창수, 신승헌, 민병우, "인공 고관절 시술 환자의 중심 동요 특성에 관한 연구", 대한인간공학회지, Vol. 14, No. 2, pp. 87-103, 1995.

[88] 신승헌, "연령 증가에 따른 신체 동요의 변화에 대하여", 대한인간공학회지, Vol. 5, Nol. 1, pp. 3-9, 1986.

[89] 정병용, 박경수, "힘판을 이용한 중심 동요의 자동 측정에 관한 연구", 대한인간공학회지, Vol. 7, No. 1, pp. 45-52, 1988.