Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.19, No.2 2000. 8. 31

중심이동을 이용한 추적제어에 관한 연구*

Tracking Control using Weight Center Movement

신 승 헌**, 이 용 태***

ABSTRACT

To study the characteristic of the weight center control of humans, the tracking control capability of circular and wave motion by weight center movement was conducted by using the force platform. The control performance(the integrated value of the | Object value(X)-Control Value(Y) |^2) and control trace record was used to evaluate the individual performance characteristics. The size of the population for this study was 73, which consisted of engineering students, students majoring in taekwondo, students majoring in dance, all of which were in their twenties, and also people in their sixties.

The results of this study indicate that the weight center control characteristics of humans can be represented by the evaluation method and values. People who were capable of tracking the object did not stop nor overshot the objective. In addition, habits or training characteristics and aging seemed to influence the performance of the subjects. In the future, development of different objectives for weight center control could be used to determine the severity of the disease of the subject and the effects of the treatment.

Keyword: tracking control, weight center movement, control performance, force platform

* 본 논문은 계명대학교 비사연구비로 수행하였음
** 계명대학교 산업공학과
주 소 : 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000
전 화 : 053-580-5286
E-mail: shs219@kmu.ac.kr
*** 계명대학교 산업공학과

1. 연구목적 및 필요성

평형기능은 행동체력에 있어서 기초적 운동요인의 하나이지만 심부지각(深部知覺), 피부감각, 시각 및 삼반규관(三半規管)과 전정기(前庭器)로부터 얻어진 감각에 의해 중추신경계를 통하여 신체각부의 근육군의 협조운동으로 표현되는 상당히 복잡한 반사기능의 총합이다. 이러한 평형기능을 정량적으로 평가하기 위해서는 중심동요(重心動搖)의 기록을 이용하는 것이 유용하다. 중심동요는 직립자세에서 2차원 족압중심위치(足壓重心位置)의 동요를 전후방향, 좌우방향으로 계측하여, 이들 동요를 합성한 동요궤적곡선의 범위를 나타내는 동요면적, 동요궤적장과 중심동요의 주기적인 변동을 나타내는 파워 스펙트럼(power spectrum) 등으로 산출할 수 있기 때문이다.

이러한 관점에서 인간의 중심동요는 생체제어계 기능상황의 지표로서 임상, sports 의학, 노동과학 등의 분야에서 연구가 다수 수행되어 왔다[신승헌외, 2000 ; 相澤直行외, 1994 ; 石川輝, 1998]. 임상에 있어서는 골관절 질환, 요통 등 평형기능 장애의 파악과 치료효과 등의 평가에 정성적인 방법(관절가동역(關節可動域) test, 거수능력(擧手能力) test, 일상생활동작 test 등)과 함께 이용되어 그 유효성이 인정되고 있다[강창수외, 1995]. 재활과학에서는 물리치료의 효과의 평가에 이용되며, 노동과학의 분야에서는 양족개안(兩足開眼), 양족폐안(兩足閉眼), 편족개안(片足開眼) 등의 측정조건으로 중고령자의 취업능력의 평가에 이용되고 있다[辛承憲, 1990a]. 그러나 이렇게 여러 형태로 수행되어 온 중심동요 해석방법과 검사법이지만, 아직 병소단위(病巢單位)와 장애의 정도를 판단하기 위해 유효한 결과를 가져오는데는 이르지 못하고 있다. 또한, 이들 연구의 대부분은 직립정지자세(直立停止姿勢)에 있어서 중심동요를 평가한 것이어서 신체를 정지시켜 둔 상태에서는 논의가 가능하지만, 수의적(隨意的)으로 원활히 체중을 이동할 수 없는 경우의 문제를 논의하는 것은 곤란하다. 체중을 부드럽게 이동시키는 것은 보행에 있어서도 중요한 요소이고, 임상에 있어서도 의의가 크다고 할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 피험자에게 중심 그 자체를 이동하게 하여 그 응답으로 평형기능을 해석할 필요가 있다. 그러나 아직 이와 관련된 보고는 쉽게 찾을 수 없다. 따라서 직립정지자세에서 중심동요의 평가보다는 '중심(重心)을 이동할 때의 특성'에 관한 연구가 필요하다고 생각된다. 이것은 시각 피드백(feedback)에 의한 추적제어(追跡制御)로서 일상생활에 있어서 신체제어에 가까운 내용이기 때문이다. 한편, 수동제어계(手動制御系)를 중심(中心)으로 운동기능을 해석·평가하기 위하여 피험자에게 조작구를 조작시켜 목표치를 추종시키는 'tracking 동작'이 연구되어 제어공학의 이론에서 인간의 동작특성이 해석된 보고가 있다[신승헌과 김경수, 1996 ; 小堀聰외, 1987].

이러한 관점에서 본 연구에서는 중심동요계를 이용하여 실험장치를 구축하고, 피험자를 직립자세에서 중심(重心)이동으로 설정된 목표치에 대하여 tracking 동작을 수행하게 하

여 제어궤적 및 제어성적을 산출한다. 이렇게 산출된 지표가 인간의 중심제어특성과 평형기능 장애의 진단 및 치료효과의 평가에 이용될 수 있는지를 검토한다.

2. 연구내용 및 방법

연구는 피험자에게 본 연구에서 설정한 목표치(目標値))에 대하여 중심동요계 위에서 중심이동(重心移動)으로 추적제어를 수행하는 것으로 구체적인 연구내용 및 방법은 다음과 같다.

2.1 중심동요(重心動搖)의 계측(計測)

임의의 시각 t에 있어서 중심동요계(重心動搖計) 위에서 족압중심위치(足壓中心位置) : r(x(t), y(t))는 중심동요계의 사우(四隅)에 설치된 4개의 load cell의 출력전압(Fi(t)(i=1, 2, 3, 4))을 계측하여 전후방향과 좌우방향을 중심으로 하는 moment의 균형으로부터 다음 식(1)을 얻을 수 있다.

$$x(t)=((F_2+F_3)-(F_1+F_4))\cdot a/\sum_{i=1}^{4}F_i \qquad (1)$$
$$y(t)=((F_1+F_2)-(F_3+F_4))\cdot a/\sum_{i=1}^{4}F_i$$

(x(t):전후방향의 중심선 좌표, y(t):좌우방향의 중심선 좌표)

이렇게 하여 중심선의 위치를 구하여, 이것을 중심동요라고 한다. 따라서 F_1~F_4를 측정하는 것으로 중심선의 작용위치를 구할 수 있다. 여기에서 F_1은 직립자세의 피험자가 보아서 우측 전방의 load cell의 출력전압이고, F_2는 좌측전방, F_3은 좌측후방, F_4는 우측후방의 출력전압이다. 또, a는 전후방향(X), 좌우방향(Y)의 load cell 설치 위치의 1/2이 되는 거리이다.

2.2 실험시스템

hardware : 그림 1은 실험시의 상황(목표치가 원형(圓形)의 경우)을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 피험자는 예상되는 목표궤적과 목표치 그리고 피험자 자신의 중심점(重心點)을 보면서 중심이동(重心移動)으로 추적을 하도록 되어있다.

실험장치는 중심동요계와 32bit personal computer를 중심으로 하고 그 주변기기인 CRT 2대(검사자용, 피험자용), printer(HP 6P/MP)를 접속하여 구성하였다. 중심동요계는 2.1항에서 기술한 내용으로 본 연구실에서 제작한 것으로 4점식이며 정방형으로 40 ㎝, 높이는 12㎝이다. 계측된 상반력(床反力)의 각 성분(F_1~F_4)은 charge amp를 통하여 A/D변환되고 나서 personal computer에 입력된다.

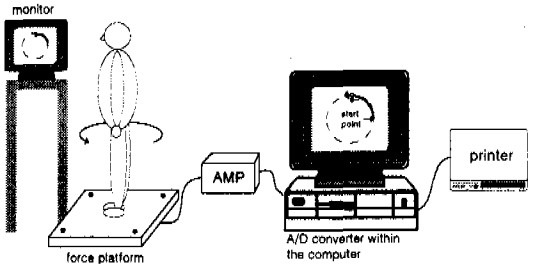


Fig.1 Diagram of the experiment set up(circular)

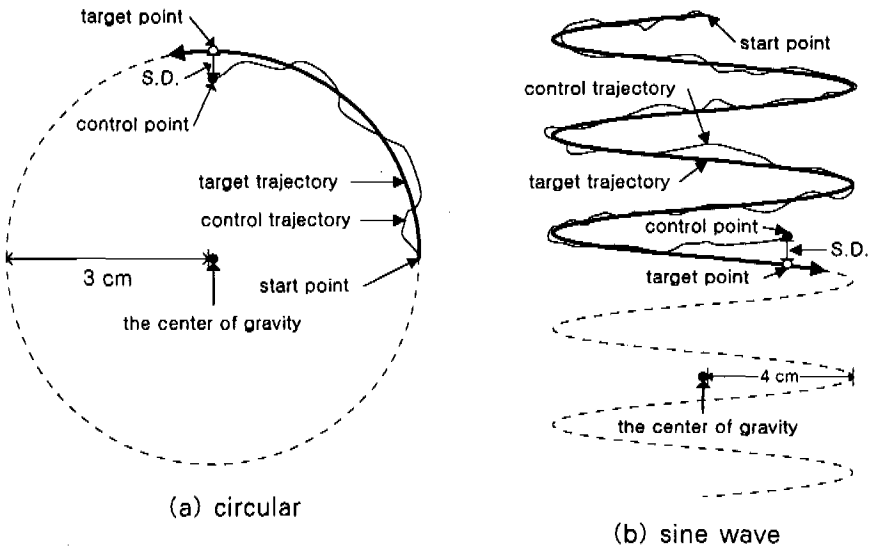


Fig. 2 Example of the target and tracking trajectory

software : 일정한 sampling주파수로 측정된 상반력(床反力) data (F_1~F_4)는 신체중심점을 계산하여 PC화면 위에 한 점으로 표시된다. 이 신체중심점의 이동으로 목표치를 추적하게 한다. 두 가지 형태(목표치)에 대하여 실험을 수행하게 되는데 첫 번째 목표치는 원형(圓形, circular)으로 중심동요계의 중심점으로부터 3cm 주위를 회전 운동하는 것인데 신체 중심점으로 추적한다. 목표치의 모양을 정사각형(직경 4mm)으로 하고, 제어치의 모양은 원형(직경 3mm)으로 하여 피험자가 구분을 쉽게 하도록 하였다. 두 번째 목표치는 정현파(正弦波, sine wave)로 PC화면 중앙에서 연속적으로 좌우로 왕복한다. 이때 피험자는 신체중심점을 좌우로 이동하면서 추적을 하게 된다. 목표치의 이동은 중심동요계의 중심점으로부터 좌우로 4cm이다. 목표치와 제어치의 형태는 원형과 동일하게 했다. 이들 각각의 목표치를 노란색, 제어치는 흰색으로 하여 피험자가 쉽게 구분하도록 했다. 모든 피험자에게 목표치의 pattern은 동일한 것이다. 그림 2의 (a)는 목표치가 원형일 때, (b)는 정현파일 때의 목표궤적과 추적궤적의 예를 나타낸 것이다.

실험이 끝나면 제어성적(|목표치(X)−제어치(Y)|^{2}의 적분) 및 제어궤적이 화면위에 나타나고, printer에는 이들과 함께 피험자의 신상자료, 실험상황에 관한 memo, 실험일시 등이 출력된다.

2.3 측정조건

중심동요계(重心動搖計)위에서 직립자세를 취한 피험자에 대하여 양족개안(兩足開眼)의

조건으로 PC화면상에서 원형과 정현파로 운동하는 목표치에 대하여 중심이동으로 추적제어를 수행하게 한다. 즉, 두 가지의 목표치 각각에 대하여 실험을 수행하게 된다. 원형은 중심이동에 의한 추적이 쉽지 않아 피험자 군간의 특성을 쉽게 찾을 수 있다고 생각했고, 정현파는 좌우운동으로 중심이동의 기본이 되며 중고령자라도 쉽게 실험을 수행할 것으로 생각했다.

측정시간은 원형이 25초, 정현파가 102초이며, sampling주파수는 각각 20HZ로 했다. 측정시 피험자가 목표치와 제어치를 쉽게 볼 수 있도록 PC화면의 중앙부를 피험자의 시선높이로 하여 약 1.0m 전방에 두었다. '피험자에게는 목표치의 움직임을 주시하면서 자기의 중심점을 목표치에 가급적 민첩하게 그리고 정확히 일치시키도록 한다' 고 하는 과제를 주고 실험을 개시한다. 또 중심이동에는 상반신(上半身)이 아니고 좌우하지(左右下肢)의 이동에 의한 가중(加重)으로 수행하도록 했다.

측정시에 발을 두는 모양에 따라서 중심이동의 차이가 현저하기 때문에 피험자는 동요계의 중앙에서 발뒤꿈치의 간격을 1.5cm로 하고, 양발의 벌리는 각도를 30도로 하여 직립하게 했다. 가능한 한 슬관절(膝關節)을 뻗도록 하고, 양팔은 자연스럽게 내리고 움직이지 않도록 지시한다. 이렇게 하여 피험자의 준비가 갖추어진 것을 확인하고 측정을 개시한다. 본 실험전에 예비실험을 1회 실시하여 실험내용을 이해하도록 했다.

2.4 해석방법

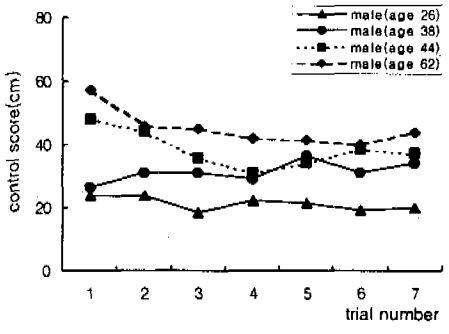
목표치와 제어치의 편차를 sampling주파수 20Hz로 적분한 것을 각 개인의 성적으로 한다. 즉, 개인 성적은 $|목표치(X)-제어치(Y)|^2$의 적분한 값이다. 그러므로 편차의 합이 크게되면 제어를 원활히 수행하지 못하는 것으로 된다. 또한, 실험결과인 추적궤적의 pattern으로 중심이동의 특징을 각 피험자 별로 조사한다. 그래서 이 두 가지의 지표로 중심제어특성의 평가가 가능한지를 검토하는 것이다.

2.5 제어성적의 재현성

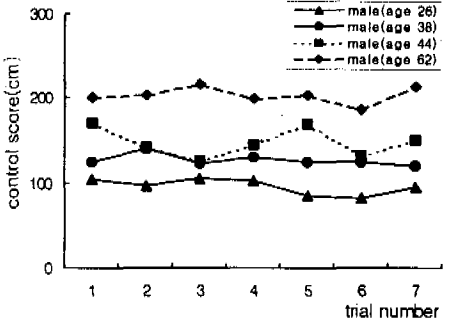
중심이동에 의한 추적제어를 반복하여 시행할 경우 습숙(習熟)의 영향이 있을 것으로 생각된다. 그래서 동일 피험자에게 반복 측정하여 그 재현성을 조사했다. 그림 3(a)는 원형추적의 재현성, (b)는 정현파 추적의 재현성을 나타낸 것이다. 피험자는 남 26세, 남 38세, 남 44세, 남 62세 4명으로 하여 각 피험자에 대하여 약 5분 간격으로 연속 7회 측정했을 때의 제어성적이다. 측정전에 연습을 1회 실시했다. 먼저 원형추적의 경우 남 26세 피험자는 1회째의 값에 대하여 2회째 이후 값의 변동은 적었으나 다만 3회째의 값이 감소하였다. 남 38세 피험자의 경우는 1회째 값에 비하여, 2회째 이후의 값은 변동하면서 다소 증가해 가는 경향이 보였다. 남 44세의 피험자는 4회째까지 감소하다가 그후 상승하는 경향이 있었다. 남 62세의 피험자는 1회째의 값에 비하여 2회째 값이 감소한 후 큰 변동은 보이지 않았다.

그림 3(b)는 정현파 추적의 재현성을 나타낸 것으로 남 26세, 남 38세 피험자의 경우 전체적으로 안정된 값으로 큰 변동은 없었다. 남 44세의 피험자는 제어성적이 변동하는 경향을 보였으나 습숙의 효과는 보이지 않았다. 남 62세의 피험자의 경우는 비교적 제어성적이 안정되어 있었으나 7회째의 값이 다소 높았다.

이러한 내용으로 보아 본 실험의 조건이 안정된 상태의 피험자를 대상으로 하면 습숙이나 피로를 쉽게 가져오지 않는다고 생각했다. 따라서 본 연구에서는 1회 연습후 첫번째의 측정치를 그 피험자의 제어성적으로 했다.



(a) circular



(b) sine wave

Fig. 3 The effect of repetition on the control score for tracking performance

2.6 피험자의 구성

운동기계(運動器系)에 육안으로 관찰되는 이상이 없고, 중심이동에 의한 추적제어를 제대로 이해하는 자로서 연령, 특기운동 등을 고려하여 집단별로 선발했다. 피험자 집단은 20연령대 공학전공학생 23명, 태권도 전공학생 15명, 무용 전공학생 15명, 60연령대 20명으로 총 73명을 대상으로 하였다. 20연령대의 피험자는 모두 대학 재학생이고, 60연령대의 피험자는 현재 아파트 경비 등의 업무에 종사하고 있다. 태권도전공 학생과 무용전공 학생을 피험자로 선택한 것은 동일 연령대에서 중심제어 능력에 차이가 있을 것으로 생각했기 때문이다. 표 1은 피험자의 구성을 나타낸 것이다.

Table 1. Composition of Subject(N=73)

Group	Engineering group (20 age)	Taekwondo group (20 age)	Dancing group (20 age)	60 age
Sex	Male	Male	Female	Male
Number of subjects	23	15	15	20
Average age	23.7	21.1	20.7	63.9
Standard deviation	1.1	0.9	0.8	0.5

3. 결과 및 고찰

3.1 원형의 추적

앞에서 기술한 바와 같이 본 연구의 주된

목적은 중심이동에 의한 추적제어 시스템을 구축하고, 이 실험시스템으로 인간의 중심제어특성의 평가가 가능한지를 검토하고, 나아가 운동기계(運動器系) 질환정도 및 치료효과의 평가도 가능한지를 검토하는 것이다. 실험시스템에 있어서는 연구내용 및 방법란에서 설명한 바와 같이 기존의 중심동요계를 이용하고, 목표치를 원형과 정현파 두 가지로 편성하여 일차적으로 실험이 가능하도록 하였다. 먼저 원형추적에 대한 결과를 검토하도록 한다.

그림 4는 원형추적에 있어서 제어를 원활히 수행한 자와 그렇지 못한 자의 예를 목표궤적에 추적궤적을 중첩시켜 나타낸 것이다. 추적제어를 원활히 수행한 자의 특징은 중심이동을 목표치의 속도에 맞추어 목표치를 추월하지 않고, 추적중에 중심을 정지하는 경우가 없었다. 이것은 중심제어가 자기 의지와 같이 되는 것으로서 중심이동을 정교히 할 수 있다는 것이다.

반면에 추적제어를 원활히 수행하지 못한 자의 특징으로는 중심이동이 자기의 의지와 같이 제어되지 않아 중심을 목표치에 근접시키지 못하고 추적하는 도중에 빈번히 중심점(重心點)이 목표치를 지나쳐서 다시 반대 방향으로 중심을 이동하였다. 또한, 이들의 추적

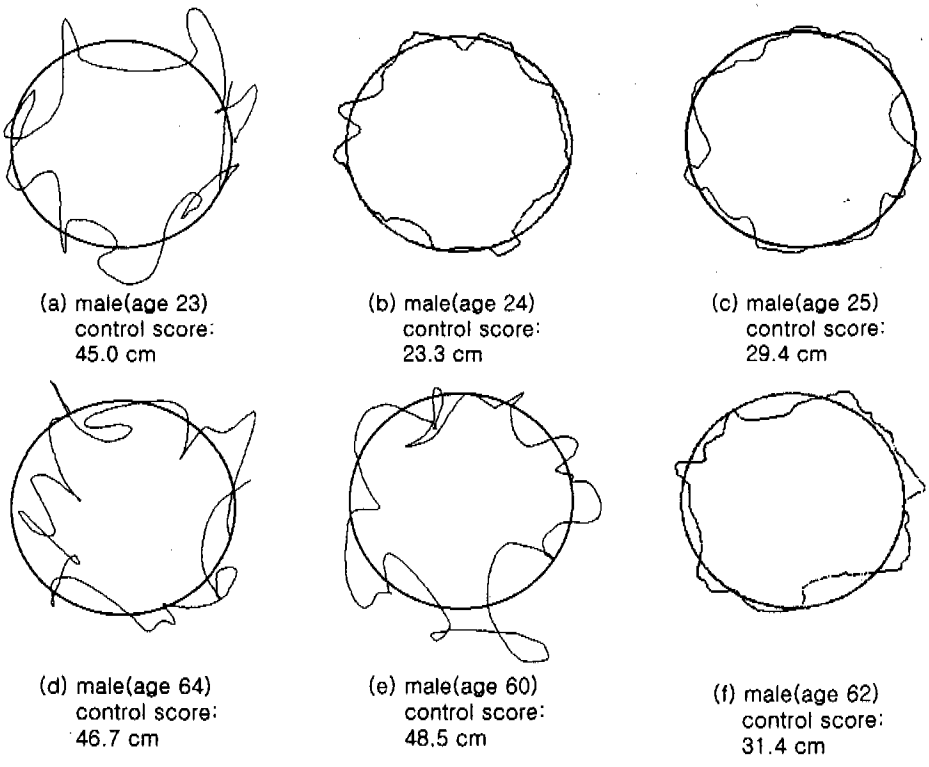


Fig. 4 Differences in tracking control (circular)

궤적을 보면 보다 미세한 제어가 되지 않아 목표치를 5~6회 이상 지났쳤다가 다시 복귀하는 형태를 나타내고 있다(피험자 a, d, e). 이 실험에 상당히 어려움을 겪은 것을 알 수 있다.

중심이 목표궤도를 크게 이탈하는 경우는 목표치를 추월했을 때 목표궤도에 근접해서 제어치를 복귀시키지 못하기 때문이다. 이때 목표궤도를 크게 벗어나는 것을 실험 수행시에 관찰할 수 있었다. 이러한 경향이 대부분 60연령대의 피험자에서 나타나 연령이 증가하게 되면 중심이동의 유연성이 저하되어 행동의 어색함이 나타나는 것과 중고령자 층에서 다수 발생하는 전도(轉倒), 전락(轉落) 등의 사고요인으로 생각되었다. 추적제어의 결과 제어성적이 우수한 순으로는 (b)남 24세(23.3), (c)남 25세(29.4), (f)남 62세(31.4), (a)남 23세(45.0), (d)남 64세(46.7), (e)남 60세(48.5)이다. ( )속의 숫자는 편차의 합(단위 cm)을 나타낸 것이다.

그림 4에서 알 수 있는바와 같이 (a)남 23세 피험자의 경우 60연령대 피험자(d, e)와 유사한 제어궤적과 제어성적이고, (f)남 62세 피험자의 경우는 20연령대의 피험자(b, c)와 유사한 제어궤적과 제어성적을 보이고 있다. 여기서 제어궤적과 제어성적에 영향을 미치는 요인이 연령만이 아니라는 것을 알 수 있다. 기능평가에 있어서 동일연령대의 개인차이는 조사내용의 이해, 운동, 직종(중고령자의 경우는 과거의 직종) 등이 영향을 미친다는 보고가 있다(辛承憲, 1990b ; 西村純一, 1985).

연구의 목적부분에서 기술한 바와 같이 본 연구는 중심이동에 장애가 있는 자에 대하여 진단과 치료효과의 평가 가능성을 검토한다고 했다. 이러한 관점에서 생각할 때 목표궤적을 원형으로 할 때 중심이동으로 추적하는 것은 환자의 장애정도에 따라 다소의 어려움이 예상되기도 한다. 그러므로 장애부위와 정도에 따라 목표궤적의 형태변화를 검토해야 한다.

그림 5는 각 피험자군 별로 제어성적의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 20연령대에서는 성적이 태권도 전공, 무용 전공, 공학 전공의 피험자 순으로 되어있어 각 군별의 특성이 반영된 것으로 생각된다. 태권도와 무용 전공의 경우 운동의 특성상 하체(下體)를 많이 사용하며 특히 평형유지 능력과 민첩한 중심이동이 요구되는 것이다.

일반적으로 운동을 잘하기 위해서는 튼튼한 뼈, 근육, 심부지각(深部知覺)의 반사, 소뇌기능 등 나아가 두뇌(대뇌기능)가 요구된다. 따라서 운동과 중심제어 능력과는 밀접한 관계가 있다. 문헌에 의하면 훌륭한 운동선수에는 편기(偏奇), 입직반사(立直反射)는 물론 미로기능(迷路機能)도 뛰어난 자가 많다고 한다[辛承憲, 1990b]. 입직반사(立直反射), 미로(迷路, labyrinth)기능 등은 중심제어 능력의 주요한 기구이다. 태권도 전공군이 제어성적이 제일 우수하고 표준편차도 작고, 평균치 차의 검정에서도 공학 전공군과 유의(有意)차이가 있었다(표 2). 이렇게 운동 특기자가 제어성적이 우수한 경향이 있으므로 운동특기자는 중심제어 능력이 우수하다고 전제한다면 본 방법의 지표인 제어성적과 제어궤적은 중심제어 특성을 나타낸다고 할 수 있다.

60연령대에서는 제어성적이 좋지 않고 표

준편차가 크게 되어 개인차이가 있음을 나타내고 있다. 대부분의 사람들이 50연령대까지는 왕성히 사회활동을 하는데 반하여 60연령대가 되면서 정년 등으로 일정한 사회 활동을 하지 않는 것과 생리학적으로 반사회로, 상반제어(신경지배)회로, feedback회로 등의 쇠퇴폭이 크기 때문으로 생각된다. 60연령대의 피험자군이 집중력이 부족한 것이 아니고 자신의 의지와 같이 미세하게 중심이동이 되지 않은 것을 실험시에 관찰할 수 있었다. 20연령대의 전공군과의 비교에서 연령증가가 중심제어 능력에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

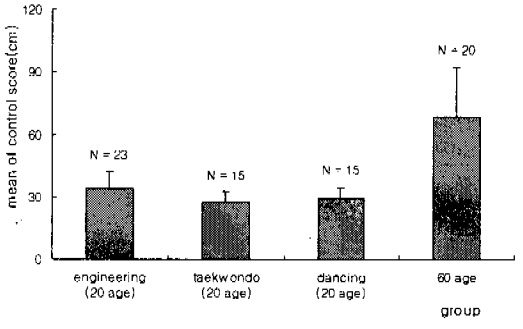


Fig. 5 The tracking performance of each group(circular)

표 2는 원형추적의 제어성적에 대한 각 피험자군 간의 T-test 결과이다. 공학 전공군과 무용 전공군간에서만 유의 차이가 없고, 그 외 모든 군간에서는 유의차이가 있었다. 동일 연령대의 공학 전공군과 태권도 전공군간의 유의차이는 운동의 영향으로 생각된다. 20연령대의 전 피험자군과 60연령대의 피험자군에서 유의차이가 있는 것은 연령차이로 볼 수 있다.

Table 2. T-test for difference in tracking performance among groups(circular)

Group	Sex	Mean	S.D.	Prob>T
(engineering, Taekwondo)	Male	34.3	8.3	0.0094*
	Male	27.7	4.9	
(engineering, dancing)	Male	34.3	8.3	0.3934
	Female	29.4	5.1	
(engineering, 60 age)	Male	34.3	8.3	5E-08*
	Male	68.7	23.6	
(Taekwondo, dancing)	Male	27.7	4.9	0.0070*
	Female	29.4	5.1	
(Taekwondo, 60 age)	Male	27.7	4.9	1.3E-07*
	Male	68.7	23.6	
(dancing, 60 age)	Female	29.4	5.1	6E-06*
	Male	68.7	23.6	

* : significant $\alpha = 0.01$

3.2 정현파의 추적

정현파의 목표치는 일직선상에서 좌우로 운동하므로 추적에 있어서 체중을 좌우로만 이동하게 되는 것이다. 이때 중심점이 전후로 벗어나거나 목표치에 근접하여 추적하지 않으면 오차가 크게되어 제어성적이 나쁘게 된다.

그림 6은 정현파추적에 있어서 제어를 원활히 수행한 자와 그렇지 못한 자의 예를 원형추적 때와 마찬가지로 목표궤적에 추적궤적을 중첩시켜 나타낸 것이다. 추적을 원활히 수행한 피험자의 특징은 목표궤적을 전후로 크게 벗어나지 않는 것과 목표치를 끝까지 주시하여 목표치의 좌우 끝점을 지나치지 않는 것, 그리고 좌우로 체중을 부드럽게 이동시키면서 적극적으로 추적하는 것을 실험 수행시에 관찰할 수 있었다(피험자 a, b, f). 또한 실험시스템을 쉽게 이해하고 실험에 적극적인 자세를 보였다. 반면, 추적을 원활히 수행하

지 못한 피험자의 특징은 중심을 목표치에 근접시키지 못하기도 하고(피험자 d), 미세한 중심이동이 되지 않아 자주 목표치를 지나쳤다가 목표치가 중심점으로 가깝게 오기를 기다리기도 하는 제어형태를 보였다(피험자 c, e). 특히 피험자(d)의 경우 그림에서 알 수 있는 바와 같이 적극적으로 추적하지 못하여 편차의 합이 가장 크게 나타났다. 원형추적의 결과와 같이 대부분 60연령대 피험자군에서 이러한 경향이 현저하여 연령증가에 따른 생리기능의 저하가 중심제어에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

제어성적이 우수한 순으로는 그림 7의 (a) 남 24세(98.1), (b)남 25세(101.3), (f)남 66세(182.1), (c)남 24세(229.8), (e)남 62세(247.6), (d)남 66세(452.9)이다. ( )속의 숫자는 편차의 합(단위 cm)을 나타낸 것이다.

피험자들은 실험을 수행함에 있어서 원형추적에 비하여 정현파의 추적이 부담이 적다고

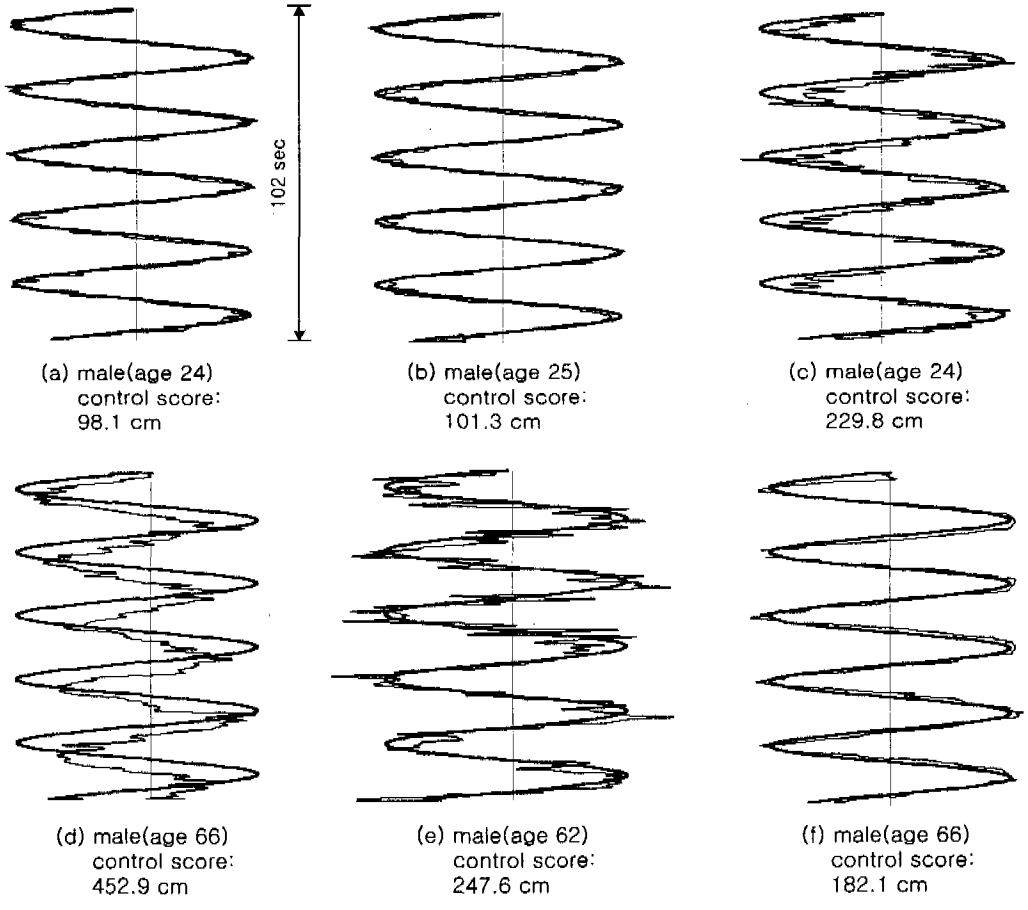


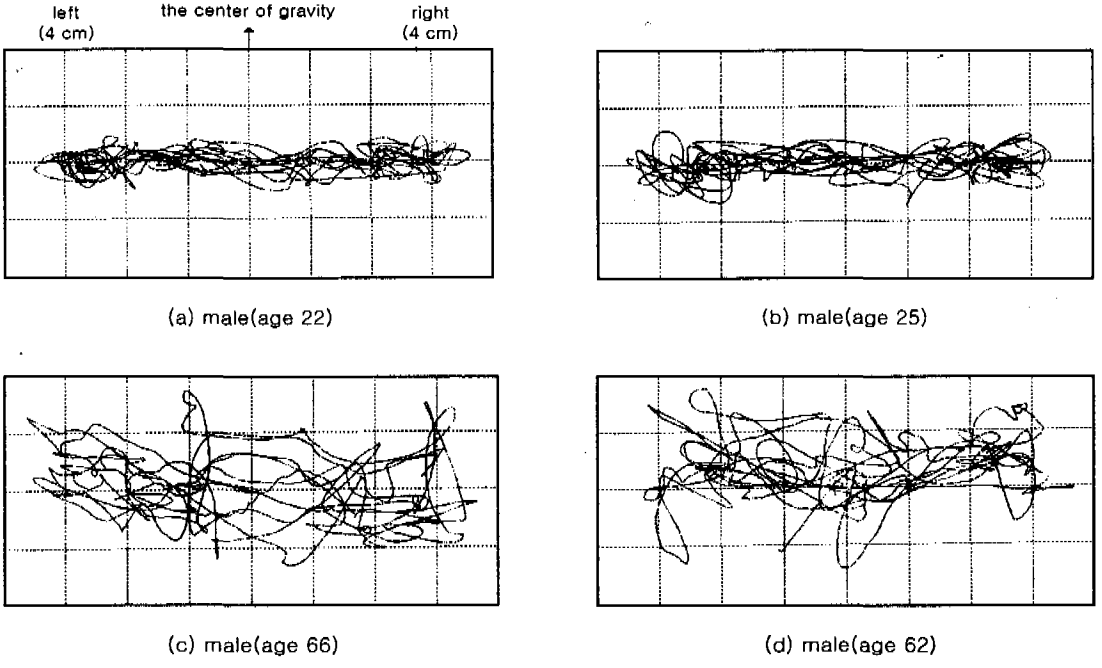
Fig. 6 The differences in tracking control (sine wave)

했다. 그러나 제어성적에 있어서는 정현파 추적의 경우가 개인 및 집단간의 특성이 잘 반영되었다(그림 6, 8). 이것은 원형추적의 경우 목표치가 1회 회전운동하는데 반하여 정현파 추적의 경우는 5회 왕복하므로 각 개인의 특성이 보다 많이 반영된 것으로 생각된다. 목표궤적의 형태와 측정 조건 등은 앞으로 계속 연구되어야 할 과제이다.

정현파의 경우 목표치가 좌우로 왕복하는 것이므로 추적에 있어서 중심이 가급적 전후로 벗어나지 않아야 한다. 그러나 실험중에 60연령대 대부분의 피험자에게서 목표궤도(직선)에서 상하(피험자의 경우 전후)로 벗어나서 추적하는 것을 관찰할 수가 있었다.

연령증가는 자세반사의 통제에 중요한 소뇌의 기능을 변화시킨다. 소뇌는 시각, 전정감각(前庭感覺), 체성감각(體性感覺) 등의 구심성 입력(求心性入力)을 통합하여 자세반사를 제어하고, 운동과 자세유지에 있어서 다른 근육간의 공조와 동작의 진폭, 방향, 속도 등의 측정에 중요한 역할을 한다. 연령증가로 소뇌의 기능이 저하하면 입위자세를 유지함에 있어서 신체동요의 증대, 운동의 원활성장해(圓滑性障害), 동작의 진폭, 방향, 속도의 측정이상 등이 나타난다.

그림 7의 (a), (b)피험자는 비교적 추적궤적의 동요폭이 전후로 좁은 예로 안정된 추적을 수행한 것으로 볼 수 있다. (c), (d)피험자의 경우는 전후로의 동요가 크게되어 불안정한 추적을 한 것으로 된다. 이것은 자기 의지와 같이 중심을 제어할 수 없는 것으로 평소 직립정지자세에 있어서도 중심동요가 크다



(a) male(age 22) (b) male(age 25)

(c) male(age 66) (d) male(age 62)

Fig. 7 Forward and back deviation while tracking the sine wave

는 것이다.

그림 8은 각 피험자군별로 제어성적의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 먼저 20연령대에서 각 전공군간의 비교에서는 태권도 전공이 가장 우수했고 무용 전공과 공학 전공 순서였다. 표준편차에서는 태권도 전공이 가장 적게 나타나 그 특성이 잘 반영된 것으로 생각된다. 무용 전공의 피험자도 우수하리라고 생각했는데 추적에 있어서 적극적이지 못하고 조심성이 많다는 것을 실험시에 알 수 있었다. 남녀의 성격에 의한 차이로도 생각되었다. 20연령대와 60연령대의 차이에 있어서는 연령증가의 결과이고, 60연령대에서 표준편차가 다소 큰 것은 개인차이가 반영된 것이다.

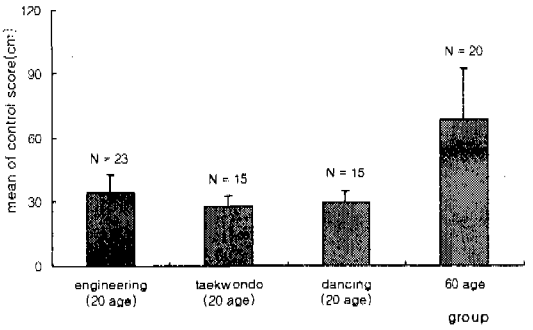


Fig. 8 The tracking performance of each group circular(sine wave)

중심이동에 의한 제어궤적과 제어성적에서 피험자 개인 및 집단간의 특징이 반영되는 것으로 보아 이 두 가지의 지표로 중심이동의 특성을 평가할 수 있다고 생각된다. 따라서 중심이동과 관련된 질병의 정도와 치료효과의 평가에도 이용될 것으로 보인다. 이를 위해서는 보다 많은 정상인의 data와 장애자의 병소단위(病巢單位)의 data가 필요하다. 그리고 장애기관에 따른 목표치의 형태, 측정조건 등의 연구도 병행할 필요가 있다.

표 3은 각 피험자군 별의 T-test 결과이다. 유의차이는 원형추적과 같이 공학 전공군과 무용 전공군 사이에서만 유의차이가 없었다. 그 외 피험자 군간에서는 모두 유의차이가 있었다.

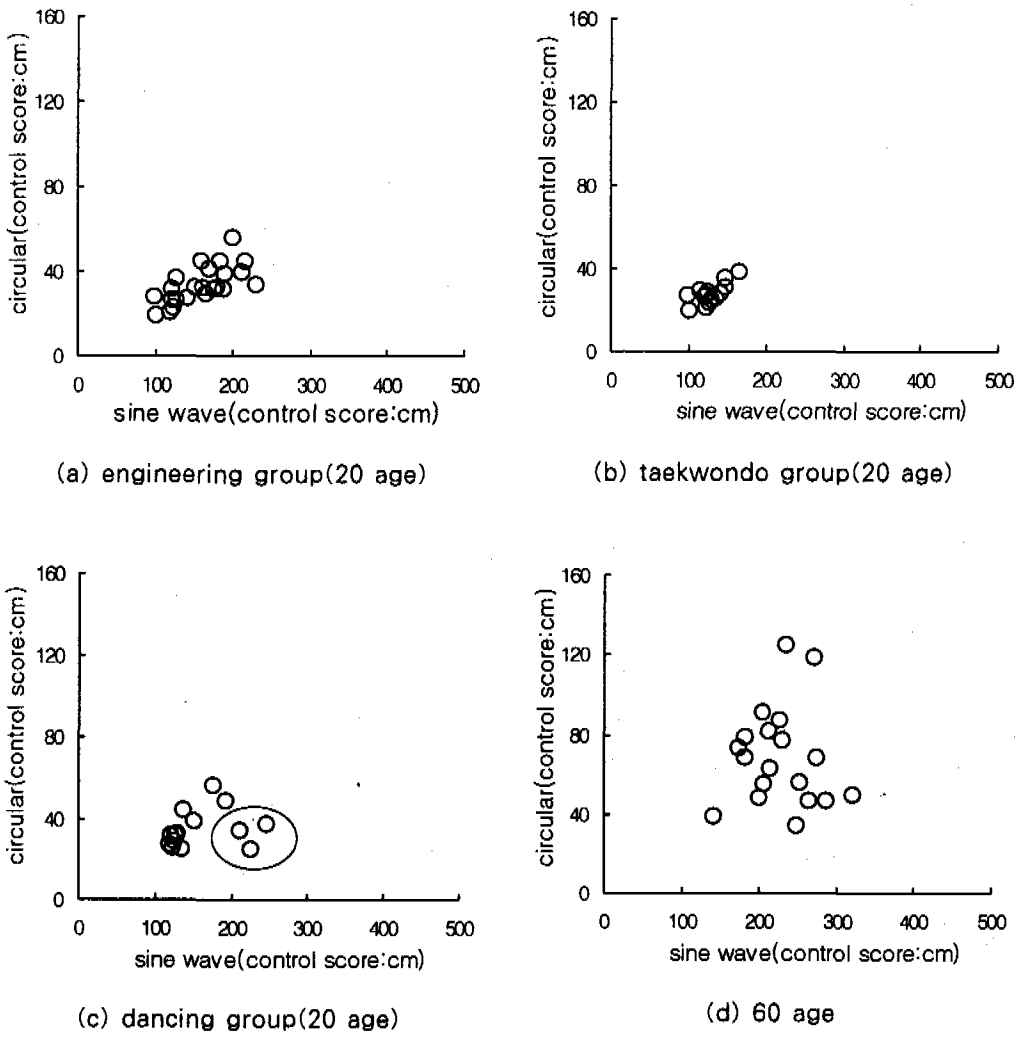
Table 3. T-test for difference in tracking performance among groups(sine wave)

Group	Sex	Mean	S.D.	Prob)T
(engineering, Taekwondo)	Male	158.9	37.7	0.0026*
	Male	127.9	17.6	
(engineering, dancing)	Male	158.9	37.7	0.4056
	Female	155.7	42.9	
(engineering, 60 age)	Male	158.9	37.7	7.51E-06*
	Male	238.5	64.8	
(Taekwondo, dancing)	Male	127.9	17.6	0.0138**
	Female	155.7	42.9	
(Taekwondo, 60 age)	Male	127.9	17.6	2.2E-07*
	Male	238.5	64.8	
(dancing, 60 age)	Female	155.7	42.9	9.43E-05*
	Male	238.5	64.8	

* : significant α =0.01, ** : significant α =0.05

3.3 제어성적의 상관관계

그림 9(a)~(d)는 각 피험자군별로 원형추적과 정현파 추적의 제어성적을 상관관계로 나타낸 것이다. 먼저 20연령대에서 공학 전공군의 상관계수는 0.68, 태권도 전공군은 0.72로 정의 상관에 가까운 결과가 얻어졌다. 이것은 실험 시스템의 이해와 주어진 목표치에 대하여 크게 곤란함을 느끼지 않고 추적제어를 수행한 결과인 것이다. 무용 전공군



(a) engineering group(20 age)

(b) taekwondo group(20 age)

(c) dancing group(20 age)

(d) 60 age

Fig. 9 Correlation of sine wave and circular control scores

은 상관계수가 0.29로 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 그러나 그림 9(c)에서 원으로 표시된 3명의 피험자를 제외시키면 상관계수가 0.85로 급격히 높아져 금후 data 수를 추가하여 남녀의 차이 등도 검토할 필요가 있다. 60연령대의 상관계수는 0.09로 무상관으로 나타났다.

20연령대의 피험자군에서는 정의 상관에 가까운 경향을 보인데 반하여 60연령대의 피험자군이 무상관으로 된 것은 인간이 가지고 있는 수많은 기능들이 연령증가와 함께 그 저하수준에 개인차이가 있다는 것이다. 즉, 중심을 원형으로 운동할 때와 좌우로 운동할 때에 인체에서 작용하는 시스템이 동일하다고

하더라도 그 시스템의 구성요소의 저하에 개인차이가 있다는 것이다. 물론 실험시스템의 이해에 있어서도 개인차이는 있는 것이다. 이러한 내용이 반영된 것으로 생각된다.

4. 결 론

금번 연구에서는 인간의 중심제어특성을 조사하기 위하여 중심이동에 의한 추적제어를 수행하였다. 제어궤적과 제어성적 두 가지의 지표로 검토했다. 그 결과 이 두 가지의 지표로 각 피험자의 중심이동의 특성을 나타낼 수 있었다. 금후 연구를 계속 수행하면 중심이동에 관련된 질환의 정도 및 치료효과 등도 평가할 수 있다고 생각된다. 이를 위해서는 병예(病例)에 따른 목표치의 연구가 필요하다. 금번 실험에서는 목표치가 원형과 정현파가 이용되었고, 피험자는 중심제어 능력이 우수하다고 생각되는 태권도·무용 전공자와 젊은 층으로는 공학 전공의 20연령대, 중고령층으로는 60연령대를 대상으로 했다. 연구를 수행한 결과 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

① 본 연구에서 이용된 지표는 중심제어 특성의 평가에 유용하다는 것을 알 수 있었다.

② 중심이동을 원활히 수행하는 자의 일반적인 특징으로는 미세한 조정이 가능하여 추적하는 동안에 중심(제어치)을 정지하지 않은 것과 목표치를 추월하지 않았다.

③ 동일 20연령대에서도 운동특기가 있는 자가 제어 pattern과 제어성적이 우수했다. 특히 정현파 추적에서 그 내용이 현저히 나타났다. 운동효과와 생활습관 등이 중심제어 능력에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

④ 연령증가와 함께 중심제어 능력이 쇠퇴되어 갔다. 중고령자층에서 표준편차가 크게 나타나 개인차이가 반영되었다.

⑤ 목표궤적이 원형보다는 정현파의 경우가 각 개인의 특성이 잘 반영되었다.

본 연구 결과를 실제로 임상에 응용하기 위해서는 보다 많은 병소단위(病巢單位)에 따른 목표치 형태의 검토와 측정조건 등의 연구를 계속할 필요가 있다.

참고문헌

강창수, 신승헌, 민병우, 人工股關節 시술환자의 重心動搖 特性에 관한 연구, 大韓人間工學會誌, 14(2), 87-103, 1995.

신승헌, 김경수, 年齡增加에 따른 手指巧緻性에 대하여, 한국산업안전학회지, 11(4), 127-134, 1996.

신승헌, 기도형, 이용태, 人間의 重心制御 特性에 관한 연구, 대한인간공학회 춘계학술대회논문집(pp. 271-273), 2000.

이경종, Posturography를 이용한 神經系 毒性에 대한 건강감시, 산업보건, 24-29, 1999(12).

小堀聰, 米田彦, 廣島和夫, 小野啓郎, 運動器系疾患の重心トラッイング動作, 第10回バイオメカニズムシンポジウム講演論文集(pp.317-326), 1987.

大久保 堯夫, 年齡と生體諸機能(1), 安全,

44-47, 1994(5).

大山毅, 重心動搖に關する一研究, 人間工學會誌 34卷 特別号, 96-97, 1997.

辛承憲, 加速度外亂に對する重心動搖を用いた高齡者のバランス能力の變化, バイオメカニズム學會誌, 14(2), 107-115, 1990.

辛承憲, 重心動搖を用いた人間のバランス 能力評價, 慶應義塾大學, 博士論文, 1990.

相澤直行, 青木和夫, 吉田義精之神, 作業の重心動搖への影響, 人間工學會誌, 30(4), 223-231, 1994.

高橋雄三, 重心動搖の定量的評價法關する研究 第一報, 人間工學會誌 35卷 特別号2, 388-389, 1999.

Face Mount Displayの使用による視覺が重心 動搖に与える影響, 人間工學會誌 35卷 特 別号 2, 388-389, 1999.

石川輝, 重心動搖軌跡のFractal Theoryによる解析, 人間工學會誌 34卷 特別号, 96-97, 1998.

西村純一, 加齡に伴う職業能力の變化に關する研究, 職業調査報告書, 43, 29-60, 1985.

Bagchee A. Battacharaya A., Postural stability assessment during task performance, Occupational Ergonomics, 1(1), 41-53, 1998.

Bhattacharya A. Shukly R. Dietrich KN. Miller J., Functional implications of postural disequilibrium due to lead exposure, NeuroToxicology, 14(2-3), 179-190, 1993.

J.J. Collins and C.J. De Luca, Random walking during auiet standing, Physical Review Letters, 73(5), 764-767, 1994.

저자소개

◈ 신승헌

동국대학교 산업공학과를 졸업하고, 일본 게이오 대학에서 석사, 박사를 취득했다. 현재 계명대학교 산업공학전공 교수로 재직중이다. 주요 관심분야로는 인간의 중심동요(重心動搖), 중고령자의 기능특성, 신체장애자의 동작 특성 등이 있다.

◈ 이용태

계명대학교 산업공학과(학사, 석사)를 졸업하고, 동 대학원에서 박사과정을 수료하였다. 주요 관심분야는 인지공학, 중고령자의 기능특성, 감성공학이다.

논문접수일 (Date Received): 2000/5/23
논문게재승인일(Date Accepted): 2000/7/20