한국감성과학회2000추계
학술대회발표논문집

회전 자극기를 이용한 회전평형 분석

기호성*, 김종윤*, 양길태*, 김동욱**,송철규***,김남균***

*전북대학교 대학원 의용생체공학과, **순천향대학교 공과대학 정보기술공학부
***전북대학교 공과대학 생체공학과

Analysis of Rotatory Equilibrium Sense using Rotating Stimulator

H.S. Gi*, J.Y. Kim*, G.T. Yang*, D.W. Kim**, C.K. Song***, N.G. Kim***

*Dept. of Biomedical Eng., Graduate School, Chonbuk National University
**Division of Information Technology Eng., Soonchunhyang University
***Dept. of Bionics College of Eng., Chonbuk National University

Abstract

본 연구에서는 회전 자극기를 이용하여 성별에 따른 회전 평형감각 특성을 분석하였다. 피검자는 정상성인 남녀 각각 10명에 대해, 두부회전과 rotatory chair test(RCT)에 의한 회전자극 전과 후의 변화정도를 살펴보았고, COP, Flicker Test, 적외선 카메라를 이용한 체열 측정 등을 통해 전정자극 특성을 평가하였다. 그 결과 COP를 통한 신체동요도 측정 결과 회전자극 제시 후 두부회전의 경우 총 누적거리가 1.47배, RCT의 경우 1.78배까지 증가했고, 플리커 치는 여성(8.6%)이 남성(5%)보다 높게 나타났고, 여성이 남성보다 회전자극에 민감함을 알 수 있었다. 또한, 남녀 모두 회전 자극 후 눈 주위의 온도상승이 미소하게 일어남을 알 수 있었다.

Keywords: 회전 자극기, 평형감각, COP, Flicker Test

1. 서론

내이에 위치한 전정계는 신체의 평형감각 유지에 매우 중요한 역할을 하며, 이중 반규관에서는 각가속운동(angular acceleration)이나 회전가속운동(rotary acceleration)시 그 운동의 방향과 가속상태를 감지할 수 있으며, 난형낭과 구형낭 내의 이석기관(otolith organ)은 사람이 반듯이 일어섰을 때 중력의 방향에 대한 머리의 위치 변화와 선가속운동(linear acceleration)에 민감하게 반응한다. 머리의 위치가 변하면, 말초전정계의 흥분반응으로 구심성 신호가 뇌간의 전정신경핵을 통해 감지하게 된다. 머리가 회전하면 반규관은 머리와 같은 방향으로 움직이지만, 그 속의 림프액은 그 자체의 관성이 사라져 등속운동시에는 회전을 감지하지 못한다. 또한, 빠른 회전에 따른 반규관의 이상자극이 발생하면 이는 현기증(dizziness), 멀미(sickness)등을 일으키게 된다 [1-3]. 즉 일정범위의 회전자극에 대해서는 전정기관이 평형을 유지 할 수 있지만, 그 이상이나 이하가 되면 그 기능을 상실하고 자세 부조화를 초래한다. 그러나 선행 연구들의 경우 어떤 회전 주파수에서 균형이 깨어지고, 회복시간은 어느 정도인

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구과제 (과제번호 : 97-04-03-06-01-3)의 지원에 의하여 수행되었음

지 등에 대한 정량적으로 보고된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 일정 범위의 회전자극이 주어졌을 때, 신체 균형이 깨어지는 것을 [4-6] COP, 피로도 테스트, 눈 주위의 체열등 분석을 통해 평형 정도를 알아보고자 한다.

2. 본론

2.1 실험장치의 구성

본 실험을 위한 실험장치로는 회전 자극 제시장치(rotating chair)를 자체 제작하였으며, 방음암실을 제작하여 외부로부터의 잡음 등의 영향을 최소화하였으며, 일정 온도와 습도를 유지하여 실험오차를 최소화하였다.

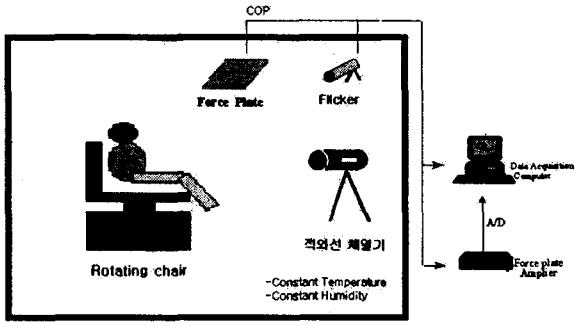


그림1 회전자극제시 및 생체신호 계측 구성도

2.2 회전자극 검출을 위한 측정장치 구성

2.2.1 압력중심(center of pressure, COP)

신체의 압력중심의 동요정도는 자세유지능력의 평가방법 중 하나이며, 인체가 정적인 자세를 유지하는 동안 압력중심의 변화정도를 측정하여 자세안정도를 반영하여 지표를 산출하는 기법과, 자세유지에 영향을 미치는 각종 인자들과의 상관관계를 비교하는 연구들이 수행되었다. 선행연구에 의하면, 압력중심의 궤적이 차지하는 면적지표 보다는 움직이는 누적거리 지표가 자세안정도와 더 관련이 있음을 보고하였다[7]. 본 연구에서는 피험자는 자극 제시 전/후 힘판 위에 기립하여 40초간 정적인 자세를 유지하는 동안 압력중심의 총 누적거리를 측정 및 분석하였다. 통계학적인 유의성을 검증하기 위하여 회전자극 제시 전/후 t-test를 하였다.

2.2.2 피로도 테스트

광원을 일정속도이하로 점멸시키면 깜박임이 나타나고, 점멸속도를 높여가면 깜박임이 사라지면서 연속된 빛으로서 느낀다. 이 현상을 깜박임의 융합이라 하며, 융합을 일으키기 시작할 때의 점멸주파수를 플리커 치(critical flicker fusion frequency, CFFF)라고 한다. 플리커 치는 망막의 활동상태를 나타내며 대뇌기능의 흥분성 및 긴장도를 표현하는 지표의 하나로서, 그 변화를 중추피로의 판정에 이용하고 있으며, 지금까지 근적(physical)작업 및 심적(psycholgical)작업에 의한 영향에 대한 신체 부담도나 정신집중도 등의 정도를 평가하는데 폭넓게 이용되고 있다. 본 연구에서는 TAKEI KIKI KOGYO사의 FLICKER를 사용하였고 실험 전/후에 각각 세 번씩 플리커 치를 측정하여 이에 대한 평균을 내었으며, 실험 전후 데이터 간의 통계학적인 유의성을 검증하기 위하여 전/후의 t-test를 거쳐서 피로도의 지표로 사용하였다.

2.2.3 체열 변화 측정

신체의 온도 항상성으로 인하여 체표의 온도는 자극에 따라 온도 변화가 일어나는 것은 잘 알려진 사실이다. 전정기관 자극에 의한 신체의 체열변화를 민감하게 감지할 수 있는 부위는 안구이다. 안구에 흐르는 혈류량의 변화로 인하여 눈 주위의 온도 역시 변화 할 것이라 예측할 수 있다. 이 같은 눈 주위의 온도변화를 측정할 장비로는 THERMOVISION 570(AGEMA Infrared Systems)을 사용하였다. 회전자극 전/후의 눈 주위의 온도변화를 관측하여 그 유의성을 검증하였다.

2.3 전정기관의 자극 방법

전정기관의 자극은 두부의 자발적인 회전에 의한 방법과 회전의자에 의한 방법을 채택하였

다. 피험자는 평형감 내지 안구에 이상이 없는 20~26세의 정상성인 남녀 각각 20명을 대상으로 하였다.

2.3.1 자발적인 두부회전에 따른 전정자극의 평형감 측정

본 실험은 자발적인 두부회전에 의한 전정자극이 평형감에 미치는 영향을 검토하였다. 자의에 의해 두부에 가해지는 회전자극은 yaw, roll, pitch방향 순으로 하였다. yaw방향 자극을 위해 시선을 중심으로 머리를 좌우방향으로 각각 45도 선회시켜 약 90도 정도의 회전 자극을 가하도록 하였다. roll방향 자극은 어깨와 어깨 사이를 90도정도로 회전시켰다. pitch방향 자극을 위해서는 두부와 몸통을 앞뒤로 구부리게 하여 자극시켰다. 상기한 각각의 회전 자극에 대해서는 눈을 감은 상태에서 회전을 하도록 하여 총 3종류의 회전 자극 패턴이 되도록 하였다. 각 측정시 피험자는 실험자의 지시에 의하여 두부를 회전시키도록 하였으며, 움직임 간격은 미리 설정된 여섯 개의 주파수 자극에 의해 각 변곡점에 도달토록 하였다. 제시된 6가지 주파수는 각각 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4Hz이다. 매 실험마다 10회의 두부회전을 하였으며, 자극이 주어진 후 50초 동안 눈을 감은 상태에서 정면을 주시토록 하여 현기증 발생 후 회복시간을 측정하였다. 이들 6가지의 주파수자극에 대해서는 학습효과를 배제하기 위해 랜덤하게 제시하였으며, 각 패턴의 자극에 대하여 하루건너서 한번씩 실험을 실시하였다.

2.3.2 수동적인 회전자극에 따른 전정자극의 평형감 측정

신체에 회전자극을 인가하였을 때의 평형감을 측정하기 위해 회전자극을 주기 위한 위치제어와 속도제어가 자유로운 회전의자를 제작하였으며, 본 연구에서 제시한 회전 주파수는 0,01, 0.02, 0.05, 0.2, 0.5, 1Hz이며, 회전자극에 대한 측정장치와 제시방법은 자발적인 두부회전과 동일하다.

3. 결과 및 고찰

회전자극 전후의 인체의 평형감각 평가를 위한, 신체변화 정도를 알아보기 위하여 사용한 COP의 총 누적거리 변화를 표 1, 2에 나타내었다. 표 1은 두부회전 자극시 회전자극 전/후의 COP의 총 누적거리를 나타낸 것이다. 남성의 yaw방향 회전의 경우, 회전 전 15.3211cm에서 0.2 Hz 회전 후 거의 변화가 없지만, 4 Hz의 경우 21.2303cm로 누적거리가 5.81cm로 증가하였다. 이는 회전 주파수가 빨라질수록 총 누적거리가 증가함을 알 수 있다. 두부회전 방향에 따른 누적거리 변화는, 남녀 모두 누적거리가 증가했으며, 특히 여성의 경우 남성보다 누적거리가 조금씩 더 증가했음을 알 수 있다. 표 2에서 회전의자에 의한 자극에서도 남성의 경우 회전자극이 증가(0.01Hz -> 1Hz)할수록 누적거리(15.45 ->25.09cm)로 1.67배 증가함을 알 수 있으며 여성의 경우 1.78배로 남성보다 더 누적거리가 증가함을 알 수 있었다. 이 COP 총 누적거리의 증가는 전정기관에 대한 회전자극 결과 신체동요도가 증가했다는 의미로, 인체의 평형감각의 실조를 가져왔다는 것을 의미한다. 또한 남성보다 여성의 평형이 더 흐트러짐을 누적거리 증가로서 알 수 있고, 남녀 모두 yaw>pitch>roll의 순으로 전정자극에 민감함을 보였다. 통계학적인 유의성을 검증하기 위하여 회전자극 전후에 대하여 t-test를 실시한 결과 두부회전, RCT 모두 유의수준 0.05%이내에서 대부분 유의함을 알 수 있었다.

표 1 회전 자극 전후 두부회전에 따른 COP의 총 누적거리 변화(cm)

	reference		yaw		roll		pitch	
	male	female	male	female	male	female	male	female
0.2Hz	15.3	14.7	15.3	14.7	15.3	14.7	15.3	14.6
0.5Hz	15.3	14.6	16.2	15.6	15.3	14.6	15.8	15.6
1Hz	15.2	14.8	17.5	15.9	15.6	15.3	16.3	15.9
2Hz	15.3	14.7	20.0	18.2	17.0	16.1	18.2	18.0
3Hz	15.3	14.6	20.9	20.0	17.5	17.5	19.2	19.2
4Hz	15.4	14.7	21.2	21.6	18.3	18.6	19.3	20.3

표 2 회전 자극 전후 RCT에 의한 COP의 총 누적거리 변화(cm)

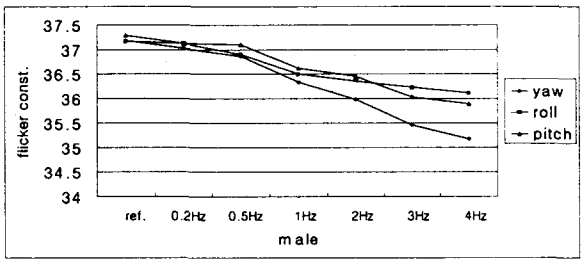
	male	female
ref.	15.4552	14.8553
0.01Hz	16.2235	14.7498
0.02Hz	16.3011	15.2265
0.05Hz	17.2566	17.3222
0.2Hz	20.2235	20.455
0.5Hz	22.5562	23.4418
1Hz	25.0882	26.4713

그림 2는 두부 회전자극 제시 전/후의 피로도 측정 결과를 도시한 것이다. 남성의 경우 두부 회전자극 제시 후 회전 속도가 높아짐에 따라 플리커 치가 감소하여 yaw 방향, 4 Hz의 경우 35.19로 회전자극 전(37.19)에 비해 5.4%, roll방향은 2.9%, pitch방향은 3.8%의 수치가 낮아져 회전자극이 인체 피로도에 영향을 미침을 알 수 있었다.

여성의 두부회전 결과 4 Hz에서 34.21로 자극 전(36.34)에 비해 5.9%, roll은 3.6%, pitch는 4.4%로 남성보다 조금 높은 수치를 나타냈으며 남녀 모두 yaw>pitch>roll의 순서로 플리커 수치가 점진적으로 감소하였다.

그림 3은 RCT 회전자극 전/후의 피로도를 측정한 결과인데, 남성은 자극전(37.31)에서 자극후 회전주파수 1 Hz의 플리커 치(35.43)가 5%, 여성은 자극전(36.41)에 비해 자극후(33.86) 8.6%만큼의 수치가 낮아져 RCT에서도 전정회전자극이 피로도에 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 피로도 테스트 결과는 HRV, COP분석 결과와 유사한 경향을 나타냈고, 회전자극 전/후 t검정 쌍체비교한 결과 값이 유의수준 0.05% 이내에 모두 만족하므로 평형기능 분석을 하는데 유용한 측정법이라 사료된다.

표 3는 회전자극제시 전/후의 눈 주위의 온도의 평균값들의 변화를 나타내고 있다. 남성의 yaw방향에 대한 두부회전 결과를 보면 실험전의 온도(33.52℃)와 비교하여 볼 때 4 Hz(33.94℃)로 0.42℃, 여성의 경우 실험전의 온도(33.57℃)에서 실험후의 온도(34.13℃)로 0.56℃만큼의 미소한 변화를 보이고 있다. 이는 RCT회전자극에서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다.



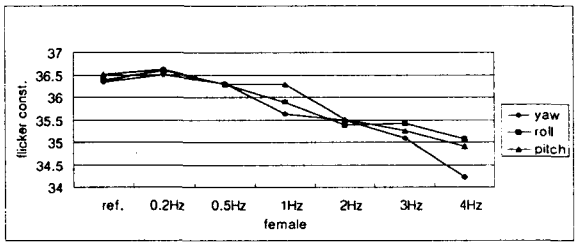


그림 2 성별에 따른 두부회전에 의한 Flicker test

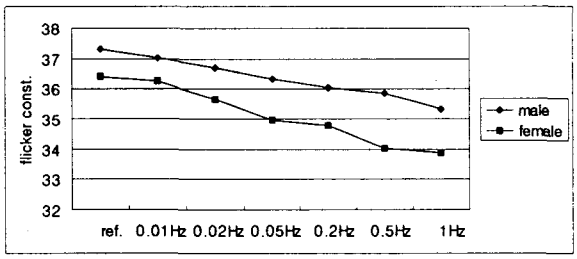


그림 3 RCT 회전자극에 의한 Flicker test

실제 각 회전자극의 실험 전 온도와의 t-test를 통해 양측검정한 결과 대부분의 경우 5%내에 들지 못하여 유의성을 찾을 수 없었다. 하지만 표3에서 보듯이 회전 자극이 빨라질수록 온도변화가 점차 증가함을 볼 수 있다. 회전자극이 눈주위에 영향을 미치고 이로 인해 혈류량이 변화하여 온도 또한 변할 것이라는 가설에 명확히 접근하지는 않았다. 하지만 심한 외부의 물리적 영향을 제외하고는 눈 주위의 체열변화 정도가 미세한 것이 일반적이므로 두부회전, RCT실험 모두 회전 속도가 증가함에 따라 체열도 증가하는 것은 주목할 부분이다.

그리고 체열변화 측정법은 회전자극에 의한 눈 주위의 온도변화에 대한 유의성은 볼 수 없었지만 체열변화의 경향성은 찾을 수 있을 수 있었다.

표 3 회전 자극 제시 후의 눈 주의의 온도변화 (*p<0.05, **p<0.01)

a)성별에 따른 두부회전 전후의 적외선 체열변화

	male				female			
	ref.	yaw	roll	pitch	ref.	yaw	roll	pitch
0.2hz	33.5	33.7	33.5	33.7	33.5	33.8	33.5	33.6
0.5hz	33.5	33.7	33.5	33.7	33.5	33.7	33.5	33.5
1hz	33.5	33.6	33.5	33.6	33.5	*33.9	33.6	33.6
2hz	33.5	*33.9	33.6	33.8	33.5	33.8	33.6	33.8
3hz	33.5	*33.9	33.8	33.9	33.5	*33.9	33.7	*33.9
4hz	33.5	*33.9	*33.9	*33.9	33.5	**34.1	*33.9	**33.9

b) 성별에 따른 RCT 전후의 적외선 체열 변화

	ref.	male	female
0.01hz	33.5043	33.5089	33.5133
0.02hz	33.5221	33.5191	33.6301
0.05hz	33.5212	33.7211	33.8922
0.2hz	33.5026	33.8852	*33.3854
0.5hz	33.5101	*33.9363	**33.9955
1hz	33.5201	**34.0211	**34.1181

4. 결론

본 연구에서는 COP측정, flicker test, 체열변화를 통하여 회전자극시 전정기관에 발생하는 불평형을 정량적으로 분석하고 평가하고자 하였다.

COP를 통한 신체동요도 측정 결과 회전자극 제시 후가 자극 제시 전에 비해 두부회전의 경우 총 누적거리가 최고 6.99cm 이동(1.47배) 하였었으며, RCT의 경우 11.62cm(1.78배)까지 이동해, 전정기관에 대한 회전자극 결과 신체동요도가 증가했으며, Flicker Test를 통해서 피로도를 측정한 결과, 회전 자극 후 2.9~8.6%만큼 플리커 수치가 감소하여($p<0.05$) 전정자극에 의해서 피로도가 증가됨을 알 수 있었다. 그러나 눈 주위의 체열변화는 유의한 수준의 변화는 나타나지 않았지만 변화의 경향성은 보였다. 이상의 회전자극 평가에서 남성보다 여성이 더 전정기관 자극에 민감하게 반응하며, 현기증 제시 후 회복시간도 긴 것으로 나타났다. 또한 남녀모두 yaw>pitch>roll 순으로 평형의 흐트러짐 정도가 증가했다.

본 연구를 통하여 평형감각기관의 매카니즘을 좀더 정량적으로 해석할 수 있었으며 스포츠, 의료기기, 우주항공분야 등의 평형감각측정 평가에 크게 기여할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. B. Cohen. J. Suzuki and M.B. Bender. "Eye movement from semicircular canal nerve stimulation in the cat", Ann Otol Rhinol Laryngol. Vol. 73, 153-169,1964
2. J. P. Kelly, "The sense of balance", Principles of Neuroscience(3rd edition), Appleton & Lange, 1991
3. M. H. Draper, "The adaptive effects of virtual interfaces: Vestibular-Ocular reflex and simulator sickness", University of Washington, pp. 30-38, 1998
4. N. G. Kim, B. G. Kim, and J. H. Cho, "Functional exploration of vestibular-ocular reflex by a rotatory stimulation" J. Kosobme., vol.9, no.2, 1988.
5. Kopp, Ch., N. G. Kim, "Functional exploration of optokinetic system by a full visual field stimulation" J. Kosobme., vol.10, no.2, 1989.
6. N. G. Kim, B. G. Kim, and J. H. Cho, "Functional Exploration of Vestibular-Ocular Reflex by a Rotatory Stimulation, J. of KOSOMBE, 9:171-177, 1988
7. Leslie B. Smith, MPA, "MSEH effect of chronic Low-Level Exposure to jet fuel on postural balance of US Air Force Personnel", Vol,39,No.7, July 1997