피겨스케이팅 훈련이 평형감각조직 및 전정안구반사에 미치는 효과

송상협 · 박우영

단국대학교

Abstract

Song, Sang-Hyup, Park, Woo-Young. The Effects of Figure Skating Training on Equilibrium Sensory Organization and Vestibular-Ocular Reflex. *Exercise Science*, 22(4) : 319-327, 2013. In order to determine the effect of figure skating on the functional plasticity of the vestibular system and sensory organ, we quantified sensory organization and vestibular-ocular reflex(VOR) in intensity in 12 female figure skating and 12 matched control subjects. Sensory organization test were conducted by posturography in neuroCom EquiTest and vestibular stimulation consisted of four cycle of sinusoidal rotation(.01 Hz, .04 Hz, .16 Hz, .64 Hz, 60 °/s). The results are as follows. Balance score and balance strategy score were higher than control, but were not significantly different. And figure and control group used somatosensory system to balance. During sinusoidal stimulations, the skaters' VOR, as compared with that of the controls, demonstrated a significantly lower gain($p<.05$), and phase advance($p<.05$). Symmetry was significantly lower($p<.05$) than in control subjects. Quantitative alterations in VOR parameters observed in figure skaters probably result from vestibular habituation induced by repeated unusual stimulations when practicing figure skating.

Key words : sensory organization, balance strategy, vestibular-ocular reflex(VOR), gain, phase, symmetry

초 록

송상협, 박우영. 피겨스케이팅 트레이닝이 평형감각조직 및 전정안구반사에 미치는 효과. 제22권 제4호, 319-327, 2013. 이 연구의 목적은 장기간의 피겨스케이팅이 감각조직 및 전정안구 반사에 미치는 영향을 조사하는 것이었다. 평균 연령 16세의 피겨경력이 6년 이상된 피겨선수들을 대상으로 평형감각조직 및 전정안구반사를 분석하였다. 평형감각조직 검사를 위해 동적자세검사기를 사용하였고, 전정안구반 검사를 위해 회전 의자 검사를 실시하였다. 연구 결과 감각조직 중 평형성, 평형전략의 경우 피겨선수들의 점수가 높은 것으로 나타났으나 두 집단 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 또한 피겨선수 및 통제군 모두 평형성 유지에 체성감각계를 가장 많이 이용하여 균형을 잡고, 시각계 및 전정계 순으로 이용하는 것으로 나타났다. 전정안구반사 결과 피겨군에서 유의한 이득의 감소를 보였고, 위상차 선행 또한 증가했으며, 대칭에서도 유의한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 결론적으로 반복적인 특정 피겨 훈련은 선수들의 전정계를 자극시켜 전정안구반사의 가소성을 높이는 것으로 사료된다.

주요어 : 감각조직, 평형전략, 전정안구반사, 이득, 위상차, 대칭

I. 서론

피겨스케이팅은 근력관련 체력과, 유연성, 유·무산소성 파워 및 평형성 등의 요인과 점프, 회전, 착지와 같은 운동능력(Mannix et al., 1996) 뿐만 아니라 공중 및 지상에서 아름다운 동작을 표현하는 예술성이 복합적으로 요구되는 스포츠 종목이다(Smith, 2000; Micheli et al., 1999). 피겨스케이팅 경기는 신체의 수직축을 중심으로 좌측이나 혹은 우측방향으로 빠른 속도의 회전운동을 수반하며(Aleshinsky et al., 1988), 회전 직후 다음 동작을 위한 자세의 조절이 요구되기 때문에 회전동작 중이나 회전 직후의 평형성 유지는 필수적이다(Podolsky et al., 1990). 평형성은 서있거나 움직이는 상태에서 인체의 무게중심으로부터 벗어나지 않으려는 성격으로 정의한다. 평형성을 유지하기 위해서는 시각계, 체성감각계 및 전정계로부터 구심성 정보가 뇌중추에서 통합 및 조절되어 안구와 사지의 운동 등에 관여하는 근육의 긴장을 반사적으로 조절함으로써 유지되며, 전정안구반사(vestibulo-ocular reflexes; VOR) 및 전정척수반사(vestibulo-spinal reflexes; VSR)가 관여한다고 보고되고 있다(Clément et al., 2013).

평형감각계는 태권도 및 유도(Perrin et al., 2010), 그리고 체조와(Gauffin et al., 1988) 같은 특정 신체훈련에 의해 향상된다고 보고하였고, 인체의 자세조절기능을 돕는 것으로 보고되고 있다(Rine et al., 1999). 특히 피겨 스케이팅은 높은 점프, 공중에서의 회전 및 미끄러운 얼음판에서의 착지 등은 평형감각계를 강하게 자극할 것으로 사료되며, 훈련에 의해 어떠한 평형감각계가 발달하는지에 대한 연구는 의미 있는 일로 사료된다. 그 이유로 종목이 다른 스포츠 현장을 가상해 볼 때, 지지면이 고정되어 있지 않고 움직이면 체성감각은 부정확한 정보가 되고, 이런 상황에서는 전정계가 시각이나 체성감각보다 우위에 있다고 보고하였기 때문이다(Paulus, 1984). 그러나 모든 상황에서 전정계가 시각계나 체성감각계보다 우위에 있는 것은 아니며, 지지면과 시야가 안정상태일 때에는 오히려 시각과 체성감각이 전정계보다 균형유지와 주위환경에 대한 변화에 훨씬 민감하다고 하였다(이정구 등, 2004). 피겨스케이팅을 대상으로 본 선행 연구에서 시도하려는 미로성, 시성 및 체성을 동시에 감지하고 파악하는 동적자세측정기를(dynamic posturography)를 이용하여 피겨스케이팅과 평형성 관련 연구는 찾아보기 힘들다. 또한 일반적으로 평형 유지시 발목을 이용한 전략을 발목전략(ankle strategy), 고관절을 이용한 전략을 고관절전략(hip strategy) 이라고 하는데 이러한 각 신체부위에 따라 이용하

는 평형전략을 상세히 검토한 연구는 부족한 실정이다(Nashner & McCollum, 1985). 피겨스케이팅은 미끄러운 빙판 위에서 중심을 잡기 위한 하체 및 발목근육의 발달이 높을 것으로 추측되어지며, 피겨스케이팅과 평형성과의 관련성을 다양한 조건의 스트레스 상황에서 평형전략 유지 방법을 검토하는 것은 피겨스케이팅뿐만 아니라 운동선수의 평형성 관련 트레이닝 방법을 제시하는데 유익한 자료가 될 것으로 생각된다.

한편 전정계의 감각기관인 팽대부릉과(crista ampullaris) 평형반(macula)은 머리의 회전운동과 직선운동을 감지하는 말초전정기관으로서 일차적인 역할은 머리 운동에 의해 발생하는 시각 혼란을 전정안구반사(vestibulo-ocular reflex)를 통하여 보상적인 안구운동을 유발시킴으로써 시각을 안정화시킨다(Ingersoll, 1993). 또한 회전이 의도적인 머리의 빠른 회전은 전정반사를 더욱 강화시키며, 목표물을 확인하게 하기 위한 안구의 추적운동(pursuit eye movement)이 종합적으로 유발되어 피겨와 같은 회전동작 중이나 회전 직후의 자세조절에 관여한다고 보고하였다(이정구 등, 2004).

전정안구반사와 관련된 선행연구에 의하면, 원숭이(Blair & Gavin, 1979), 고양이(Clément et al., 2002), 인간(Jager & Henn, 1981)을 대상으로 한 연구결과 습관(habituation)에 따라 이득(gain)의 감소와 시간상수(time constant)의 감소를 가져왔다는 보고가 있었다. 피겨와 유사한 회전운동인 전문 발레리나의 회전동작에 따른 숙련군의 안구운동 양상, 지속 시간 및 회전 후 안진에서 비숙련군에 비해 많은 차이를 보인다고 하였고(김인숙 등, 1993), 발레리나와 일반인과의 비교에서 이득이 짧아졌다는 결과와 전정계의 반응이 짧아졌다는 연구결과(Jager & Henn, 1981) 및 체조선수들을 대상으로 시계방향 및 반대방향으로의 회전 후 시간 상수가 감소되었다는 연구(Clément et al., 2002)가 있었다. 뿐만 아니라 공군사관학교 전투 비행사를 대상으로 한 연구에서는 이득의 감소가 아니라 오히려 증가라는 반대되는 의견을 보였다는 결과도 있었다(Lee et al., 2004; Schwarz & Henn, 1989).

피겨스케이팅을 대상으로 한 연구에서는 피겨선수 1명과 통제군 1명만을 대상으로 하여 전정안구반사가 짧아졌다는 연구(McCabe, 1960)와 통제군 없이 피겨선수만을 대상으로 실시한 연구에서 전정계 반응의 차이가 없었다는 연구(Collins, 1966)로 상반된 결과를 제시하였기도 하였다.

최근의 연구에 의하면 피겨스케이팅의 이득 및 위상차가 일반인보다 유의하게 낮았으나 시간상수에서 유의한 차이가 없었다는(Tanguy et al., 2008) 연구가 있었으나 13세로서

평형감각계가 완전히 성숙하지 않은 어린 대상자를 대상으로 하였고, 평형감각조직과의 관련성을 제시한 연구는 찾아보기 힘들다. 피겨스케이터는 다른 스포츠종목과는 다르게 동일한 방향으로 회전하면서 경기를 하는 특징이 있어서 만일 전정계가 동일 방향으로 자극이 된다면 실험을 통해 전정안구반사 반응에 대해 연구하는 것은 특정 훈련에 의한 전정안구반사의 가소성 측면과 규칙적인 운동이 전정계에 미치는 중요성을 강조할 수 있다는 측면에서 의미 있는 일이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 피겨스케이팅 훈련에 따른 감각조직과 전정안구반사에 미치는 가소성 향상 여부를 밝히고, 선수 간에 어떠한 기능이 떨어지는 데에 대한 정보를 제공하는데 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

현재 중·고등학교에 재학 중이며, 피겨선수로 활약중인 피겨스케이팅 경력이 6년 이상인 피겨 스케이터 12명(남 2명, 여 10명)과 동일 연령대의 주 2회 이상의 규칙적인 운동을 하지 않는 중·고등학생(남 2명, 여 10명)으로 하였다(Table 1). 피겨 선수들 모두 좌측으로 회전하는 습관을 지닌 선수로 하였다. 또한 평소 어지러움, 이비인후과 질환 등을 앓고 있는 대상자는 제외하였으며, 미성년자인 관계로 피검자, 보호자 및 인솔 지도자들에게 본 실험에 대한 설명을 자세하게 한 후 동의서를 수령 후 실시하였다.

2. 연구 설계

이 연구에 참여한 연구대상자에 대한 동질성 검사를 마친 후 피검자 전원은 D대학병원 평형성 및 어지러움 검사실에서 날짜를 달리하면서 의자회전검사를 통한 전정안구반사 및 동적자세검사를 통한 평형감각조직을 검사하였다. 본 검사는 각성이 중요하기 때문에 검사전날 충분한 수면을 취

하게 하였고, 무리한 운동을 금하게 하였으며, 검사실에 도착하여 충분히 안정을 취하게 한 후 실시하였다. 검사실에는 학습방지를 위해 검사자와 피검자 외 출입을 금하게 하였다. 검사의 순서는 피겨스케이팅 선수와 대조집단과 한명씩 조를 지어 조별로 교차되게 실시하였다.

3. 종속변인 측정

이 연구에서는 동적자세검사(dynamic posturography, NeuroCom, USA) 장비를 이용하여 평형감각조직(sensory organization)을 검사하였고, 회전의자검사(rotary chair testing, USA)를 이용하여 전정안구반사(vestibulo-ocular reflex; VOR)를 검사하였다.

1) 감각조직검사(Sensory Organization Test)

(1) 평형성(equilibrium) 검사

평형성검사는 체성감각을 선택적으로 자극하기 위해 발판의 고정 여부와 시각계의 선택적 자극을 위해 개안, 폐안 및 혼동시각을 조합하여 여섯 가지 조건(C1-C6)의 검사로 구성하였다. 각 조건에서의 검사(단, 1회 20초 간)는 각각 3회씩 실시하였다. 이 검사에서 평형성과 평형전략 점수를 동시에 산출할 수 있다.

C 1 : 눈을 뜨고, 주변시야 고정, 바닥 고정

C 2 : 눈을 감고, 바닥 고정

C 3 : 눈을 뜨고, 주변시야 흔들림, 바닥 고정

C 4 : 눈을 뜨고, 주변시야 고정, 바닥 흔들림

C 5 : 눈을 감고, 바닥 흔들림

C 6 : 눈을 뜨고, 주변시야 흔들림, 바닥 흔들림

(2) 평형전략(balance strategy) 검사

인체의 중심을 잡는 평형전략으로 인체는 주로 발목과 고관절에 의존하여 중심을 잡는다. 자동자세반사에 의해 무게 중심을 수정하는 동작은 발목을 축으로 하여 몸이 움직이는 족관절 전략(ankle strategy)과 고관절을 축으로 하는 고관절 전략(hip strategy)으로 구분된다. 평형전략점수는 기립한 자

Table 1. Physical characteristics of subjects

(M±SD)

Groups	Age(yrs)	Height(cm)	Body weight(kg)	Career(yrs)
Skaters	16.27±2.19	159.45±8.46	48.09±7.51	6.01±2.14
Control	16.54±2.11	161.63±7.32	49.54±3.38	0

Fig 1. Sensory organization test(Lee et al., 2004)

세에서 평형을 유지하기 위한 운동이 이용되는 족관절과 고관절의 비율로서, 완벽하게 족관절 만을 사용할 때를 100점, 고관절만을 사용할 때를 0점으로 정해 백분율로 나타낸 점수이다. 평형전략검사 방법은 평형성 검사와 동일한 조건에서 이루어지며, 평형성과 평형전략을 동시에 볼 수 있다.

(3) 감각비(sensory ration) 분석

감각분석비 검사는 평형감각기관의 개별기능을 보기 위한 과정으로서 6가지 조건(C1-6)의 평형점수를 바탕으로 체성감각비(SOMA), 시각비(VIS) 및 전정비(VEST) 등을 산출할 수 있다. 체성감각비는 조건 2의 평형점수를 조건 1의 평형점수로 나눈 것이다. 구심성 시각의 기능이 없을 때 체성감각이 전정계보다 더 우위에 있다는 데에서 비롯된 이론으로 이 값($SOMA=C2/C1$)으로 체성감각계의 기능을 검사하였다. 시각비는 시각계의 기능을 검사하기 위하여 조건 4의 평형점수를 조건 1의 평형점수로 나눈 것이다. 불안정한 체성감각의 조건시 시각계와 전정계가 기능을 할 때 시각계가 전정계보다 더욱 예민하다는 데에서 비롯된 이론으로 시각계의 기능을 나타낸다($VIS=C4/C1$). 전정비는 전정계의 기능을 검사하기 위하여 조건 5의 평형점수를 조건 1의 평형점수로 나눈 것이다. 즉 구심성 시각자극이 없고 부정확한 체성감각의 조건시 균형유지를 위하여 전정계를 이용하는 능력을 검사하는 값이다($VEST=C5/C1$).

2) 전정안구반사 - 회전의자 검사

회전의자검사(rotary chair testing)는 일반적으로 사용되는 Slow Harmonic Acceleration(SHA) 검사로, 컴퓨터로 제어된 모터로 움직이는 의자에 머리를 고정하고 앉아, 좌·우측으

로 향하는 여러 주파수에 걸친 회전자극을 가하여 안구운동 반응을 검사함으로써 전반적인 전정기능의 특성을 파악하는데 있다. 본 검사의 결과 이득(gain)과 위상차(phase) 및 좌우대칭(symmetry)을 산출해 낼 수 있다. 검사 방법은 다음과 같다.

(1) 검사환경

빛과 소리가 차단된 원통의 중앙에 설치된 회전의자에서 피검자는 눈을 뜨고 검사하였다. 실험실은 어둡게 하였으며, 피검자는 실험실에 도착하여 약 20분간의 안정을 취한 후 편안한 자세로 의자에 앉아 검사자의 설명을 듣고 검사에 임하였다. 검사자는 회전검사 시에 각성상태를 유지하기 위하여 숫자를 빼거나 더하게 하든지 또는 말을 걸어 각성상태를 확인하며 검사하였다. 안구운동을 측정하기 위한 전극을 두 눈 주변에 7군데를 붙였으며 수평안구운동의 측정을 위하여 양측의 외안각 및 내안각 가까이 4개의 전극을 각각 부착하나 피검자가 불편해 하지 않게 적당한 거리를 두었다. 수직안구운동의 측정을 위하여 좌측 혹은 우측안구의 상하에 전극을 2개 부착하였고 이마 중앙에는 접지선을 부착하였다. 피검자가 안경을 쓰는 경우 안경을 쓰고 검사하였으며, 피검자의 머리는 외측 반고리관이 수평에 위치하게 하기 위하여 똑바로 앉은 자세에서 머리를 30도 숙이고 몸을 의자에 단단히 고정시켰다. 몸을 움직이지 않게 함으로써 의자의 회전이 몸의 회전과 머리의 회전을 일치시켰고 적외선카메라가 장착되어 안진의 형태와 피검자의 상태를 살폈다. 외측 반고리관의 축이 회전축이 되어 정현파운동에 의한 수평안구운동을 관찰하고 분석하였다.

(2) 회전자극

일반적으로 사용되는 회전의자의 주파수의 범위는 0.01-1 Hz로, 각 검사의 주파수는 청력검사와 같이 각 주파수의 배수로 0.01, 0.04, 0.16, 0.64 Hz에서 검사하였다. 회전자극은 최고 각속도가 50-60 °/S의 자극강도를 갖는다. 각 주파수에서 회전자극의 지속시간은 중요하며, 최소한 일정한 반응을 나타내는 상태까지의 특성을 갖는 정도의 시간이 되어야 하며, 회전자극 후 최소 45초 이상이 되어야 자극에 의한 반응이 소실된다. 그러므로 낮은 회전수파수인 0.01 혹은 0.02 Hz에서 2-4회전의 완전한 회전자극에 소요되는 시간은 0.01 Hz에서 최소 245초이다(Wall, 1990). 그러나 피검자의 각성상태가 유지되지 않는 경우는 검사 중간에 휴식을 취하거나 검사를 반복해야 하는 경우가 있어 검사시간의 증가가 문제

Fig 2. Vestibular-ocular reflex test(Lee et al., 2004)

될 수도 있다.

3) 용어의 정의

- (1) 이득(gain) : 회전자극 후 일련의 보상적인 안진이 발생하며, 이득은 안구운동의 느린 성분의 최고속도와 회전의자의 최고속도의 비로 측정한다. 이득은 0.01 Hz에서 1 Hz까지 회전수파수가 증가함에 따라 증가한다.
- (2) 위상차(phase) : 위상차는 안구운동 최고속도의 시점과 회전의자(머리)의 최고속도 시점 사이의 시간관계를 각도로 표시한다.
- (3) 대칭(symmetry) : 대칭은 느린 성분 안구운동 최고속도의 좌, 우측의 비율로 백분율로 표시한다.

4. 통계처리

이 연구의 자료분석은 종속변인의 평균 및 표준편차를 구하고, 집단 간의 비교를 위해 독립표본 t-test를 실시하였다. 통계학적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 평형감각조직 결과

1) 평형성 결과

평형점수 분석 결과 <Table 2>에서 보는 바와 같이 모든 조건에서 피겨선수들의 평형점수가 높은 것으로 나타났으나 두 집단 간에 유의한 차이는 보이지 않았다. 또한 조건이 반복되면서 평형성 유지를 방해하는 스트레스 조건이 두 가지로 중복될 경우 잘 훈련된 피겨선수들도 낮은 점수를 보이는 것으로 나타났다. 조건 6가지를 합한 상태인 종합적 측면에서 볼 때 피겨선수에서 약 1.8의 높은 점수를 보였으나 통계적으로 유의하지는 않은 것으로 나타났다.

2) 평형전략 결과

평형전략 점수 결과 <Table 3>에서 보는 바와 같이 조건 1-3까지는 높은 점수를 보여 발목을 이용한 전략을 구사하는 것으로 나타났고, 조건 4, 5, 6으로 갈수록 평형유지에 대한 스트레스로 인해 평형전략 점수가 점차적으로 낮아지는 것으로 나타났다. 집단 간의 비교 결과 피겨선수 군에서 평형전략점수의 우위를 보였으나 통계적으로 유의하지는 않

Table 2. Results of equilibrium

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	(point) 종합
Skaters	91.09±2.91	90.45±3.44	85.72±4.58	70.54±12.85	60.45±15.73	55.81±17.87	70.63±9.91
Control	89.81±5.11	90.09±2.77	83.27±7.88	68.54±14.11	56.27±15.86	55.36±17.86	68.90±9.45
t	-.717	-.273	-.892	-.347	-.621	-.064	-.436
Sig	.482	.788	.383	.732	.542	.950	.667

C : condition

Table 3. Results of balance strategy

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	(point)
피겨선수	96.09±.68	96.18±.40	96.09±2.64	83.09±2.21	78.81±4.99	77.36±7.37	
일반학생	96.54±.30	96.63±.50	95.27±.30	81.00±6.89	75.63±7.41	75.72±11.59	
t	2.008	2.331	-1.018	-.957	-1.180	.395	
Sig	.058	.030	.321	.350	.252	.697	

C : condition * <.05

았다.

3) 감각분석비 결과

감각분석비 비교 결과 <Table 4>에서 보는 바와 같이 두 집단 모두 평형성 유지에 체성감각계를 가장 많이 이용하는 것으로 나타났고, 시각계, 전정계 순으로 나타났다. 집단 간의 비교 결과 대동소이 하여 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

	Skaters	Control	t	Sig
SOMA(C ₂ /C ₁)	.99±.05	.99±.04	.219	.829
VIS(C ₄ /C ₁)	.76±.13	.75±.15	-.189	.852
VEST(C ₅ /C ₁)	.65±.16	.61±.17	-.540	.595

2. 전정안구반사

전정안구반사 분석 결과 <Fig. 3>에서 보는 바와 같이 두 집단 모두 이득의 경우 회전주파수가 증가함에 따라 이득이 증가하는 것으로 나타났다. 집단 간 비교에서 피겨 집단에서 통제군에 비해 유의하게 이득이 감소한 것으로 나타났다 ($p<.05$). 위상차의 경우 <Fig. 4>에서 보는 바와 같이 주파수가 증가하면서 위상차가 감소하는 것으로 나타났고, 집단 간 비교에서 피겨집단이 유의하게 높은 것으로 나타났다 ($p<.05$). 대칭의 경우 <Fig. 5>에서 보는 바와 같이 피겨선수 집단에서 점차적으로 좌측으로 향하는 느린 성분의 안구 운동으로 인해 점차적으로 감소하는 것으로 나타났으나, 통제군의 경우 규칙적이지는 않았다. 집단 간의 비교에서도 피겨집단에서 높은 것으로 나타났다($p<.05$).

IV. 논의

이 연구의 목적은 장기간의 피겨스케이팅에 따른 평형감각조직 및 전정안구 반사에 미치는 영향을 분석하는 것이었다. 연구 결과 평형감각조직 중 평형성의 경우 모든 조건에서 피겨선수들의 평형성 점수가 높은 것으로 나타났으나, 두 집단 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 그러나 본 연구에서도 규칙적인 활동이나 스포츠 경험에 의한 평형감각계의 발달 및 자세조절기능을 돕는다는 Rine 등(1999)의

연구와 동일한 결과를 보였으나, 태권도 및 유도(Perrin et al., 2010), 그리고 체조와(Gauffin et al., 1988)와 같은 특정신체훈련에 의해 일반인에 비해 유의하게 향상된다는 결과와는 다소 다른 양상을 보였다.

평형전략 분석 결과 조건 2의 경우 유의한 점수 차이 보다 통계학적인 차이를 보였을 뿐 두 집단 간의 유의한 차이는 보이지 않았다. 조건 1, 2의 경우 일반학생과 대동소이 하였으나 조건 3, 4, 5, 6에서 피겨선수들의 점수가 높은 것은 일률적이지 않아 평형전략 측면에서는 피겨 스케이팅 훈련의 효과는 크게 없는 것으로 판단된다.

전정안구반사 결과 피겨스케이팅 군에서 이득의 유의한 감소와 위상차 선행의 유의한 증가와 더불어 높은 대칭과 더불어 시간상수에서 집단 간에 유의한 결과를 보였다. 이러한 결과는 원숭이나 고양이 및 인간을 대상으로 하여 반복적인 전정계 자극에 대한 습관에 따라 이득의 감소 및 앞선 위상차를 보여준다는 결과(Blair & Gavin, 1979; Clement, 2002; Jager & Henn, 1981)와 일치하는 결과로 보여 진다. 이러한 결과 또한 전문 발레리나를 대상으로 한 결과 안구운

Fig 3. Gain

Fig 4. Phase

Fig 5. Symmetry

동의 양상, 안구운동의 지속 시간 및 회전 후 안진에서 비우수군에 비해 많은 차이를 보였다는 결과(김인숙 등, 1993)와 체조선수를 대상으로 한 결과에서 이득의 감소를 보였다는 결과와 동일한 것으로 사료된다(Quarck & Denise, 2005). 피겨선수들을 대상으로 한 최근의 연구 결과에서도 이득과 위상차에서는 유의한 차이를 보이는 반면에 시간상수에서는 유의한 차이가 없었다는 결과를 발표하였으며, 시간 상수의 유의한 차이가 나지 않는 이유로 약 13세라는 낮은 연령대의 선수들로 인해 전정계가 완전하게 성숙되지 않은 이유를 들었다(Tanguy et al., 2008). 본 연구에서는 시간 상수를 분석하지 않았으나 차후 과제로 남겨두며, 본 연구에서는 16세로 대부분의 감각계 기능이 완전히 성숙하는 시기를 넘어서는 나이로 인해(Yagi et al., 1983), 시간상수의 어떠한 결과를 도출해낼지 궁금하다. 특히 시간상수는 위상차와의 관련성이 높아 본 연구에서 위상차의 유의한 선행이 시간상수의 단축을 불러온 것으로 예측된다. 이른바 이득(gain)은 안구운동이 느린 성분의 최고속도와 회전의자의 최고속도의 비로 회전자극 후 일련의 보상적인 안진이 발생하며, 정안구반사가 완벽한 경우 안구운동의 느린 성분은 머리운동속도가 거울에 미친 것 같이 머리운동과 반대되는 방향의 동일한 운동이 일어난다.

이득은 .01 Hz에서 1 Hz까지 회전주파수가 증가함에 따라 이득도 증가하는데(Blair & Gavin, 1979), 본 연구에서도 주파수가 높아가면서 두 집단 모두 이득이 증가하는 것으로 나타났다. 두 집단 간의 비교에서 피겨 집단의 이득이 낮은 것으로 나타나 장기간의 특정 훈련에 따른 전정계의 자극에 의한 가소성 결과로 사료된다. 위상차(phase)는 안구운동 반응의 최고속도의 시점과 회전의자(머리)의 최고속도 시점 사이의 시간관계를 각도로 표현한 것이다. 위상차는 회전검사의 지표 중 반복해서 나타낼 수 있는 가장 일반적인 지표로 회전자극의 주파수가 높은 경우 안구운동의 최고속도 시

점과 머리회전의 최고속도 시점이 거울상으로 일치한다고 하였다(Jager & Henn, 1981). 이 경우 위상차가 없어 안구와 의자 최고속도의 시간차이 위상차각도는 0이 되는데 회전속도가 1Hz 이하인 경우 안구운동의 최고속도 시점이 의자 최고속도 시점에 비해 우선적으로 나타나 위상차 각도가 나타나기 시작하고, 의자 회전속도가 감소할수록 위상차 각도가 더욱 커진다고 하였다(이정구 등, 2004). 본 연구에서도 주파수가 높아질수록 두 집단 모두 위상차가 점차 커지는 것으로 나타났으며, 피겨선수들의 경우 통제군에 비해 유의하게 큰 것으로 나타나 피겨 훈련의 가소성을 가늠할 수 있는 것으로 사료된다. 위상차 각도는 1 Hz에서 0도에 근접하거나 .05 Hz에서는 45°에 가깝게 되는데 이러한 현상을 위상차 선행이라고 하며, 본 연구에서도 .64 Hz부터 .01 Hz까지 낮추었을 때 보이는 안구운동의 이득과 위상차의 긍정적 변화로 사료된다. 즉 .64 Hz의 경우 회전의자와 안구운동의 차이가 크게 나타나지 않아 이득은 .62를 나타내나 주파수가 감소함에 따라 의자 속도는 감소하지 않으나 안구운동의 속도가 감소하여 이득이 현저하게 되어 .01 Hz인 경우 이득이 .31까지 감소하는 것을 관찰할 수 있었다.

또한 .64 Hz의 위상차 각도는 5.62도이나 .16 Hz일 때 6.81, .04 Hz일 때 19.45, .01 Hz일 때 49.20도로 회전 주파수가 감소함에 따라 안구운동과 의자속도의 정점과 간격은 벌어지는 것으로 나타났다. 즉 회전주파수가 감소함에 따라 위상차 각도가 증가하고 있는 것으로 판단된다(Skavenski et al., 1981). 대칭(symmetry)은 느린 성분 안구운동 최고속도의 좌, 우측의 비율로 백분율로 표시되며, 우측으로 향하는 느린 성분의 안구운동은 상방(양수)으로, 좌측으로 향하는 느린 성분의 안구운동은 하방(음수)로 표기하며, 좌우 15%까지를 정상범위로 한다. 본 연구 결과 두 집단 모두 .16 Hz에서 통제군만이 상방으로 나타났을 뿐 대부분의 경우 하방으로 나타났다. 약 13세의 피겨선수들을 대상으로 한 전정안구반사(정현파 자극 - .025 Hz, 60°/s) 결과 이득에서 통제군에 비해 17% 낮은 것으로 나타나 본 연구와 동일한 효과를 보였다고 할 수 있으며, 위상차의 경우에도 10°대 -0.3으로 앞서는 것으로 나타났으나 시간 상수(Tc)의 경우 유의한 차이가 없었다고 보고하였다(Tanguy et al., 2008). 본 연구에서는 약 16세의 피겨선수였으나 13세 피겨선수와의 비교에서도 변인의 유의한 차이를 보이는 것은 일정한 훈련기간에 따른 전정계 자극 습관은 전정안구반사에서는 유의하게 긍정적인 영향을 미치는 것으로 볼 수 있을 것이다. 또한 체조선수들을 대상으로 한 시계반대방향으로의 회전자극에 따

른 전정계 반응 결과에서도 대칭 감소에 따른 시간상수의 단축을 보였다고 하여(Quark & Denise, 2005), 피겨나 체조와 같은 공중에서의 회전운동에 따른 전정계 자극에 따른 결과로 사료된다. 그러나 공군사관학교 파일럿을 대상으로 한 결과에서는 이득이 오히려 증가했다는 반대되는 결과를 보이기도 하였다(Lee et al., 2004; Schwarz & Henn, 1989). 이러한 결과는 일상훈련의 강도 및 양이나 형태의 차이에 따른 전정계 자극정도 차이 때문으로 사료된다.

요약하면 피겨선수들의 이득에서 유의한 감소를, 위상차에서 유의하게 앞서는 결과를, 대칭 및 시간상수에서도 높은 점수를 보여 특정 훈련에 따른 전정계 자극으로 인해 전정계의 가소성이 발달한 것으로 사료된다.

V. 결론

이 연구의 목적은 장기간의 피겨스케이팅에 따른 감각조직 및 전정안구 반사에 미치는 영향을 조사하는 것이었다. 평균 연령 16세의 피겨경력이 6년 이상된 피겨선수들을 대상으로 평형감각조직 및 전정안구반사를 분석하였다. 연구 결과 감각조직 중 평형성, 평형전략의 경우 두 집단 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 또한 피겨선수 및 통제군 모두 평형성 유지에 체성감각계를 가장 많이 이용하여 균형을 잡고, 시각계 및 전정계 순으로 이용하는 것으로 나타났다. 전정안구반사 결과 피겨군에서 유의한 이득의 감소를 보였고, 위상차 선행 또한 증가했으며, 대칭 및 시간상수에서도 유의한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 결론적으로 반복적인 특정 피겨 훈련은 선수들의 전정계를 자극시켜 전정안구반사의 가소성을 높이는 것으로 사료된다.

제언 : 차후 step velocity 검사를 통한 전정계 반응과 시간상수 및 멀미(motion sickness)와의 관련성을 분석해야 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- 김인숙, 김동희, 박병림 (1993). Ballet Pirouette 동작시 전역할. 한국체육학회, 32(2): 201-209.
- 이정구, 김재일, 박현민 (2004). 어지러움. 서울: 단국대학교

출판부. 161-180.

- Aleshinsky, S. Y., Podolsky, A., & McQueen, C. (1988). Strength and conditioning program for figure skating. NSCA J., 10: 26-30.
- Blair, S. M., & Gavin, M. (1979). Response of the vestibulo-ocular reflex to differing programs of a acceleration. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 18(10): 1086-1090.
- Clément, G., Flandrin, J. M., & Courjon, J. H. (2002). Comparison between habituation of the cat vestibulo-ocular reflex by velocity steps and sinusoidal vestibular stimulation in the dark. Exp. Brain Res., 142(2): 259-267.
- Clément, G., Tilikete, C., & Courjon, J. H. (2013). Influence of stimulus interval on the habituation of vestibulo-ocular reflex and sensation of rotation in humans. Neurosci. Lett., 9(549): 40-44.
- Collins, W. (1966). Vestibular responses from figure skaters. Aerosp. Med., 37: 1098-1104.
- Gauffin, H., Tropp, H., & Odenrick, P. (1988). Effect of ankle disk training on postural control in patients with functional instability of the joint. Int. J. Sport Med., 9: 141-144.
- Ingersoll, C. D. (1993). Long term effects of closed head injuries in sports. Sports Med., 16: 342-354.
- Jager, J., & Henn, V. (1981). Habituation of the vestibulo-ocular reflex(VOR) in monkey during sinusoidal rotation in the dark. Exp. Brain Res., 41: 108-114.
- Lee, M. Y., Kim, M. S., & Park, B. R. (2004). Adaptation of the horizontal vestibulo-ocular reflex in pilots. Laryngoscope, 114: 897-902.
- Mannix, E. T., Healy, A., & Farber, M. O. (1996). Aerobic power and supramaximal endurance of competitive figure skaters. J. Sports Med. Phys. Fitness, 36: 161-168.
- McCabe, B. F. (1960). Vestibular suppression in figure skaters. Trans. Am. Acad. Ophthalmol. Otolaryngol., 64: 264-268.
- Micheli, L. J., Greene, H. S., & Cassella, M. (1999). Assessment of flexibility in young female skaters with the modified marshall test. J. Pediatr. Orthop., 19: 665-668.
- Nashner, L. M., & McCollum, G. (1985). The organization of human postural movements: A formal basis and

- experimental synthesis. *Behav. Brain Sci.*, 8: 135-172.
- Paulus, W., Straube, A., & Brandt, T. (1984). Visual stabilization of posture. Physiological stimulus characteristic and clinical aspects. *Brain*, 107: 1143-1163.
- Perrin, P., Gauchard, G. C., & Lion, A. (2010). Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait Posture*, 15: 187-194.
- Podolsky, A., Kaufman, K. R., Cahalan, T. D., Aleshinsky, S. Y., & Chao, E. Y. (1990). The relationship of strength and jump height in figure skaters. *Am. J. Sports Med.*, 18(4): 400-405.
- Quark, G., & Denise, P. (2005). Characteristic of reflex vestibulo-ocular in gymnastics. *Neurosci. lett.*, 287: 49-52.
- Rine, R. M., Schubert, M. C., & Balkany, T. J. (1999). Visual-vestibular habituation and balance training for motion sickness. *Phys. Ther.*, 79(10): 949-957.
- Schwarz, U., & Henn, V. (1989). Vestibular habituation in student pilots. *Aviat. Space Environ. Med.*, 60: 755-761.
- Skavenski, A. A., Blair, S. M., & Westheimer, G. (1981). The effect of habituating vestibular and optokinetic nystagmus on each other. *J. Neurosci.*, 1(4): 351-357.
- Smith, A. D. (2000). The young skater. *Clin. Sports Med.*, 19: 741-755.
- Tanguy, S., Quarck, G., Etard, O., Gauthier, A., & Denise, P. (2008). Vestibulo-ocular reflex and motion sickness in figure skaters. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 104: 1031-1037.
- Wall, C. 3rd, & Furman, J. M. (1990). Visual-vestibular interaction in humans during earth-horizontal axis rotation. *Acta Otolaryngol.*, 109(5-6): 337-344.
- Yagi, T., Sekine, S., & Shimizu, M. (1983). Age dependent changes in the gains of the vestibulo-ocular reflex in humans. *Adv. Otorhinolaryngol.*, 30: 9-12.

논문투고일 : 2013. 08. 28
심사일 : 2013. 09. 22
심사완료일 : 2013. 11. 12