



한국여성체육학회지, 2021. 제35권 제2호. pp. 65-76
Journal of Korean Association of Physical Education and Sport for Girls and Women
2021. Vol.35, No.2, pp. 65-76
<https://doi.org/10.16915/jkapesgw.2021.6.35.2.65>(ISSN 1229-6341)

전통적 운동 심상 패러다임을 통해 육상트랙을 반시계방향으로 뒀을 때의 특징적 뇌 활성화: fMRI 연구*

권세창(경북대학교, 강사)·김진구** (경북대학교, 교수)·김유진(세종대학교, 강사)

국문초록

본 연구는 왜 사람들이 운동장을 반시계방향으로 도는가에 대한 궁금증에서 시작하였다. 스포츠 영역에서 여전히 난제로 남아 있는 이 질문에 대해 운동 방향에 대한 뇌 활성화의 변화를 측정함으로써 운동 방향 간 어떠한 신경생리학적 기전의 차이가 발생하는지를 실증적으로 확인해보는 것이 본 연구의 주요 목적이다. 이를 위해 21명의 연구참여자(21.04세)를 대상으로 전통적인 운동 심상 패러다임을 사용하여 기능적 자기영상분석법(fMRI)을 통해 운동 방향 간 뇌 활성화 차이를 분석하였다. 영상분석 과정에서 통계적으로 $p < .05$ 일 때 의미 있는 영역으로 판단하였으며, 시계방향과 반시계방향의 운동 심상 수행의 뇌 활성화 차이를 비교하기 위해 t 검증을 실시하였다. 그 결과, 시계방향으로 운동 심상 시 하두정피질과 우측 상두정피질 및 배외측 전전두피질에서 유의한 활성화가 관찰되었다. 이러한 결과는 효과적인 운동 및 움직임 계획과 조절 및 인지적 처리로 이어지는 신경 네트워크가 관련되어 있음을 보여준다.

한글주요어 : 운동 심상, 운동장, 반시계방향, 뇌 활성화, fMRI

* 이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2016S1A5A2A01023896)

** 김진구, 경북대학교, E-mail : jgkim@knu.ac.kr

I. 서론

만약 운동장의 원형 트랙 위에서 한 방향으로만 달려야 한다면, 과연 사람들은 어느 방향으로 달리는 것을 선호할까? 인간의 방향 편향성을 알아본 선행연구 결과에 따르면, 대부분의 실험 참가자(mean age=35.6, SD=8.8)는 원형의 운동장을 달릴 때 반시계방향을 명백히 선호하는 경향을 보였다(Toussaint & Fagard, 2008). 이와 같이, 달리기와 같은 운동 수행 시 반시계방향에 대한 높은 선호 경향의 이유를 학문적 접근을 통해 알아보고자 하는 것이 본 연구의 출발점이었다.

흥미롭게도 트랙에서 실시되는 모든 스포츠 경기의 진행 방향은 반시계방향이다. 이러한 규칙은 직접 신체를 이용하여 트랙에서 경쟁하는 스포츠 종목(육상, 빙상, 사이클 등) 이외에 경마나 모터스포츠와 같이 신체적 움직임의 개입이 최소화되는 경기형태에서도 동일하게 적용되고 있다. 사람들은 왜 운동장 트랙을 달릴 때 시계방향보다 반시계방향을 선호하는 경향을 보이는지 그리고 어떠한 과학적 이유로 많은 스포츠 경기에서 시계방향이 아닌 반시계방향으로 경기가 진행되는 것인지에 대한 궁금증은 지금까지도 명확하게 밝혀지지 않은 난제(millennium problem)로 남아 있다(권세창, 김진구, 김유진, 2020). 이러한 의문에 대한 학문적 접근은 대부분 인간과 동물의 방향편향과 관련된 관점에서 연구되어 왔다(권민지 등, 2018; Adamkova et al., 2021; Gordon, Busdiecker, & Bracha, 1992; Streuli, Obrist, & Brugger, 2017; Toussaint & Fagard,

2008). 이집게도, 행동 분석을 기반으로 한 여러 방향편향 관련 연구들은 다소 일관적이지 못한 연구결과들을 우리에게 제시하였다. “선수들(athletes)이 반시계방향으로 트랙을 달리는 이유”라는 주제로 진행된 연구(Tavakkoli & Jose, 2013)에서는 고대 로마와 그리스 역사를 중심으로 한 발생론적 접근과 생체역학 및 생리학적 접근 그리고 진화론적 이유 등 다양한 관점에서 질문에 대한 해답을 찾으려는 노력이 있었다. 하지만 대부분의 접근은 과학적 혹은 실증적으로 규명된 사실이 아닌 문헌 중심으로 해석된 추정과 가정(설)에 불과하다는 한계가 존재한다. 또한, 인간행동 연구의 결과로 방향편향에 관여하는 모든 내재적 그리고 외재적 요인을 고려하고 통제하지 못한다는 측면에서 연구 설계의 어려움과 연구결과의 일관성을 확보하지 못한다는 한계가 존재하는 것이 사실이다(Lenoir, Overschelde, Rycke, & Musch, 2006).

최근 반시계방향으로 운동장 트랙을 뛸 때의 신경생리학적 정서변화를 알아본 연구(권세창, 김진구, 김유진, 2020)에서는 운동 심상 과제를 사용하여 신경심리학적 측면에서 연구 질문에 접근함으로써 제한적인 실험실 연구 환경에서 실증적인 접근을 시도하였다. 특히, 선행연구(권세창, 김진구, 김유진, 2020)에서는 정서적 차이로 인해 운동 방향에 대한 편향이 나타날 것이라는 가정하에 연구가 수행되었고, 뇌파 분석을 통해 대뇌에서 나타나는 반구의 비대칭적 활성화를 바탕으로 운동 방향성에 대한 편향이 신경생리학적 정서 메카니즘에 기인할 수 있다는 결과를 제시하였다. 하지만 본 연구에서는 공간적 해상도가 높은 기능적 자기공명영상법(fMRI)을 이용하여 연구가설에 접근함으로써

써 정서적 측면뿐만 아니라 어떠한 신경생리학적 기전이 인간의 운동 방향성에 대한 편향을 결정하는지를 구체적으로 확인할 수 있다는 점에서 선행 연구와의 차별성을 가진다.

운동 심상의 효과성은 이미 많은 신경과학 연구(행동 제어 및 인지 관련 연구)에서 증명되어 효과적인 실험과제 중 하나라는 사실은 모두 동의하는 사실이다 (de Lange, Helmich, & Toni, 2006; Qiu et al., 2017). 비록 실제 운동 수행 시와 비교하여 운동 심상 시 활성화되는 신경학적 흥분 수준이 상대적으로 낮은 것은 사실이지만, 운동 심상을 통해 나타나는 근 세포와 신경세포의 활성화는 실제 운동 수행 시 보이는 활성화와 매우 유사한 것으로 밝혀졌다(Berman, Horovitz, Venkataraman, & Hallett, 2012; Grospretre, Ruffino, & Lebon, 2016; Hallett et al., 1994; Jeannerod, 1995). 이러한 측면에서 신경생리학적 접근을 통해 인간행동이나 심리에 대한 메커니즘을 실증적으로 규명하는 데 있어 운동 심상 과제의 적용은 적절할 수 있음을 시사한다.

움직임, 감각, 인지 등을 포함하는 신경생리학적 접근은 지난 30년간 다양한 연구 영역에서 주요 연구방법 중 하나로 확립되기 시작하면서 스포츠심리학 분야에서도 움직임과 생체 신호 간의 데이터 기록과 분석을 통해 실제 운동 수행과 신경심리학적 반응은 본질적으로 연결되어 있음을 이해하게 되었다(Cheron, 2015). 이러한 신경생리학적 접근을 통해 반시계방향 운동에 대한 선호 경향과 방향편향에 대해 알아본 연구는 국내·외적으로 극히 드물다. 최근에 뇌파(EEG)를 통해 대뇌반구 비대칭적 활성화를 분석하여 정서변화를 알아본 연구에서는 전두

엽의 비대칭적 활성화가 관찰되었는데, 특히 시계방향으로 달리는 운동 심상을 수행하는 동안 좌반구에 비해 우반구의 활성화(부정적 정서)가 상대적으로 높게 나타났다(권세창, 김진구, 김유진, 2020). 이러한 결과는 운동 수행 방향에 따라 형성된 정서적 변화가 운동 선호 방향을 결정하는 데 있어 의미 있는 역할을 할 수 있음을 시사한다. 심상을 주제로 한 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging: fMRI) 연구에서는 심상을 하는 동안 뇌의 특정 부위의 산소 소비 수준을 중심으로 뇌 혈류의 산화도(blood oxygenation)를 측정하여 뇌의 활성화 정도를 알아보게 되는데, 일반적으로 시각적 단서를 활용한 운동 심상의 경우, 일차시각피질(primary visual cortex), 시상(thalamus), 기저핵(basal ganglia), 해마결피질(parahippocampal cortical areas), 전정(vestibular), 체성감각피질(somatosensory cortex), 일차운동피질(primary motor cortex) 및 보조운동영역(supplementary motor area; SMA)의 활성화와 관련이 있다고 보고된다(김진구 등 2010; Kilintari et al., 2016). 흥미롭게도, 달리는 운동 심상을 수행하는 동안 전정(vestibular)과 체성감각피질(somatosensory cortex)의 활성화가 억제되었는데, 이러한 이유는 감각 신호를 바탕으로 최적의 운동패턴을 유지하려고 경향과 관련이 있다고 보고하였다(Jahn et al., 2004). 또한, 운동 타이밍 조절과 관련된 운동 심상을 수행하는 동안 전전두엽(pre-frontal area)의 활성화가 관찰되었다(Wei & Luo, 2009). 이와 같은 결과는 운동 타이밍을 조절하기 위해 운동을 계획하는 과정에서 인지기능이 동원되어 전전두엽 영

역의 활성화에 영향을 미쳤음을 가정해 볼 수 있다.

이렇게도 운동 심상을 이용한 대부분의 fMRI 연구는 단일 표본만을 분석하였거나 서로 다른 심상 과제나 심상 환경 조건을 바탕으로 실험을 수행했기 때문에 순수하게 운동 심상으로부터 나타난 결과인지 단정하기가 어려울 뿐만 아니라 심상 과제나 심상 환경 조건의 차이로부터 발생한 결과인지 혹은 다른 변수에 의해 중재되어 나타난 결과인지에 대해 확신하기가 어렵다는 한계가 있다. 동일한 운동 심상 과제와 명확한 환경적 단서를 활용하여 운동 심상을 하는 동안 조건 간 나타나는 뇌 활성화 차이를 비교한다면 운동 심상에 따른 순수한 효과뿐만 아니라 조건 간 그 효과를 발생시킨 근본적인 메커니즘을 관찰할 수 있다는 점에서 본 연구는 매우 의미가 있다. 특히, 스포츠과학 영역에서 여전히 난제로 남아 있는 시계 운동 방향과 반시계 운동 방향에 대한 뇌 활성화의 변화를 측정함으로써 운동 방향 간 어떠한 신경생리학적 기전의 차이가 발생하는지 확인해 볼 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구의 목적은 운동 심상을 통해 시계 방향과 반시계방향으로 육상트랙을 달릴 때의 신경생리학적 변화와 기전의 차이를 자기공명 영상분석(fMRI)을 통해 실증적으로 규명하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구참여자(피험자)

본 연구를 위해 총 36명의 연구 참여희망자 중, 사전에 제공된 fMRI 측정 관련 사전 문진표와 심상

능력척도(Movement Imagery Questionnaire: MIQ) 결과를 바탕으로 총 21명의 연구참여자(남자 10명, 여자 11명)를 선정하였다(Mean age=21.04, SD=1.24). 신경생리학적 연구의 특성상, 신경질환과 뇌 및 정신과 관련 병력이 없는 사람을 대상으로 하였으며, 모든 연구참여자는 오른손잡이(right-handed)로 선정하였다. 또한, 사전 문진표 결과를 통해 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging: fMRI) 측정 시 문제가 될 수 있는 전자기기 및 금속을 체내·외에 삽입했거나 가지고 있는 사람은 본 연구의 대상에서 제외하였다. 본 연구는 대학윤리위원회(Institutional Review Board: IRB)로부터 허가를 받아 안전하게 실험을 진행하였다.

2. 실험과제 및 패러다임

본 연구에서는 fMRI 측정 전, 연구참여자들의 개인적인 심상 능력을 알아보기 위해 Sheehan(1967)이 개발한 MIQ를 사용하여 심상 능력을 검사하였다. MIQ는 7개 영역(시각, 청각, 촉각, 운동감각, 미각, 후각, 기관감각)에 대한 심상 능력을 확인하기 위해 총 35문항으로 구성되어 있고, 7점 척도로 연구참여자의 응답을 유도한다. 5문항씩으로 구성된 각 영역의 최고점수는 35점이며, 각 영역의 점수를 합친 MIQ의 최고점수는 245점으로 점수가 높을수록 심상 능력이 좋음을 의미한다. 연구 참여희망자 중, 상대적으로 MIQ 점수가 낮다고 판단되는 9명(M=148.77, SD=14.20)을 연구참여자 선정에서 제외하였고, 상대적으로 심상 능력이 우수하다고 판단되는 21명(M=183.90, SD=9.76)을 대상으로 실험을 진행하였다. MIQ의 내적 일치도 계수

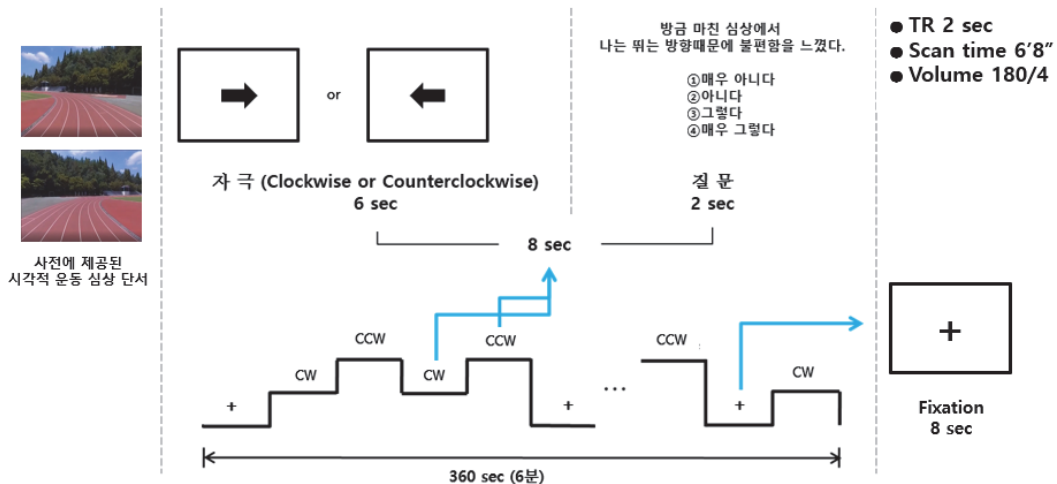


그림 1. 실험 패러다임(experimental paradigm)

(Cronbach's alpha)는 .92였다.

본 연구에서는 운동 심상을 주제로 한 선행연구 (Qiu et al., 2017)에서 전통적으로 사용되어온 실험과제(traditional arrow paradigm)와 fMRI 연구(Kim et al., 2018)에서 사용된 실험 패러다임을 본 연구의 목적에 맞게 수정·보완하여 사용하였다. 본 연구에서 사용된 실험 패러다임은 총 45회의 사이클(cycle)로 구성되어 있는데, 360sec 동안 반시계방향 운동 심상 자극(←)과 시계방향 운동 심상 자극 및 고정화면(fixation)이 무작위로 15번씩 반복된다. 모든 연구참여자는 실험 자극이 제시되는 시점부터 6sec 동안 육상트랙을 뛰는 운동 심상을 실시하였다. 그 후 운동 심상을 실시하면서 느꼈던 주관적인 정서 상태를 묻는 질문화면이 2sec 동안 제시된다. 이처럼, 한 사이클은 8sec으로 구성되어 있으며, 질문 “방금 마친 심상에서 나는 뛰는 방향 때문에 불편함을 느꼈다”에 대한 연구참여자 반응은 4점 척도(매우 그렇다,

그렇다, 아니다, 매우 아니다)로 response pad의 4개의 버튼 중 하나를 눌러 즉각적으로 응답을 할 수 있도록 유도하였다. fMRI 측정 전, 연구참여자들에게 일관되고 정확한 심상 환경 정보를 제공하고자 실제 육상트랙을 찍은 사진을 제공하여 운동 심상 시 환경 정보 및 단서로써 활용할 수 있도록 하였다. fMRI 측정 전 연구참여자들에게 제공된 시각적 운동 심상 단서(육상트랙)를 포함한 본 연구의 구체적인 실험 패러다임은 <그림 1>과 같다.

3. 실험도구 및 절차

본 연구에서는 3T GE Unit(Signa Excite HD, GE USA)를 사용하여 fMRI 데이터를 수집하였다.

모든 연구참여자는 사전에 fMRI 측정 관련 문진표와 MIQ를 작성하여 연구책임자에게 제출하였다. 연구참여자는 fMRI 측정을 위해 실험실에 도착하면 연구와 실험에 대한 설명을 듣고, 사전 교육을 받은 후, 연구동의서를 작성하였다. 그리고, 본 실험

험을 위해 준비된 편안한 옷으로 갈아입고, 운동 심상 과제 수행 시 활용할 수 있는 심상 환경 정보(육상 트랙 사진)를 연구책임자로부터 제공받았다. 연구참여자가 충분히 실험 환경에 적응되었다고 판단되었을 때, fMRI 챔버 안에 들어가서 편안한 자세로 누울 수 있도록 지시를 받았다. 측정 시, 신체의 흔들림을 최소화하기 위해 연구참여자의 머리와 몸을 고정시켰다. 연구참여자의 눈앞에 설치된 안경 형태의 패러다임 전달장치(stimulator)를 사용하여 스크린을 통해 실험과제를 전달하였다. 측정(scan time)은 총 6분 8초 동안 이루어졌으며, 실험 패러다임은 E-prime 2.0을 통해 구현되었다.

4. 영상처리 및 분석

본 연구에서는 EPI(echo-planar image) 기법을 사용하였다. 해부학적 뇌 영상은 T1 강조영상(3D FSPGR, TR=7.8ms, TE = 3.0ms, FOV = 240mm, matrix = 256×256, 120 slice with 1.3 slice thickness)을 촬영하였으며, 기능적 뇌 영상(TR = 2000ms, TE = 40ms, FOV = 240mm, matrix = 64×64)은 각 볼륨 당 31개의 뇌 절편(slice)을 single-shot EPI 방법을 통해 수집하였다. MRI 자료 분석은 MATLAB R2017a(The Mathworks Inc., Natick, MA, USA) 프로그램과 SPM12 (SPM: Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK)를 사용하였다. 데이터 분석은 slice timing 과정으로 볼륨 당 발생하는 시간적 오차를 수정하였고, 공간적 재배열(realignment) 과정을 통해 첫 번째 영상을 기준으로 하여 머리의 움직임에 교정하였다. 각 개인의 뇌 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준화된 뇌 공간

에 template image (Montreal Neurological Institute)를 사용하여 표준화(normalization) 하였고, 공간적 편평화(smooth)는 8mm FWHM(full-width at half-maximum) Isotropic Gaussian Kernel을 사용하여 실시하였다. 실험과제에서 사용된 자극의 반복적 제시에 따른 과제 효과와 혈액역반응함수(hemodynamic response function: hrf)에 대한 선형모델을 적용하였다. 모델의 구성 시 저주파 잡음(noise)은 128s의 high-pass filter를 이용하여 제거하였고, 조건들의 반복제시에 의한 혈액역반응함수의 효과는 SPM12가 제시하는 주파수의 low-pass filter로 제거하였다. 일반선형모델을 이용하여 개인의 뇌 활성화 영역을 획득하였고, 활성화된 개인의 뇌 영상 자료를 분석하여 활성화의 평균치를 구하였다. 마지막으로, 통계적으로 $p < .05$ 일 때 의미 있는 영역으로 판단하였고, 반시계방향과 시계방향의 운동 심상(motor imagery) 수행의 직접적인 뇌 활성화 차이를 비교하기 위해 t 검증을 실시하였다.

III. 연구결과

운동 심상 과제 수행 직후 제시된 질문 “방금 마친 심상에서 나는 뛰는 방향 때문에 불편함을 느꼈다”에 대한 응답을 자극 조건 간 평균 비교분석을 한 결과는 <표 1>과 같다.

표 1. 운동 심상 조건 간 연구참여자 응답 비교분석 결과: t 검정

조건	M	SD	t	p
시계방향 (n=21)	3.15	.61	-8.715	$p < .001$
반시계방향(n=21)	1.67	.47		

연구참여자들은 반시계방향 조건보다 시계방향 조건에서 운동 심상 수행 시 정서적 불편함을 더욱 크게 느끼는 것으로 나타났다($t=-8.715, df=40, p<.001$).

운동 심상 방향 조건 간의 뇌 활성화 영상을 비교 분석한 결과, <그림 2>와 같이 반시계방향 운동 심상 조건과 비교해 시계방향 운동 심상 조건에서 배외측 전전두피질(dorsolateral prefrontal cortex)과 우측 상두정 피질(right superior parietal cortex) 그리고 하두정 피질(inferior parietal cortex)의 유의한 활성화가 관찰되었다(uncorrected $p<.01, t$ -test).

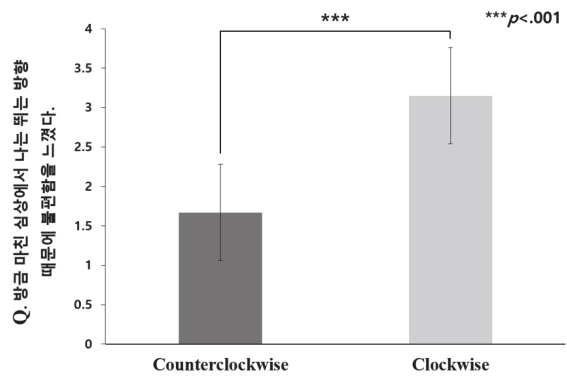


그림 2. 운동 심상 조건 간 연구참여자 응답 비교분석 결과

uncorrected 0.005 / cluster 64

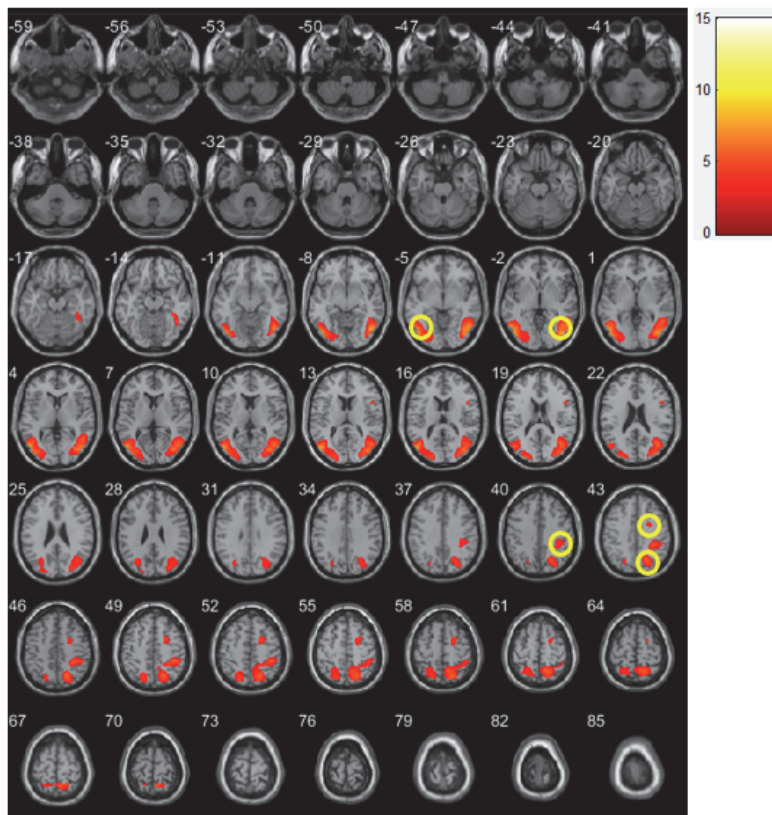


그림 3. 운동 심상을 통한 뇌 활성화 영역 (시계방향) 반시계방향: 하두정 피질(-2, -5), 우측 상두정 피질(40, 43하), 배외측 전전두피질(43상)

IV. 논의

본 연구에서는 시계방향과 반시계방향 운동 심상 조건에서 육상트랙을 달릴 때의 뇌 활성화를 fMRI를 통해 측정하여 분석하였다. 두 방향 조건 간 뇌 활성화 영역에 대한 평균 비교를 실시하여 두 방향 조건에서 공통적으로 관찰된 뇌 활성화를 상쇄시키킨 결과를 제시하였으며, 도출된 결과에 대한 논의는 다음과 같다.

운동 심상을 수행하는 동안 반시계방향 운동 심상 조건과 비교해 시계방향 운동 심상 조건에서 하두정영역(inferior parietal cortex)의 높은 활성화가 나타났다. 이러한 결과는 운동 심상 과정에서 심상 환경에 대한 상(이미지)을 구체화함에 있어서 그리고 달리기 위한 움직임을 계획하고, 달리는 동안 움직임을 조절함에 있어 더욱 많은 주의를 기울인 결과로 추정된다. 일반적으로 하두정영역에서는 시각 및 청각 정보와 체감각 정보를 함께 처리하는 것으로 알려져 있다(Kolb & Whishaw, 2004).

시각 및 청각 정보를 바탕으로 움직임에 대한 계획을 세우고 조절하는 것과 같이 인지적 과정에 관여하며, 실제적인 움직임에 대한 심상을 실시할 때 활성화는 더욱 증가한다(김진구 등, 2010; Kilintari et al., 2016; Ruby and Decety, 2001). 이와 같은 관점에서 보면, 시계방향으로 달리기 위한 구체적인 동작 구성과 움직임에 대한 준비과정을 포함하여 운동 수행 시에 최적의 움직임을 유지하는 데 있어 상대적으로 어려움을 겪을 수 있음을 의미한다. 하지만 이러한 신경생리학적

결과가 본질적인 운동 방향의 차이에서 기인한 것인지 아니면 학습이나 경험의 산물인지 판단하는데는 한계가 있는 것이 사실이다. 시각적 단서를 바탕으로 친숙한 경로(route)와 친숙하지 않은 경로 간의 뇌 활성화 차이를 fMRI를 통해 분석한 연구에서는 친숙하지 않은 경로를 가상으로 주행할 때, 더욱 많은 시각적 주의를 요구되었고 익숙한 경로와 비교해 높은 두정영역의 활성화가 관찰되었다(Husain, & Nachev, 2007; Thompson & Sabik, 2018). 따라서, 하두정엽의 활성화는 운동 방향에 대한 학습된 경험의 차이(친숙한 운동 방향 vs 친숙하지 않은 운동 방향)에 의한 결과로 추정된다. 그러나, 하두정영역의 속성 중 하나가 주의 조절과 자극(사건) 감지와 같은 비공간적 기능(Husain, & Nachev, 2007)을 하는 것이기에 단순히 학습된 경험으로부터 반시계방향과 시계방향 운동의 뇌 활성화 차이가 나타났다고 추정하기에는 한계가 있다고 판단된다.

운동 심상을 수행하는 동안 반시계방향 운동 심상 조건과 비교해 시계방향 운동 심상 조건에서 우측 상두정영역(right superior parietal cortex)의 높은 활성화가 나타났다. 이러한 결과는 운동 심상을 통해 시계방향으로 달리는 움직임을 계획하고 실행하기 위해 더욱 많은 집중과 인지적 처리가 요구된 결과로 판단된다. 상두정을 포함한 두정영역은 높은 인지기능 수행과 관련된 영역으로 사건(event)에 대한 추론 및 문제해결을 담당하는 영역이다(김우중, 김진구, 류광민, 2012). 높은 수준으로 과제 수행에 집중할 때, 상두정영역이 활성화된다는 연구(Farrer & Frith, 2002)가 본 연구

의 결과를 지지해 준다. 운동 심상 조건 간 연구참여자가 응답 비교분석 결과에서도 반시계방향 운동 심상 조건과 비교하여 시계방향 운동 심상 조건에서 연구참여자들은 더욱 많은 불편함을 느낀 것으로 보고하였는데, 평소 익숙하지 않은 운동 방향으로 운동을 계획하고 실행하는 데 있어서 상대적으로 익숙하고 편한 운동 방향에 비해 운동 심상 시 고도의 집중이 요구되는 인지적 처리 과정의 결과로 높은 뇌 활성화가 나타났으며 동시에 주관적인 불편함이 동반된 것으로 여겨진다. 익숙하지 않은 공간 탐색 관련 시각적 조건에서 우측 상두정영역의 활성화와 행동 분석결과 간의 부적 상관관계를 규명한 연구(Ohnishi et al., 2016)와 같이 본 연구에서도 익숙하지 않은 운동 방향으로 운동을 계획하고 수행함으로 인해 우측 상두정영역이 활성화되었을 것으로 보여진다.

마지막으로, 시계방향 운동 심상 조건에서 배외측 전전두피질(dorsolateral prefrontal cortex)의 활성화가 유의하게 나타났다. 이러한 결과는 운동 심상을 위한 환경적 이미지 조건을 탐색하고 시각적 의사결정을 하는 데 있어서 어려움을 겪은 결과로 판단된다. 심상과 시각적 정보 탐색을 주제로 한 연구에서 심상과 시각적 정보 탐색에 실패하거나 어려움을 겪을 경우, 정보 탐색에 더욱 많은 시각적 노력을 기울여 배외측 전전두피질의 활성화가 나타난다고 주장하여 본 연구의 결과를 지지해준

다. 따라서, 반시계방향 운동 심상 조건과 비교하여 시계방향 운동 심상 과제 수행 시 기억을 바탕으로 상(이미지)을 구체함에 있어 어려움을 겪은 것으로 판단되며, 이로 인해 운동 심상 시 더욱 많은 지각적 노력과 자원을 동원한 결과로 배외측 전전두피질이 활성화되었을 것으로 본다.

본 연구의 결과를 종합해보면, 시계방향 운동 심상 조건에서 움직임을 계획하고 조절에 관여하며 움직임을 실행하기 위해 인지적 처리가 동반되는 두정영역 및 전전두영역의 활성화가 나타났다. 이러한 영역이 활성화되었다는 것은 효과적인 운동과 움직임 계획과 조절 및 인지적 처리로 이어지는 신경 네트워크가 관련되어 있음을 보여주는 결과로, 실제 반시계방향 운동과 시계방향 운동 시 서로 다른 뇌 영역과 신경 네트워크의 활성화가 나타날 수 있다는 것으로 보여준다. 하지만, 앞서 언급한 것과 같이 본질적인 운동 방향의 차이에서 기인한 결과인지 아니면 학습이나 경험의 산물인지 판단하는 데는 한계가 있는 것이 사실이다. 따라서, 운동 학습과 경험 혹은 기억과 관련된 신경학적 네트워크를 알아보는 연구와 더불어 상대적으로 학습이나 경험이 적은 대상을 중심으로 후속 연구를 진행한다면 왜 많은 사람이 운동장을 달릴 때 반시계방향을 선호하는지 그리고 어떠한 기전으로 반시계방향을 달리는 것이 신경심리학적으로 우리에게 안정감과 좋은 수행결과를 가져오는지 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 권민지, 김유진, 이종민, 정현욱, 김진구(2018). 나이에 따른 방향편향 차이 연구. **한국여성체육학회지**, 32(1), 101-111.
- 권세창, 김진구, 김유진(2020). 심상으로 운동장을 반시계 방향으로 돌 때의 정서변화: 대뇌반구의 비대칭적 활성화에 관한 탐색적 연구. **한국체육학회지**, 59(3), 115-127.
- 김진구, 이견영, 권명화, 권은진(2010). 골프퍼팅에 대한 시각적 심상과 운동감각적 심상 시 뇌 활성화 차이. **체육과학연구**, 21(3), 1346-1354.
- 김우중, 김진구, 류광민(2012). 선택반응 시 전문가 비전문가의 뇌 활성화 차이: fMRI 연구. **한국스포츠심리학회지**, 23(2), 103-115.
- Adamkova, J., Benediktova, K., Svoboda, J., Bartoň, L., Vynikalova, L., Novakova, P., ... & Burda, H. (2021). Turning preference in dogs: North attracts while south repels. *PloS one*, 16(1), e0245940.
- Cheron, G. (2015). From biomechanics to sport psychology: the current oscillatory approach. *Frontiers in Psychology*, 6, 1642.
- de Lange, F. P., Helmich, R. C., & Toni, I. (2006). Posture influences motor imagery: an fMRI study. *Neuroimage*, 33(2), 609-617.
- Farrer, C., & Frith, C. D. (2002). Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage*, 15(3), 596-603.
- Gordon, H. W., Busdiecker, E. C., & Bracha, H. S. (1992). The relationship between leftward turning bias and visuospatial ability in humans. *International journal of neuroscience*, 65(1-4), 29-36.
- Huijbers, W., Pennartz, C. M., Rubin, D. C., & Daselaar, S. M. (2011). Imagery and retrieval of auditory and visual information: neural correlates of successful and unsuccessful performance. *Neuropsychologia*, 49(7), 1730-1740.
- Husain, M., & Nachev, P. (2007). Space and the parietal cortex. *Trends in cognitive sciences*, 11(1), 30-36.
- Jahn, K., Deutschlander, A., Stephan, T., Strupp, M., Wiesmann, M., & Brandt, T. (2004). Brain activation patterns during imagined stance and

- locomotion in functional magnetic resonance imaging. *Neuroimage*, 22(4), 1722-1731.
- Kilintari, M., Narayana, S., Babajani-Feremi, A., Rezaie, R., & Papanicolaou, A. C. (2016). Brain activation profiles during kinesthetic and visual imagery: An fMRI study. *Brain research*, 1646, 249-261.
- Lenoir, M., Van Overschelde, S., De Rycke, M., & Musch, E. (2006). Intrinsic and extrinsic factors of turning preferences in humans. *Neuroscience Letters*, 393(2-3), 179-183.
- Mader, M., Bresges, A., Topal, R., Busse, A., Forsting, M., & Gizewski, E. R. (2009). Simulated car driving in fMRI: Cerebral activation patterns driving an unfamiliar and a familiar route. *Neuroscience letters*, 464(3), 222-227.
- Ohnishi, T., Matsuda, H., Hirakata, M., & Ugawa, Y. (2006). Navigation ability dependent neural activation in the human brain: an fMRI study. *Neuroscience research*, 55(4), 361-369.
- Streuli, J. C., Obrist, G., & Brugger, P. (2017). Childrens' left-turning preference is not modulated by magical ideation. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 22(1), 90-104.
- Thompson, C., & Sabik, M. (2018). Allocation of attention in familiar and unfamiliar traffic scenarios. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 55, 188-198.
- Tavakkoli, M. H., & Jose, T. P. (2013). The reason why do athletes run around the track counter-clockwise. *Int. J. Educ. Dev*, 2, 23-30.
- Toussaint, Y., & Fagard, J. (2008). A counterclockwise bias in running. *Neuroscience letters*, 442(1), 59-62.
- Qiu, Z., Allison, B. Z., Jin, J., Zhang, Y., Wang, X., Li, W., & Cichocki, A. (2017). Optimized motor imagery paradigm based on imagining Chinese characters writing movement. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(7), 1009-1017.

The fMRI study on specific Brain Activation when Turning Counterclockwise on a Running Track using the Traditional Motor Imagery Paradigm

Sechang Kwon(Kyungpook National University, Lecturer) · Jingu Kim(Kyungpook National University, Professor) · Yujin Kim(Sejong University, Lecturer)

ABSTRACT

The main purpose of this study was to empirically investigate neurophysiological mechanisms between the different directions of movement by measuring the change in brain activation. A total of 21 participants (Mean age=21.04), all of whom were right-handed, participated in the study. The traditional motor image paradigm was used, and fMRI data were acquired. In the image analysis, when $p < .05$ was statistically determined as a meaningful area, *t*-test was performed to compare the difference in brain activation between the clockwise and counterclockwise motor image performance. As a result, significant activation was observed in the dorsolateral prefrontal cortex, right superior parietal cortex, and inferior parietal cortex during clockwise motor imagery. These results show that effective motor and movement planning and neural networks leading to regulation and cognitive processing are involved.

Key words: Motor imagery, Running track, Counterclockwise, Brain activation, fMRI

논문 접수일 : 2021. 5. 11

논문 승인일 : 2021. 5. 30

논문 게재일 : 2021. 6. 30