

Effects of Imagery Tennis Training on Cerebral Activity

Seokwon Jung¹, Min-sun Choi¹, Min-uk Kim¹, Hye-jin An¹, Min-gyeong Shin¹ and Oh-Young Kwon^{1,2,3}¹Department of Neurology, Gyeongsang National University Hospital, Jinju 660-702, Korea²Department of Neurology, Gyeongsang National University School of Medicine, Jinju 660-701, Korea³Gyeongsang Institute of Health Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-702, Korea

The previous studies showed that the visual imagery activated the occipital and posterior inferior temporal area of the brain, and the damage to the occipital cortex impaired the visual mental imagery. We studied current-source distribution of electroencephalography (EEG) to observe neuronal activity during imagery tennis playing. Eleven healthy volunteers were enrolled. All volunteers were right-handed males and novices for tennis playing. The mean age of them was 24.9 years. The EEGs were recorded on the scalp electrodes located according to the International 10~20 System. The number of electrodes was 25 channels including subtemporal electrodes. The EEG recording session was 13 min including 5 segments: resting-I, scenery-slide show, resting-II, watching tennis-game video, and imagery-tennis playing. The recording durations were 3, 2, 3, 2, and 3 min respectively. Five 'artifact free 3-sec segments' were selected in each segment of 'imagery-tennis playing' and 'resting-II'. We did the frequency domain analysis with the EEG segments using a distributed model of current-source analysis. The statistical-nonparametric maps (SnPMs) were obtained between the segments of 'imagery-tennis playing' and the segments of 'resting-II' ($p < 0.01$). The significant change of current-source density was observed only in alpha-2 frequency band (10~12 Hz). The current-sourcedensity was increased in the hippocampus, parahippocampus, and occipital fusiform gyrus in the right cerebral hemisphere ($p < 0.01$). Imaginary-tennis playing may activate the hippocampal-occipital alpha networks of nondominant hemisphere.

Keywords: Mental processes, Electroencephalography, Computer-assisted image processingCorresponding author: Oh-Young Kwon
Department of Neurology, Gyeongsang
National University School of Medicine,
Jinju 660-751, Korea
Tel: 82-55-750-8288
E-mail: mnkwon21@hanmail.net

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2015 The Korean Society for Clinical Laboratory Science. All rights reserved.

Received: February 27, 2015
Revised: March 17, 2015
Accepted: March 18, 2015

서론

육체를 사용하지 않고 운동 행위를 마음 속에 떠올려서 특정한 운동을 훈련하는 것이 심상훈련이다. 스포츠훈련은 육체훈련이 주된 방법이다. 심상훈련은 육체적 과정을 빼고 지식과 무의식과정만을 가지고 훈련하여 육체훈련과 같은 효과를 얻으려고 하는 것이다. 심상훈련을 스포츠훈련에 적용할 때에는 육체적 훈련과 병행하는 것이 일반적이다(Jackson 등, 2001). 테니스의 서비스훈련을 하고 나서 운동능력을 분석한 연구가 있다(Atienza 등, 1998). 이 연구에서는 9~12세 사이 연령의 테니스 선수들에게 육체훈련만 시키거나 심상훈련을 병행하였다. 심상훈련은 비디오를 이용하기도 하고 상상만으로 하기도 하였다. 24 주간의 훈련을 받은 뒤에, 육체 훈련만 받은 경우보다 심상훈련을 병행한 경우에서 서비스 능력의 의미 있게 향상되었다. 심상훈련을 뇌졸중 환자의 재활에 이용할

수도 있다. 뇌졸중 환자들이 보행훈련을 할 때 심상훈련을 병행하면 몸의 중심을 잡는 기능과 보행능력이 현저히 증진된다(Cho 등, 2013).

심상훈련은 시각상상을 이용한다. 시각상상이 뇌의 후두엽과 아 래측두엽 부위를 활성화시킨다는 것은 사건유발전위(event related potentials) (Farah 등, 1988), 단일양자방출전산화단층촬영(single photon emission computed tomography) (Goldenberg 등, 1989)과 양자방출단층촬영(photon emission tomography) (Kosslyn, 1993) 같은 기능영상들을 이용한 연구에서 밝혀졌다. 동물실험에서는 쥐의 한쪽 후두엽을 제거하면 심상 속의 눈의 시야각 (visual angle)이 좁아져서 시각적 심상훈련에 방해받을 것이라는 연구 결과도 있다(Farah 등, 1992). 심상비행훈련을 통해 뇌파활성의 변화를 관찰한 연구에서는 심상비행훈련을 할 때 알파-2 (10~12 Hz) 영역 파워스펙트럼이 비동기화된 결과도 있다. 초보 비행사의

경우는 심상훈련을 하기 전에 비행기 조종에 대한 정보를 전달 받고 대기하는 동안에도 고주파알파 비동기화가 발생하였지만 숙련된 전투비행사에서는 심상훈련을 하는 동안에만 비동기화가 관찰되었다(Tokumar, 2003).

본 연구는 심상훈련의 효과를 뇌파의 전류원분석으로 연구하였다. 두피에 기록된 전위를 수학적 방법을 통해 분석하여 전류원의 위치를 찾는 과정이 뇌파의 전류원분석이다. 이는 뇌의 전기활성을 시간적-공간적으로 파악할 수 있는 일종의 전기기능영상이다. 전류원을 찾는 방법에는 뚜렷하게 구별이 되는 쌍극자(dipole)를 찾아내는 분리전류원모델(discrete current source model)과 전류원의 분포만을 찾아내는 분산전류원모델(distributed current source model)이 있다. LORETA는 분산전류원모델에 해당하는 전류원분석방법이다(Pascual-Marqui, 1994) 전류원분석을 통해 뇌안에서 전기적 활성이 심상훈련에 의해 어떠한 변화가 있는지 관찰한 연구는 찾아보기 힘들다. 본 연구는 테니스심상훈련이 뇌 속에 발생시키는 변화를 전류원분석을 통해 관찰하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상

처음에는 14명의 건강한 성인 남성이며 테니스 초보자가 대상이 되었다. 오른손잡이 여부는 Chapman-Chapman손잡이척도(Chapman-Chapman handedness scale)를 기준으로 정하였다(Chapman와 Chapman, 1987). 14명중에 3명이 제외되었는데, 1명은 기록한 뇌파에 잡파가 많아 분석이 어려웠고, 2명은 왼손잡이로 판단되어 대상에서 제외되었다. 오른손 잡이만 선택한 이유는 우성반구의 차이가 결과에 영향을 미칠 가능성을 제거하기 위한 것이었다. 대상으로 남은 11명의 뇌파를 분석하였다. 이들의 평균연령은 24.9 ± 0.9 세(평균 \pm 표준편차)였다. 문진을 통해 내과질환, 정신과질환, 약물중독 등의 과거력이 없다는 것을 확인하였고 실험 과정에 대해 설명하고 동의를 얻었다.

2. 뇌파 기록

뇌파 기록은 32채널 디지털뇌파기(Grass Telefactor, Comet®, USA)를 이용하였다. 기본 전극(Fp1/2, F7/8, T7/8, P7/8, F3/4, C3/4, P3/4, O1/2, Fz, Cz, Pz)에 아래관자전극(F9/10, T9/10, P9/10)을 포함하여 25개의 전극을 실험 대상자 두피에 부착하였다. 전극의 위치는 국제 10~20계(International 10~20 system)를 기준으로 하였다. 디지털뇌파 자료의 표본율은 400 Hz였다. 뇌파는 총 13분을 기록하였고 5개의 실험 구간으로 나누었다. 각 구간은 휴식-I 3분, 풍경슬라이드쇼보기 2분, 휴식-II 3분, 테니스비

디오클립보기 2분, 그리고 테니스심상훈련 3분의 순서로 배열하였다. 테니스비디오클립은 서브를 넣은 장면부터 시작해서 단순한 스트로크의 반복을 편집하여 복잡한 기술에 대한 상상은 피하도록 하였다. 테니스심상훈련 과정 3분 동안에는 실험대상인 사람은 눈을 감고 심상훈련을 하게하였다. 이 과정 동안 비디오클립을 본 기억을 가지고 자신이 스트로크를 하고 있는 것을 상상하게 하였다.

3. 뇌파절편

테니스심상훈련 3분과 휴식-II 2분 동안 기록한 뇌파에서 잡파가 없는 3초 구간 5군데를 선택하였다. 한 명의 실험 참가자당 10개의 3초 구간이 선택되어 전체적으로 110개의 뇌파절편을 모았다. 테니스심상훈련의 절편과 휴식-II 절편이 각각 55개씩이었다. 뇌파절편의 선택은 BESA®(brain electrical source analysis) 소프트웨어를 이용하였다.

4. 뇌파 전류원분석

뇌파 전류원분석은 주파수영역으로 분석하였고 분산전류원모델인 LORETA-KEY (KEY institute for Brain-Mind Research, Switzerland) 소프트웨어를 사용하였다. 주파수는 7개의 영역으로 나누었다: 델타(1~6 Hz), 테타(6~8 Hz), 알파-1 (8~10 Hz), 알파-2 (10~12 Hz), 베타-1 (12~18 Hz), 베타-2 (18~21 Hz), 그리고 베타-3 (21~30 Hz). 본 연구에서 사용한 LORETA의 버전은 몬트리올신경과학연구소(Montreal Neurologic Institute)의 뇌영상센터에서 디지털화된 자기공명영상으로 만들어진 Talairach 인간뇌지도(Talairach, 1988)에 등록된 세껍질등근머리모델(three-shell spherical head model)을 사용하였다. 세껍질등근머리모델과 Talairach 머리구조(Talairach head geometry) 사이의 등록은 Towle (Towle VL와 DN, 1993)에 의해 발표된 실질적 뇌파전기 좌표를 사용하였다. LORETA 영상은 Talairach 도감의 뇌겉질과 해마에 국한되고, 7 mm 범위의 공간 해상도를 가지며 총 2,394개의 격자(voxel) 안에 표시된다(Pascual-Marqui, 1994; Kim, 2002). 테니스심상훈련을 하는 동안 기록된 뇌파에서 잘라낸 뇌파절편들과 휴식-II에서 기록한 뇌파에서 잘라낸 뇌파절편 사이에서 통계비모수지도(statistical-nonparametric map, SnPMs)를 구하였다. 통계적 유의성은 $p < 0.01$ 로 하였다.

결 과

테니스 심상훈련에 의한, 오른쪽 대뇌반구의 해마, 해마옆이랑, 그리고 후두부의 방추모양이랑에서 알파-2 영역의 전류원밀도가 의미 있게 증가하였다($p < 0.01$) (Fig. 1, Table 1). 알파-2 영역을

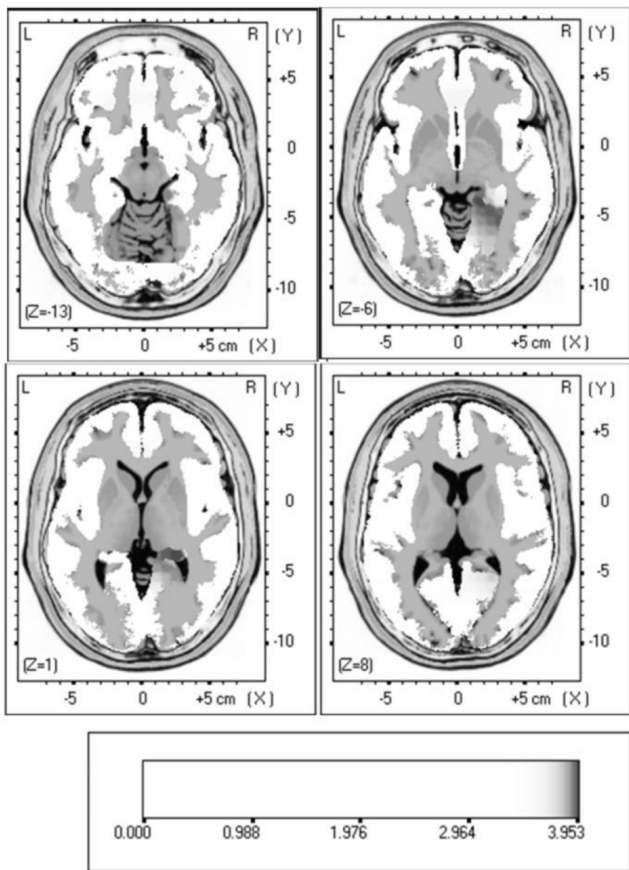


Fig. 1. Statistical-nonparametric maps of the alpha-2 frequency band between the imagery tennis playing and the resting in healthy and right-handed young males (n=11). The current-source density was increased in the parahippocampal gyrus, hippocampus and fusiform gyrus of the right cerebral hemisphere by the imagery tennis playing ($p < 0.01$).

제외한 나머지 주파수영역에서는 유의한 변화가 관찰되지 않았다.

고 찰

저자들은 테니스심상훈련을 하면서 뇌파를 기록하고 이용하여 얻은 분산전류원모델을 이용하여 뇌파의 디지털데이터를 주파수 영역별로 분석하였다. 이 분석을 통해서 심상훈련이 뇌파 전류원에 어떠한 변화를 일으키는 지 주파수영역별로 관찰하였다. 풍경사진 슬라이드 쇼를 보고나서 휴식하는 상태와 테니스비디오클립을 보고나서 테니스심상훈련을 하는 상태의 뇌파절편을 분석하여 통계 비모수지도를 얻어서 각주파수별로 전류원밀도분포의 차이를 관찰하였다. 의미 있는 차이를 보인 주파수영역은 알파-2 (10~12 Hz) 였고, 오른쪽 대뇌반구의 해마, 해마옆이랑, 그리고 후두부의 방추모양이랑에서 전류원밀도가 증가되었다. 오른쪽 대뇌반구의 해마옆이랑은 장면을 인지하는 기능이 있고(Aguirre, 1996; Aguirre,

Table 1. Maximal-points of current-source density of alpha-2 frequency band on the SnPMs ($p < 0.01$) between the imagery-tennis playing and the resting state in healthy and right-handed young males (n=11)

Talairach coordinate (x, y, z)	Anatomical location	t-value
X=18, Y=-39, Z=-6	Parahippocampal gyrus, right	3.952500E+0000
X=25, Y=-39, Z=1	Hippocampus, right	3.952500E+0000
X=32, Y=-53, Z=1	Parahippocampal gyrus, right	3.937000E+0000
X=32, Y=-53, Z=-6	Fusiform gyrus, right	3.937000E+0000

SnPMs, statistical-nonparametric maps.

1998; Epstein, 1998; Ishai, 1999), 오른쪽 해마는 공간 검색의 기능이 있으며(Maguire, 1997), 오른쪽 방추모양이랑은 사물을 인지하는 기능이 있는 것으로(Behrmann, 1994) 이전 연구들에서 알려져 있다. 본 연구의 결과는 장면인지, 공간검색, 사물인지 등의 심상 훈련에 필요한 기능이 있는 해마/해마옆이랑-후두엽 사이의 알파 신경망이 테니스심상훈련에 의해 활성화된다는 점을 시사하였다.

알파진동의 동기화는 인지과정 중에 깨지므로 알파리듬의 고전적 개념은 휴식을 의미한다. 저주파알파리듬(7~10 Hz)의 비동기화는 거의 모든 인지과정에서 나타나고 분포도 넓다. 주의집중 과정이나 일반적 과제를 수행하고자 하는 의지에 의해서도 저주파알파리듬의 비동기화는 발생한다. 고주파알파리듬(10~12 Hz)의 비동기화는 감각, 어의 정보에 의해 발생 두정엽 - 후두엽에서 잘 나타난다(Klimesch, 1993; Klimesch, 1994; Klimesch, 1996; Klimesch, 1997). 알파리듬의 비동기화는 뇌가 활성화된 상태를 의미하고 알파리듬의 동기화는 뇌결질의 흥분성이 감소되거나 신경세포 군집이 억제되는 상황이다(Pfurtscheller, 1999).

최근에는 알파리듬이 신경망의 활성화를 의미한다는 견해가 있다. 감각자극에 의해 발생한 알파반응은 자극이 끝나고 200~300 ms가 지나면 기저치로 돌아간다(Basar E, 1972). 사건관련-비동기화가 발생하는 경우에도 곧 이어 사건관련-동기화가 뒤따라 나타난다(Pfurtscheller G, 1999). 본 연구에서 알파-2 영역 전류원의 증가는 사건관련-비동기화에 따라 나오는 사건관련-동기화의 반영으로 판단하였다. 고양이에게 후두엽, 시상, 그리고 청각결질에 전극을 넣고 시각자극에 의한 유발전위를 관찰하였더니 시각자극에 대해 8~15 Hz의 알파진동이 증가되었다. 또한 해마-후두엽과 시상-후두엽 사이에서 알파진동의 뇌파-동시성이 증가하였으며 특히 해마-후두엽의 뇌파-동시성이 현저하게 증가되었다. 본 연구에서도 해마-후두엽의 알파 신경망이 활성화 되어 일치된 결과를 보였다(Schurmann 등, 2000).

표준 10-20체계 21채널에서 얻은 뇌파의 디지털데이터를 네 겹집질등근머리모델을 이용해 분석하여 쌍극자전류원을 분석하면

평균 17 mm의 국소화오차(localization error)와 평균 31°의 방향오차(orientation error)가 발생한다고 보고되었다(Krings 등, 1999). 세경질등근머리모델을 사용하며 분산전류원모델인 LORETA는 두피뇌파의 측정 시 전극수가 25개에서 89개까지 증가하면서 국소화의 정확도도 증가하지만 그 이상의 전극 수에서는 비슷한 정확도를 나타낸다(Michel 등, 2004). 뇌파의 디지털데이터를 세경질등근머리모델을 사용하여 LORETA로 분석하여 전류원을 국소화할 때 전극을 머리 전체에 균일하게 분포시키면 19채널과 46채널 사이에 비슷한 전류원밀도분포를 관찰할 수 있다(Michel 등, 2004). 본 연구에서는 비교적 적은 수인 25채널의 뇌파 데이터를 분석하였고 실제머리모델을 사용하지 못한 한계를 가지고 있다. 그러나 뇌전증병소의 전류원을 찾는 과정과는 달리, 인지기능을 연구할 때에는 뇌의 엽(lobes) 수준의 해상 정보만으로도 유용한 정보를 얻을 수 있다는 사실과 위에 언급한 오차를 고려하면 결과를 해석하는데 문제가 되지 않을 것으로 판단하였다.

Acknowledgements: None

Funding: None

Conflict of interest: None

References

1. Aguirre GK1, Detre JA, Alsop DC, D'Esposito M. The parahippocampus subserves topographical learning in man. *Cereb Cortex* 1996;6(6):823-829.
2. Aguirre GK1, Zarahn E, D'Esposito M. An area within human ventral cortex sensitive to "building" stimuli: evidence and implications. *Neuron* 1998;21(2):373-383.
3. Atienza FL, Balaguer I, Garcia-Merita ML. Video modeling and imaging training on performance of tennis service of 9- to 12-year-old children. *Percept Mot Skills* 1998;87(2):519-529.
4. Başar E, Ozesmi C. The hippocampal EEG-activity and a systems analytical interpretation of averaged evoked potentials of the brain. *Kybernetik* 1972;12(1):45-54.
5. Behrmann M1, Moscovitch M, Winocur G. Intact visual imagery and impaired visual perception in a patient with visual agnosia. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1994;20(5):1068-1087.
6. Chapman IJ, Chapman JP. The measurement of handedness. *Brain Cogn* 1987;6(2):175-183.
7. Cho HY, Kim JS, and LEE G C. Effects of motor imagery training on balance and gait abilities in post-stroke patients: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2013; 27:675-680
8. Farah MJ, Peronnet F, Gonon MA, Giard MH. Electrophysiological evidence for a shared representational medium for visual images and visual percepts. *J Exp Psychol Gen* 1988;117(3):248-257.
9. Farah MJ, Soso MJ, Dasheiff RM. Visual angle of the mind's eye before and after unilateral occipital lobectomy. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1992;18(1):241-246.
10. Goldenberg G, Podreka I, Steiner M, Willmes K, Suess E, Deecke L. Regional cerebral blood flow patterns in visual imagery. *Neuropsychologia* 1989;27(5):641-664.
11. Ishai A¹, Ungerleider LG, Martin A, Schouten JL, Haxby JV. Distributed representation of objects in the human ventral visual pathway. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1999;96(16):9379-9384.
12. Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, Richards C, Doyon J. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82(8):1133-1141.
13. Klimesch W¹, Doppelmayr M, Pachinger T, Ripper B. Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band. *Neurosci Lett* 1997;238(1-2):9-12.
14. Klimesch W, Schimke H, Doppelmayr M, Ripper B, Schwaiger J, Pfurtscheller G, et al. Event-related desynchronization (ERD) and the Dm effect: does alpha desynchronization during encoding predict later recall performance?. *Int J Psychophysiol* 1996;24(1-2):47-60.
15. Klimesch W, Schimke H, Schwaiger J. Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1994;91(6):428-441.
16. Kosslyn SM AN, Thompson WL, Malikovic V, Weise SB, Chabris CF, et al. Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *J. Cogn. Neurosci* 1993;5:263-287.
17. Krings T, Chiappa KH, Cuffin BN, Cochius JI, Connolly S, Cosgrove GR. Accuracy of EEG dipole source localization using implanted sources in the human brain. *Clin Neurophysiol* 1999;110(1):106-114.
18. Maguire EA, Frackowiak RS, Frith CD. Recalling routes around london: activation of the right hippocampus in taxi drivers. *J Neurosci* 1997;17(18):7103-7110.
19. Michel CM, Murray MM, Lantz G, Gonzalez S, Spinelli L, Grave de Peralta R. EEG source imaging. *Clin Neurophysiol* 2004; 115(10):2195-2222.
20. MR Kim, KR Kim, CK Ha, SH Choi, IK Lee. Comparative study between visual analysis and low resolution electromagnetic tomography (LORETA) method in the localizaion of epileptiform discharges. *J Korean Neurol Assoc* 2002;20:164-168
21. Pascual-Marqui RD MC, Lehmann D. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int J Psychophysiol* 1994;18::49-65.
22. Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int J Psychophysiol* 1994;18:49-65.
23. Pfurtscheller G1, Lopes da Silva FH. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clin Neurophysiol* 1999;110(11):1842-1857.
24. R Epstein, N Kanwisher. A cortical representation of the local visual environment. *Nature* 1998;392(6676):598-601.
25. Schurmann M, Demiralp T, Basar E, Basar Eroglu C. Electroencephalogram alpha (8-15 Hz) responses to visual stimuli in cat cortex, thalamus, and hippocampus: a distributed alpha network? *Neurosci Lett* 2000;292(3):175-178.
26. Talairach J TP. Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. 1988, Thieme, New York.
27. Tokumaru O MC, Takada Y, Ashida H. EEG activity of aviators during imagery flight training. *Clin Neurophysiol* 2003;114(10):

1926-1935.

28. Towle VL, Bolanos J, Suarez D, Tan K, Grzeszczuk R, Levin DN, et al. The spatial location of EEG electrodes: locating the best-fitting sphere relative to cortical anatomy. *Electroencephalogr Clin*

Neurophysiol 1993;86:1-6.

29. W Klimesch, H Schimke, G Pfurtscheller, cognitive load and memory performance. *Brain Topogr* 1993;5(3):241-251.