

20대와 40대의 공간 인지 능력, 대뇌 활성화 및 대뇌 편측화의 차이

정순철[#], 김윤성^{*}, 유지혜^{*}, 탁계래^{*}, 이봉수^{*}, 이정환^{*}, 손진훈^{**}

The Differences of Visuospatial Cognitive Performance and Cerebral Activation and Lateralization between 20s and 40s

Soon Cheol Chung[#], Yun Sung Kim^{*}, Ji Hye You^{*}, Gye Rae Tack^{*}, Bongsoo Lee^{*}, Jeong Han Yi^{*}, Jin Hun Sohn^{**}

ABSTRACT

The present study purposed to examine differences between 20s and 40s in visuospatial performance, the number of activated voxels and cerebral lateralization using functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). For this study, eight college students in their twenties (21.5 years on the average) and six adults in their forties (45.7 years on the average) participated in the experiment. Functional brain images were taken from 3T MRI using the single-shot EPI method. Compared to the twenties the forties showed lower visuospatial performance and longer reaction time. In addition, compared to the twenties the forties had a smaller number of activated voxels and less cerebral lateralization. The results of this study show that people's visuospatial performance and number of activated voxels decrease with aging. In addition, they also suggest that cerebral lateralization decreases in order to supplement the lowering of visuospatial performance, which in turn symmetrizes the activation of the left and right hemisphere.

Key Words : 20s and 40s (20대와 40대), visuospatial cognitive performance (공간 인지 능력), cerebral activation and lateralization (대뇌 활성화와 편측화)

1. 서론

노화가 진행됨에 따라 인간의 인지 능력이 감소하는 것은 잘 알려진 사실이다. 시각, 청각, 후각, 운동 등의 기본적인 기능뿐만 아니라 기억, 언어 등의 고차 인지 기능도 연령이 증가함에 따라 현저

하게 감소한다는 사실들이 보고 되고 있다.^{1,2} 현재 기억, 언어, 공간, 학습, 추리, 정서 등의 다양한 인간의 고차 인지 처리 과정과 원리를 밝히기 위해 뇌기능 영상 기법 (function Magnetic Resonance Imaging: fMRI)이 많이 활용되고 있다.³ 또한 fMRI 기법을 이용하여 노화에 따른 감각 인지 및 인지

[#] 접수일: 2005년 3월 27일; 게재승인일: 2005년 11월 10일

[#] 교신저자: 건국대학교 의학공학부

E-mail scchung@kku.ac.kr Tel. (043) 840-3759

^{*} 건국대학교 의학공학부

^{**} 충남대학교 심리학과

수행 능력 변화, 뇌 활성화 양 (면적)의 변화, 뇌 활성화 영역의 변화, 두 반구의 편측화 변화 등에 관한 연구가 다수 수행되어 오고 있다.⁴⁻¹⁸

연령의 증가에 따라 향 자극에 대한 인지 능력과 일차 후각 영역의 신경 활성화 양이 감소하였고⁴, 빛 자극에 대해 시각 영역의 신경활성화 양도 감소하였다는 보고가 있었다.⁵ 운동 과제 수행 시 연령이 증가함에 따라 반응 시간이 느렸고, 신경활성화 양도 감소하였다.⁶ 그러나 덧셈, 뺄셈, 곱셈과 같은 간단한 산술 계산은 연령에 따라 뇌 활성화 양이나 영역에 큰 차이가 없었다.⁷ 특히, 언어와 기억의 인지 기능과 관련 뇌 영역에 대하여 연령의 영향에 관한 연구가 근래 심도 깊게 수행되고 있다. 언어 과제 수행 시 연령에 따라 신경 활성화의 양에 차이가 있었고, 사용하는 뇌의 영역이나 신경망에도 차이가 있었다.⁸⁻¹² 기억 과제 수행 시 노화에 따른 인지 능력 감소를 보상하기 위해 젊은이에 비해 노인은 뇌의 다른 신경망을 사용한다는 보고가 있었고, 과제의 종류에 따라 젊은이와 노인 사이의 신경 활성화 양도 차이가 있었다고 보고하였다.^{2,9-11,13-15} 또한 언어나 기억 과제 수행 시 연령 증가에 따라 대뇌의 편측화가 감소하여 두 반구의 활성화가 대칭적으로 변한다는 보고가 있었다.¹⁰⁻¹⁸ 이것 역시 노화에 따른 인지 능력 감소를 보상하기 위한 작용으로 설명되고 있다.^{17,18}

이와 같이 fMRI 기법을 이용하여 기본적인 인지 처리뿐만 아니라 기억, 언어와 같은 고차 인지 능력에 대한 노화의 영향을 규명하고자 하는 연구가 다수 수행되어 오고 있으나 공간, 학습, 추리, 정서 등의 다양한 고차 인지 기능에 대한 연구는 미흡한 수준이다. 또한 노화에 따른 신경 활성화 양이나 영역 변화 등에 관한 다양한 연구 결과들이 보고 되고 있으나 인지 과제의 종류, 난이도, 피험자 비교 그룹간의 연령 차이 등으로 선행 연구들로부터 일치된 결과를 추론하기가 힘든 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 두 연령 그룹을 대상으로 다양한 인지 기능 중 특히 공간 인지 과제를 수행하면서 뇌기능 영상을 획득하여, 노화가 공간 인지 처리 능력과 관련 신경 활성화에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 즉, 본 연구는 두 연령에 따른 공간 인지 처리 능력 (정답률, 반응 시간)의 차이, 신경 활성화 양 (면적)의 차이, 신경 활성화 편측화의 차이에 대해 규명하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 실험 참여자

20대와 40대 2 개의 실험 집단을 모집하였다. 8명의 남자 대학생 (21.5±2.3세) 집단과 6명의 남자 대졸 성인 (45.7±2.6세) 집단이 본 연구에 참여하였다. 모든 실험 참여자는 뇌 손상의 경험이 없고, 인지 처리가 정상이었다. Edinburgh의 개정판을 사용하여 피험자의 손잡이를 측정된 결과 모두 오른손잡이로 판명되었다.¹⁹

2.2 공간 과제의 문항 선정

지능 진단 검사, 적성 진단 검사 그리고 일반 적성 검사 (General Aptitude Test Battery: GATB) 로부터 공간 지각 능력을 측정할 수 있는 20문항의 소 검사들을 선정하였다.²⁰⁻²² 선정된 문제는 주어진 도형의 모양과 똑 같은 모양을 네 개의 보기 중에 찾는 유형과, 주어진 도형의 전개도를 찾는 유형으로 구성되어 있다.^{3,23}

2.3 실험 설계 및 절차

한 실험은 4 개의 블록으로 구성되었으며, 각 블록은 통제 과제 (1분)와 공간 과제 (1분)를 포함하도록 하였다. 한 실험 당 소요시간은 블록 당 2분씩, 총 8분이었다. 선정된 통제 과제와 공간 과제는 뇌기능 영상 실험을 위한 자극 제시 S/W인 SuperLab 1.07 (Cedrus Co. USA)을 사용하여 제작하였고, 컴퓨터와 빔 프로젝터를 이용하여 MRI 내부의 피검자에게 거울을 통하여 제시하였다. 피검자는 제시된 문제에 대해 반응 버튼을 누르도록 하여 해답을 결정하도록 하였다. 통제 과제에서는 1, 2, 3, 4의 4 개 숫자 중 화면에 제시되는 번호에 해당하는 버튼을 누르게 하여 본 실험에 집중하게 하였다 (블록 당 8회 시행). 공간 과제에서는 문제들을 제시하고 각 문제의 정답에 해당하는 버튼을 눌러 반응하게 하였다 (블록 당 5회 시행).

2.4 뇌기능 영상 획득

뇌기능 영상 획득은 KAIST 뇌과학 연구 센터에 있는 3T ISOL Technology FORTE를 사용하였으며, single-shot Echo Planar Imaging (EPI) 방법 (TR/TE: 3000/35msec, FOV 240mm, matrix 64×64, slices thickness 4mm)으로 각 블록 당 35장의 뇌 절편 영상을 획득하였다. T1 강조영상법인 3-D FLAIR 방

범 (TR/TE: 280/14msec, FOV 240mm, matrix 256×256, slice thickness 4mm)으로 해부학적 뇌 영상을 획득하였다.

2.5 데이터 분석

뇌기능 영상을 획득하면서 각 실험 참여자는 공간 지각 과제를 수행하였고, 과제 수행 결과로부터 정답률 ((정답 수 / 총 문항 수) × 100)을 산출하였다. 또한 문제가 제시된 후 정답 버튼을 누를 때까지의 반응 시간을 계산하였다.

뇌기능 영상 데이터는 SPM-99 (Statistical Parametric Mapping-99, Wellcome Department of Cognitive Neurology, Oxford, 1999) S/W를 사용하여 분석하였다. 재배열 (realignment) 과정으로 머리의 움직임을 교정하고, 기능적 영상과 해부학적 영상을 상관정립 (coregister)하여 공통 좌표로 합성해주었다. 각 개인별 뇌의 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준화된 뇌 공간에 template image (Montreal Neurologic Institute)를 사용하여 normalization 하였다.²⁴ 감산법 (Visuospatial tasks - Control tasks)을 사용하여 공간 과제를 풀 때 신경망의 활성화가 발생하는 뇌 영역을 개인별로 t score에 따라 색채 부호화 (color coding)하여 추출하였다. 이로부터 각 개인별로 좌, 우반구로 구분하여 활성화된 voxel 수 (활성화 면적)를 계산하였다.

대뇌 편측화는 편측화 지수 (lateralization index)를 결정하여 판단하였다. 편측화 지수의 계산은 (left-right) / (left+right)의 공식을 통해 수행되고, 이때 left와 right는 각각 좌, 우반구의 활성화 voxel 수이다. 편측화 지수가 양(+)이 되면 좌반구가, 음(-)이 되면 우반구가 우세 반구가 된다.

통계분석은 SPSS (ver. 10.0, SPSS Inc. USA)를 이용하였고, independent paired t-test를 사용하여 두 연령 사이에 정답률, 반응 시간, 활성화된 voxel 수 그리고 대뇌 편측화 지수에서 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증하였다.

3. 결과

3.1 정답률 및 반응시간

공간 인지 과제를 수행한 후 모든 실험 참여자의 정답률과 반응 시간을 계산하였다. 평균 정답률은 20대와 40대에서 각각 63.7 ± 8.6 과 50.2 ± 10.2

이었고, 평균 반응 시간은 20대와 40대에서 각각 6.9 ± 0.7 [sec]와 7.7 ± 0.6 [sec] 이었다. Fig. 1과 같이 40대에 비해 20대가 통계적으로 유의미하게 평균 정답률이 높았고 ($p=0.012$), 평균 반응 시간은 빨랐다 ($p=0.038$).

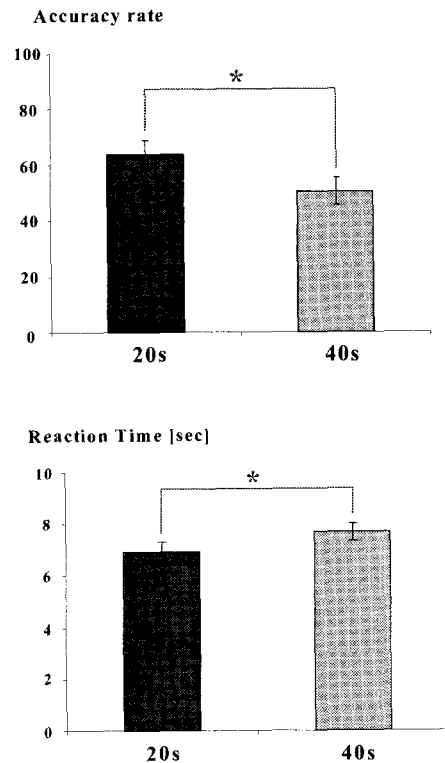


Fig. 1 Results of mean accuracy rate and reaction time (* $p<0.05$)

3.2 활성화 영역

Fig. 2와 같이 공간 과제를 수행하였을 때 활성화되는 뇌 영역은 두 연령대가 비슷하였다. 소뇌 (Cerebellum) 영역, 양측 후두엽 (Bilateral occipital lobes) 영역, 양측 상두정엽 (Bilateral superior parietal lobes), 양측 하두정엽 (Bilateral inferior parietal lobes), 양측 췌기앞소엽 (Bilateral precuneus), 양측 중심후이랑 (Bilateral postcentral gyri) 등을 포함하는 두정엽 (Parietal lobe) 영역, 그리고 양측 중간전두이랑 (Bilateral middle frontal gyri), 양측 하전두이랑 (Bilateral inferior frontal

gyri), 양측 내측전두이랑 (Bilateral medial frontal gyri), 양측 상전두이랑 (Bilateral superior frontal gyri), 양측 대상회 (Bilateral cingulate gyri) 등을 포함하는 전두엽 (Frontal lobe) 부분이 활성화되었다 (corrected $p < 0.05$).

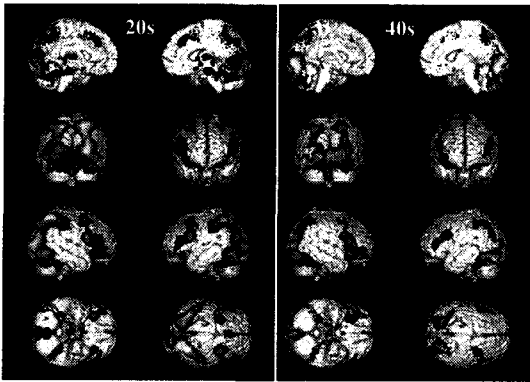


Fig. 2 The brain activation areas of 20s and 40s during visuospatial tasks (corrected $p < 0.05$)

3.3 활성화 voxel 수와 편측화 지수

두 연령 대에 대해서 각각 활성화 된 voxel 수를 좌, 우반구로 구분하여 계산하였고, 이를 통해 계산된 편측화 지수를 Table 1과 2에 나타내었다. Fig. 3에서처럼 활성화 된 voxel 수는 좌, 우반구 모두 통계적으로 유의미하게 40대에 비해 20대일 때 증가하였다 (좌반구: $p = 0.002$, 우반구: $p = 0.000$).

두 연령대 모두에서 편측화 지수가 음이 나와 공간 과제 수행 시 우반구가 보다 활성화 된다는 사실을 확인 할 수 있었다. Fig. 4와 같이 전체 뇌의 편측화 지수의 절대 값의 크기는 20대에 비해 40대 일 때 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다 ($p = 0.491$). 이러한 결과는 연령의 증가에 따라 뇌의 편측화가 감소하여 두 반구의 활성화가 대칭적으로 변할 가능성이 있다는 사실을 내포한다.

4. 토의

본 연구는 fMRI 기법을 이용하여 20대와 40대의 두 연령 사이에 공간 인지 처리 능력의 차이, 이에 따른 신경 활성화 양과 신경 활성화 편측화의 차이에 대해 규명하고자 하였다.

20대에 비해 40대가 공간 인지 처리 수행 능력이 낮았고, 반응 시간도 늦었다. 이러한 본 연구의 결과는 노화가 진행됨에 따라 시각, 청각, 후각, 운동 등의 기본적인 기능뿐만 아니라 기억, 언어 등의 고차 인지 기능도 연령이 증가함에 따라 현저하게 감소한다는 선행 연구 결과들과 유사한 것이다.^{1,2,4-6}

공간 과제 수행 시 소뇌, 후두엽, 전두엽, 두정엽 등이 활성화 되고, 특히 두정엽 부분이 중요한 역할을 수행한다는 사실은 잘 알려져 있다.^{3,25-27}

Fig. 2에서와 같이 본 연구에서도 연령에 관계없이 공간 과제 수행 시 활성화 된 대뇌 영역은 선행 연

Table 1 The number of activated voxels at the left and right hemisphere and lateralization index (L.I.) in 20s

Subject	20s		
	Left	Right	L.I.
#1	4108	6807	-0.25
#2	6919	7428	-0.04
#3	3805	4875	-0.12
#4	5256	7438	-0.17
#5	5427	6446	-0.09
#6	7876	8804	-0.06
#7	6527	8792	-0.15
#8	7244	8652	-0.09
Mean±S.D.	5895 ± 1482	7405 ± 1369	-0.11 ± 0.07

Table 2 The number of activated voxels at the left and right hemisphere and lateralization index (L.I.) in 40s

Subject	40s		
	Left	Right	L.I.
#1	1437	1646	-0.06
#2	2666	2215	0.09
#3	1282	2253	-0.27
#4	3419	3285	0.02
#5	2967	3705	-0.11
#6	4906	6768	-0.15
Mean±S.D.	2779 ± 1343	3312 ± 1854	-0.08 ± 0.13

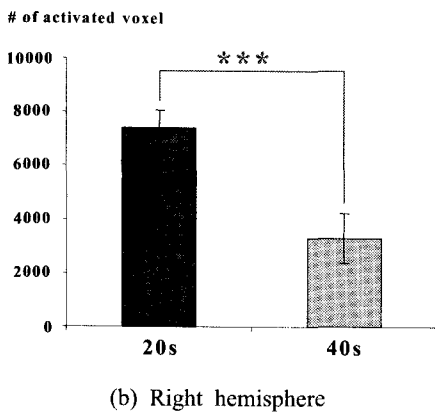
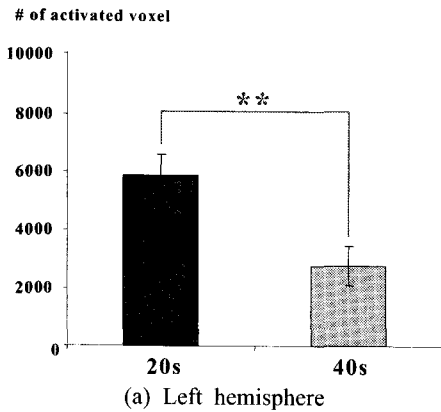


Fig. 3 The number of activated voxels of 20s and 40s (a) Left hemisphere (** $p < 0.01$) (b) Right hemisphere (** $p < 0.001$)

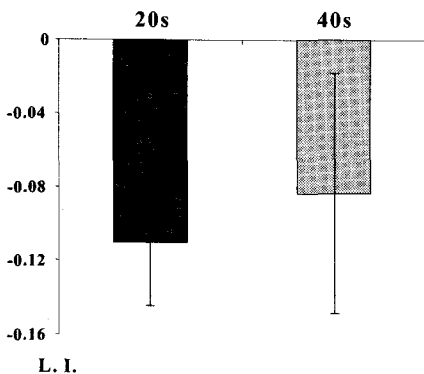


Fig. 4 Lateralization index (L.I.) of 20s and 40s

구 결과와 비슷하였다. 그러나 20대에 비해 40대가 신경 활성화 양 (voxel 수)은 감소하였다. 이것은 노화에 따라 시각, 청각, 후각, 기억, 언어 등의 인지 처리 능력이 감소하고 동시에 신경 활성화 양도 감소하였다는 선행 연구 결과와 유사한 것이다.^{1,2,4,6} 또한 연령에 관계없이 공간 과제 수행 시 편측화 지수가 음이 나와 우반구가 보다 활성화 된다는 사실을 다시 한번 확인 할 수 있었다.

노화에 따른 인지 능력 감소를 보상하기 위해 언어나 기억 과제 수행 시 연령 증가에 따라 대뇌의 편측화가 감소하여 두 반구의 활성화가 대칭적으로 변한다는 보고가 있었다.^{17,18} 본 연구에서도 공간 과제 수행 시 연령의 증가에 따라 대뇌의 편측화가 감소하는 경향은 있었으나 통계적으로 유의하지는 않았다. Huwttel⁵ 등은 연령이 증가할수록 뇌기능 영상의 활성화 voxel에서 잡음이 증가하여 신호 대 잡음비가 감소한다는 보고를 한바 있다. Fig. 4와 같이 본 연구에서도 잡음에 의해 20대에 비해 40대 데이터의 표준 편차가 더 큰 것으로 나타났다, 이것 때문에 통계적 차이가 나타나지 않은 것으로 생각되어진다.

향후 피험자 수를 증가시켜 신호 대 잡음비의 감소를 보상하고, 60-70대와 같은 다양한 연령대의 피험자 결과를 포함 한다면, 공간 과제 수행 시 연령에 따른 신경 활성화 양과 편측화의 차이를 보다 정확하게 규명할 수 있을 것으로 판단되어진다.

결론적으로 공간 인지 수행 시 20대에 비해 40대는 수행 능력의 감소와 함께 신경 활성화 양도 감소하였고, 대뇌 편측화도 감소하는 양상을 나타내었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2004-000-10593-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- Baltes, P.B., Lindenberger, U., "Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging," *Psychology and Aging*, Vol. 12, pp. 12-21, 1997.
- Grady, C.L., Craik, F.I.M., "Changes in memory

- processing with age," *Current Opinion in Neurobiology*, Vol. 10, pp. 224-231, 2000.
3. Chung, S.C., Sohn, J.H., Kim, I.H., "The effect of highly concentrated oxygen administration on cerebrum lateralization of young men during visuospatial task," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No. 8, pp. 180-188, 2004.
 4. Cerf-Ducastel, B., Murphy, C., "fMRI brain activation in response to odors is reduced in primary olfactory areas of elderly subjects," *Brain Research*, Vol. 986, pp. 39-53, 2003.
 5. Huettel, S.A., Singerman, J.D., McCarthy, G., "The effects of aging upon the hemodynamic response measured by functional MRI," *NeuroImage*, Vol. 13, pp. 161-175, 2001.
 6. D'Esposito, M., Zarahn, E., Aguirre, G.K., Rypma, B., "The effects of normal aging on the coupling of neural activity to the bold hemodynamic response," *NeuroImage*, Vol. 10, pp. 6-14, 1999.
 7. Kawashima, R., Taira, M., Okita, K., Inoue, K., Tajima, N., Yoshida, H., Sasaki, T., Sugiura, M., Watanabe, J., Fukuda, H., "A functional MRI study of simple arithmetic-a comparison between children and adults," *Cognitive Brain Research*, Vol. 18, pp. 225-231, 2004.
 8. Barch, D.M., Braver, T.S., Sabb, F.W., Noll, D.C., "Anterior cingulate and the monitoring of response conflict: evidence from an fMRI study of overt verb generation," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 12, pp. 298-305, 2000.
 9. Jonides, J., Marshuetz, C., Smith, E.E., Reuter-Lorenz, P.A., Koeppe, R.A., Hartly, A., "Age differences in behavior and PET activation reveal differences in interference resolution in verbal working memory," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 12, pp. 188-196, 2000.
 10. Reuter-Lorenz, P.A., Jonides, J., Smith, E.E., Hartly, A., Miller, A., Marshuetz, C., Koeppe, R.A., "Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 12, pp. 174-187, 2000.
 11. Cabeza, R., Anderson, N.D., Locantore, J.K., McIntosh, A.R., "Aging gracefully: compensatory brain activity in high-performing older adults," *NeuroImage*, Vol. 17, pp. 1394-1402, 2002.
 12. Persson, J., Sylvester, C.Y.C., Nelson, J.K., Welsh, K.M., Jonides, J., Reuter-Lorenz, P.A., "Selection requirements during verb generation: differential recruitment in older and young adults," *NeuroImage*, Vol. 23, pp. 1382-1390, 2004.
 13. Grady, C.L., "Functional brain imaging and age-related changes in cognition," *Biological Psychology*, Vol. 54, pp. 259-281, 2000.
 14. Stebbins, G.T., Carrillo, M.C., Dorman, J., Dirksen, C., Desmond, J.E., Turner, D.A., Bennett, D.A., Wilson, R.S., Glover, G., Gabrieli, J.D.E., "Aging effects on memory encoding in the frontal lobes," *Psychology and Aging*, Vol. 17, pp. 44-55, 2002.
 15. Logan, J.M., Sanders, A.L., Snyder, A.Z., Morris, J.C., Buckner, R.L., "Under-recruitment and nonselective recruitment: dissociable neural mechanisms associated with aging," *Neuron*, Vol. 33, pp. 827-840, 2002.
 16. Lamar, M., Yousem, D.M., Resnick, S.M., "Age differences in orbitofrontal activation: an fMRI investigation of delayed match and nonmatch to sample," *NeuroImage*, Vol. 21, pp. 1368-1376, 2004.
 17. Cabeza, R., "Hemispheric asymmetry reduction in old adults: the HAROLD model," *Psychology and Aging*, Vol. 17, pp. 85-100, 2002.
 18. Dolcos, F., Rice, H.J., Cabeza, R., "Hemispheric asymmetry and aging: right hemisphere decline or asymmetry reduction," *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Vol. 26, pp. 819-825, 2002.
 19. Oldfield, R.C. "The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory," *Neuropsychologia*, Vol. 9, pp. 97-113, 1971.
 20. Lee, S.R., "Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults)," Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1982.
 21. Lee, S.R., Kim, K.R., "Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults)," Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1985.
 22. Park, S.B., "GATB (General Aptitude Test

- Battery): academic, job aptitude test type II (for students of middle schools, high schools and universities, and general public),” Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1985.
23. Chung, S.C., Sohn, J.H., Lee, B., Lee, S.Y., “Visuospatial cognitive performance, hyperoxia and heart Rate due to oxygen administration,” Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 193-198, 2005.
24. Talairach, J., Tournoux, P., “Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain,” Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1988.
25. Fink, G.R., Marshall, J.C., Weiss, P.H., Zilles, K., “The neural basis of vertical and horizontal line bisection judgements: an fMRI study of normal volunteers,” NeuroImage, Vol. 14, No. 1, pp. 59-67, 2001.
26. Ng, V.W., Bullmore, E.T., de Zubicaray, G.I., Cooper, A., Suckling, J., Williams, S.C. “Identifying rate-limiting nodes in large-scale cortical networks for visuospatial processing: an illustration using fMRI,” Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 13, No. 4, pp. 538-545, 2001.
27. Gur, R.C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C.L., Maldjian, J.A., Turetsky, B. I., Detre, J.A., Gee, J., Gur, R.E., “An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task,” Brain and Language, Vol. 74, pp. 157-170, 2000.