Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 24, No. 4 pp.47-53, November 2005

고 자장 기능적 MR 영상을 이용한 뇌 운동 영역에서 산소 주입에 따른 활성화 영역에 관한 연구

구 은 회* · 권 대 철*

Cerebral Activation Area Following Oxygen Administration using a 3 Tesla Functional MR Imaging

Eun-Hoe Goo*, Dae-Cheol Kweon*

ABSTRACT

This study aim to investigate the effects of supply of oxygen enhances cerebral activation through increased activation in the brain and using a 3 Tesla fMRI system. Five volunteers (right handed, average age of 21.3) were selected as subjects for this study. Oxygen supply equipment that provides 30% oxygen at a constant rate of 15L/min was given using face mask. A 3 Tesla fMRI system using the EPI BOLD technique, and three-pulse sequence technique get of the true axial planes scanned brain images. The author can get the perfusion images of the brain by oxygen inhalation with susceptibility contrast EPI sequence at the volunteers. Complex movement consisted of a finger task in which subjects flexed and extended all fingers repeatedly in union, without the fingers touching each other. Both task consisted of 96 phases including 6 activations and rests contents. Post-processing was done on MRDx software program by using cross-correlation method. The result shows that there was an improvement in performance and also increased activation in several areas in the oxygen method. These finding demonstrates that while performing cognitive tasks, oxygen administration was due to increase of cerebral activation.

Keyword: Brain, fMRI, Cerebral Activation, Oxygen Administration

1. 서 론

과거에는 인체의 뇌를 해부를 함으로써 뇌의 기능적인 면을 확인할 수 있었지만, 최근에는 인간의 뇌 인지 기능의 능력에 대한 간접적인 연구는 양전자 방출 단층촬영기(positron emission tomography)나 functional magnetic resonance imaging(fMRI)과 같은 영상측정방법 등에 의하여 직접적인 인간을 대상으로 한 연구가 가능하게 되었다(Fox, 1986). 비 침습적인 기능적 자기공명영상법(fMRI)의 연구 방법이 소개되었고, 이러한 검사법은 방사선 조사의 위험이 없고 공간 및 해상력이 매우 좋으므로, 짧은 시간 내에 반복적인 검사가 가능하여, 인간의 뇌 기능을 연구할 수 있다(Le, 1995). 또한, 인간의 뇌 운동, 기억, 주의력, 시각, 청각, 감각, 동작, 언어 수행에 따른 국소적인 뇌혈류의 변화를 영상으로 보여주는 비 침습적인 검사 방법이다(Binder, 1996).

현재는 언어, 시각, 청각, 인지, 정서에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있고, 임상적으로는 수술 전에 중요한 뇌 기능의 위치를 사전에 파악하거나 기능장애가 있는 환자에서

*서울대학교병원 진단방사선과
교신저자: 권대철
주 소: 110-744 서울시 종로구 연건동 28, 전화: 02-2072-2914, E-mail: kdc@radiol.snu.ac.kr

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

그에 상응하는 뇌피질의 활성도를 알아내고, 원인을 규명하여 임상적으로 적용범위가 증대되는 최신 연구 분야이다(구은회, 2003). 비 침습적인 기능적 자기공명영상법을 이용하면 언어와 기억 기능의 편재화뿐만 아니고, 국소화가 가능할 뿐 아니라 여러 번의 검사가 가능하여, 과거에 비해 기능적 자기공명영상법의 검사 및 연구가 증가하고 있다(이호규, 2000).

산소는 인간의 신체 및 정신활동에 필수적인 물질이며, 뇌 기능에 중요한 역할을 수행한다. 중추신경계는 산소 부족에 가장 민감한 조직이며, 동맥혈 산소 분압의 저하는 주의력, 기억력, 의사결정 능력 등의 뇌 기능의 변화를 초래한다(Fujiwara, 2001). 뇌는 부위별로 고유한 기능을 가지고 있으며 어떠한 기능을 수행하기 위하여 특정 부위의 뇌 신경활동이 향상되면 그 부위의 국소적 뇌혈류 및 대사가 증진한다.

인지 능력 과제를 수행하는 동안 대뇌에 그루코스와 산소의 공급이 증가한다는 사실은 잘 알려져 있고(Horwitz, 1995), 노화에 따른 인지 감소는 산소와 그루코스의 공급이 원활하지 않아 발생한다는 보고가 있다(Eustach, 1995).

외부에서의 산소 공급은 단어를 기억해 내는 단어 수가 현저히 증가하였고(Moss, 1996), 과제 수행에서도 산소 공급의 반응시간이 빨라진 다는 보고를 하였으나(Scholey, 1999), 이 연구 들은 저 자장의 기능적 자기공명영상법을 이용하였다.

국내 연구에서는 외부에서의 산소 30% 고농도와 공기 중의 21% 농도가 공간 지각 능력에 어떠한 변화를 미치는가의 비교에서 고농도의 산소 공급이 공간 지각 능력 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 보고를 하였고(정순철, 2003), 고농도의 산소 공급에 따른 대뇌 편측화 변화에 대한 연구가 있었다(정순철, 2004). 산소 호흡을 이용한 자화율 대조 echo-planar imaging(EPI) 방법을 적용하여 뇌의 관류 자기공명영상법을 적용하여 연구한 사례가 있었으나, 이는 저 자장의 1.5 Tesla에서 연구한 보고였다(최순섭, 2000).

고 자장에서의 외부 산소 공급이 인간의 인지 공간 지각 능력 및 뇌의 활성화에 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 구체적이고 정확한 연구는 전무하다. 이에 본 연구에서는 정상인을 대상으로 3.0 Tesla 기능적 자기공명영상법을 이용하여 뇌에 외부에서 30%의 고농도 산소 주입 전과 주입 후의 대뇌의 일차운동중추(primary motor cortex; M1)와 부운동중추(supplementary motor area; SMA)의 영역을 대상으로 활성화 영역을 체계적이고 정량적으로 신호강도 변화 크기와 뇌의 활성화 영역을 분석하여 보고하고자 한다.

2. 대상 및 방법

본 연구를 위해 실험 참여자에게 정량적으로 산소를 공급하였고, 뇌 기능 영상 기법을 통하여 유발된 인지의 변화를 검출할 수 있는 세밀한 실험 절차 및 설계가 요구된다. 이러한 절차에 의해 수립된 실험 계획으로부터 뇌 기능의 활성화 영역의 실험을 위해, 산소 주입 전과 주입 후의 신호강도 변화를 수행하고, 획득된 영상 결과를 프로그램을 이용하여 분석하는 작업이 필요하다.

2.1 실험 설계 및 방법

실험에 사용된 고자장의 3.0 Tesla 자기공명영상 기기(Signa VH/i, GE Medical System, Milwaukee, WI, USA)에서 뇌의 기능적 영상을 위하여 강한 경사 자장 신호(gradient-echo)인 EPI를 획득하였다.

영상 지표에서 TR/TE는 3000ms/50ms, 숙임 각 90°, FOV 240mm, matrix size 64×64, slice 두께 6mm을 사용하여 자기공명영상 데이터를 얻었다. 이때 사용된 코일은 4-channel quadrature head coil을 사용하여 영상을 획득하였다.

해부학적 영상을 위하여 2D T1 spin-echo에서의 영상 지표는 TR/TE 500ms/8ms, 숙임 각 90°, FOV 240mm, slice 두께 6mm, matrix size 256×192를 사용하였고, 3D inversion recovery prepared spoiled gradient echo(IR-SPGR)의 TR/TE는 5.5ms/1.3ms, 숙임 각 20°, FOV 240mm, slice 두께 1.4mm, matrix size 256×192로 하여 영상을 얻었다(표 1).

표 1. Pulse sequence parameters

Pulse Sequence	TR	TE	FOV	Thickness	Matrix	Flip Angle
Gradient Echo EPI	3000msec	50msec	240mm	6mm	64×64	90
2D T1 SE	500msec	8msec	240mm	6mm	256×192	90
3D IR-SPGR	5.5msec	1.3msec	240mm	1.4mm	256×192	90

2.2 산소 주입 방법

본 연구를 위해 모든 실험 참여자에게 연구를 위한 검사 전에 검사 방법을 자세히 설명하고, 연습을 하였다.

자기공명영상실에 설치된 산소 공급관에서 30%의 고농도 산소를 실험 참여자에게 안면 마스크를 착용한 상태에서 설치된 병원의 산소 공급관에서 일정하게 농도를 유지하며

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

주입하면서 영상을 획득하였다. 스캔 패러다임에 맞게 휴지기에는 0L/min로 하였고 활성기에는 15L/min로 하여 산소 주입량을 일정하게 유지하며 산소를 주입하였다.

실험자에게 운동 자극은 단순 운동으로 연속적으로 양 주먹을 쥐었다 폈다 하는 운동을 가능한 정확하고 빨리 하도록 하였다.

실험 참여자는 신체 내 보철기를 착용하지 않고, 뇌수술, 고막수술 경험이 없고, 보청기를 착용하지 않은 상태의 실험 참여자 중에서 폐쇄공포증이 없는 오른손 잡이 남자(평균 21세)를 대상으로 본 실험에 참여하였다.

2.3 영상 획득 및 데이터 분석

EPI 기법에서 총 20개의 단면에 대하여 96개의 영상을 얻었다. 사용된 패러다임은 각각 8번의 휴지기와 활성기로 구성되었고, 활성기 동안에 수행된 작업은 오른손 쥠과 펼침 운동을 하였다. 패러다임 시간은 준비하는 시간 10초, 휴지기(rest) 24초, 활성기(task) 24초로 총 4분 48초 동안의 시간이 소요되었다(그림 1).

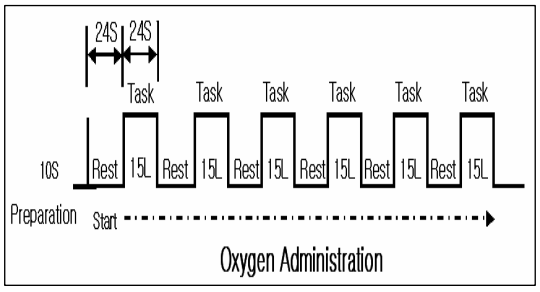


그림 1. 산소 주입과 fMRI의 패러다임

정량적 분석으로 산소 주입 전과 주입 후의 일차운동중추와 부운동중추의 활성 영상에 대한 일정한 관심 영역을 정하여 신호강도와 신호 변화를 영상처리를 위해 본 연구실에서 개발한 MRDx 소프트웨어 프로그램을 이용하여 측정하였다. 뇌 활성 영역을 국소화 하기 위한 통계적 처리 방법으로 cross-correlation을 적용하였다.

시각적 분석은 뇌의 실질조직의 안쪽의 정맥 방향에 활성화 분포를 확인하였고, 산소 주입 전과 주입 후의 일정한 관심 영역의 활성화된 픽셀 수를 기준으로 분석하였다.

Cross-correlation 방법으로 휴지기와 활성기의 기능적 자기공명영상법의 원리로서 노이즈 감산법(subtraction)을 이용하여 실행하지 않은 상태의 영상이고(그림 2), 휴지기와 활성기의 노이즈를 감산법으로 실행하여 노이즈를 제거한 상태의 영상을 보여주고 있다(그림 3).

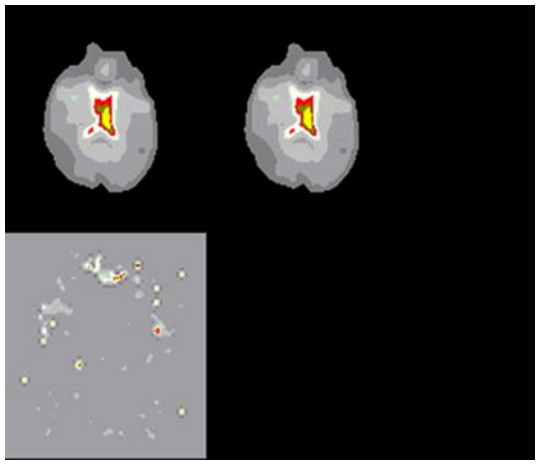


그림 2. 휴지기와 활성기의 노이즈를 감산법 실행하지 않은 상태.

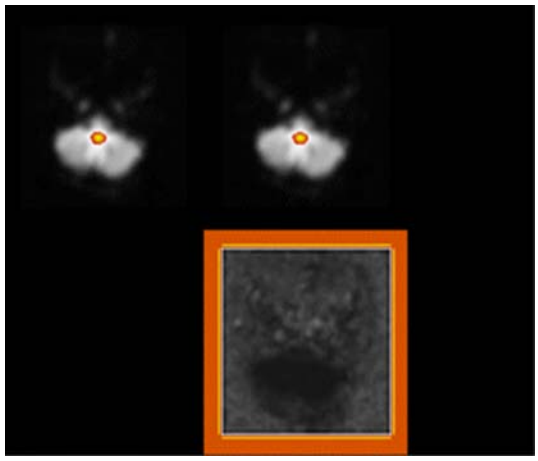


그림 3. 휴지기와 활성기의 노이즈를 감산법 실행한 상태.

2.4 분석 방법

분석 방법은 정량적, 정성적으로 분석하였다. 정량적 분석 방법의 신호강도 변화 크기는 다음과 같이 설명할 수 있다.

신호강도 변화 크기(percent change in signal intensity; PCSI) % = [활성화(산소 주입) − 휴지기(산소 비주입)] / 휴지기(산소 비주입) × 100 (1)

신호강도(signal intensity; SI) 크기는 일차운동중추 영역과 부운동중추 영역을 대상으로 하였다. 정성적인 분석 방법은 시각적으로 활성화 신호 분포 영역으로, 뇌의 실질조직의 안쪽 부분의 활성화 분포 유 · 무와 일정한 관심 영역의 활성화된 픽셀 수의 차이를 분석하는 방법이다.

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

3. 결 과

산소 주입 전 · 후 모두 운동중추 영역인 전 운동 피질이 잘 관찰되었다. 휴지기와 활성기의 평균 신호강도 변화 크기는 $p<0.0001$에서 산소 주입 전에는 1.06%이었고, 산소 주입 후에는 1.26%이었다. 신호강도에서는 $p<0.0001$에서 산소 주입 전에는 158이었고, 산소 주입 후에는 171.5로 증가하였다(표 2, 3).

표 2. 산소 주입 전의 일차운동중추 영역의 신호 강도

Case	Finger Tapping	Signal Intensity	PCSI	Rest	Task
1	Right	150	1.38	8365.88	8251.93
	Left	160	0.84	8994.2	9070.04
2	Right	150	0.94	8729.96	8812.08
	Left	125	0.86	9186.69	9265.75
3	Right	160	1.09	5746.82	5809.63
	Left	145	1.19	7486.22	7575.43
4	Right	190	0.62	9579.16	9639.38
	Left	185	1.33	4359.12	4417.32
5	Right	175	0.96	5277.2	5328.2
	Left	140	1.42	7291.61	7395.59
Mean ± SD		158 ±20.43	1.06 ±0.26	7501.68 ±1813.1	7556.53 ±1810.72

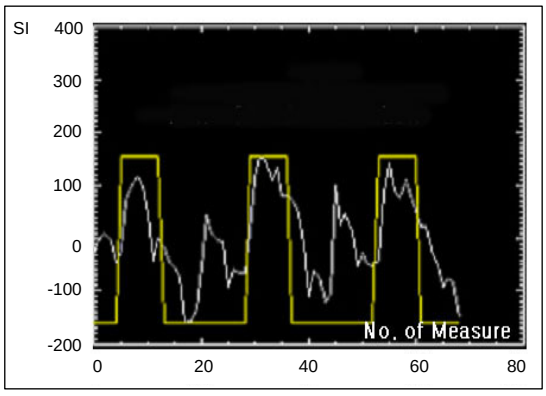
표 3. 산소 주입 후의 일차운동중추 영역의 신호 강도

Case	Finger Tapping	Signal Intensity	PCSI	Rest	Task
1	Right	190	1.60	8683.69	8823.04
	Left	180	0.94	9088.18	9173.75
2	Right	160	1.10	9040.30	9140.02
	Left	130	1.36	7804.46	7910.71
3	Right	170	1.36	3559.11	3607.67
	Left	160	1.39	9070.73	9197.28
4	Right	200	0.70	9143.42	9028.21
	Left	185	1.34	2285.64	2316.48
5	Right	190	1.29	6038.15	6116.13
	Left	150	1.49	6872.17	6974.76
Mean ± SD		171.5 ±21.6	1.26 ±0.26	7158.58 ±2486.46	7246.80 ±2511.7

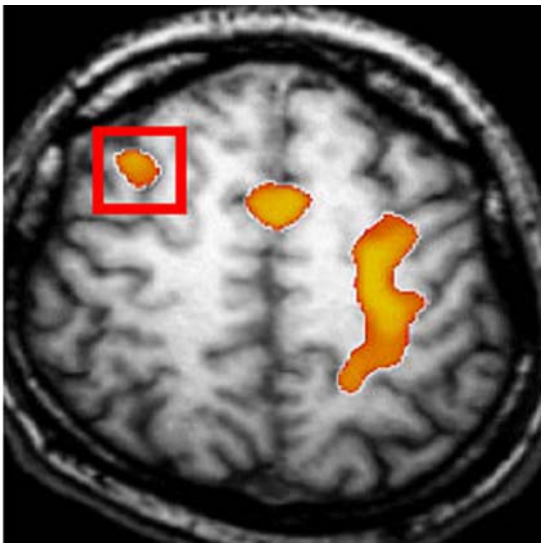
산소 주입 전보다 주입 후가 더 많은 활성화를 보였고, 전반적으로 안쪽 정맥에 분포를 이루어 뇌의 작은 영역까지 기능을 보여주는 활성화 영역에 도달하였다.

산소 주입 전과 주입 후의 일차운동중추 영역에 대한 평균 신호강도 변화 크기와 신호강도는 비슷한 값을 얻었지만, 전반적으로 휴지기와 활성기의 차이를 나타내는 신호강도 변화는 산소 주입 후가 모두 높게 나타났다(표 2, 3). 평균 신호강도 변화 크기와 신호강도에서는 paired student t-test에서 통계적 유의성이 있다($p<0.05$).

산소 주입 전과 주입 후의 영상과 그래프를 비교해 보면, 주입 후의 영상이 관심 영역에서 시각적으로 좀 더 강한 신호강도를 보이고 있고, 그래프의 time series data에서 신호강도가 산소 주입 전에서는 150이었지만(그림 4a), 주입 후에는 190을 얻었다(그림 5a). 산소 주입 전의 일차운동중추 영역에 일정한 관심 영역을 정하였을 때, 나타나는



(a)



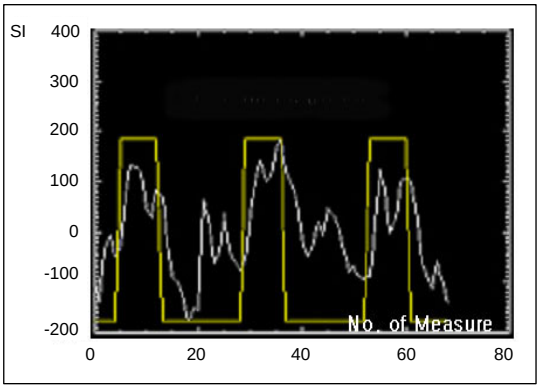
(b)

그림 4. 산소 주입 전의 신호와 뇌의 영상. 실시간 데이터를 이용한 신호강도(**a**), 일차운동중추 영역의 매핑 영상(**b**).

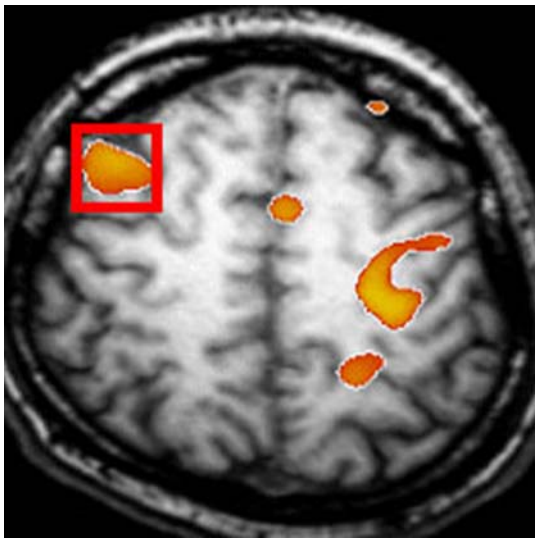
Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

신호강도와 실시간 데이터이다(그림 4a). 정확한 신호강도를 측정하기 위해 일차운동중추 영역에 관심 영역을 정하고 time series data로 확인한 그림이다(그림 4b).

산소 주입 후의 뇌의 일차운동중추 영역에 일정한 관심 영역을 정하였을 때 나타나는 신호강도와 실시간 데이터의 영상을 보여주고 있고(그림 5a), 정확한 신호강도를 측정하기 위해 뇌의 일차 운동중추 영역에 관심 영역을 정하고 time series data로 확인한 영상을 보여주고 있다(그림 5b).



(a)



(b)

그림 5. 산소 주입 후의 신호와 뇌의 영상. 실시간 데이터를 이용한 신호강도(a), 일차운동중추 영역의 매핑 영상(b).

오른손과 왼손의 쥠과 펼침 운동을 반복적으로 하였을 때 일정한 p 값을 정하여 산소를 주입 전과 주입 후를 비교하였다. 정확하고 세밀한 신호강도 변화 크기를 비교한 그래프를 보여주고 있다. 산소를 주입하기 전에는 신호강도가 평균 1.06이었으나, 산소를 주입 후에는 평균 1.25로 산소 주입 후가 높은 활성화 값을 획득하였다(그림 6).

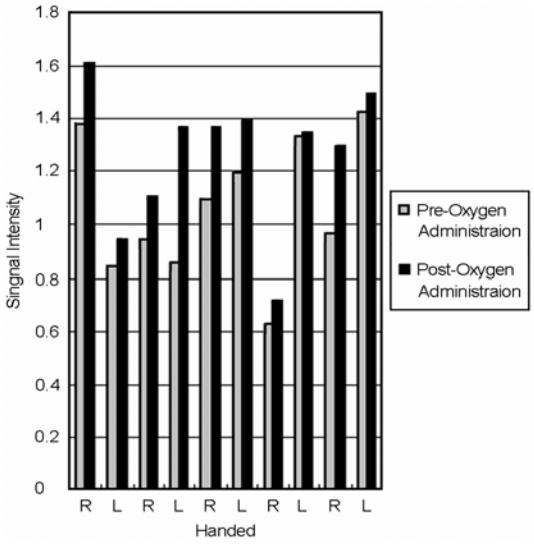


그림 6. 산소 주입 전과 주입 후의 신호강도.

그림 7에서는 뇌의 일차운동중추 영역의 정성적인 신호분포를 시각적으로 보여주고 있다. 산소 주입 전의 뇌의 일차운동중추 영역의 영상으로 원형의 영역에서는 시각적인 뇌의 활성화가 보여주고 있지 않지만(그림 7a), 산소 주입 후의 영상에서는 작은 활성화를 보이고 있다(그림 7b).

산소를 주입 전(그림 7c)과 주입 후(그림 7d)의 활성화된 신호를 시각적으로 비교하였고, 뇌의 일정한 영역에 대한 픽셀 수가 산소 주입 전(그림 7c)에 비해, 산소를 주입 후(그림 7d)에서 더 많이 분포되어 있어, 정확하고 세밀하게 뇌의 작은 기능까지를 자세히 보여주고 있다.

산소를 주입하기 전(그림 7e)에 비해 산소를 주입한(그림 7f)의 경우는 전반적으로 활성화된 픽셀 수가 더 많이 분포되어 있고, 또한, 뇌의 여러 지역에 분포되어 있어 다양한 뇌의 일차운동중추 영역의 신호 분포와 기능을 알 수 있다.

4. 고 찰

임상적으로 자기공명영상법의 기능적 검사가 과거에 비해 많이 증가하는 추세이고, 공간 지각과 관련된 뇌 신경망 및 기능에 관한 연구들은 공간 지각과제 유형, 난이도 성별, 개인 능력에 따라 다양한 연구 결과가 보고되었다.

실제 임상적으로 많은 경험을 한 실무자는 다양한 환자를 접했을 때 어떻게 대처할 것인가를 바로 해결할 때가 많이

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

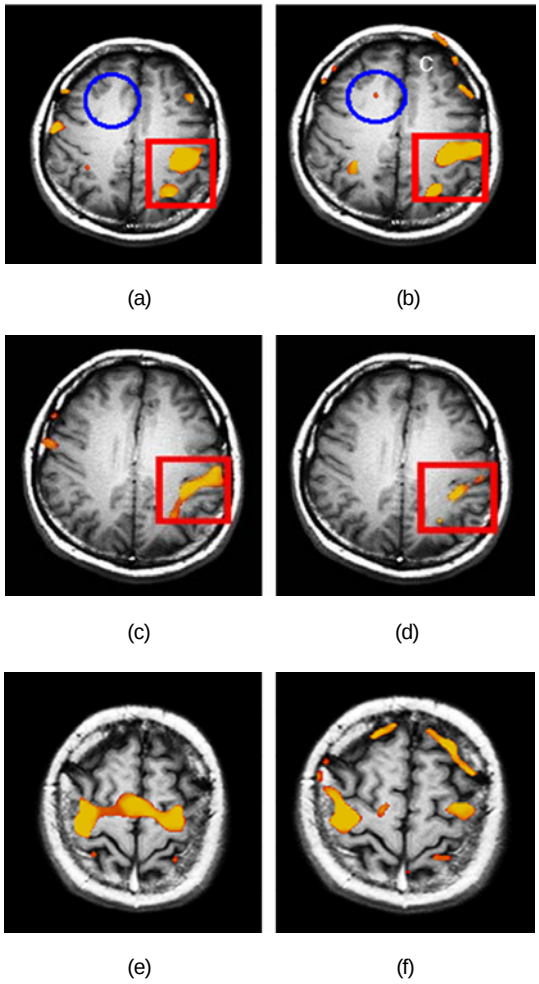


그림 7. 뇌의 일차 운동중추 영역의 정성적인 신호 분포. 산소 주입 전의 뇌의 활성화 영역(a, c, e), 산소 주입 후의 뇌의 활성화 영역(b, d, f).

있다. 예를 들면 귀가 잘 들리지 않으면 청력 자기공명영상의 기능적 검사가 있고(Pinheiro, 1976), 글을 알지 못하는 문맹인 경우는 그림을 통해 검사가 진행되는 silence picture name 방식을 택하면 될 것이다. 그 외에 운동(motor) 검사에서, 움직임이 힘든 나이가 많은 환자의 경우는 패러다임을 다시 구성하여 활성기는 적고 휴지기가 많은 single-event 방식을 취하여 정확한 검사를 할 수가 있다.

뇌의 기능적 자기공명영상법은 생리적 변화를 이용하여 국소적 신경 활성화를 영상으로 표현하는 것으로써 1990년 초부터 시도되어 왔다. 자기공명영상법을 이용한 뇌의 기능적 영상의 원리는 생리학적으로 크게 blood oxygen level dependent(BOLD)와 유입(inflow) 효과가 있다(Owaga, 1990).

기능적 자기공명영상법은 뇌신경의 활동성을 자기공명영상의 신호 변화로 나타내어 이를 시각화하여 보여 주는 방법으로, BOLD 효과가 신호원이 된다.

본 실험에서는 BOLD 효과를 이용하였다. BOLD 효과는 뇌혈류 증가에 따른 산소 유입 량의 증가는 활성화된 뇌 조직이 실제로 필요로 하는 산소량을 능가하기 때문에 소모되지 않고 산소가 정맥으로 흘러나가 뇌조직의 유출 정맥 계의 옥시헤모글로빈(oxyhemoglobin) 농도를 증가시키고 상대적으로 데옥시헤모글로빈(deoxyhemoglobin)의 농도는 감소한다는 이론이다. 데옥시헤모글로빈은 상자성 물질이므로 이의 감소는 곧 자화율(magnetic susceptibility) 효과를 감소시켜 $T2^*$ 강조영상에서 신호 증가를 초래한다.

산소는 자기공명영상실에 설치된 병원의 산소 공급관에서 15L/min 주입 량으로 실험 참여자의 안면 마스크 부위에 흡기하도록 하였다. 본 연구에서 50% 이상의 고농도의 산소 공급은 인간에게 유해할 수 있기 때문에 일반 공기 중의 산소농도(21%)에 비해 고농도인 30%의 산소농도를 주입하였다.

분석 기준이 되는 참고 데이터를 가지고, 자극에 유발되는 반응의 참고데이터와 이미지의 픽셀 데이터의 시간과 신호와의 연관 정도인 cross-correlation 기법을 이용하여 통계적 처리를 수행하였다.

휴지기와 활성기의 평균 신호강도 변화 크기는 산소 주입 전보다 주입 후가 더 많은 활성화를 보였고, 전반적으로 안쪽의 정맥에 분포를 이루어 뇌의 작은 영역까지 기능을 보여주는 활성화 영역에 도달하였다.

뇌의 일차운동중추 영역의 정성적인 신호 분포를 시각적으로 보여주고 있고, 산소 주입 전과 주입 후의 활성화된 신호를 시각적으로 비교하면 일정한 영역에 대한 픽셀 수가 산소 주입 전에 비해 산소를 주입한 뇌의 영역에서 더 많이 분포되어 정확하고 세밀하게 뇌의 작은 기능까지를 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 고농도 30%의 산소 공급이 공간 지각과제 수행하는 동안 산소 공급을 충분하게 하여 많은 주의와 인지적 노력 및 수행 능력을 기울이는데 도움이 되고, 산소 주입으로 대뇌의 활성화는 공간 지각 능력이 향상되어 과제 수행이 쉬워지는 결론에 도달할 수 있다.

기능적 자기공명영상법에서 활성화 영역을 우세하게 나타내는데 있어서 가장 중요한 것은 패러다임을 환자 특성에 맞게 구성하는 것이 가장 중요하다. 이러한 기법을 토대로 추후 연구 과제로는 수행 능력이 부족한 뇌 종양 환자, 진정제 투여 환자, 이해가 부족한 어린이 또는 약간의 주의를 필요로 하고, 정신적 장애가 있는 환자의 과제 수행 능력이 부족하므로, 뇌 운동 영역의 활성화가 적다. 그러므로 3.0 Tesla 고 자장의 기능적 자기공명영상법을 이용한 산소 주입 후 검사를 시행하여 높은 신호강도와 신호강도 변화 차이를 크게 함으로서 정확한 검사를 할 수 있다.

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

이 실험을 통해 몇 가지 고려할 사항은 산소 주입 시에 불편함을 느껴 움직일 수가 있으므로 주의를 요하고, 또한 산소를 주입하여 검사하는 사례가 적음으로 활성화 정도 즉 신호크기를 나타내는 정량화된 p 값을 알기 위해서 좀 더 많이 연구 과제가 필요로 한다.

5. 결 론

고 자장의 3.0 Tesla의 기능적 자기공명영상법을 이용하여 고농도의 산소를 주입하는 방법에서 휴지기와 활성기의 평균 신호강도 변화 크기와 신호강도는 산소 주입 전보다 주입 후가 더 많은 활성화를 보여 뇌의 기능적 영상에 대한 정확한 정보를 제공하였다. 뇌의 운동중추 영역에 대한 활성화 영역의 기능적 영상을 얻는 데는 산소 주입하는 방법이 유용하였다.

수행 능력이 부족한 뇌 종양 환자, 진정제 투여 환자 및 주의를 필요로 하는 정신적 장애 환자에게 산소를 주입하는 방법을 적용하면 효과적인 검사 방법이다.

참고 문헌

구은회, 권대철, 김동성, 송인찬, 언어 중추 영역에 대한 기능적 자기공명영상: 시각적, 청각적 지시 과제에 관한 비교, *대한의용생체공학회지*, 24(2), 241-246, 2003.

이호규, 강주고, 이정교, 신지훈, 박성태, 최충곤, 서대철, 임태환, 난치성 간질 환자에 있어서 기능적 MR 영상을 이용한 언어 기능의 편재화 결정: Wada 검사와의 비교, *대한영상의학회지*, 42, 721-727, 2000.

정순철, 김익현, 이봉수, 이정미, 손진훈, 김승철, 뇌 기능 영상을 이용한 외부 산소 공급에 따른 공간 지각 능력 변화에 관한 연구, *대한의용생체공학회지*, 24(4), 267-273, 2003.

정순철, 손진훈, 김익현, 고농도의 산소 공급이 공간지각 과제 수행시 젊은 성인 남자의 대뇌 편측화에 미치는 영향, *한국정밀공학회지*, 21(8), 180-187, 2004.

최순섭, 산소 호흡을 이용한 뇌의 관류 자기공명영상, *대한자기공명의과학회지*, 4, 113-119, 2000.

Binder, J. R., Swanson, S. J., Hammeke, T. A., Morris, G. L., Mueller, W. M., Fischer, M., Benbadis, S., Frost, J. A., Rao, S. M. and Haughton, V. M., Determination of language dominance using functional MRI: A comparison with the Wada test, *Neurology*, 46, 978-984, 1996.

Eustache, F., Ropus, P., Desgranges, G., Marchal, M. C., Petittaaboue, M., Dary, M., Lechevalier, B. and Baron, J. C., Healthy aging, memory sebsystems and regional cerebral oxygen consumption, *Neuropsychologia*, 33, 867-887, 1995.

Fox, P. T., Mintun, M. A., Raichle, M. E., Miezin, F. M., Allman, J. M. and van Essen D. C., Mapping human visual cortex with positron emission topography, *Nature*, 323, 806-809, 1986.

Fujiwara, T. and Maeda, M., Effects of oxygen and refresh space for the elderly, J. *Human Life Engineering*, 2(3), 8-11, 2001.

Horwitz, B., McIntosh, A. R., Haxby, J. V. and Grady, C. L., Network analysis of brain cognitive function using metabolic and blood-flow data, *Behav Brain Res*, 66, 187-193, 1995.

Le, B. D. and Karni, A., Application of magnetic resonance imaging to the study of human brain function, *Current Opinion in Neurobiology*, 5, 231-237, 1995.

Moss, M. C. and Scholey, A. B., Oxygen administration enhance memory formation in healthy young adults, *Psychopharmacology*, 124, 250-260, 1996.

Ogawa, S. and Lee, T., Magnetic resonance imaging of blood vessels at high field in vivo and in vitro measurements and image simulation, *Magn Reson Med*, 14, 9-18, 1990.

Pinheiro, M. L., Auditory pattern perception in patients with left and right hemisphere lesions, *Ohio journal of speech and Hearing*, 12, 9-20, 1976.

Scholey, A. B., Moss, M. C., Neave, N. and Wesnes, K., Cognitive performance hyperoxia, and heart rate following oxygen administration in healthy young adults, *Physiology and Behavior*, 67(5), 783-789, 1999.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 구 은 회 ❖

한서대학교 방사선학과 학사
현 재: 서울대학교병원 진단방사선과
주요관심분야: 기능적 자기공명영상법, 방사선 영상학

❖ 권 대 철 ❖

아주대학교 의용공학 박사
현 재: 서울대학교병원 진단방사선과
주요관심분야: 인간공학, 의용공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2005년 08월 11일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2005년 10월 20일

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.