

fMRI에 최적화된 작동기억 연구방법 고찰

최기용*, 이일선**, 권용주***
한국교원대학교

A review on Working Memory Study Method optimized fMRI

Choi, Gi-Yong*, Lee, Il-Sun**, Kwon, Yong Ju***
Korea National University of Education

<ABSTRACT>

Functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI) is equipment which detects blood oxygen level dependence(BOLD) easily. If we study now about the character of body related fMRI, we can make a more optimized fMRI researching method. Thus, the purpose of this study was to develop analysis frame and to use in future papers. There are temporal and spatial concerns. Temporal concerns include the length of the repetition time(TR). Spatial concerns include consistent difficulty of memory tests, uniqueness of activated regions, and the relation of activated regions. In conclusion, this paper is almost acceptable for this, but this frame needs more editing.

Key words: Functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI), optimized method, analysis frame

* 제 1 저 자 e - mail : giyongbrain @ gmail . com
** 제 2 저 자 e - mail : ilsunbrain @ gmail . com
*** 교 신 저 자 e - mail : kwonyj @ knue . ac . kr

2012. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

I . 서론

fMRI(Functional Magnetic Resonance Imaging)는 비침습적이고, 피험자에게 영향을 미치지 않은 장비이다. 학자들은fMRI를 이용하여 두뇌의 작동원리를 연구하고 결과를 학습에 적용시키기 위해 노력하고 있다(OECD, 2002).

연구 방법을 구상할 때 고려할 사항이 많이 있겠으나, 먼저 연구 수단의 특성을 파악하여 기기의 장점을 백분 활용할 수 있는 연구 방법을 만들어야 한다. 따라서 이 연구에서는 먼저 fMRI를 이용하기에 적합한 연구 방법인지를 판단할 수 있는 기준을 제시하고, fMRI를 이용한 작동 기억 논문의 적합도를 파악해보고, 마지막으로 간단하게 적합 모형 을 정리하고자 한다.

II . 연구 방법

이 연구는 크게 다음과 같은 네 단계를 통해서 수행 되었다.

- (1) fMRI의 원리와 실험설계, 영상 획득과 분석방법 등을 다룬 여러 문헌들과 논문들을 고찰하였다.
- (2) 이러한 고찰을 바탕으로 fMRI의 특성을 장점을 중심으로 분석하고, 연구 방법에 적용할 때 적합도를 판단할 수 있는 기준을 제작하였다.
- (3) 실제 fMRI를 이용하여 working memory를 연구한 논문에 기준을 적용해보는 과정을 거쳤다.
- (4) 논문 고찰 과 실제 논문 적용 결과를 바탕으로 fMRI를 최적화하여 이용하는 연구 방법을 간단하게 예시하였다.

III . 결과 및 논의

1. 적합도 판단 기준 개발

<표 1> 적합도 판단 기준틀

방법 \ 기준	공간적 제약			시간적 제약
	명료성	특이성	연계성	연속성
방법 1				
방법 2				
방법 3				
방법 4				
방법 5				

1) 공간적 제약

(1) 명료성(방법의 명료성)

① 개발 과정

우리가 학습을 할 때는 일반적으로 책상에서 한다. 그러나 책상에 앉아서 과제를 수행하는 것과 MRI에 누워서 과제를 수행하는 것은 과제 수행 환경이 다르다. 그래서 다른 환경의 영향을 최소화하기 위해서는 MRI 환경에 피험자가 충분한 적응을 해야 한다. 실험 할 때 사용하는 과제들은 필요에 의해 간단명료하게 디자인된다. 하지만 수행하기 쉬운 과제는 환경의 영향을 받는 비율이 작으므로 수행하기에는 충분하되 쉽지 않은 과제를 이용하여 적응 과정을 수행해야 한다. 환경의 영향을 덜 받기 위해서는 과제가 수행하기 쉬워야 한다. 대우 관계를 이용하여 검증하는 방법을 만들었다. 즉, 수행하기 어려우면 결과에 환경차이에 따른 영향이 포함된다.

② 기준 설명

방법의 명료성 기준은 실제 시행하는 과제의 명료성을 보기에 앞서 피험자가 달라진 환경에 얼마나 적응을 했는지를 판단 한 후, 피험자에게 최대한 환경의 영향을 적게 받게 하기 위해 쉽고 명료한 실험 방법을 디자인 했는지를 판단하는 기준영역이다. 피험자들에게 과제 수행 방법을 설명한 후 방법이 이해가 잘 안된다거나 수행하는데 불편함을 느끼는 피험자가 적을수록 좋은 실험 방법이다.

(2) 특이성(영역 특이성)

① 개발 과정

fMRI의 특성은 BOLD를 이용하여 뇌 활성화부위를 측정하는 것이다. 그러나 활성화부위의 변화가 특정부위에 국한되지 않고 전반적으로 나타난다면 의미가 없다. 그리고 두 가지 이상의 과제 수행 후 뇌 활성화영역이 중첩이 된다면 어느 과제의 영향인지를 가려낼 필요가 있다. 뇌의 특정 부위를 사용하게 하는 실험 설계인지 판단하기 위해 실험 디자인 방법을 분석하였다.

② 기준 설명

영상분석법에는 인지적 감산법(cognitive subtraction), 인지적 접합법(cognitive conjunction), 요인 계산법이 있다. 어느 방법을 사용하든 측정지역의 기능적 중첩을 확인 할 수 있는 방법을 선택한다.

a. 인지적 감산법

원하는 인지활동(PI)이 포함된 블록에서 원하는 활동이 제외된 대조블록 부분을 제외하는 방법이다(Price & Friston, 1997).

b. 인지적 접합법

인지적 사고과정 하위요소가 많을 경우는 인지적 감산법을 두 번 이상 시행하여 결과들을 비교

하여 뇌 활성 부위를 찾는 방법이다(Price & Friston, 1997).

c. 요인 계산법

인지작용이 상호 작용을 하고 있을 때 결과를 비교하여 각 작용들 중에서 공통적인 요소를 찾는 방법이다(Amaro & Barker, 2006).

(3) 연계성(네트워크 연계성)

① 개발 과정

fMRI는 공간적으로 국한된 기술이다. 뇌 조직의 각 부분에 위치한 기능을 나타낼 수 있지만, 실제 뇌는 복합적으로 활동한다. 그래서 실험 방법의 변화에 따라 뇌 각 부위의 연관성을 볼 수 있는 방법이어야 한다.

② 기준 설명

연관도는 실험 방법 변화 전후의 공통된 지역(Region)과 연결(Link)로 판단한다.

a. 지역성 판단

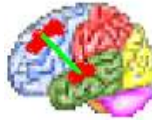
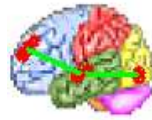
처음에는 PFC 활성이고, 나중에는 PFC와Singular 활성이면 공통연관지역이 한곳이다.

처음	나중	공통지역
		1
		2

<그림 1> 지역성 판단 예시

b. 연결성 판단

<그림 2>와 같이 처음과 나중의 최대 연결 고리 수로 판단한다.

처음	나중	연결
		1
		2

〈그림 2〉 연결성 판단 예시

2) 시간적 제약

(1) 연속성(활성 연속성)

① 개발 과정

fMRI의 촬영 시간 지연은 1초로 사건관련 전위(Event-Related Potential, ERP)

에 비해 시간적인 해상도가 떨어진다. 그러므로 1초보다 작은 시간 변화 측정이나 급격한 변화를 수반하는 실험방법은 지양해야 한다.

② 기준 설명

Δt 가 존재하는 불연속적인 촬영임을 감안할 때, 정확한 정보를 획득하기 위해서는, 뇌 활성변화의 $\min \Delta t$ 가 1초 이상이 되는 연속적인 실험 방법을 고안하였는지 판단한다.

2. 연구 방법 사례에 적용

〈표 2〉 적용 논문

연구방법	대표 저자(알파벳순)
방법1	Fabio Sambataro (2010)
방법2	John M. Olichney (2008)
방법3	Lisa Emery (2008)
방법4	M.Natasha Rajah (2010)
방법5	Venkata. S. Mattay (2006)

1) 명료성

<표 3> 명료성 적용 결과

방법	명료성
1	N-Back WM task(n=1,2) 시행으로 명료한 연구 방법이다.
2	명사와 설명이 적절한지 부적절한지를 판단하기만 하면 되므로 명료하다.
3	알파벳 순서만 알면 되는 명료한 연구 방법이다.
4	흑백 사진을 보기만 하면 되는 명료한 연구 방법이다.
5	N-Back WM task(n=1,2,3) 시행으로 3-back task에 난이도는 있으나 방법을 습득하는 것은 문제가 없다.

2) 특이성

<표 4> 특이성 적용 결과

방법	특이성
1	지역 특이성 있음, 인지적 감산법
2	지역 특이성 있음, 인지적 감산법
3	지역 특이성 일부 있음, 인지적 감산법, 요인 계산법
4	지역 특이성 있음, 인지적 감산법, 인지적 접합법
5	지역 특이성 있음, 인지적 감산법

(1) 방법 1: 사전 사후 비교가 아닌 노인과 청년의 비교 논문에 분석틀을 적용하였다. 활성 지역은 동일하였고, 활성도는 달랐다. 피험자 개인의 이미지 분석은 명시되어있지는 않으나 WM만 차이를 검사하는 것이므로 인지적 감산법을 이용하였을 것으로 생각된다.

(2) 방법 2: 피험자 개인에게 난이도가 다른 과제를 제시했을 때 나타나는 활성지역은 동일하나, 지역별로 상대적인 활성도는 차이가 난다. 난이도는 다르지만 WM 검사하는 점은 동일하므로 인지적 감산법을 이용하여 이미지 분석을 하였을 것이다.

(3) 방법 3: Age $\times$ Task 요인 분석으로 요인 계산법이 사용되었다. 방법이 같아도 다른 지역이 나타났다. 겹치는 부분에서 나이와의 연관성을 분석하였다.

(4) 방법 4: Recognition task와 Spatial task, Temporal task를 시행하여 활성도를 비교하였다.

(5) 방법 5: N-Back WM task 활용으로 인지적 감산법을 이용하였다.

3) 연계성

<표 5> 연계성 적용 결과

방법	연계성
1	공통지역 1, 최대연결 4
2	공통지역 4, 최대연결 17
3	공통지역 1, 최대연결 11
4	공통지역 2, 최대연결 4
5	공통지역 1, 최대연결 0 (판단불능)

(1) 방법 1: 처음 1-back task에서 link age point는 BA 7/9/10/31이었고, 나중 2-back task에서는 BA 29/30/31/39/41이다.

(2) 방법 2: 처음 3-TR에서 연결점은 BA 6/13/18/19/24/37/47 등 21곳이었고, 4-TR에서는 BA 3/6/7/19/24/32/37/40등 18곳이었다.

(3) 방법 3: 처음 노인은 BA 6/7/9/10/17/18/44/45/46등 12곳에서 나중 청년은 BA 6/40/44 세 곳이 었다.

(4) 방법 4: 처음 청년의 recognition task에서는 BA 9/10/45/46/47 이었고, 나중 노인은 BA 9/47이 었다.

(5) 방법 5: BA9 지역만 언급을 하여서 논문상으로 판단하기가 곤란하다.

4) 연속성

<표 6> 연속성 적용 결과

방법	연속성
1	task 시행 횟수는 있으나 총 소요 시간이 없어 task minΔt 측정 불능
2	task minΔt = 2500ms > 1000ms
3	task minΔt = 1500ms > 1000ms
4	task minΔt = 2000ms > 1000ms
5	task minΔt = 2000ms > 1000ms

방법 1과 방법 5는 같은 방법이므로 1번 논문에서도 2000ms로 과제를 제시했다고 본다. fMRI최소 촬영 간격보다 모든 논문이 충분히 큰 제시 시간을 가졌다.

3. fMRI에 적합한 연구 방법

피험자가 익히기 쉬운 방법이며 과제 제시 시간은 최소한 1초 이상이 되어야 한다. 뇌의 특정 지역과 관련이 있으면서 여러 지역과 연관이 되어있어야 한다.

IV. 결론

이 연구에서는 첫째, fMRI를 이용하기에 적합한 연구 방법인지를 판단할 수 있는 기준을 제시하고, 둘째, fMRI를 이용한 작동 기억 논문의 적합도를 파악해보고, 셋째, 간단하게 적합 모형을 정리하였다.

먼저 명료성, 특이성, 연계성, 연속성 네 범주의 기준 틀을 만들었다. 이 틀을 기준으로 다섯 개의 논문을 검토 해 본 결과 간단한 연구 방법을 이용한 논문에서는 기준틀을 적용하기가 쉬었으나, 실험군의 변수가 많아지면 적용하기가 어려운 것을 발견하였다.

명료성 부분에서는 초기 피험자의 숙련도는 논문을 통해서 알 수 없었지만, 논문에서 제시한 과제는 정상적인 성인이라면 충분히 쉽게 익힐 수 있는 과제였다. 특이성 부분에서는 연구 방법이 동일하여도 난이도에 따라 다른 뇌 지역의 활성이 나타난 논문도 있었으나 이 부분은 기준틀로 판단하기에 적합하지 않은 논문이었으므로 다른 논문이 과제 특이성을 가지는 것으로 정리할 수 있다. 연계성 부분에서는 사전 사후 관계를 따질 수 있는 논문에서는 공통 지역과 연결이 있었다. 연속성 부분에서는 모든 논문이 fMRI의 최소 영상 간격인 1000ms보다 긴 과제 제시 시간을 부여하는 논문이었다.

특정 기기에 적합한 연구 방법의 기준을 찾기 위해서는 그 기기의 특성을 충분히 파악하고 있어야 하겠지만, 이번 연구를 통해서 알게 된 더 큰 중요한 점은 예상할 수 없는 무궁무진한 연구 방법들의 일반적인 특성이다. 보다 더 활용도가 높고 객관적인 분석틀을 만들기 위해서는 기기의 특성도 중요하겠지만 현재까지 나와 있는 수많은 실제 예들을 충분히 알고 있어야 한다.

* * * * *

국문요약

fMRI는 두뇌에서 산소가 많이 소비되는 지점과 양을 쉽게 탐색할 수 있도록 해 주는 장치이다. 만일 fMRI와 관련된 신체의 특성에 대해 연구를 한다면 보다 최적화된 fMRI 연구 방법을 도출해 낼 수 있다. 따라서 이 연구의 목적은 판단 기준 틀을 개발하고 이를 향후 연구에 사용할 수 있는 방법을 제안하는 것이다. 여기에서는 시간과 공간 요인을 고려하였다. 시간 요인에 대한 고려는 TR의 길이를 포함하며, 공간 요인에 대한 고려는 기억력 과제의 일관된 난이도, 활성화된 부분의 특이성, 활성화된 부분 사이의 관련성 등을 포함한다.

주요어: fMRI, 최적화된 연구 방법, 판단 기준 틀

참고문헌

- Amaeo, E. & Baker, G. J. (2006). Study design in fMRI: Basic principles. *Brain and Cognition*, 60(3), 220-232.
- OECD. (2002). *Understanding brain: Towards a new learning science*. OECD Publication Service.
- Price, C. J. & Frison, K. J. (1997). Cognitive conjunction: A new approach to brain activation experiments, *NeroImage*, 5(4), 261-270
- Fabio Sambataro, Vishnu P. Murty, Joseph H. Callicott, Hao-Yang Tan, Saumitra Das, Daniel R. Weinberger, Venkata S. Matty. (2010). Age-related alterations in default mode network: Impact on working memory performance, *Neurobiology of Aging* 31 (2010) 839-852
- John M. Olichney, Jason R. Taylor, Dieter G. Hillert, Shiao-hui Chan, David P. Salmon, James Gatherwright, Vicente J. Iragui, Marta Kutas. (2008). fMRI congruous word repetition effect memory variability in normal elderly, *Neurobiology of Aging*(2008)
- Lisa Emery, Timothy J. Heaven, Jessica L. Paxton, Todd S. Braver. (2008). Age-related changes in neural activity during performance matched working memory manipulation. *NeuroImages* 42(2008) 1577-1586
- M. Natasha Rajah, Rafael Languay and Luc Valiquette. (2010). Age-related changes in prefrontal cortex activity are associated with behavioural deficits in both temporal and spatial context memory retrival in older adults. *Cortex* 46 (2010) 535-549
- Venkata. S. Mattay, Francesco Fera, Alessandro Tessitore, Ahmad R. Hariri, Karen F. Berman, Saumitra Das, Andreas Meyer-Lindenberg, Terry E. Goldberg, Joseph H. Callicott, Daniel R .Weinberger. (2006). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory capacity. *Neuroscience Letters* 392 (2006) 32-37