

정상성인의 시각 및 촉각 통합 작용 시 뇌신경세포의 전기생리활동의 시간 및 공간적 특성: 예비실험

주유미*, 김지현**

*서울대학교 인지과학연구소

**감각통합상담센터 SISO

국문초록

목적 : 다감각 통합은 인지과제나 운동실행을 위해 다양한 감각정보를 사용하는 데 있어서 필수적인 처리과정이다. 특히 시각 및 체감각의 통합은 운동 행동의 주요한 요소이다. 본 연구는 감각통합 과정의 시간적 경로와 뇌의 담당 위치를 파악하기 위해 신경생리학적 연구방법을 사용하여 시각과 체감각의 통합과정과 관련된 뇌의 시간적 및 공간적 특성을 조사하였다.

연구 방법 : 실험실 상황에서 시각과 촉각 자극을 독립적으로 또는 동시에 제시하고 유발전위검사(ERP: Event-Related Potentials)를 통해 통합작용 시 뇌에서 일어나는 신경세포들의 전기생리활동을 측정하였다. 이때 시각과 촉각을 각각 제시하여 얻은 유발전위신호들의 선형합과 두 개의 자극을 동시에 제공하였을 시 발생하는 유발전위신호를 측정하여 비교하였다.

결과 : 시각과 촉각을 독립적으로 각각 제시하여 얻은 유발전위신호(SUM)의 합과 두 개의 자극을 동시에 제공하여 얻은 유발전위신호(SIM)는 같지 않았다. 특히나 자극의 반대측인 오른쪽 일차체감각영역(C4)에서 SIM은 SUM보다 특정시간대에 통계적으로 유의미한 차이를 보였으며, Bilateral parietal areas(P3, Pz, P4) 뿐만 아니라 일차시각영역(O1, O2)에서도 두 조건 간 추가적인 통합관련 신경활동전기신호에 의한 통계적으로 유의미한 차이를 나타내고 있다.

결론 : 뇌 속에서 2개 이상의 감각이 통합될 경우 이와 관련된 추가적인 신경세포활동이 일어나고 있으며, 이는 다감각을 동시에 제공할 경우 뇌의 활동을 더욱 활발하게 촉진시키고 있음을 시사한다.

주제어 : 다감각통합(Multisensory Integration), 시각촉각 통합, 유발전위검사(ERP), 감각처리장애(Sensory Processing Disorder)

I. 서론

다감각통합(Multisensory Integration, MSI)은 시각, 청각, 촉각, 전정감각, 고유수용성 등 여러 다양한 감각 정보를 각 감각기관으로부터 입력받아 조직화하는 필수적

정보처리과정이다 (Bundy, Lane, & Murray, 2002; Calvert, Spence, & Stein, 2004; Lewkowicz & Lickliter, 1994). 특히나 이런 다감각통합을 통해 우리는 물체의 형태 및 소리를 인지하며 성공적으로 몸을 움직이고 협응할 수 있게 된다. 기존의 다감각통합 연구들은 주로 시각-청

각 자극의 통합과정에 대해 많이 집중되어 연구되어왔다 (Calvert, Spence, & Stein, 2004; Fuhrmann, et. al., 2008; Varitainen, Parviainen, & Salmelin, 2009). 이는 시각과 청각자극의 통합이 우리가 대화하는 데 있어 듣고 이해하는 언어지각에 가장 중요한 요소이기 때문이다. 반면 시각과 체감각 통합은 운동학습 및 운동조절에 중요한 요소임에도 불구하고 아직까지 이 두 감각의 통합작용에 관한 연구는 아직 많이 부족한 편이다. 시각-체감각 통합은 공간적 운동 협응에 기여하는 신체 도식의 기초가 되고 움직임 지각과 실행에 있어서 필수적 자원이기 때문에 전통적 감각 통합 치료에서 작업치료사의 주요한 관심사가 되어왔다 (Bundy, Lane, & Murray, 2002). 가령, 바구니에 공을 던진다고 가정해보자. 우리는 목표지점에 집중하기 위해 시각적 정보를 사용하며 동시에 공을 잘 조절하여 던지기 위해 손바닥과 손가락으로부터의 체감각 정보를 사용할 것이다. 이러한 시각-체감각 통합은 공을 던지기 위해 효과적으로 몸을 움직일 수 있도록 돕는 필수적인 정보통합과정이다 (Lewkowicz & Lickliter, 1994; Maravita, Spence, & Driver, 2003). 따라서 이처럼 운동조절 및 협응과 깊은 관계가 있는 시각과 체감각의 통합에 대한 신경생리학적 이해는 우리 몸의 움직임에 대한 더 깊은 이해를 도우며 더불어 치료가 최상의 근거-기반 치료 (evidence-based therapy)를 제공하는 데 도움이 될 것이다.

감각통합(Sensory Integration)이론은 1960년대 진 에어스(Aryes, A.J)가 처음으로 소개하였고, 감각통합의 기전과 임상적 효과는 행동 연구를 통해 활발하게 검증되어왔다(Bundy, Lane, & Murray, 2002). 이와 더불어 최근에는 뇌기능 영상화 기술을 통해 감각 통합의 신경생리학적 연구가 이루어져 감각통합현상에 대한 보다 의미 있는 통찰이 이루어지고 있다(Banati, et. al., 2000; Davies & Gavin, 2007). 감각통합의 뇌기전 이해에 있어 중요한 관점은 감각의 통합이 뇌의 '어디'에서 일어나는가와 각각의 감각을 받아들여 뇌에서 '언제' 통합되는가에 대한 정보이다. 이러한 감각통합의 공간 및 시간적 특성은 감각통합장애의 원인을 설명할 수 있는 실마리를 제공할 것이다. 본 연구는 유발전위검사를 통하여 시각과 촉각 통합 과정의 시간적 경로와 통합이 일어나는 뇌의 부위를 측정하였다. 유발전위검사란 특정시간(time-locked)에 반복적으로 감각자극을 제시하고 이에 따라 반응하는 신경세포의 전기생리활성 (Electrophysiological Activities)을 측정

하는 신경과학적 연구방법이다. 유발전위검사 기법은 다 감각통합 연구에서 널리 사용되어 왔으며 특히 이 연구방법은 신경활동 측정에 있어 시간해상도가 좋기 때문에 상당히 짧은 시간(milliseconds)내에 일어나는 신경세포들의 통합작용을 측정하기에 우수한 장점을 지니고 있다.

우리는 뇌에서 일어나는 감각통합 현상을 유발전위검사를 통해 정량적으로 측정하고, 수학적 계산을 통해 두 개의 단일 감각(시각-촉각)의 신경세포활동들의 선형 합계와 이 두 자극들이 동시에 제시되었을 때의 신경세포활동을 기록하여 비교하였다 (Brett-Green, et. al., 2008; Senkowski, et. al., 2008; Foxe, et. al., 2000; Okajuma, et. al., 1996). 일반적으로 감각통합이라고 하면 우리의 뇌에 시각정보와 촉각정보가 독립적으로 입력되는 것으로써 시각에 의한 신경세포활동과 촉각에 의한 신경세포활동의 단순 선형합이라고 여겨 질 수 있겠으나, 본 연구에서는 시각-촉각 통합 시 발생하는 유발전위가 단일감각의 독립적 처리 과정에서 발생하는 유발전위들의 총합계와 일치하지 않는다는 가설에 기초하고 있다.

감각통합과정에 대한 고전적 관점에 비추어 보면, 시각, 청각, 촉각 등 모든 종류의 단일감각 정보는 위둔덕(superior colliculus)이나 시상(thalamus)과 같은 피질하 영역(subcortex)에서 감각의 연합이 일어나고 그 다음 각각의 감각정보처리를 담당하는 상위 피질영역(cortex)으로 전달된다 (Calvert, Spence, & Stein, 2004). 이 때 상위 피질영역에서 처리된 감각 정보는 다시 피질하 영역으로 전달되는데 이 과정을 통상적으로 감각 되먹임(sensory feedback)이라 부른다. 상위 피질영역로부터 되먹임되는 신호로 인해 시상에서 피질영역으로 전달되는 단일감각정보는 재통합으로 수정되고, 수정된 감각정보가 2차적으로 상위피질영역에 재전달되게 된다(그림 1) (Lugo, et. al., 2008). 따라서 감각통합이 일어나면 multimodal neuron이 자극되어 단일감각처리과정보다 더 많은 신경세포발화(neuron firing)가 발생함으로써 전체적인 신경활동량이 많아진다 (Naumer & Kaiser, 2010). 다시 말해 피질하에서 통합작용이 일어나게 되면 상위수준으로 전달되는 감각입력의 양이 더욱 강화되어 피질에서 측정되는 전기생리적(유발전위) 신호가 더 크다고 볼 수 있다.

이러한 관점에서 보면, 감각통합이 일어나면 상위레벨로부터의 되먹임이 어느 정도의 추가적인 감각통합과 관

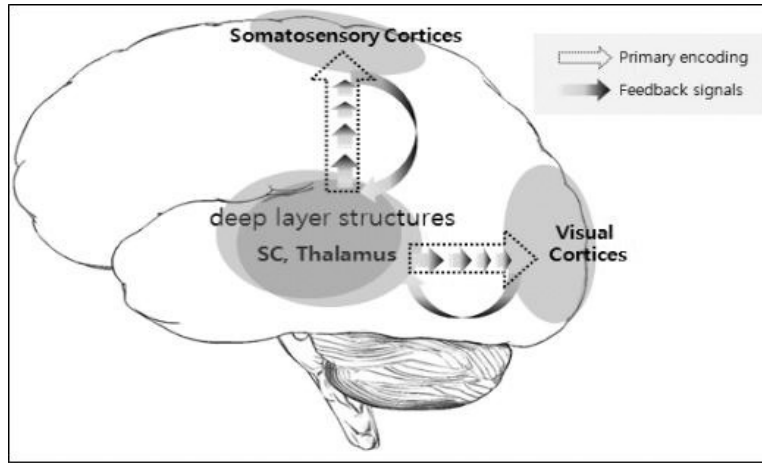


그림 1. 고전적 감각통합처리 모델. 등록된 각각의 감각정보는 위둔덕 및 시상에서 통합되어 피질수준의 감각처리영역(somatosensory cortices, visual cortices)으로 전달된다. 피질영역에서 되먹임(feedback)되어 피질하영역으로 전달되는 정보들은 재통합되어 피질영역으로 다시 재전달 된다.

련된 신경세포 활동을 만들어 낼 것이며, 따라서 피질영역에서 측정되는 감각 자극의 총 양이 증가될 것임을 추론해 낼 수 있다. 본 연구는 그 추론에 대한 근거를 유발전위검사 방법을 통해 제공한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 신경학적으로 이상이 없는 건강한 성인 5명이 참여하였으며(여자 2명, 평균나이 24세, 나이 분포 22-26세) 모두 오른손잡이었다. 우세손 평가는 Edinburgh Dominant Handedness 검사를 통해 측정하였다.

2. 유발전위검사(Event-Related Potential)

시각유발전위(Visual Evoked Potential; VEP), 촉각유발전위(Somatosensory Evoked Potential; SEP), 그리고 시각과 촉각자극을 동시에 주는 유발전위(Simultaneous; SIM)을 시행하였다. 유발전위(Evoked Potential; EPs)는 은/염화은(Ag/AgCl) 전극을 통해 15개의 영역(Fp1, Fp2, P3, P4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, Fz, Cz, Pz)에서 측정되었다. 15개의 영역은 International 10-20 system(그림2)에 근거하여 선정되었고 추가적으로 기준

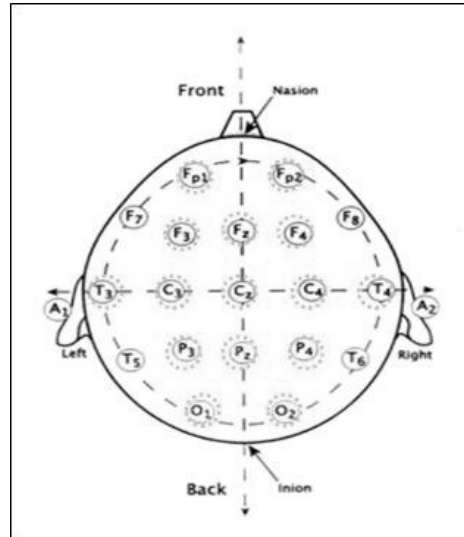


그림 2. International 10-20 system: 위쪽에서 두상을 내려다본 그림이며, 이 전극들 중 노란색 원으로 표시된 총 15군데 전극(Fp1, Fp2, P3, P4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, Fz, Cz, Pz)에서 유발전위를 측정함.

전극(reference electrode)와 접지전극(ground electrode)을 각각 이마와 양 귓불에 접지하였다. 안전도(Electro-Oculograms; EOGs)를 동시에 측정하여 눈을 깜박거리는 움직임에 의한 체계적 잡음신호를 제거하였다. 두피의 저항은 10k Ω 으로 균일하게 맞춰주었으며, 신호의 필터값은 low band pass filter(50Hz)로 설정해주었다.

3. 실험 자극

1) VEP

시각자극을 위해서 reversal on-off checkerboard를 사용하였으며 onset과 offset checkerboard는 총 34msec 동안 제시되었다(1Hz for a set of on-off checkerboard). 총 100회의 시각자극을 반복 제시하였다.

2) SEP

촉각자극은 모든 피험자의 왼쪽 아래팔(forearm)의 정중신경(median nerve)이 자극될 수 있도록 제시하였다. 사용된 촉각자극은 저주파 전기자극으로서 인체에 무해함을 입증 받은 상업용 FES(Functional Electrical Stimulator, Walking-Man II (주)싸이버메딕)을 사용하였으며, pulse duration은 400 μ s, frequency는 1 per second (1Hz)이다. 전기자극의 세기는 피험자의 정중신경이 자극되어 손끝에 짜릿한 감각이 느껴질 만큼 충분한 세기이지만, 자극이 너무 쎄서 근육경련(muscle twitching)이 일어나지 않는 범위(3-6mA) 내에서 개별 촉각 민감도에 따라 조정되었다. 총 100회의 촉각자극을 반복 제시하였다.

3) SIM

동시에 시각과 촉각이 주어지는 조건에서는 위와 동일한 조건의 시각과 촉각자극이 같은 시점에 동시에 제시되었다. 총 100회의 동시자극이 반복 제시되었다.

4. 데이터 분석

1) ERP 분석

신호를 계수화하기 위한 sampling rate는 256Hz(약 39ms에 한번 씩 신호를 받음)으로 설정하였다. 자극이 주어진 시점(event onset)의 -200ms를 기준구간(baseline)으로 정하였고, 시각, 촉각, 동시 조건 모두 각각의 event onset으로부터 600ms 구간동안 발생하는 유발전위 신호를 분석하였다. Independent Component Analysis(ICA)라는 분석방법을 통해 다른 혼란요소에 의해 유발되는 잡음요소들을 제거하였다.

2) 수학적 계산

동시에 시각과 촉각을 제시한 조건의 유발전위(SIM)와 각각의 시각유발전위(VEP)와 촉각유발전위(SEP)값을 선형적으로 합한 값(SUM)을 비교하였다. 또한 SIM과 SUM간의 절대차이값($| \text{simultaneous(SIM)} | \text{summed(SUM)} |$, absDIFF)을 계산하였다.

3) 통계

5명의 평균 SIM과 SUM을 비교하기 위해 Paired t-test를 시행하였다. 분석한 구간인 600ms 내 모든 sampling points를 모두 통계 분석하였고, 한 sampling point의 유의수준은 $p < 0.1$ 으로 정하였다. 보통 유의미한 감각자극에 의해 발현되는 신경세포 전기신호의 duration은 40ms인 점을 착안하여, 적어도 10개 이상의 sampling point가 연속적으로 $p < 0.1$ 수준에 만족시키는 시간구간을 신경세포의 활동에 의한 유의미한 유발전위라 간주하였다(Guthrie & Buchwald, 1991).

III. 결 과

전두엽(frontal), 중앙엽(central), 두정엽(parietal), 후두엽(occipital)을 포함하는 총 11개의 전극에서 측정된 5명의 총 평균 유발전위(grand-average ERP)를 그림3에 나타내었다. 단일 감각과 관련된 유발전위 VEP와 SEP를 각각 선형 덧셈한(SUM) 유발전위신호('predicted' condition) 점선으로 나타내었다. 시각과 촉각을 동시에 제공(SIM)하고 측정한 유발전위신호('observed' condition)는 회색선으로 표시하였다. 이와 더불어 SIM과 SUM조건간의 절대차이값(absDiff)은 검은색선으로 표시하였다. 시각과 촉각을 동시에 제공한 SIM조건이 SUM보다 대부분 전극들(frontal, central, parietal, occipital electrodes)의 특정 시간 구간에서 유발전위신호가 높게 나타나는 양상을 보였다.

특히나, 전기자극을 제시한 왼손의 촉각영역과 관련된 뇌의 오른쪽 체성감각영역(somatosensory cortices)과 시각자극과 관련이 있는 양쪽 시각영역(occipital cortices)에서 유의미한 차이를 보였다. 179~237ms구간에 C4전극의 유발전위신호가 SIM('observed' condition)조건에서 SUM('predicted' condition)보다 크게 나타났다. 시각

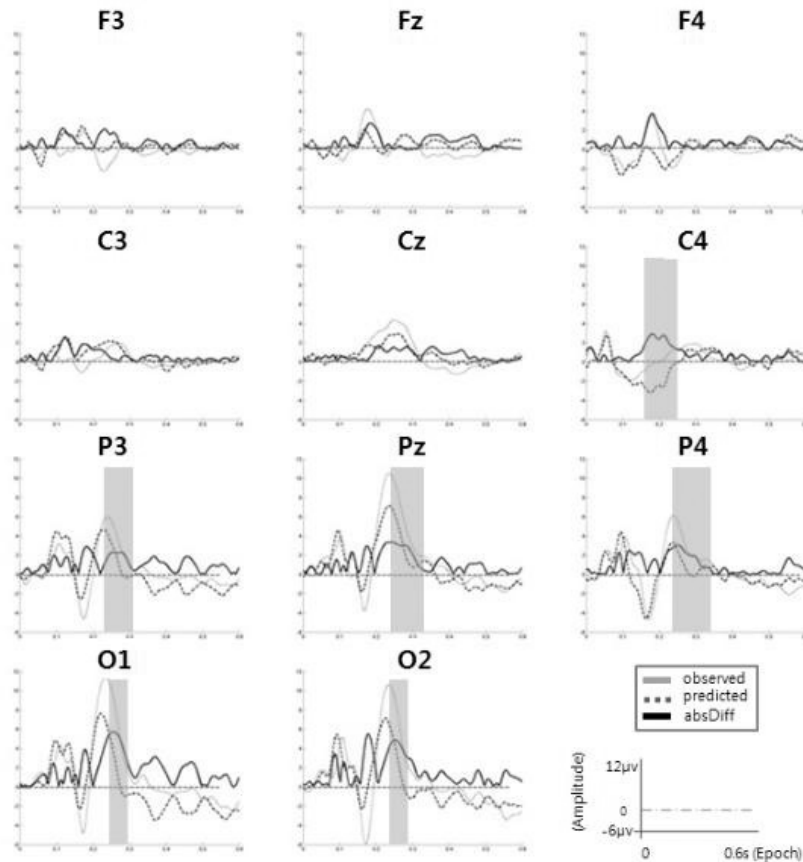


그림 3. 총 5명의 ERP신호 총 평균(grand-average)값; SIM(observed condition)은 회색선으로, SUM(predicted condition)은 점선으로, 그리고 SIM과 SUM 두 신호간의 절대차이값(absDiff)은 검은색선으로 표시함. 전두엽은 F3, Fz, F4, 중앙엽은 C3, Cz, C4, 두정엽은 P3, Pz, P4, 그리고 후두엽은 O1, O2의 전극에서 각각 측정하였음. 시각 및 촉각 자극이 제시되는 시점(event onset)을 기준으로 600ms 구간을 분석함.

영역에서는 N145 및 P200 요소의 유발전위신호가 SUM보다 SIM에서 각각의 극값으로 더 증폭되는 모습을 보였다. 특히, 245-300ms 시간구간동안 O1전극에서 그리고 259-296ms 시간구간동안 O2전극에서 유발전위의 신호가 SIM조건에서 SUM조건보다 더 크게 나타났다(그림3). 두정엽의 P3(241-304ms), P4(249-312ms), 그리고 Pz(273-312ms)구간에서 유의미한 차이를 보이는 것으로 나타났다(표1).

분석에 포함된 600ms 구간내 SIM과 SUM간의 절대차이값의 뇌지형도(Topographical Distribution)를 40ms간격의 시간 축으로 나타내었다(그림4). 가장 유의미한 차이를 보이는 곳은 160-200ms 구간의 오른쪽 frontal sites와 200-240ms 구간의 오른쪽 parieto-central sites이다. 또한 240-280ms구간의 양쪽 시각영역에서 SIM과 SUM간의 유의미한 차이를 나타내고 있다.

표 1. SIM과 SUM조건 간에 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 전극과 시간구간

Electrode	Time Epoch (msec)
C4	[179~237]
P3	[241~304]
Pz	[273~312]
P4	[249~312]
O1	[245~300]
O2	[259~296]

* 각각의 sampling point (39ms)의 유의수준 $p < .1$. 적어도 10개 이상의 sampling points에서 연속적인 통계적으로 유의미한 수준을 보이는 시간구간을 잡음이 아닌 신경세포활동으로 인한 유발전위라 간주함.

† **SUM**: linearly summed evoked potentials between visual and tactile stimuli; **SIM**: evoked potentials for simultaneously presented stimuli

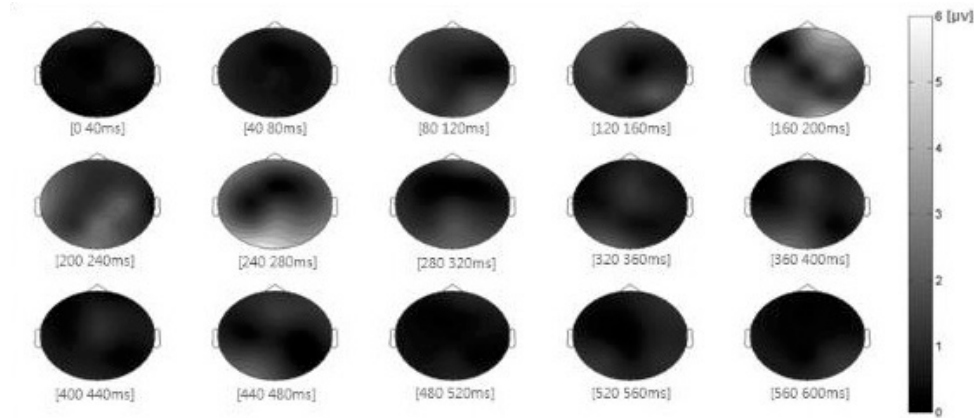


그림 4. 뇌지형도(Topographical Distribution). SIM과 SUM 조건의 절대차이값(absDiff)을 총 600ms 동안 40ms씩 시간의 순서에 따라 뇌에서 신경세포활동전위 발생되는 영역에 표시하였음(topography). 두 조건간 차이가 나는 신경세포전위 값의 세기는 색으로 나타내었으며 최대값은 6 μ V임

IV. 고찰

이 연구는 감각통합과정이란 단순히 두 개의 단일 감각에 의한 유발전위의 선형합이 아님을 시사하고 있다. 감각통합이란 두 개의 단일감각이 합해지는 과정이라기보다 통합으로 인한 부가적인 2차적 과정을 포함한다. 실제로 유발전위검사방법을 통해 각각의 시각 및 촉각유발전위의 선형합(SUM)과 두 감각을 동시에 제공했을 시 유발전위(SIM)를 비교한 결과, 일차적 체성감각영역, 두정엽, 시각영역 등 대부분의 뇌의 영역에서 SIM조건의 유발전위크기가 SUM조건보다 크게 나타남을 보였다. 특히나 촉각자극을 제공한 반대측(contralateral) 뇌영역 및 양쪽 시각영역에서 두 조건 간 통계학적으로 유의미한 차이를 보였다. 179-237ms 구간에서 촉각자극을 제공한 왼손의 반대편인 우측 일차체성감각영역(C4)에서 SUM보다 SIM조건의 유발전위의 크기가 더 크게 나타났다. 시각유발전위역시 양쪽 시각영역에서 특정 시간에서, O1전극의 245-300ms구간과 O2전극의 259-296ms구간, SIM조건의 유발전위신호가 더 크게 나타남을 보였다. 보통 촉각과 관련된 유발전위신호는 70-80ms에서 나타나며 시각관련된 유발전위신호는 100ms구간에 발생함을 고려했을 시, 위치럼 SIM조건에서만 나타나는 굉장히 늦은 시간구간의 신경세포활동은 두 개의 감각통합에 의해 발생하는 추가적인 신경세포활동을 반영하고 있다. 고차영역에서 발생하는 통합효과는 다시 일차적 감각처리과정에 영향을

주고 있으며, 이러한 top-down feedback modulation은 300ms이내의 시간영역에서 처리되고 있음을 보이고 있다. 이와 같은 결과는 감각통합과정시 부가적으로 발생하는 이차적인 신경세포활동(additional effect of neuron firing ; α)이 다시 일차 감각영역으로 되먹임(feedback)을 보냄으로써 감각신경전달 관련된 뇌신경세포의 활동이 증가된다는 감각통합의 고전적 이론을 뒷받침하고 있다. 따라서 뇌의 감각통합과정이란 입력된 감각이 일차적 감각처리기관을 통해 고위영역으로 전달되며 감각을 통합하는 고차영역의 활동이 다시 일차 감각처리기관에 되먹임(feedback) 함으로써 감각등록을 활발하고 풍요롭게 한다. 이러한 가설은 감각통합으로 인해 전반적인 뇌활동이 활발해 짐을 본 연구를 통해서도 알 수 있다. 따라서 임상에서도 각각 개별 분리된 감각자극을 제공하는 것보다 두 개의 자극 이상의 자극을 보다 자연스런 환경을 통해 제공하는 것은 감각등록 및 뇌활동을 촉진시키는데 도움이 될 것이다.

대부분의 두정엽 영역(P3, Pz, P4)에서도 241-304ms (P3), 249-312ms (P4), 273-312ms (Pz)와 같은 늦은 시간구간에서 SIM과 SUM조건 간에 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 하지만 이러한 두정엽에서 측정되는 유발전위신호는 편측화되어 있지 않으며 시각유발전위 신호와 일정한 시간적 차이를 두고 후에 싱크된 시간에 발생하는 점으로 미루어보아 시각영역의 세포활동으로 인한 유발전위의 두뇌전방측 이동으로 인한 부유전위로 인한 신호로 생각된다.

다감각자극 시 동측 전두엽(F4)에서 측정되는 세포활동은 기존 문헌을 통해서도 확인할 수 있다. 본 연구에서 또한 SIM조건에서만 늦은 시간 구간에서 촉각자극을 제공한 측의 반대편(contralatera)영역 다시 말해 오른쪽 전두엽(F4)에서 추가적인 신호가 측정되었다. 이는 촉각과 시각을 동시에 제공하였을 시 주의력(attention)과 관련된 신경세포활동이 전두엽에서 더 활성화되었고, 이는 촉각이 들어오는 쪽 대뇌반구에 대한 주의를 상승한 것으로 보인다. 즉, 두 개 이상의 다중감각을 제공할시 감각자극이 들어오는 대뇌반구의 주의(attention)가 상승함으로써 감각입력을 더욱 효율적으로 받게 하고 있음을 시사한다.

이 연구는 유발전위신호검사(ERP)를 통해 두 개 이상의 감각을 통합할 시 뇌에서 세포활동은 단일감각관련 뇌세포를 수적으로 동원하는 것을 넘어 그 이상의 2차적이며 부가적인 통합을 위한 뇌세포 활동이 있음을 간접적으로 보여주고 있다. 하지만 이 연구의 단점으로는 아직까지 예비실험의 단계이기 때문에 5명의 소수에서 나타나는 특징에 대해 기술 한 것이나 추후의 연구에서는 더 많은 성인들을 대상으로 실험해볼 필요가 있으며, 더불어 감각통합에 문제를 겪고 있는 아동들을 대상으로도 검사하는 의미가 있을 것으로 예상된다. 또한 본 연구에서는 촉각자극을 한쪽 측 왼쪽에만 제시하고 유발전위를 측정하였는데 오른쪽에서 제시하는 실험을 추가하여 감각통합작용이 편측화되는 특성 없이 동일하게 일어나고 있음을 추가적으로 입증해야 할 것이다.

V. 결 론

이 연구는 시각과 촉각의 통합작용이 일어나는 뇌의 신경기체에 대해 알아보기 위하여 유발전위검사(Event-related potentials)통해 연구하였다. 결과에서 언급한 바와 같이 뇌의 시각 및 촉각의 통합작용은 각각의 단일 자극과 관련된 신경세포활동의 선형적 합과 같지 않음을 증명하고 있다. 특히나 일차체성감각관련 영역(C4) 및 일차시각 영역(O1&O2)에서 동시에 2개의 감각을 제공한 조건(SIM)이 각각의 시각과 촉각 단일자극을 제시하여 선형 합을 한 조건(SUM)조건보다 더 큰 유발전위신호를 나타내고 있다. 이는 뇌 속에서 2개이상의 감각이 통합될 경우 이와 관련된 추가적인 신경세포활동이 일어나고 있

며 이는 다감각을 동시에 제공하면 뇌의 활동을 더욱 활발하게 촉진시키고 있음을 시사한다.

참 고 문 헌

- Banati, R. B., Goerres, G. W., Tjoa, C., Aggleton, J. P., & Grasby, P. (2000). The functional anatomy of visual-tactile in man: a study using positron emission tomography. *Neuropsychologia*, 38, 115-124.
- Brett-Green, B. A., Miller, L. J., Gavin, W. J., & Davies, P. L. (2008). Multisensory integration in children: A preliminary ERP study. *Brain Research*, 1242, 283-290.
- Bundy, A. C., Lane, S. J., & Murray, E. A. (2002). *Sensory integration: theory and practice* (2nd ed.). Philadelphia: F.A. Davis Company.
- Calvert, G., Spence C., & Stein, B. E. (2004). *The handbook of multisensory processes*. US: The MIT Press.
- Davies, P. L., & Gavin, W. J. (2007). Validating the diagnosis of sensory processing disorders using EEG technology. *American Journal Of Occupational Therapy*, 61(2), 176-189.
- Fuhrmann, A. G., Hein, G., Tsai, N., Naumer, M. J., & Knight, R. T. (2008). Temporal characteristics of audiovisual information processing. *Journal of Neuroscience*, 28(20), 5344-5349.
- Guthrie, D., & Buchwald, J. S. (1991). significance testing of difference potentials, *Psychophysiology*, 28(2), 240-4.
- Senkowski, D., Schineider, T. R., Foxe, J. J., & Engel, A. K. (2008). Cross modal binding through neural coherence: implications for multisensory processing. *Trends in Neuroscience*, 31(8), 401-9.
- Foxe, J. J., Morocz, I. A., Murray, M. M., Higgins, B. A., Javitt, D. C., & Schroeder, C. E. (2000). Multisensory auditory-somatosensory integrations in early cortical processing revealed by high-density

- electrical mapping. *Cognitive Brain Research*, 10(1-2), 77-83.
- Lewkowicz, D. J., & Lickliter, R. (1994). *The development of intersensory perception: comparative perspective*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Lugo, J. E., Doti, R., Wittich, W., & Faubert, J. (2008). Multisensory integration: Central processing modifies peripheral systems. *Psychological Science*, 19(10), 989-97.
- Maravita, A., Spence, C., & Driver, J. (2003) Multisensory integration and the body schema: Close to hand and within reach, *Current Biology*, 13, R531-R539.
- Naumer, M. J., & Kaiser, J. (2010). *Multisensory object perception in the primate brain*. New York: Springer.
- Okajima, Y., Chino, N., Takahashi, M., & Kimura, A. (1996). Effects of visual and auditory stimuli on median nerve somatosensory evoked potentials in man. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 35, 251-256.
- Varitainen, J., Parviainen, T., & Salmelin, R. (2009). Spatiotemporal convergence of semantic processing in reading and speech perception. *Journal of Neuroscience*, 29(29), 9271-9280.

Abstract

Temporal and Spatial Characteristics of Visual and Somatosensory Integration in Normal Adult Brain

Ju, Yu-mi^{*}, M.S., O.T., Kim, Ji-hyun^{**}, M.S., O.T.

^{*}Institute of Cognitive Science, Seoul National University

^{**}Sensory Integration Consultation Center, SISO

Objective : Multisensory integration (MSI) is the essential process to use diverse sensory information for cognitive task or execution of motor action. Especially, visual and somatosensory integration is critical for motor behavior and coordination. This study was designed to explain spatial and temporal characteristics of visual and somatosensory integration by neurophysiological research method that identifies the time course and brain location of the SI process.

Methods : Electroencephalography (EEG) and event-related potential (ERP) is used in this study in order to observe neural activities when integrating visual and tactile input. We calculate the linear summation (SUM) of visual-related potentials (VEPs) and somatosensory-related potentials (SEPs), and compared the SUM with simultaneously presented visual-tactile ERPs (SIM)

Results : There were significant differences between the SIM and SUM in later time epochs (about 200–300ms) at contralateral somatosensory areas (C4) and occipital cortices (O1&O2). The amplitude of the SIM was mathematically larger than the summed signals, implying that the integration made some extra neural activities.

Conclusion : This study provides some empirical neural evidence of that multisensory integration is more powerful than just combining two unisensory inputs in the brain and ERP data reveals neural signature relating to multisensory integrative process. Since this study is preliminary pilot study, larger population and criteria are needed for level of the significance. Further study is recommended to consider issues including effect of internally-driven attention and laterality of interaction to make the evidence by this study solid.

Key words : multisensory integration, visuotactile integration, ERPs (Event-Related Potentials), SPD (Sensory Processing Disorder)