

시각적 MMN(vMMN)의 분석을 통한 한국어 글말의 무의식적인 인지과정 연구

이성은

독어독문학과, 인문대학, 서울대학교

신경언어학연구실, 아동 청소년 신경정신과, 독일 프라이부르크 대학

cristlov@hanmail.net

Automatic cognitive processing of korean written language as indexed by visual
MMN(vMMN)

Lee, Sung Eun

Institute of German language & Literature, College of Humanities, Seoul National University
Neurolinguistic Laboratory, Department of Child and Adolescent Psychiatry and
Psychotherapy, University of Freiburg, Freiburg, Germany.

요 약

ERP의 일종인 MMN(Mismatch Negativity)은 언어의 청각 인지정보 처리과정(central auditory processing)을 규명하는 데 유용한 수단으로 이용되어 왔다. 그런데, 최근의 연구들은 이러한 MMN이 청각 자극뿐만 아니라 시각 자극에 의해서도 검출될 수 있음을 밝혀냈다. 본 연구는 이러한 시각적 MMN을 이용하여 뇌에서 이루어지는 한국어 화자의 무의식적인 한국어 문자 정보처리과정을 규명하려고 시도하였다. 본 연구에서는 한국어의 글말 최소쌍 ‘므/모’와 ‘므/무’, 이에 대응되는 비언어자극 ‘+ -’/ ‘+ ⊥’와 ‘+ -’/ ‘+ ⊥’(+ 표시의 아래에 모음을 붙여서 만든 인공문자, 그림1 참고)를 수동적(passive) Oddball paradigm으로 제시하고 언어 자극에 대한 EEG를 비언어자극과 비교 하여 측정, 분석하였다.

본 연구의 결과, 언어자극과 비언어자극 모두에서 시각적 MMN이 검출되었다. 하지만, 언어자극의 시각적 MMN이 비언어자극의 시각적 MMN보다 높게 나타남을 확인하였다. 이는 한국어 모국어화자들이 무의식적인 인지과정에서 언어자극이 갖는 물리적인 시각 정보뿐만 아니라 한국어 문자의 언어적 정보도 함께 처리하고 있음을 보여주는 것이다. 본 연구의 결과들은 한국어 글말의 무의식적인 인지처리과정을 밝혀주는 한편, 한국어 문자가 인지과학에서 갖는 중요한 지위를 보여줄 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: EEG, MMN, vMMN, 시각적 언어정보처리

1. 서론

인지과학의 연구의 역사에 있어서 EEG를 통한 ERP 연구는 높은 시간적 해상도(time resolution)의 이점을 통하여 다양한 언어인지 정보처리연구에 이용되어 왔다¹. 특히 이러한 ERP 중 MMN(Mismatch negativity)은 인간의 청각정보처리과정(central auditory processing)에서 나타나는 언어의 음운 인식과 관련된 연구에서 유용한 수단으로 활용되어 왔다. MMN은 자극제시후 100ms~250ms에서 나타나는 음전위로서, 수동적(Passive) Oddball paradigm을 이용하여 검출할 수 있다. 본 패러다임에서는 피험자가 자극에 대해 주의를 기울이지 않는 상황에서, 표준자극(Standard)을 높은 빈도로 제시하고 표준자극 사이에서 이와 미세한 물리적 차이를 갖는 특별자극(Deviant)을 제시하면서 자극에 대한 EEG를 측정한다. 이 과정에서 특별자극에 대해 표준자극보다 높은 음전위가 발생하는데 이 음전위가 바로 MMN이다. MMN은 흔히 인간의 청각정보에 대한 무의식적인 인식 능력을 반영하고 있는 것으로 받아들여지고 있다². 이러한 MMN은 표준자극과 특별자극 사이의 물리적인 차이 - 주파수, 진폭, 자극의 길이 - 뿐만 아니라, 음운론적인 차이 - 예를 들어 ‘아’와 ‘이’와 같은 음운 최소쌍의 차이에도 검출될 수 있기 때문에 MMN은 청각적 음운 정보처리 능력을 반영한다.³ 이 때문에 음성 언어정보처리와 관련된 연구들, 예를 들어 모국어화자의 모국어 및 제2외국어 음운 인식능력⁴, 언어습득에 따른 음운 인식능력의 향상⁵, 언어장애 아동에서 나타나는 청각정보 및 음운정보 인식장애^{6,7} 등 다양한 연구들에서 유용한 실험방법으로 사용되어 왔다. MMN은 무의식중에도 검출되기 때문에 실험에 집중하기 어려운 정신질환 환자나 아동들을 대상으로 적용가능하다. 이러한 이유 때문에 MMN을 통하여 다양한 실험집단의 청각적 언어인지 정보처리과정을 연구해 왔다³.

이러한 MMN은 그간의 연구에 있어서는 주로 청각자극에 의해서 검출되었다. 그런데 최근의 연구들은 MMN이 시각자극을 통해서도 검출가능하다는 것을 밝혀냈다^{8,9,10}. 이러한 연구들에서 미세한 시각적 물리적인 차이를 갖는 표준자극과 특별자극이 제시되었고 특별자극에 대한 반응으로서 “시각적 MMN”(이하 ‘vMMN’)이 검출되었다. 하지만 이러한 연구들에서는 비언어적인 자극만이 제시되었을 뿐, 아직 언어적인 자극이 제시되지 못했다. 가장 큰 이유는 서양의 언어들 - 예를 들어 영어, 독일어 등 -에서는 청각자극과 달리 글말을 가지고, MMN 패러다임에 적합한 표준자극과 특별자극을 구성하기 어렵기 때문이다. 이에 반해 한국어 글말의 경우는 손쉽게 시각적 Oddball paradigm을 구성할 수 있다. 예를 들어 ‘므’와 ‘모’ 사이에 한 획의 변화를 통해 최소쌍을 만들

수 있다 (이에 반해 영어의 경우는 ‘mu’와 ‘mo’처럼 Passive Oddball paradigm에 적합한 시각적 최소쌍을 만들기 어렵다). 본 연구는 이러한 한국어의 글말의 이점을 활용하여 한국어 모국어화자의 무의식적인 시각적 언어정보 처리과정을 연구하는데 그 목적을 두고 있다. MMN 패러다임을 통해서 제시되는 한국어의 최소쌍과 비단어의 최소쌍에 대한 vMMN을 비교함으로써 한국어의 시각적 언어정보처리에서 이루어지는 한국어 글말의 무의식적인 음운구별능력을 규명하고자 한다.

2. 실험

2.1 피험자

본 연구의 피험자로서 10명의 여대생(19세에서 28세, 평균연령 22.3세, 오른손잡이 9명, 양손잡이 1명)이 참가하였다. 모든 피험자들은 실험의 과정에 대한 충분한 설명을 듣고 참여와 실험결과에 대한 분석 및 활용에 대해서 면으로 동의하였다.

2.2 실험자극

실험자극으로서 한국어 글자 ‘므’가 표준자극으로, ‘모’는 특별자극1로, ‘무’는 특별자극2로 제시되었다 (그림1 참조). 특별자극은 표준자극에 같은 크기의 획을 위(‘모’) 혹은 아래(‘무’)에 추가함으로써 구성하였다.

언어자극조건과 대비되는 비언어자극조건에서는 ‘+’가 표준자극으로, ‘+⊥’가 특별자극1로, ‘+⊥’가 특별자극2로 제시되었다 (그림1 참조). 비언어자극은 언어자극의 ‘口’을 이와 높기와 길이가 같은 ‘+’로 대체함으로써 구성하였다.

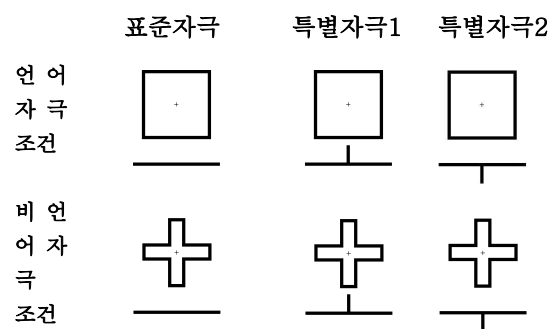


그림1. 실험자극 - 언어자극조건(위)과 비언어자극조건(아래).

모든 자극은 그림으로 제시되었으며 ‘口’과 ‘+’의 정중앙에는 작은 십자가 모양이 시점으로서 제시되었다(그림1 참조). 언어자극과 비언어자극은 시점에서의 거리가 동일하며 모음의 크기 역시 동일한 크기로 구성되었다.

피험자의 주의력을 집중시키기 위해서 추가로 ‘☹’표시가 과제자극으로, 표준자극과 특별자극 사이에서 무작위

로 제시되었다(그림2 참고).

Oddball paradigm에서 언어자극조건과 비언어자극조건은 표준자극은 80개, 특별자극은 각각 10개, 과제자극은 10개 등 총 120개로 구성된 하나의 블록으로 제시되었다. 각 블록 내에서 자극의 순서는 무작위로 배치되었으며 특별자극은 최소한 두 개 이상의 표준자극 사이에서 제시되도록 하였다(그림2 참고). 언어자극과 비언어자극의 블록을 5회씩 번갈아가며 제시하여, 총 1200개의 자극이 제시되었다.

자극의 제시 시간은 150ms 자극과 자극사이의 간격은 650ms이었다.

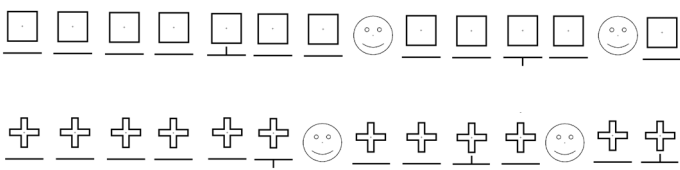


그림2. 언어자극 조건(위)과 비언어자극조건(아래)의 자극제시 예.

2.3 실험과정

피험자들은 실험에 앞서서 모니터에 그림 사이에 표시되어 있는 시점을 주시하면서, 반복해서 나타나는 다른 그림들 사이에서 '😊'표시(과제자극)가 나타날 경우 가능한 빠른 속도로 키보드의 스페이스바를 한손가락으로 누르도록 주문되었다. 이를 통해 EEG 측정과정에서 피험자들이 실험자극(표준자극, 특별자극)에 대해서 무의식적으로 반응하도록 하였다. 실험 후에 이루어진 사후검정을 통해서 모든 피험자가 90%이상 정확하게 과제자극에 반응했음을 확인하였다. EEG측정은 약 15분간 진행되었다. EEG측정의 시작부분에는 피험자들의 과제자극에 대해 집중할 수 있도록 하기위해서 두개의 표준자극(언어조건, 비언어조건)을 24회씩, 그리고 사이에서 과제자극이 12번 제시되는 준비단계를 설정해 두었다.

2.4 EEG 측정 및 분석

EEG측정은 프라이부르크 대학의 신경언어학 연구실에 속한 EEG 실험실에서 수행되었다. EEG 측정 시, 피험자들은 방음 처리된 EEG 측정실 안에서 편안한 의자에 앉아서 17인치 LCD 모니터(해상도 1024 x 600, 모니터로부터의 간격 약 80cm, 시선의 높이가 모니터의 시점에 위치)로 연두색 배경으로 모니터 정중앙에 제시되는 자극들을 보면서 과제자극이 제시될 때마다 키보드로 반응하였다. EEG측정은 Ag/AgCl전극(electrode)과 SynAmps 및 Scan 4.0 software (NeuroScan Inc. Sterling, Virginia, USA)를 이용하여 수행되었다. 전극

의 설치를 위해 국제적인 표준에 따라 설계된 10-20 System electrode cap (EasyCap, Falk Minow Service, Herrsching-Breitbrunn, Germany)이 사용되었으며, 총 10개의 전극에서 뇌파가 측정되었다 (Fz, Cz, Pz, P3, P4, P7, P8, Oz, O1, O2). 눈의 움직임으로 인한 방해파를 측정하기 위해 vertical electro-oculogram(VEOG) 과 horizontal electro-oculogram(HEOG)을 적용되었으며, online filtering은 0.1Hz~70Hz에서 이루어졌고 sampling rate는 500Hz, 전극의 전도율은 10 kΩ이하를 유지하였다. Online reference로 코끝에 전극을 설치하였으며, ground 전극은 AFz이었다.

EEG 데이터 분석에서는 4개의 전극 - Fz, Cz, Pz, Oz에서 측정된 EEG 반응을 Brain Vision Analyzer 1.05 software (Brain Products GmbH, Munich, Germany)를 이용하여 분석하였다. 분석과정에서 0.2Hz에 설정된 high-pass filter와 30Hz에 설정된 low-pass filter를 통해 불필요한 뇌파를 제거하고, 진폭이 +/- 100 μV에 해당하는 뇌파를 분석에서 배제하였다. 또한 준비단계에서 제시된 자극들에 대해서는 분석하지 않았다. 각각의 자극에 대한 EEG를 자극제시 시간단위로 분절하고 분절된 EEG들의 평균치를 구함으로써 피험자 개인의 각 자극에 대한 EEG반응을 산출하였다. 일반적으로 MMN을 산출하는 방식에 따라 vMMN은 특별자극으로부터 표준자극의 값을 뺀으로써 계산되었다². 그리고 개개의 vMMN의 반응을 평균함으로써 최종적으로 vMMN의 전체평균곡선(grand average curve)이 산출되었다.

각 조건 및 자극에 대한 vMMN의 진폭을 비교하기 위해 변량분석 반복측정 (3way Anova - 자극조건 (언어자극조건 vs. 비언어자극조건) x 특별자극유형 (모음 'ㄱ' vs. 모음 'ㄷ') x 전극 (Fz vs. Cz vs. Pz vs. Oz))이 수행되었다.

3. 결과

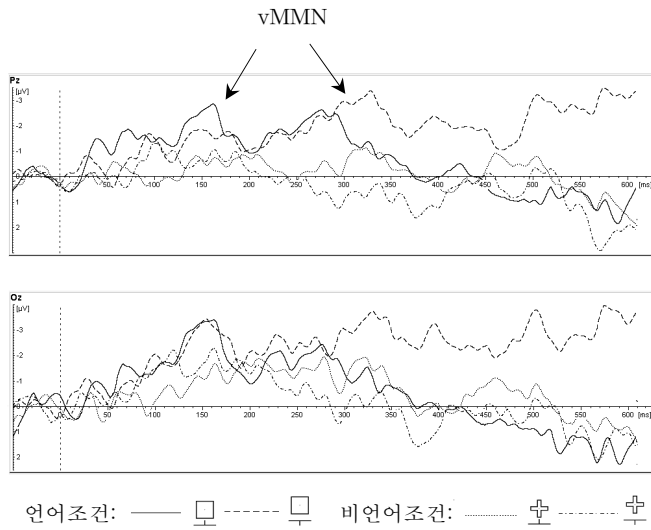


그림 3. 언어자극조건과 비언어자극조건에 대한 vMMN 곡선 (전극 Pz와 Oz의 전체평균곡선).

그림3에서 볼 수 있듯이, 두 조건에서 모두 각각의 모음에 대하여 두 개의 vMMN (90ms~190ms, 250ms~350ms)이 검출되었다. 다만 비언어조건인 경우 모음 ‘ㄷ’에 대해서 두 번째 vMMN이 검출되지 않았다. 조건과 자극유형에 따른 vMMN의 반응을 분석하기 위해서, 비언어자극조건인 ‘+ ㄷ’의 vMMN을 기준으로 전극 Oz에서 음전위의 최고 시점, 160ms와 270ms를 기준 시점으로 정했다. 그리고 기준 시점의 이전과 이후 50ms를 포함하는 시간구간을 분석을 위한 시간 창으로 설정하였다. 이 시간 창에서 피험자 개인의, 각 조건과 특별자극유형에 따른 vMMN의 진폭값을 평균내고 이 평균값을 변량분석 반복측정을 통해서 통계적으로 분석하였다 (2.3 참조).

분석결과 첫 번째 시간 창(110ms~210ms)에서는 시각적인 차이에도 불구하고 3개의 요인(자극조건, 특별자극 유형, 전극)과 3개의 요인 사이의 상호작용에 대해서 유의미한 분석결과가 나타나지 않았다. 따라서 첫 번째 시간 창의 vMMN의 반응은 언어조건과 비언어조건 간에 통계적인 차이가 없었다. 하지만 두 번째 시간 창(220ms~320ms)에서는 자극조건 요인(언어 자극조건 vs. 비언어 자극조건)에 대해서 유의미한 결과가 확인되었다 ($F=5.899, p=0.038$). 이는 그림3에서 확인된 바와 같이, 두 번째 시간 창에서 언어자극 조건의 vMMN의 진폭이 비언어조건보다 통계적으로 유의미하게 큰 것을 보여주는 것이다. 또한 다른 두 요인, 특별자극 유형 및 전극에 대해서 그리고 세 가지 요인 간의 상호작용에 대해서 어떠한 유의미한 결과가 확인되지 않았다. 이는 특별자극의 유형 및 전극과 무관하게 언어조건인 vMMN이 비언어조건인 vMMN보다 큰 진폭을 갖는다는 것을 나타

내고 있다.

4. 논의

본 연구의 결과에서, 첫 번째 시간 창에서는 언어자극 조건과 비언어자극조건의 차이가 나타나지 않았다. 첫 번째 시간 창(90ms~190ms)은 비언어적 자극만을 사용한 다른 연구들에서 자주 vMMN이 검출되는 시간구간이다(예를 들면 Czigler et al. 2003⁹). 이에 비추어 첫 번째 시간 창에서는 언어적 자극과 비언어자극이 공통적으로 갖는 물리적인 시각 정보들이 처리되는 것을 가정해 볼 수 있다. 본 실험의 Oddball paradigm에서 언어자극 조건의 표준자극과 특별자극들의 시각적 차이는 비언어 자극조건에서의 그것과 동일하다 (‘-’ vs. ‘+’, ‘-’ vs. ‘ㄷ’). 만약 이러한 물리적인 시각 정보만이 첫 번째 시간 창에서 처리되었다면 두 자극조건간의 차이는 나타나지 않을 것이다.

첫 번째 시간 창과 달리 두 번째 시간 창에서는 언어 자극조건의 vMMN가 비언어자극조건보다 통계적으로 유의미하게 크게 나타났다. 이러한 결과는 언어적 자극에서는, 비언어적인 자극과 달리, 물리적인 시각 정보뿐만 아니라 한국어 문자에 대한 언어적 정보도 함께 처리되고 있음을 보여주는 것이다.

일반적으로, 상대적으로 높게 나타난 MMN의 진폭은 부가적인 인지처리과정을 반영한다. 예를 들어 단어와 비단어(Pseudoword)를 비교한 Pulvermüller et al. (2004)에 따르면 어휘 사전에 존재하는 단어에 대한 MMN은, 사전에 존재하지 않는 비단어보다 높은 진폭을 나타낸다.¹¹ 이러한 높은 진폭은 장기 기억 속에 저장된 단어의 어휘정보에 대한 처리과정을 반영하는 것으로 해석되었다. 본 연구의 결과와 비교해 보면서, 이와 유사한 정보처리과정이 vMMN을 통해서도 확인될 가능성을 고려해 볼 수 있다. 즉 본 실험에서 밝혀진 높은 vMMN의 진폭은 한국어 모국어화자의 머릿속에 저장되어 있는 한국어 문자의 무의식적인 언어적 정보처리과정을 반영할 수 있는 것이다.

본 연구의 결과에 대한 해석에 있어서 언어자극은 한국어 화자에게 익숙하고 비언어자극은 특별하게 인식되기 때문에 이러한 vMMN의 차이가 나타났다는 반론이 가능하다. 하지만, 본 연구에서 vMMN은 언어자극조건 내의 표준자극과 특별자극의 차로부터 그리고 비언어자극조건 내의 표준자극과 특별자극의 차로부터 각각 검출된다. 따라서 자극의 종류에 대한 차이는 두 가지 조건에 대한 vMMN의 비교분석에 반영되지 않는다.

또 다른 반론으로 피험자가 언어자극에 대해서만 의식적으로 반응했을 가능성에 대해서 고려해 볼 수 있다. 하지만 피험자는 빠르게 제시되는(150ms) 자극 사이에

서 잠깐 등장하는 과제자극에 쉴 새 없이 키보드를 누름으로써 반응해야했기 때문에, 의식적 반응이 개입되었을 가능성은 거의 없을 것으로 보인다. 실험 후 검토된 과제자극에 대한 높은 반응률(90%이상)이 이를 뒷받침해 주고 있다(참고. 2.3).

5. 결론

본 연구의 결과는 한국인 모국어화자들이 언어 인지정보처리과정에서 한국어 문자의 언어정보를 무의식적으로 구별하고 인식할 수 있음을 보여주고 있다.

본 연구의 결과는 아직 다른 연구가 수행되지 않은 관계로 다른 연구들과의 직접적인 비교가 불가능하다. 이후 진행될 후속 연구에서 다양한 한국어 글말자료를 분석함으로써 한국어 시각 인지능력에 대한 보다 구체적인 해답을 얻게 될 수 있을 것이다.

본 연구는 한국어 글말만이 가진 장점을 기반으로 이루어 졌기 때문에 본 연구를 통해 한국어 글말이 인지과학 분야에서 실험 자료로서 갖는 의의를 확인할 수 있다. 다른 한편 본 연구는 난독증(Dyslexia) 연구에 대한 새로운 가능성을 보여주고 있다. 지금까지 연구에 따르면 난독증 환자는 시각 정보의 처리뿐만 아니라 청각 정보 처리에도 문제점을 갖고 있다¹². 기존의 신경생리학적 연구에서는 청각 정보 처리의 문제점만이 다루어져 왔다. 본 연구의 연장선에서 시각적인 MMN과 청각적인 MMN을 동시에 측정할 수 있는 실험을 설계하고 난독증 환자의 EEG를 측정한다면, 난독증 환자의 시각적 언어정보 처리 장애와 청각적 언어정보처리 장애의 연관성을 보다 구체적으로 연구할 수 있을 것이다.

또한 본 연구의 결과에 대한 분석에서 이후에 나타나는 시간 창(400ms이후)에 대한 분석은 아직 이루어지지 않았다. 이 영역은 기존의 연구에서 주의력의 조정과 관련된 부분에 해당한다.¹³ 계속되는 분석을 통해 시각적 언어정보인식과 주의력 조정의 관계에 대한 규명이 이루어질 것을 기대한다.

참고 문헌

[1] Claudia Männel. The method of event-related brain potentials in the study of cognitive processes. In A.D. Friederici & G. Thierry (Ed.). Early Language Development. Trends in Language Acquisition Research 5 (pp.23-64). Amsterdam, Philadelphia: John Benjamins Publishing Company, 2008.

[2] Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., &

Alho, K. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2544-2590, 2007.

[3] Kujala, T., Tervaniemi, M., & Schröger, E. The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, 74, 1-19, 2007.

[4] Winkler, I., Kujala, T., Tiitinen, H., Sivonen, P., Alku, P., Lehtokoski, A., et al. Brain responses reveal learning of foreign phonemes. *Psychophysiology*, 36, 638-642, 1999.

[5] Shestakova, A, Huotilainen M, Ceponiene, R., & Cheour, M. Event-related potentials associated with second language learning in children. *Clinical Neurophysiology*, 114, 1507-1512, 2003.

[6] Rinker, T., Kohls, G., Richter, C., Maas, V., Schulz, E., & Schecker, M. Abnormal frequency discrimination in SLI children as indexed by Mismatch Negativity (MMN) *Neuroscience Letters*, 413(2), 99-104, 2007.

[7] Shafer, V.L., Morr, M.L., Datta, H., Kurtzberg, D., & Schwartz, R.G. Neurophysiological indexes of speech processing deficits in children with specific language impairment. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(7), 1168-1180, 2005.

[8] Pazo-Alvarez, P., Cadaveira, F.& Amenedo E. MMN in the visual modality: a review. *Biological Psychology*, 63, 199-236, 2003.

[9] Czigler, I., Weisz, J. & Winkler, I. Backward masking and visual mismatch negativity: Electrophysiological evidence for memory-based detection of deviant stimuli. *Psychophysiology*, 44, 610-619, 2003.

[10] Urban, A., Kremláček, J., Masopust, J., & Libiger, J. Visual mismatch negativity among patients with schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 102, 320-328, 2008.

- [11] Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., Kujala, T., & Näätänen, R. Word-specific cortical activity as revealed by the mismatch negativity. *Psychophysiology*, 41, 106-112, 2004.
- [12] Tallal, P. Improving language and literacy is a matter of time. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 721-728, 2004.
- [13] Polich, J. Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 18 (10), 2128-2148, 2007.