KISEP Brief Communication
Sleep Medicine and Psychophysiology
수면 · 정신생리 8(1): 67 - 71, 2001

수면파형의 독립성분분석

Independent Component Analysis(ICA) of Sleep Waves

이 일 근[1]

Il-Keun Lee[1]

■ **ABSTRACT**

Independent Component Analysis (ICA) is a blind source separation method using unsupervised learning and mutual information theory created in the late eighties and developed in the nineties. It has already succeeded in separating eye movement artifacts from human scalp EEG recording. Several characteristic sleep waves such as sleep spindle, K-complex, and positive occipital sharp transient of sleep (POSTS) can be recorded during sleep EEG recording. They are used as stage determining factors of sleep staging and might be reflections of unknown neural sources during sleep. We applied the ICA method to sleep EEG for sleep waves separation. Eighteen channel scalp longitudinal bipolar montage was used for the EEG recording. With the sampling rate of 256Hz, digital EEG data were converted into 18 by n matrix which was used as a original data matrix X. Independent source matrix U (18 by n) was obtained by independent component analysis method (U=W×X, where W is an 18 by 18 matrix obtained by ICA procedures). ICA was applied to the original EEG containing sleep spindle, K-complex, and POSTS. Among the 18 independent components, those containing characteristic shape of sleep waves could be identified. Each independent component was reconstructed into original montage by the product of inverse matrix of W (inv(W)) and U. The reconstructed EEG might be a separation of sleep waves without other components of original EEG matrix X. This result (might) demonstrates that characteristic sleep waves may be separated from original EEG of unknown mixed neural origins by the Independent Component Analysis (ICA) method. **Sleep Medicine and Psychophysiology 2001 ; 8(1) : 67-71**

Key words: Independent component analysis · sleep waves.

서 론

두피 뇌파(scalp EEG)는 여러 곳의 전기적 근원으로부터 발생한 혼합된 전위를 기록하는 전기생리적 진단 도구이다. 임상 진료에서 뇌파 파형의 시각적 분석을 통하여 뇌의 생리적, 병리적 변화를 알 수 있다. 실제로는 여러 개의 전기적 근원이 존재하지만 뇌파에서는 섞인 파형, 즉 한 부위에서 하나의 시계열이 그리는 전위 변화를 보고 전체적으로 시각 분석을 수행한다. 만약 이렇게 섞여있는 시계열에서 애초의 성분별로 구분해낼 수 있다고 하면 뇌의 전기적 활동에 대해 더 많은 이해가 가능하고 뇌파 분석으로 더 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다. 독립성분분석(Independent Component Analysis, ICA)은 독립적인 학습과정과 상호 정보 이론 등의 방법을 이용하여 잘 모르는 섞인 신호로부터 독립적인 성분들로 분리해 내는 신호 분석 방법이다(1). ICA를 이용하여 두피 뇌파에서 안구 운동 잡음과 근전도 잡음, 움직임 잡음 등의 뇌파 외 성분을 분리할 수 있음이 확인되었다(2). 잡음 분리와 달리 정상 생리적 전기신호에 대한 시도로서 수면 파형에 대한 분석을 시도하였다. 수면 중의 뇌파 기록에는 수면방추(sleep spindle), K 복합체(K-complex), 그리고 수면중 후두엽 양성 극파(positive occipital sharp transient of sleep, POSTS) 등의 특징적 수면 파형들이 기록된다. 이 파형들은 수면기 판정에 있어 중요한 지표로서 기준이 된다. 이 파형에 초점을 맞추어 독립성분분석을 시행하였다.

[1]인하대학교 의과대학 신경과학교실
Department of Neurology, Inha University Medical College, Inchon, Korea
Corresponding author: Il-Keun Lee, Department Of Neurology, Inha University College Of Medicine, Shinhung Dong 3Ga 7-206, Joong Gu, Inchon 400-711, Korea
Tel: 032) 890-3418, Fax: 032) 890-3864
E-mail: neurolee@inha.ac.kr

연구방법

정상인의 수면 중 뇌파 기록을 얻었다. 18채널의 종적 양극(longitudinal bipolar) 기록법을 이용하여 수면방추, K-복합체, POSTS 등의 수면 파형이 포함된 뇌파 부분을 잘라 내었다. 얻은 뇌파는 초당 256hz 빈도로 수치를 기록하였고 n초 동안의 뇌파 기록을(18×256n) 행렬로 재배열하여 Infomax ICA(3,4,5) 방법을 적용하여 분석하였다. 결과로 unmixing matrix W(18×18)와 independent source matrix U(18×256n)를 얻었다.

$U = W \times X$

X : original data matrix(18 by n)

W : unmixing matrix obtained by ICA procedures(18 by 18)

U : independent source matrix(18 by n)

분리된 18개의 독립적인 성분 중에서 해당 파형에 대한

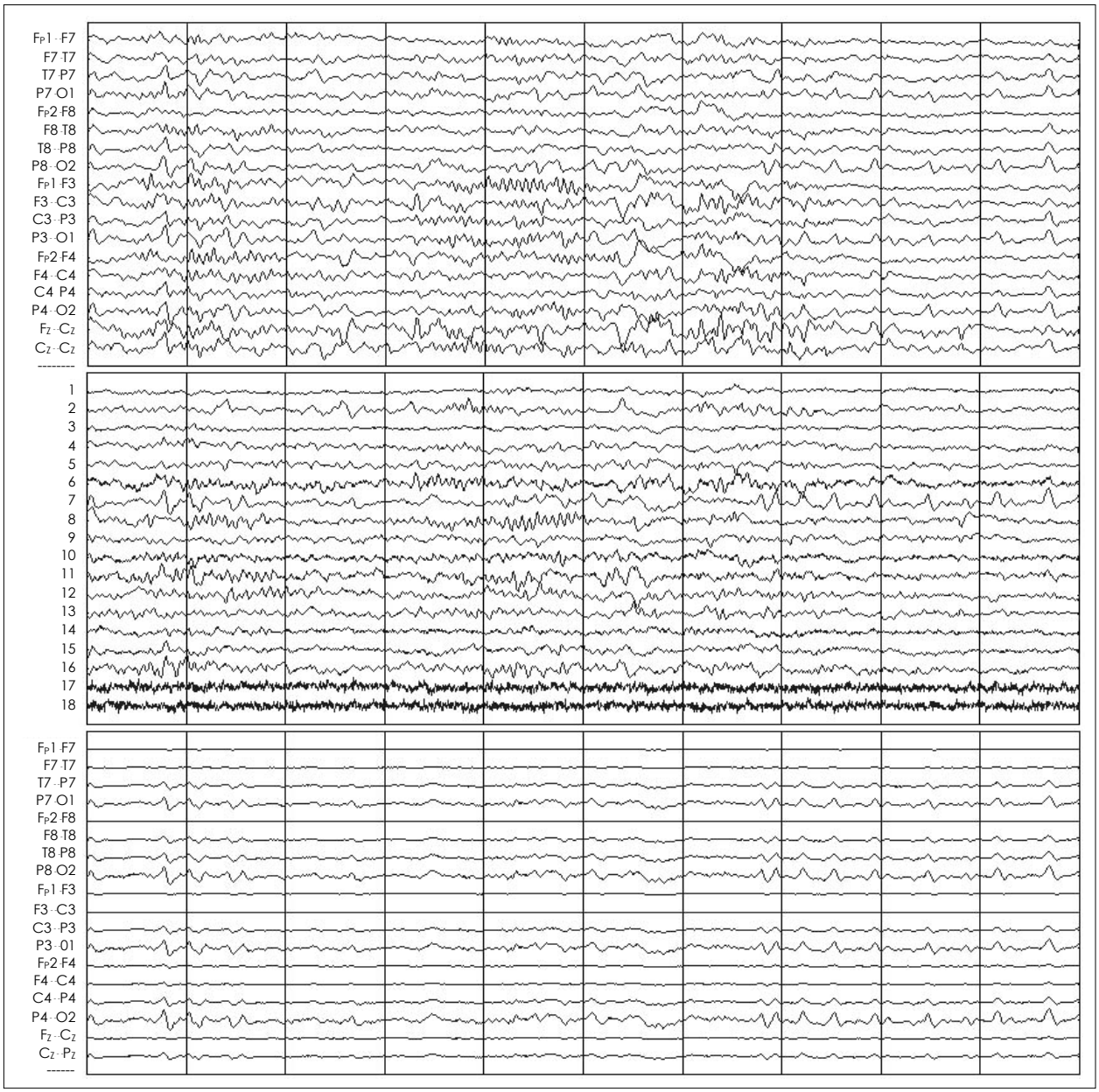

Fig. 1. Extraction of POSTS (Positive Occipital Sharp Transient of Sleep) from sleep EEG : The component 7 in the middle EEG was thought to be the POSTS component and reconstructed into original montage in the bottom EEG. The vertical lines in EEG are the marking of one second (Above : Original scalp sleep EEG, Middle : Eighteen components obtained by ICA (Independent Component Analysis) procedure, Bottom : The reconstructed EEG from component 7 in the middle EEG).

특징적인 성분으로 생각되었다. 해당 성분을 역으로 원래의 montage에 재구성하여(X 'matrix) 애초의 뇌파와 비교 분석하였다.

X '= inv(W)×U '

X ': data matrix reconstructed into original montage from separated components(18 by n)

inv(W) : inverse matrix of W(18 by 18)

U ': independent component matrix with selected component(18 by n)

결 과

뇌에서 기록된 초기 뇌파에서 각각 수면방추, K 복합체, POSTS 라고 생각되는 파형에 독립성분 분석 방법에 의해 다른 배경 뇌파 파형들로부터 분리되었다. 독립성분분석 전의 뇌파와 분리된 성분 뇌파를 비교하여 그림으로 예시하였다. 그림 1은 POSTS, 그림 2는 수면방추와 K 복합체

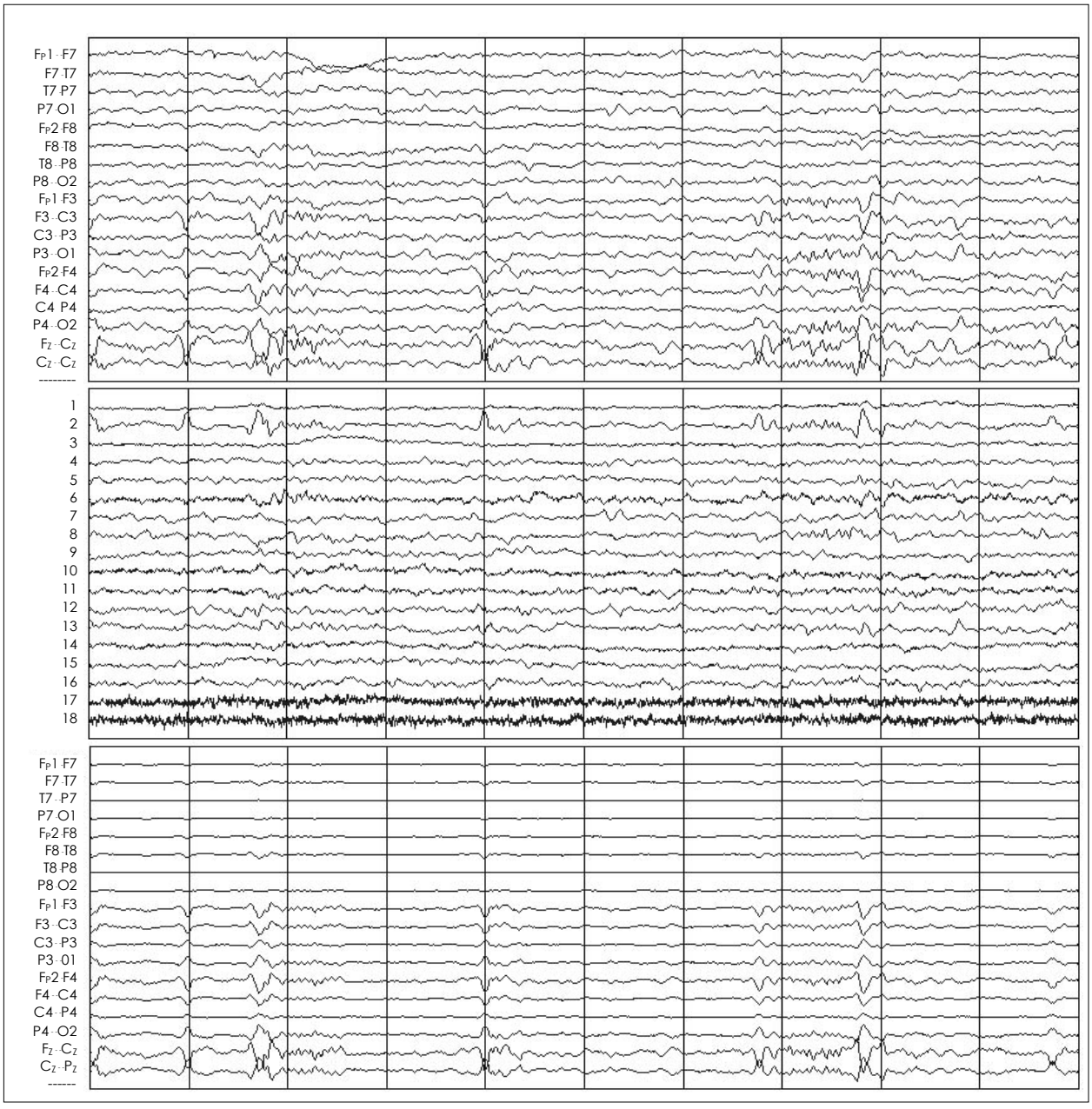

Fig. 2. Extraction of sleep spindle and K complex from sleep EEG: The component 2 in the middle EEG was thought to be the spindle and K complex components and reconstructed into original montage in the bottom EEG. The vertical lines in EEG are the marking of one second (Above : Original scalp sleep EEG, Middle : Eighteen components obtained by ICA (Independent Component Analysis) procedure, Bottom : The reconstructed EEG from component 2 in the middle EEG).

의 분리를 보여준다. 각 그림은 세 부분으로 이루어져 있고, 가장 위 그림이 원래의 뇌파 기록, 가운데 그림이 독립성분분석으로 얻은 가상의 성분들, 아래 그림이 분리하고자 하는 성분으로 판단된 성분으로부터 원래의 몽타쥬로 재구성한 단일 성분 뇌파 재구성이다. 각 그림의 아래 그림에서 보이는 파형들이 분리된 POSTS, 수면방추, K 복합체를 보여준다.

고 찰

뇌의 여러 부위에서 발생하여 두피 뇌파 전극 부착 부위에서 기록된 전위를 분석해 보면, 만약 해당 시계열 신호를 이루는 개별 성분들을 각각 분리해 낼 수 있다면 더 나은 분석을 할 수 있을 것이라는 생각을 많은 뇌파 학자들이 떠올렸을 것이다. 수학이나 공학적인 신호 분석 분야에서도 잡음 분리나 섞인 신호 분리가 해결을 기다리는 중요한 과제였다. 1990년대 들어서 이론적으로 정리된 독립성분분석 방법은 유발전위(Evoked potentials)(6), 기능적 자기공명영상(functional MRI, fMRI)(7), 뇌파(2) 등의 신경생리 검사에 적용되어 그 유용성이 확인되고 있다. 유발전위에서는 이전까지 한 개의 전극에서 연속적으로 기록되어 구분되지 않았던 세부 파형들이 구분되었다. 시각을 자극하는 빛 자극 자체에 의한 외인적(extrinsic) 유발전위 뿐만 아니라 피검자의 심리 상태나 반응 상황에 따라 나타나는 내인적(intrinsic) 유발전위가 구분되었으며, 유발전위를 얻기 위해 수백번의 자극에 의해 기록된 뇌파를 모두 평균해야 하는 과정을 간단히 줄여 한 번의 자극과 뇌파 기록으로 유발전위 파형을 기록할 수 있는 방법이 제시되었다. 기능적 자기공명영상 검사에서는 처음에 얻은 잡음 섞인 자기공명 신호를 독립성분분석 과정을 처리함으로써 비교적 깨끗하게 걸러진 신호를 얻을 수 있었다. 이 신호를 바탕으로 그려진 영상은 이 전의 영상에 비해 수행된 과제에 의해 발생한 깨끗한 영상을 얻을 수 있었다. 일반 두피 뇌파에서도 잡음을 걸러낸 깨끗한 뇌파를 구할 수 있고, 안구나 혀 등의 뇌가 아닌 다른 전원에서 발생하는 파형을 분리할 수 있는 것으로 확인되고 있다. 본 연구에서는 이러한 배경에서 실제 뇌의 특정 부위에서 발생하는 것으로 이해되고 있는 수면 파형을 분리할 수 있었다. 정상인의 뇌파 기록을 관찰하면, 각성 상태에서 수면 상태로 변할 때 단계적인 변화를 보이며 수면 중에도 5가지의 수면기(1기, 2기, 3기, 4기, REM 수면기)를 보인다. 그 중에서 특징적인 파형으로서 나타나는 파형이 수면1기부터 나타나기 시작하는 POSTS 이고, 수면 2기부터 나타나기 시작하는 수면 방추와 K 복합체이다. Positive Occipital Sharp Transient of Sleep이라고 불리는 파형은 일반적인 뇌파가 음전위로 나타나는 데 비하여 양전위로 후두엽에 최대 전위를 보여주는 뾰족한 모양의 특이한 파형이다. 이 파형이 보이기 시작하면 피검자가 제대로 수면 1기에 들어가 있다고 판단할 수 있다. 수면 방추는 12~16hz의 증감하는 파형이 두정엽 중심으로 발생하는 것을 말한다. 대개 0.5초 이상 지속되며 실을 감아놓은 실타래를 옆에서 본 모습과 비슷하게 생겼다고 하여 붙여진 이름이다. K 복합체는 역시 두정엽 부위를 중심으로 발생하는 음전위의 극파와 그에 이어지는 양전위의 서파를 일컫는다. 대개 K 복합체의 서파에 수면 방추가 겹쳐서 이어지는 경우가 많다. 이러한 수면 특징 파형들은 아마도 뇌의 특정 부위에서 발생하는 것으로 생각되며 독립성분분석은 이러한 파형을 분리해낸 것으로 생각된다. 혼합물을 구성하는 각 성분의 특성을 파악하기 위해서는 각 성분 분리 과정이 필수적이듯이 이렇게 분리된 파형은 뇌파 파형 발생 부위와 기전 연구에 많은 도움이 될 것으로 예측된다.

결 론

피검자에서 기록된 두피 뇌파에서 독립성분분석을 통해 분리된 각각의 수면 파형은 시각적인 비교를 통하여 원래 뇌파에서의 파형과 거의 일치하는 것으로 생각되어 독립성분분석은 수면 뇌파의 특징적인 수면 파형들을 분리할 수 있는 것으로 생각된다. 이러한 성분 분리는 향후 뇌파 발생 구조와 기전 연구에 기초가 될 것으로 생각된다.

중심 단어 : 독립성분분석 · 수면파형.

REFERENCES

1. Bell AJ, Sejnowski TJ. An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution. Neural Computation 1995;7:1129-1159
2. Vigario RN. Extraction of ocular artifacts from EEG using independent component analysis. EEG and Clinical Neurophysiology 1997;103(3):395-404
3. Lee TW, Girolami M, Sejnowski TJ. Independent Component Analysis Using an Extended Infomax Algorithm for Mixed Subgaussian and Supergaussian Sources. Neural Computation 1999; 11:417-441
4. Obradovic D, Deco G. Information Maximization and Independent Component Analysis: Is There a Difference? Neural Computation 1998;10:2085-2101
5. Cardoso KF. High-Order Contrasts for Independent Component Analysis. Neural Computation 1999;11:157-192

6. Makeig S, Westerfield M, Jung T-P, Covington J, Townsend J, Sejnowski TJ and Courchesne E. “Functionally independent components of the late positive event-related potential during visual spatial attention,” The Journal of Neuroscience 1999;19(7): 2665-2680

7. McKeown M, Makeig S, Brown G, Jung T-P, Kindermann S, Bell Iragui V and Sejnowski TJ. “Analysis of fMRI by Blind Separation into Independent Spatial Components”, Human Brain Mapping 1998;6(3):160-188