

令和 5 年 5 月 20 日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2019～2022
課題番号：19K06906
研究課題名(和文) Hierarchical interactions of predictions and prediction errors in normal and schizophrenic brains
研究課題名(英文) Hierarchical interactions of predictions and prediction errors in normal and schizophrenic brains
研究代表者
Chao Zenas (Chao, Zenas)
東京大学・ニューロインテリジェンス国際研究機構・准教授
研究者番号：30532113
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：人間の脳は、階層的な予測コーディングニューロンネットワークを保有することが提案されています。この理論を支持して、予測誤差のフィードフォワード信号が報告されていますが、フィードバック予測信号はとらえどころのないものでした。ここでは、定量的モデルを使用して脳波でこれらの信号を分解し、2つの機能階層にわたる神経サインを識別します。私たちの調査結果は、予測信号の周波数順序と、予測コーディング理論をサポートする予測エラー信号との階層的相互作用を明らかにしています。上記の結果は公開されています：Chao Z. et al. (2022)、Comms Biology、5(1)、1076。

研究成果の学術的意義や社会的意義

科学レベルでは、予測コーディングは、脳が利用できる圧倒的な量の感覚データを理解するための解決策になる可能性があり、その理解はニューロモルフィックエンジニアリングとニューロロボティクスのさらなる発展に役立つ可能性があります。臨床レベルでは、個々の予測信号と予測誤差信号を識別し、健康な個人と精神病患者の両方でそれらの調整を監視することで、統合失調症や自閉症などの精神障害の予後および/または診断のための神経マーカーの開発に役立つ可能性があります。

研究成果の概要(英文)：The human brain is proposed to harbor a hierarchical predictive coding neuronal network. In support of this theory, feedforward signals for prediction error have been reported, but feedback prediction signals has been elusive due to their causal entanglement with prediction-error signals. Here, we use a quantitative model to decompose these signals in electroencephalography, and identify their neural signatures across two functional hierarchies. Two prediction signals are identified: a low-level signal representing the tone-to-tone transition in the high beta frequency band, and a high-level signal for the multi-tone sequence structure in the low beta band. Our findings reveal a frequency ordering of prediction signals and their hierarchical interactions with prediction-error signals supporting predictive coding theory. The above results are published: Chao Z. et al. (2022), Comms Biology, 5(1), 1076.

研究分野：Neuroscience

キーワード：Predictive coding Brain network Hierarchy

1. 研究開始当初の背景

Predictive coding is a well-known brain theory whose core tenet is that brain circuits generate internal models based on sensory evidence to accurately predict future contingencies, the foundation of cognition. Building these models involves dynamic neural transmission of a diverse class of feed-forward prediction-error and feedback prediction signals in the ascending sensory cortex. The computations are carried out by hierarchical neuronal ensembles and transmitted in specific frequency channels.

2. 研究の目的

Surprisingly, given the prominence of predictive coding theory, little is known about the neural mechanisms. We recently published a paper (Chao et al. (2018), *Neuron* 100 (5), 1252-1266) entitled ‘Large-Scale Cortical Networks for Hierarchical Prediction and Prediction Error in the Primate Brain’ where we characterized the hierarchical organization of prediction-error signaling in cortex. The current study is the next major step, and we feel it is an equally important advance.

3. 研究の方法

While prediction-error signals have been reported such as in our *Neuron* paper, the identification of prediction signals has remained elusive. This is because predictions are intermingled with error signals and there is no method to cleanly separate them. To identify and characterize hierarchical prediction signals in the human brain, we developed a novel signal dependence model to computationally extract hierarchical signal components from high-density human EEG data in an auditory oddball task.

4. 研究成果

We found clear evidence for distinct prediction and prediction error signals (see Figure 1). Equally important, we could reconstruct the entire hierarchical cortical predictive coding network into spatio-spectral-temporal patterns to obtain the first comprehensive analysis of signal flow during predictive information processing. We show that predictions are encoded in hierarchy-specific neural oscillations, where predictions for different behavioral responses are channeled via time/frequency-specific channels.

Our findings can be described in a concept we call “frequency ordering” that allows different hierarchical levels to encode information at different time scales. These results advance the physiological measurement and modeling of predictive coding for any species, but also show how large-scale analysis of human brain data can create a cortical signal dependence model for prediction theory.

In summary, we used a cortical signal dependence model to disentangle prediction and prediction-error signals and reveal a frequency ordering of prediction signals that allows different hierarchical levels to encode information at different time scales in the human brain. These results advance the physiological measurement and modeling of predictive coding, and provide a platform to examine predictive signaling beyond two hierarchical levels and among multiple sensory modalities in normal and disordered brain.

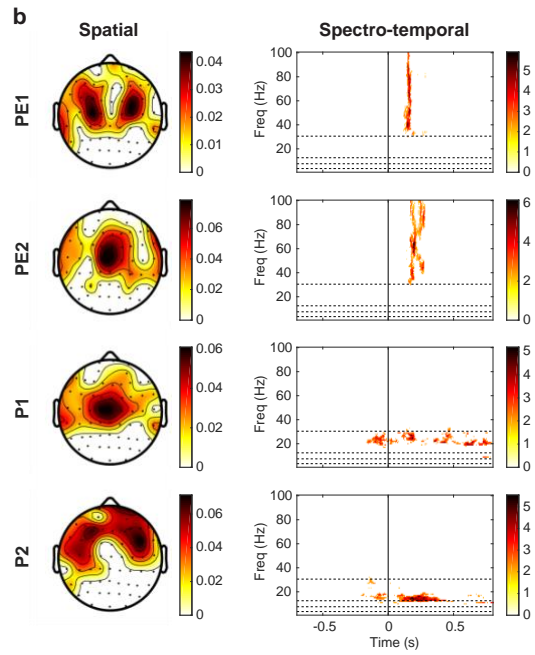


Figure 1. Two levels of predictions (P1 and P2) and prediction errors (PE1 and PE2)

This work is published: Chao, Zenas C., Yiyuan Teresa Huang, and Chien-Te Wu. "A quantitative model reveals a frequency ordering of prediction and prediction-error signals in the human brain." *Communications Biology* 5.1 (2022): 1076.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Chao Zenas C., Huang Yiyuan Teresa, Wu Chien-Te	4. 巻 5
2. 論文標題 A quantitative model reveals a frequency ordering of prediction and prediction-error signals in the human brain	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 1076
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42003-022-04049-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 3件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yi-Yuan Huang
2. 発表標題 Probing hierarchical prediction errors under different prediction precisions in auditory sequences: an ERP study
3. 学会等名 Neuroscience 2021, Society of Neuroscience（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chao ZC
2. 発表標題 Predictive-coding signals in primate brain
3. 学会等名 Tsinghua University Institute for Artificial Intelligence and International Research Center for Neurointelligence Workshop （招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chao ZC
2. 発表標題 Searching for predictive-coding signals in primate brain
3. 学会等名 Neuroscience Program of Academia Sinica (NPAS) Symposium（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Huang YY
2. 発表標題 A Predictive coding model accounts for the altered information processing in individuals with schizophrenia
3. 学会等名 The OTROC Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chao ZC
2. 発表標題 Proactive and frequency-specific prediction signals in hierarchical predictive coding
3. 学会等名 Neuro2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yi-Yuan Huang
2. 発表標題 Hierarchical prediction errors in crossmodal sequence processing: an EEG functional connectivity study
3. 学会等名 Neuro2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------