

面孔加工中基于稳态视觉诱发电位的Oddball快速周期视觉刺激范式：方法与应用

洪颖珊

广州大学教育学院, 广东 广州

收稿日期: 2026年1月20日; 录用日期: 2026年2月11日; 发布日期: 2026年3月2日

摘要

面孔感知在人类社交互动中发挥着重要作用。近年来, 基于稳态视觉诱发电位(Steady-State Visual Evoked Potential, SSVEP)的oddball快速周期视觉刺激(Fast Periodic Visual Stimulation, FPVS)范式, 因其高信噪比、客观性和高效性, 已成为重要的电生理工具, 为深入探究大脑对面孔多种维度信息的加工提供了新途径。本文系统综述了该范式的方法与刺激参数的设置, 并总结了其在面孔加工研究中的应用。频率标记技术不仅能够捕捉面孔加工中快速、自动化的过程, 还能够揭示不同维度信息之间的整合机制。未来研究可进一步利用该方法探究面孔各维度属性加工的内隐加工机制与更高层次的整合加工机制, 以深化对面孔认知加工机制的理解。

关键词

稳态视觉诱发电位, 快速周期视觉刺激范式, 面孔感知, 频率标记

SSVEP-Based Oddball Fast Periodic Visual Stimulation Paradigm in Face Processing: Methods and Applications

Yingshan Hong

School of Education, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong

Received: January 20, 2026; accepted: February 11, 2026; published: March 2, 2026

Abstract

Face perception plays a critical role in human social interaction. In recent years, the oddball Fast

文章引用: 洪颖珊(2026). 面孔加工中基于稳态视觉诱发电位的Oddball快速周期视觉刺激范式: 方法与应用. 心理学进展, 16(3), 17-26. DOI: 10.12677/ap.2026.163113

Periodic Visual Stimulation (FPVS) paradigm based on Steady-State Visual Evoked Potential (SSVEP) has emerged as an important electrophysiological tool due to its high signal-to-noise ratio, objectivity, and efficiency, providing a novel approach for investigating how the brain processes multiple dimensions of facial information. This article systematically reviews the methodological framework and stimulus parameter settings of the oddball-FPVS paradigm and summarizes its applications in face perception research. Frequency-tagging techniques not only enable the capture of rapid and automatic processes involved in face processing, but also allow for the investigation of integrative mechanisms across different facial dimensions. Future studies may further employ this approach to explore the implicit processing of facial attributes and higher-level integrative mechanisms, thereby deepening our understanding of the neural mechanisms underlying face cognition.

Keywords

Steady-State Visual Evoked Potentials, Fast Periodic Visual Stimulation Paradigm, Face Perception, Frequency-Tagging

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

面孔是由多个部分构成的复杂视觉刺激，在社会互动中具有不可替代的生态与社会意义。它不仅传递身份、情绪、性别、年龄等基本信息，也承载着可信度、意图等高级社会认知内容，在日常交流与社会互动中发挥着关键作用(Vuilleumier & Pourtois, 2007; Rossion, 2014a, 2014b; Rossion & Lochy, 2022)。因此，深入揭示面孔多维度信息在大脑中如何被加工并整合为统一的知觉表征，显得尤为重要。

事件相关电位(Event-Related Potential, ERP)技术因其高时间分辨率而广泛应用于面孔加工研究(Bötzel et al., 1995; Tanaka & Jiang, 2024)。然而，与面孔加工密切相关的ERP成分在揭示面孔的内隐加工过程及多维度信息整合机制方面仍存在局限。例如，N170成分对面孔敏感，却存在信噪比较低、且易受实验条件影响等问题，导致结果难以直接比较与重复(Itier & Taylor, 2002; Caharel & Rossion, 2021)。而更晚期的N250成分则可能与眼球运动、决策过程等活动在时间上重叠，从而削弱其作为面孔特异性神经指标的有效性(Rossion, 2014a)。因此，传统ERP指标在探究面孔加工的内隐性、自动化加工机制方面存在不足。

基于传统ERP研究的局限，近年来研究者逐渐转向基于稳态视觉诱发电位(Steady-State Visual Evoked Potential, SSVEP)的oddball快速周期视觉刺激范式(Fast Periodic Visual Stimulation, FPVS)。稳态视觉诱发电位是指视觉系统在受到固定频率周期性刺激时，大脑视觉皮层产生的与刺激频率或其谐波同步的持续振荡电活动(Regan, 1966)。相较于ERP技术，SSVEP具有实验时长短、信噪比高等优势，因此在认知心理学与认知神经科学中获得广泛应用，不仅为低水平视觉特征内隐加工提供了新的神经指标(Jia et al., 2022; Retter et al., 2023; Hermann et al., 2025)，也在面孔加工等高水平认知研究中展现出显著潜力(Mersad & Caristan, 2021; Rekow et al., 2022; Qiao et al., 2025; Vandenhoeve et al., 2025)。

为促进基于稳态视觉诱发电位的oddball快速周期视觉刺激范式在研究中的应用，本文旨在系统回顾并讨论相关研究方法与发展趋势，总结其范式设计逻辑与具体研究应用领域，为深入探究面孔加工提供一种新的有效途径。

2. 稳态视觉诱发电位研究的优势

2.1. 高客观性

SSVEP 方法具有高度的客观性, 主要表现为神经响应被精确地标记在实验者预先操纵的刺激频率及其谐波上。研究者可通过计算基线校正振幅、信噪比与 Z 分数, 在频域上对大脑响应进行客观量化(Rossion et al., 2020)。该方法有效避免了传统 ERP 研究中需依赖主观选择时间窗或成分的问题, 从而显著降低事后分析过程中潜在的主观偏差。这一特性使其尤其适合于衡量无外显判断即可发生的面孔自动化加工过程。

2.2. 高信噪比

SSVEP 方法在信噪比方面具有显著优势。SSVEP 响应在频谱上具有高度特异性: 信号能量集中在刺激频率及其谐波处, 呈现为易于识别的窄带峰值; 而脑电噪声与伪迹则广泛地分布在整个频谱中(Kabdebon et al., 2022)。该特性使得在频域分析中能够清晰地将目标响应从噪声中分离, 实现精准检测。

2.3. 实验效率高

SSVEP 方法实验效率较高。传统 ERP 研究通常需叠加大量试次以提升信噪比, 导致实验时间长且任务重复。相比之下, SSVEP 研究通过快速呈现周期性视觉刺激, 可在较短时间内积累足够响应, 获得稳定的神经指标。例如, Liu-Shuang 等(2014)仅通过 60 秒试次便在右枕颞区观察到显著的 SSVEP 响应。

2.4. 行为要求反应低

SSVEP 实验通常仅需被试完成简单的正交任务, 对行为反应要求较低。因此, 该方法特别适用于难以执行复杂行为任务的群体, 如婴幼儿、面孔失认症、自闭症谱系障碍、阿尔兹海默症等(Fisher et al., 2020; Rossion, 2020a; Peykarjou et al., 2022; David et al., 2025)。较短的实验时长也有助于维持注意力, 减少因状态波动或配合度不佳等因素造成的数据丢失与解释偏差。

3. 基于 SSVEP 的 Oddball 快速周期视觉刺激范式

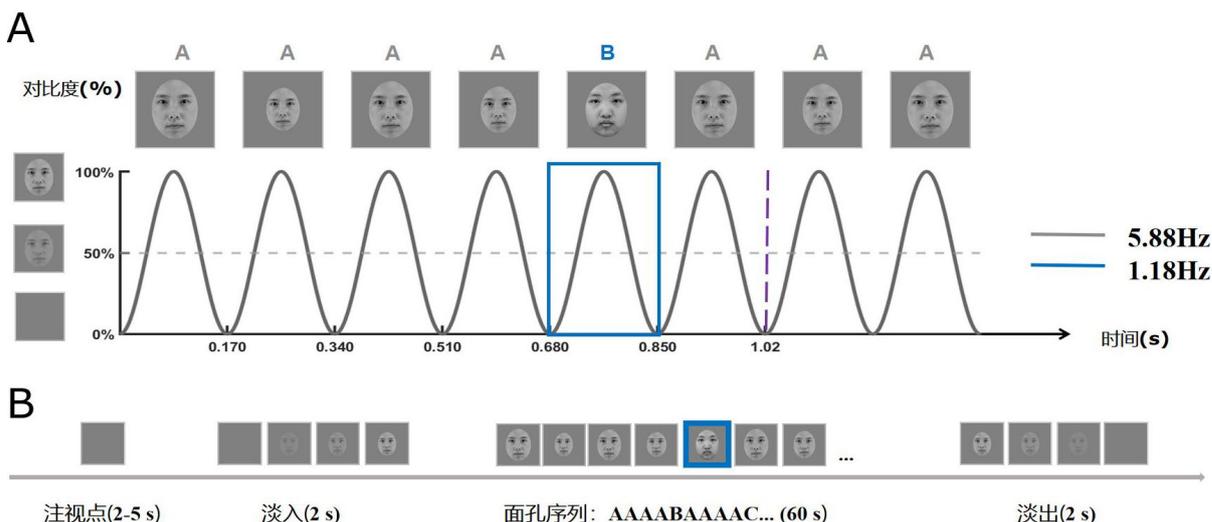
以 SSVEP 为基础的快速周期视觉刺激范式, 是一种利用快速、周期性呈现视觉刺激来评估大脑识别功能的脑电技术。Liu-Shuang 等(2014)首次将 oddball 范式与 FPVS 范式相结合, 提出 FPVS-oddball 范式。

该范式中, 标准刺激与 oddball 刺激在 EEG 频谱中分别诱发对应的神经响应。标准刺激频率对应的大脑响应主要反映一般的视觉处理, 通常集中在枕叶内侧(medial occipital)通道; 而 oddball 频率及其谐波上的响应则揭示了大脑对刺激特征变化的特异性反应, 主要分布于枕叶外侧与枕颞通(lateral occipital and occipito-temporal)道上。因此, 标准刺激频率反映了对重复视觉刺激的基本视觉处理, 而 oddball 频率则捕捉了大脑对刺激属性变化的自动化区分(Rossion et al., 2020)。

3.1. 实验流程

以 Liu-Shuang 等(2014)的研究为例, 1 分钟的序列中标准刺激(面孔身份 A)以固定频率($F = 6 \text{ Hz}$)呈现, 即 1 秒种内重复呈现 6 次。oddball 刺激(面孔身份 B、C、D……)则以每第 5 个面孔刺激的固定间隔嵌入序列中, 即面孔身份变化以 1.2 Hz 频率周期性变化($F/5 = 1.2 \text{ Hz}$)。因此, 面孔呈现遵循 AAAA-BAAAACAAAAD……的周期性规律(图 1)。被试在观看过程中需完成一项正交任务, 即检测面孔刺激中央的十字注视点的随机颜色变化, 以确保被试在实验期间保持恒定的注意力水平。每个实验条件包含 4

个序列。



注：(A) 刺激序列中，标准刺激(5.88 Hz)与 oddball 刺激(1.18 Hz)通过正弦对比度调制方式呈现。为避免像素重叠，每周期内面孔大小在 74%~120%之间随机变化。(B) 实验流程：首先，屏幕中央呈现一个十字注视点(2~5 s)；面孔序列开始前是 2 秒的淡入；面孔序列呈现 360 个面孔刺激，持续时间 60 s；最后是 2 s 的面孔淡出。被试需注视面孔两眼间的注视点，并对其颜色变化进行按键反应。面孔图片来自清华大学面孔库(Yang et al., 2020)。

Figure 1. Experimental procedure of the FPVS-oddball paradigm (adapted from Liu-Shuang et al., 2014)

图 1. FPVS-oddball 范式实验流程(改编自 Liu-Shuang et al., 2014)

3.2. 刺激参数与频率选择

在刺激呈现过程中，为减少低级物理特征的影响，通常会使得每个标准刺激呈现周期内的面孔图像大小在一定的范围(74%~120%, Liu-Shuang et al., 2014; 90%~110%, Dzhelyova et al., 2017)内随机变化。Dzhelyova 和 Rossion (2014b)的研究中通过操纵刺激大小变化(0%~80%)发现，随变化程度上升，oddball 频率的 SSVEP 响应减弱；其中在 0%条件出现的、被认为反映低级物理线索辨别的早期成分(约 150 ms)，在变化幅度达到 10%~20%时已消失。这表明，仅引入较小幅度的大小变化即可有效抑制低级线索的贡献。因此，在 FPVS-oddball 范式中采用 10%~20%的大小变化，可能是测量稳健的个体面孔辨别反应的较优方案。

在 SSVEP 研究中，刺激频率直接影响诱发信号的性质及其反映的加工层级。Alonso-Prieto 等(2013)通过操纵刺激频率(1~16.66 Hz)发现，尽管所有频率均可诱发 SSVEP 响应，但仅在 4~8.33 Hz 范围内，不同面孔的响应显著强于相同面孔，且在约 6 Hz 处达到峰值。研究者指出，高频刺激(>10 Hz)可能因加工时间不足而削弱高阶加工；而低频刺激(<3 Hz)则可能因为刺激间隔过长导致产生适应效应。因此，4~8.33 Hz 可能是支持高水平面孔识别加工的最优频率范围。Retter 等(2021)的研究进一步证实，SSVEP 响应在约 6 Hz 处达到峰值，随后在更低频率(3~5 Hz)上逐渐衰减，而高频条件下反应明显减弱。这一结果揭示了 SSVEP 在面孔加工中的频率调谐特性，6 Hz 可能对应最优的加工时间窗口。

在 FPVS-oddball 范式中，oddball 频率通常设定为标准刺激频率的 1/5，因此，多数研究采用 $F = 5.88/6$ Hz 作为标准刺激频率， $F/5 = 1.18/1.2$ Hz 作为 oddball 频率。需要注意的是，刺激频率还受到显示器刷新率的限制，例如 5.88 Hz 的刺激可在刷新率为 100 Hz 的屏幕上实现，无法在 60 Hz 屏幕上呈现。

3.3. 刺激呈现模式

在 FPVS-oddball 研究中对刺激进行对比度调制可以利用初级视觉系统对亮度变化的敏感性，以高信

噪比的方式将神经响应锁定在实验者预先设定的频率上。主要的对比度调制模式有两种：正弦对比度调制(sinusoidal contrast modulation)与方波对比度调制(square-wave contrast modulation)。

正弦对比度调制是指图片的对比度按正弦函数变化，在单个刺激呈现周期内，对比度由 0%上升至 100%再降至 0% (Liu-Shuang et al., 2014; Poncet et al., 2019; Yildirim-Keles et al., 2025)。方波对比度调制则通过占空比来实现，占空比指一个周期内有效信号占全部信号的比例。例如，50%占空比，即图像在前 50%的刺激呈现时间内以 100%对比度显示，后 50%呈现时间内以 0%对比度显示(Retter & Rossion, 2016; Retter et al., 2018; Yan et al., 2019)。

方波调制因其瞬态变化而具有较高的时间精度，且在呈现期间保持 100%对比度，从而维持了较强的神经响应。正弦对比度调制变化则更加平滑，在该模式下视觉刺激几乎持续存在，从而提供连续变化的视觉感知，对参与者而言更加舒适(Dzhelyova et al., 2017)。尽管两种调制方式存在差异，但已有研究表明，两种调制方式在 oddball 频率上诱发的面孔表情辨别响应及枕颞区分布均无显著的差异(Dzhelyova et al., 2017)。

此外，为减少序列起止阶段因眼动与眨眼引起的瞬态伪迹，常在序列前后分别设置 2 s 的淡入(对比度由 0%渐增至 100%)与淡出(对比度由 100%渐渐降至 0%)。

3.4. 序列次数

FPVS-oddball 范式中，刺激序列的持续时间与频域中的频率分辨率成反比。因此，得益于较长的刺激序列，其在频谱上具有较高的频率分辨率。通常每个实验条件包含 2~4 个序列，每个序列持续约 1 分钟。Liu-Shuang 等(2014)发现仅适用单个 60 秒序列，也能在右枕颞区观察到显著的 SSVEP 响应，体现了该范式的高度稳健性。

4. Oddball 快速周期视觉刺激范式在面孔加工领域中的应用

FPVS-oddball 范式因此高信噪比在视觉加工中形成了一套严谨高效的实验体系。该范式被证明是探究更高层次视觉加工过程的有效工具，特别是在面孔加工领域具有重要的应用价值。

4.1. 面孔基本属性的内隐加工

4.1.1. 面孔与非面孔辨别

面孔承载着关键的生态与社会信息，其高效识别对人类的社会互动至关重要。近年来，FPVS-oddball 范式逐渐受到关注，在测量快速面孔感知分类中体现出独特的敏感性和客观性(Retter et al., 2018; Liu-Shuang et al., 2022)。Jacques 等(2016)的结果发现，人们能够快速地区分面孔与非面孔。Yildirim-Keles 等(2025)的研究结果则进一步发现，内隐面孔分类相应的 SSVEP 响应与 N170 本身关联微弱，而与 N170 和 P2 成分间的峰值差异密切相关。提示 N170 可能反映了早期的结构编码，而 SSVEP 响应则整合了包括稍晚阶段在内的更复杂的神经活动。

4.1.2. 面孔身份信息辨别

在面孔分类加工中，除了区分面孔与非面孔之外，对不同的面孔身份信息进行辨别也至关重要。FPVS-oddball 范式也被证明能够高效捕捉面孔身份的快速、内隐辨别(Jacques et al., 2020; Retter et al., 2021; Hemptinne et al., 2023)。Liu-Shuang 等(2014)发现，在 oddball 频率(面孔身份变化对应频率)及其谐波处观察到显著的 SSVEP 响应，且右侧枕颞区响应最强，这为面孔身份的自动化、内隐辨别过程提供了客观的神经证据。此外，倒置面孔和对比度反转面孔条件下，大脑响应幅度显著降低，表明身份辨别相关的神经活动依赖于构型编码等高级面孔加工机制，而非由低水平视觉特征驱动，为面孔身份内隐辨别的特异性神经通路提供了可靠证据。

4.1.3. 面孔熟悉度加工

在自然动态环境中被编码并存储于的熟悉面孔，其识别是人类面孔加工的重要部分。研究证实个体能够快速、自动化地识别熟悉面孔(Zimmermann et al., 2019; Yan & Rossion, 2020; Yan et al., 2023)。Yan 等(2022)进一步结合 SWEEP 范式发现，相较于从清晰到模糊的呈现方式，从模糊到清晰的图像序列能够在更低空间分辨率下诱发显著的熟悉面孔识别神经反应。这表明大脑在图像较为模糊时仍能快速识别熟悉面孔；且达到识别阈值后，增加空间频率信息不再增强神经响应，提示熟悉面孔识别可能遵循“全或无”的加工机制。

4.2. 面孔社会属性的内隐加工

4.2.1. 面孔情绪信息

面孔不仅仅提供了身份信息，还承载着年龄、性别与情绪状态等重要信息，解读这些信息有助于人们运用足够信息以进行社交决策，其中面孔的情绪表达尤为重要。FPVS-oddball 范式为探究面孔情绪的内隐辨别过程(Luo & Dzhelyova, 2020; Matt et al., 2021; Baudouin et al., 2023; Naumann et al., 2025)提供了客观有效的指标，同时结合模式解码分析方法，可进一步揭示不同情绪在神经加工通路上的潜在差异。Dzhelyova 等(2017)的研究在 1.18 Hz 及其谐波处观察到显著的 SSVEP 响应，表明大脑能够自动检测并加工单个面孔的情绪变化。进一步结合多变量解码分析，不同情绪类别的解码准确率均显著高于随机猜测水平，提示不同情绪可能涉及部分分离的神经处理通路。

4.2.2. 面孔可信度加工

面孔可信度是影响人际交往与合作行为的核心维度，其内隐加工已通过 FPVS 范式在多项研究中获得实证支持(Swe et al., 2020; Siddique et al., 2023; Verosky et al., 2024)。Swe 等(2022)的研究发现，无论是在内隐任务、外显任务还是情境启动任务中，大脑在 oddball 频率(1 Hz)及其谐波上的神经响应均无显著差异。这表明面孔可信度的视觉加工是一个强制的、自动化的过程，不受任务意图的调节。此外，该神经响应在个体水平上表现出良好的重测信度，进一步支持 SSVEP 响应作为衡量个体可信度加工差异的可靠指标。

4.3. 面孔加工中多维度信息的非线性整合

除对单一面孔属性的研究外，FPVS-oddball 范式的一个更重要价值在于其能够检验多维度面孔信息的相对贡献与交互。Dzhelyova 和 Rossion (2014a)的研究发现，仅表面信息变化诱发的 oddball 响应幅值显著高于仅形状变化，且峰值潜伏期更晚，提示面孔表面信息加工更持久、更复杂。更为关键的是，当形状与表面信息同时变化时，EEG 反应显著大于两者单独变化条件下反应的算术和，表明形状与信息在神经层面并非简单的线性叠加，而是以非线性整合方式共同促进面孔表征。

4.4. 临床与发展心理学应用

FPVS-oddball 范式对行为反应要求较低，这一优势使其成为婴幼儿及临床群体的面孔加工研究的有力工具，并为理解该群体的面孔加工机制提供了重要的神经证据。在婴幼儿研究领域，Peykarjou 等(2022)利用该范式考察了 5 月龄婴儿对母亲面孔与陌生面孔的神经区分能力。研究发现，当以母亲面孔作为标准刺激时，婴儿脑电在 oddball 频率及其谐波处诱发了显著的 SSVEP 响应，这表明在 5 个月大时，婴儿已能在神经层有效区分并优先加工母亲的身份信息，证实了 FPVS-EEG 是探究婴儿面孔加工能力的有效工具。

在临床群体研究领域，Van der Donck 等(2019)的研究采用这一范式对孤独症谱系障碍(Autism Spectrum

Disorder, ASD)儿童对恐惧表情的神经敏感性进行了评估。结果发现, ASD组对恐惧表情的SSVEP响应振幅显著低于典型发育对照组,即ASD儿童在内隐识别恐惧表情方面存在较弱的神经敏感性;且基于神经反应的模型能够以83%的准确率区分两组儿童,这为探究ASD患者的情绪价值缺陷提供了神经生理证据。另一方面,一项关于发展性面孔失认症患者(Developmental Prosopagnosia, DP)的面孔与物体加工研究中发现,与对照组相比,DP患者对直立面孔和倒置面孔的反应减弱程度相似,提示其缺陷可能并非源于对面孔整体构型加工的特定损伤。此外,DP患者对非面孔刺激(汽车)的识别也显示出神经反应减弱,这表明DP患者的视觉辨别缺陷可能并非面部特异的(Fisher et al., 2020)。这些研究结果共同体现了FPVS-oddball范式在揭示婴幼儿及临床群体面孔加工机制上的独特优势。

5. 总结与展望

本文系统综述了基于SSVEP的FPVS-oddball范式在面孔加工研究中的方法与应用。频率标记技术揭示了面孔加工多个层面的神经机制:在基本属性层面,揭示了身份、熟悉度等信息的快速自动化辨别机制;在社会属性层面,为情绪与可信度等复杂社会认知过程提供了客观的神经指标;此外,频率标记技术可通过操纵不同视觉属性并比较其SSVEP响应,量化各维度在面孔加工中的相对权重(Dzhelyova & Rossion, 2014a)。

尽管FPVS-oddball范式在面孔认知神经科学领域研究中形成了一套高效、稳健且可重复的电生理工具,但其应用与解释仍旧存在着一些局限与挑战。在方法学层面,实验刺激需依赖特定频率呈现,一定程度上限制其应用范围;同时,对于不同感觉刺激,如何选择最优频率仍缺乏统一标准,这使得不同研究结果间的比较与整合面临挑战。在理论层面,多数研究采用正交任务考察面孔内隐加工,难以直接反映被试的感知意识、决策判断或记忆提取过程;且FPVS-oddball所强调的“内隐加工”并不等同于完全无意识加工,实验过程中被试可能能够察觉到面孔身份的频繁变化,但难以意识到变化的周期性结构。未来研究可进一步探讨被试对刺激统计结构的外显知识是否会影响到SSVEP响应,从而更精细地区分自动化加工与无意识加工之间的关系。

此外,基于SSVEP的研究在揭示面孔内隐加工的神经机制及其多维度信息的复杂整合过程中具有独特优势。未来研究可进一步拓展FPVS-oddball范式在情绪识别领域中的应用。已有研究发现,不同情绪识别依赖于不同的面孔区域:高兴、惊讶与厌恶情绪的识别主要依赖于嘴部信息,而悲伤、愤怒与恐惧情绪的识别则更依赖于眼部信息(Smith et al., 2005; Kilpeläinen & Salmela, 2020)。未来研究可操纵面孔部分的信息变化,结合神经响应差异,揭示不同情绪类别依赖的区域性神经基础,为情绪识别的异质性提供电生理证据。同时,可通过结合更高精度的频域分析及机器学习解码技术,提升对快速面孔加工和多维信息整合的解析能力,并探索其在个体差异和临床群体(如面孔失认症、特殊被试)中的应用潜力,从而进一步拓展该范式在面孔感知研究中的深度与广度。

参考文献

- Alonso-Prieto, E., Belle, G. V., Liu-Shuang, J., Norcia, A. M., & Rossion, B. (2013). The 6 Hz Fundamental Stimulation Frequency Rate for Individual Face Discrimination in the Right Occipito-Temporal Cortex. *Neuropsychologia*, *51*, 2863-2875. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.08.018>
- Baudouin, J., Poncet, F., Polinori, A., Rekow, D., Damon, F., Leleu, A. et al. (2023). Task-Related Modulation of Facial Expression Processing: An FPVS-EEG Study. *Emotion*, *23*, 2399-2419. <https://doi.org/10.1037/emo0001223>
- Bötzel, K., Schulze, S., & Stodieck, S. G. (1995). Scalp Topography and Analysis of Intracranial Sources of Face-Evoked Potentials. *Experimental Brain Research*, *104*, 135-143. <https://doi.org/10.1007/bf00229863>
- Caharel, S., & Rossion, B. (2021). The N170 Is Sensitive to Long-Term (Personal) Familiarity of a Face Identity. *Neuroscience*, *458*, 244-255. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.12.036>

- David, J., Quenon, L., Hanseeuw, B., Ivanoiu, A., Volfart, A., Koessler, L. et al. (2025). An Objective and Sensitive Electrophysiological Marker of Word Semantic Categorization Impairment in Alzheimer's Disease. *Clinical Neurophysiology*, *170*, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.12.018>
- Dzhelyova, M., & Rossion, B. (2014a). Supra-Additive Contribution of Shape and Surface Information to Individual Face Discrimination as Revealed by Fast Periodic Visual Stimulation. *Journal of Vision*, *14*, 15-15. <https://doi.org/10.1167/14.14.15>
- Dzhelyova, M., & Rossion, B. (2014b). The Effect of Parametric Stimulus Size Variation on Individual Face Discrimination Indexed by Fast Periodic Visual Stimulation. *BMC Neuroscience*, *15*, Article No. 87. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-15-87>
- Dzhelyova, M., Jacques, C., & Rossion, B. (2017). At a Single Glance: Fast Periodic Visual Stimulation Uncovers the Spatio-Temporal Dynamics of Brief Facial Expression Changes in the Human Brain. *Cerebral Cortex*, *27*, 4106-4123. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw223>
- Fisher, K., Towler, J., Rossion, B., & Eimer, M. (2020). Neural Responses in a Fast Periodic Visual Stimulation Paradigm Reveal Domain-General Visual Discrimination Deficits in Developmental Prosopagnosia. *Cortex*, *133*, 76-102. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.09.008>
- Hemptinne, C., Hupin, N., Lochy, A., Yüksel, D., & Rossion, B. (2023). Spatial Resolution Evaluation Based on Experienced Visual Categories with Sweep Evoked Periodic EEG Activity. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *64*, Article 17. <https://doi.org/10.1167/iovs.64.3.17>
- Hermann, O., Leonardi, C., Petrini, K., Coulthard, E., & Stothart, G. (2025). Measuring Implicit Line Orientation Discrimination Using Fast Periodic Visual Stimulation. *Neuropsychologia*, *211*, Article ID: 109122. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2025.109122>
- Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2002). Inversion and Contrast Polarity Reversal Affect Both Encoding and Recognition Processes of Unfamiliar Faces: A Repetition Study Using ERPs. *NeuroImage*, *15*, 353-372. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0982>
- Jacques, C., Retter, T. L., & Rossion, B. (2016). A Single Glance at Natural Face Images Generate Larger and Qualitatively Different Category-Selective Spatio-Temporal Signatures than Other Ecologically-Relevant Categories in the Human Brain. *NeuroImage*, *137*, 21-33. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.04.045>
- Jacques, C., Rossion, B., Volfart, A., Brissart, H., Colnat-Coulbois, S., Maillard, L. et al. (2020). The Neural Basis of Rapid Unfamiliar Face Individuation with Human Intracerebral Recordings. *NeuroImage*, *221*, Article ID: 117174. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117174>
- Jia, J., Wang, T., Chen, S., Ding, N., & Fang, F. (2022). Ensemble Size Perception: Its Neural Signature and the Role of Global Interaction over Individual Items. *Neuropsychologia*, *173*, Article ID: 108290. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108290>
- Kabdebon, C., Fló, A., de Heering, A., & Aslin, R. (2022). The Power of Rhythms: How Steady-State Evoked Responses Reveal Early Neurocognitive Development. *NeuroImage*, *254*, Article ID: 119150. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119150>
- Kilpeläinen, M., & Salmela, V. (2020). Perceived Emotional Expressions of Composite Faces. *PLOS ONE*, *15*, e0230039. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230039>
- Liu-Shuang, J., Norcia, A. M., & Rossion, B. (2014). An Objective Index of Individual Face Discrimination in the Right Occipito-Temporal Cortex by Means of Fast Periodic Oddball Stimulation. *Neuropsychologia*, *52*, 57-72. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.10.022>
- Liu-Shuang, J., Yang, Y., Rossion, B., & Goffaux, V. (2022). Natural Contrast Statistics Facilitate Human Face Categorization. *eNeuro*, *9*, ENEURO.0420-21.2022. <https://doi.org/10.1523/eneuro.0420-21.2022>
- Luo, Q., & Dzhelyova, M. (2020). Consistent Behavioral and Electrophysiological Evidence for Rapid Perceptual Discrimination among the Six Human Basic Facial Expressions. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *20*, 928-948. <https://doi.org/10.3758/s13415-020-00811-7>
- Matt, S., Dzhelyova, M., Maillard, L., Lighezzolo-Alnot, J., Rossion, B., & Caharel, S. (2021). The Rapid and Automatic Categorization of Facial Expression Changes in Highly Variable Natural Images. *Cortex*, *144*, 168-184. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.08.005>
- Mersad, K., & Caristan, C. (2021). Blending into the Crowd: Electrophysiological Evidence of Gestalt Perception of a Human Dyad. *Neuropsychologia*, *160*, Article ID: 107967. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107967>
- Naumann, S., Bayer, M., & Dziobek, I. (2025). Enhanced Neural Sensitivity to Brief Changes of Happy over Angry Facial Expressions in Preschoolers: A Fast Periodic Visual Stimulation Study. *Psychophysiology*, *62*, e14725. <https://doi.org/10.1111/psyp.14725>
- Peyparkarjous, S., Langeloh, M., Baccolo, E., Rossion, B., & Pauen, S. (2022). Superior Neural Individuation of Mother's than Stranger's Faces by Five Months of Age. *Cortex*, *155*, 264-276. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2022.07.011>

- Poncet, F., Baudouin, J., Dzhelyova, M. P., Rossion, B., & Leleu, A. (2019). Rapid and Automatic Discrimination between Facial Expressions in the Human Brain. *Neuropsychologia*, *129*, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.03.006>
- Qiao, Z., Van der Donck, S., Mazereel, V., Jennen, L., Samaey, C., Vancampfort, D. et al. (2025). Implicit Neural Sensitivity for Negatively Valued Social and Non-Social Visual Scenes in Young Adults Exposed to Childhood Adversity. *Psychological Medicine*, *55*, e37. <https://doi.org/10.1017/s0033291725000029>
- Regan, D. (1966). Some Characteristics of Average Steady-State and Transient Responses Evoked by Modulated Light. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *20*, 238-248. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(66\)90088-5](https://doi.org/10.1016/0013-4694(66)90088-5)
- Rekow, D., Baudouin, J., Brochard, R., Rossion, B., & Leleu, A. (2022). Rapid Neural Categorization of Facelike Objects Predicts the Perceptual Awareness of a Face (Face Pareidolia). *Cognition*, *222*, Article ID: 105016. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105016>
- Retter, T. L., & Rossion, B. (2016). Uncovering the Neural Magnitude and Spatio-Temporal Dynamics of Natural Image Categorization in a Fast Visual Stream. *Neuropsychologia*, *91*, 9-28. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.028>
- Retter, T. L., Gao, Y., Jiang, F., Rossion, B., & Webster, M. A. (2023). Automatic, Early Color-Specific Neural Responses to Object Color Knowledge. *Brain Topography*, *36*, 710-726. <https://doi.org/10.1007/s10548-023-00979-4>
- Retter, T. L., Jiang, F., Webster, M. A., & Rossion, B. (2018). Dissociable Effects of Inter-Stimulus Interval and Presentation Duration on Rapid Face Categorization. *Vision Research*, *145*, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2018.02.009>
- Retter, T. L., Jiang, F., Webster, M. A., Michel, C., Schiltz, C., & Rossion, B. (2021). Varying Stimulus Duration Reveals Consistent Neural Activity and Behavior for Human Face Individuation. *Neuroscience*, *472*, 138-156. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.07.025>
- Rossion, B. (2014a). Understanding Face Perception by Means of Human Electrophysiology. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*, 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.02.013>
- Rossion, B. (2014b). Understanding Individual Face Discrimination by Means of Fast Periodic Visual Stimulation. *Experimental Brain Research*, *232*, 1599-1621. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3934-9>
- Rossion, B. (2020). Biomarkers of Face Perception in Autism Spectrum Disorder: Time to Shift to Fast Periodic Visual Stimulation with Electroencephalography? *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, *5*, 258-260. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.01.008>
- Rossion, B., & Lochy, A. (2022). Is Human Face Recognition Lateralized to the Right Hemisphere Due to Neural Competition with Left-Lateralized Visual Word Recognition? A Critical Review. *Brain Structure and Function*, *227*, 599-629. <https://doi.org/10.1007/s00429-021-02370-0>
- Rossion, B., Retter, T. L., & Liu-Shuang, J. (2020). Understanding Human Individuation of Unfamiliar Faces with Oddball Fast Periodic Visual Stimulation and Electroencephalography. *European Journal of Neuroscience*, *52*, 4283-4344. <https://doi.org/10.1111/ejn.14865>
- Siddique, S., Sutherland, C. A. M., Jeffery, L., Swe, D., Gwinn, O. S., & Palermo, R. (2023). Children Show Neural Sensitivity to Facial Trustworthiness as Measured by Fast Periodic Visual Stimulation. *Neuropsychologia*, *180*, Article ID: 108488. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2023.108488>
- Smith, M. L., Cottrell, G. W., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2005). Transmitting and Decoding Facial Expressions. *Psychological Science*, *16*, 184-189. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00801.x>
- Swe, D. C., Palermo, R., Gwinn, O. S., Bell, J., Nakanishi, A., Collova, J. et al. (2022). Trustworthiness Perception Is Mandatory: Task Instructions Do Not Modulate Fast Periodic Visual Stimulation Trustworthiness Responses. *Journal of Vision*, *22*, Article 17. <https://doi.org/10.1167/jov.22.11.17>
- Swe, D. C., Palermo, R., Gwinn, O. S., Rhodes, G., Neumann, M., Payart, S. et al. (2020). An Objective and Reliable Electrophysiological Marker for Implicit Trustworthiness Perception. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *15*, 337-346. <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa043>
- Tanaka, H., & Jiang, P. (2024). P1, N170, and N250 Event-Related Potential Components Reflect Temporal Perception Processing in Face and Body Personal Identification. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *36*, 1265-1281. https://doi.org/10.1162/jocn_a_02167
- Van der Donck, S., Dzhelyova, M., Vettori, S., Thielen, H., Steyaert, J., Rossion, B. et al. (2019). Fast Periodic Visual Stimulation EEG Reveals Reduced Neural Sensitivity to Fearful Faces in Children with Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *49*, 4658-4673. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-04172-0>
- Vandenhoeve, D., Davidson, H., Kemp, J., Murphy, Z., Kujawa, A., Shi, J. et al. (2025). Preliminary Evidence for Anxiety-Linked Neural Sensitivity to Emotional Faces Using Fast Periodic Visual Stimulation. *International Journal of Psychophysiology*, *214*, Article ID: 113212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2025.113212>
- Verosky, S. C., Nishiura, H., O'Brien, L., Liu, H., & Aggadi, N. (2024). Learned Trustworthiness Does Not Have the Same Influence on Implicit Responses Measured via Fast Periodic Visual Stimulation as Face Trustworthiness. *Psychophysiology*, *61*,

- e14608. <https://doi.org/10.1111/psyp.14608>
- Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and Interactive Brain Mechanisms during Emotion Face Perception: Evidence from Functional Neuroimaging. *Neuropsychologia*, *45*, 174-194. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.003>
- Yan, X., & Rossion, B. (2020). A Robust Neural Familiar Face Recognition Response in a Dynamic (Periodic) Stream of Unfamiliar Faces. *Cortex*, *132*, 281-295. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.08.016>
- Yan, X., Goffaux, V., & Rossion, B. (2022). Coarse-to-Fine(r) Automatic Familiar Face Recognition in the Human Brain. *Cerebral Cortex*, *32*, 1560-1573. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab238>
- Yan, X., Liu-Shuang, J., & Rossion, B. (2019). Effect of Face-Related Task on Rapid Individual Face Discrimination. *Neuropsychologia*, *129*, 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.04.002>
- Yan, X., Volfart, A., & Rossion, B. (2023). A Neural Marker of the Human Face Identity Familiarity Effect. *Scientific Reports*, *13*, Article No. 16294. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40852-9>
- Yang, T., Yang, Z., Xu, G., Gao, D., Zhang, Z., Wang, H. et al. (2020). Tsinghua Facial Expression Database—A Database of Facial Expressions in Chinese Young and Older Women and Men: Development and Validation. *PLOS ONE*, *15*, e0231304. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231304>
- Yildirim-Keles, F. Z., Stacchi, L., & Caldara, R. (2025). Cross-Validating the Electrophysiological Markers of Early Face Categorization. *eneuro*, *12*, ENEURO.0317-24.2024. <https://doi.org/10.1523/eneuro.0317-24.2024>
- Zimmermann, F. G. S., Yan, X., & Rossion, B. (2019). An Objective, Sensitive and Ecologically Valid Neural Measure of Rapid Human Individual Face Recognition. *Royal Society Open Science*, *6*, Article ID: 181904. <https://doi.org/10.1098/rsos.181904>