



## 运动经验对乒乓球运动员无意识加工的影响: 来自ERP和行为实验的证据 Effect of Motor Expertise on Unconscious Processing of Table Tennis Athletes: Evidences from ERP and Behavior Experiments

孟繁莹<sup>1,2</sup>, 耿家先<sup>2</sup>, 李安民<sup>1\*</sup>

MENG Fanying<sup>1,2</sup>, GENG Jiaxian<sup>2</sup>, LI Anmin<sup>1\*</sup>

**摘要:**目的:采用事件相关电位(event-related potential, ERP)技术记录被试在完成认知任务过程中的大脑活动变化,并结合行为表现,探讨运动经验对乒乓球运动员无意识加工的影响。方法:以乒乓球运动员( $n=20$ )和普通大学生( $n=21$ )为研究对象,选取与乒乓球运动相关的刺激材料,通过行为测量和ERP技术,比较乒乓球运动员与普通大学生在掩蔽启动任务中的行为表现及大脑活动模式。结果:1)乒乓球运动员表现出显著的无意识反应启动效应,而普通大学生则没有。2)乒乓球运动员的无意识反应启动效应在目标刺激出现后的300~500 ms内,对位于顶区和顶中央的平均波幅具有调节作用,然而普通大学生并未表现出这一调节效应。3)在完成掩蔽启动任务中,乒乓球运动员的舌回、后扣带回、楔叶、海马旁回、梭状回、中央前回、顶下小叶及额下回等脑区显著激活。结论:在与专项运动相关信息的加工过程中,乒乓球运动员表现出较强的无意识加工能力,这可能与其对专项运动相关信息的高知觉敏感性及其与动作的共同编码有关。此外,视觉的背侧通路及腹侧通路可能共同作用于乒乓球运动员的无意识反应启动效应。

**关键词:**运动经验;无意识加工;知觉敏感性;知觉-动作共同表征;视觉双通路

**Abstract:** Objective: Using event-related potential (ERP) technique to record the changes of brain activity during completing cognitive task, the study is aimed to explore the effect of motor expertise on the unconscious processing of table tennis players in combination with behavioral performance. Methods: 20 table tennis athletes and 21 ordinary college students were recruited, and the materials used in this study were related to table tennis. The behavior performance and brain activity patterns of table tennis athletes and ordinary college students in the masked priming task were compared by means of behavioral measurement and ERP. Results: 1) Table tennis athletes exhibited significant unconscious response priming effect, whereas ordinary college students did not. 2) The unconscious response priming effect modulated the average amplitude of 300-500 ms after the presentation of target in parietal and parietal-central areas for table tennis athletes, but ordinary college students did not. 3) During completing the masked priming task, the lingual, cuneus, fusiform gyri, anterior central gyri, inferior parietal lobule, inferior frontal gyri and other brain areas were significantly activated in table tennis athletes. Conclusions: Compared with ordinary college students, table tennis athletes showed stronger unconscious processing in the sport specific domain, which may be related to the high perceptual sensitivity and the common coding of perceptual-action to the sport-specific information. In addition, the dorsal and ventral streams of visual may work together on the unconscious response priming effect of table tennis athletes.

**Keywords:** motor expertise; unconscious processing; perceptual sensitivity; perceptual-action representation; the visual dual-stream

**中图分类号:**G804.2 **文献标识码:**A

### 基金项目:

国家自然科学基金项目(31971023);  
湖州市自然科学基金项目(2020YZ08)

### 第一作者简介:

孟繁莹(1987-),女,讲师,博士,主要研究方向为无意识运动信息加工特征及机制, E-mail: 02730@zjhu.edu.cn。

### \*通信作者简介:

李安民(1964-),男,教授,博士,主要研究方向为无意识运动信息加工特征及机制, E-mail: anminli@sus.edu.cn。

### 作者单位:

1. 上海体育学院, 上海 200438;  
2. 湖州师范学院, 湖州 浙江 313000  
1. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;  
2. Huzhou University, Huzhou 313000, China.

在“更快、更高、更强、更团结”的影响下,现代竞技运动得到快速发展,以致运动中主体(运动员)与客体(体育器械)的速度在多数情景下超出了人们的感受阈限。以往人们对运动员认知加工优势的探讨多集中在有意识层面(Alarcon et al., 2017; Chan et al., 2011; Verburgh et al., 2014; Yu et al., 2017)。然而,在真实的比赛中,由于快速变化的外部环境,大多数运动员,尤其是从事开放型项目的运动员,他们对动作的感知与加工多发生在无意识条件下。例如,乒乓球是隔网对抗性项目中球速最快、旋转最多的项目之一,其球速可达3 km/s,而球与球拍的接触时间仅约0.01 s。乒乓球快速变化的项目特征决定了乒乓球运动员需要在短暂的时间内加工多种运动信息,并做出正确的应对。因此,对从事开放型运动项目的运动员而言,无意识加工能力对其在比赛过程中获取主动权起着关键作用。

掩蔽启动范式由于限制少、应用范围广和效率高的特点成为研究无意识加工的常用范式之一(Ansorge et al., 2014; Kiefer, 2012)。在掩蔽启动范式中,研究者通过缩短启动刺激的呈现时间(50 ms以下)以及添加掩蔽刺激来降低启动刺激的可视度,进而创设研究所需要的无意识情景,并通过无意识启动效应考察个体对无意识信息的加工。与不相似或不一致的情况相比,若目标刺激与启动刺激的反应一致或属性相似时,被试对目标刺激的加工速度更快、准确率更高的现象被称为无意识反应启动效应(Avneon et al., 2018; Kunde, 2004)。

有研究认为,经验可能是专项领域内无意识信息加工的必要前提(Heinemann et al., 2010; Kiesel et al., 2009)。Kiesel等(2009)利用掩蔽启动范式考察了高水平国际象棋选手对无意识棋局信息的加工特征,结果发现,与不一致条件相比,被试在一致条件下的反应更快、错误率更低。然而,专家棋手的无意识启动量显著大于对照组,尽管专家棋手没有意识到无意识启动刺激,但却对启动刺激中所包含的棋局信息进行了一定程度的加工。这种受经验调节的无意识反应启动效应表明,个体对熟悉信息具有较高的知觉敏感性,当个体加工熟悉信息的时候,由于经验的作用,可将刺激的属性及空间位置以组块的形式与长时记忆中的表征相比较,从而做出快速有效的决策。运动员通过长期训练积累了丰富的运动经验,是研究经验对无意识加工影响的理想模型。

Kibele(2006)认为,在竞技运动中,尽管运动员不能辨别任何特定的触发刺激,但是他们能够准确回应对手或队友的动作。例如,网球的快速发球,篮球和排球中的拦截以及击剑、拳击和空手道中的反击等。运动员经常事后报告他们的动作反应源于对运动信息的无意识加工,并且这一现象多发生在有经验的运动员中,而非新手。为探讨运动员对复杂动作信息的无意识加工特征,有研究以跆拳道运动员为研究对象,并使用掩蔽启动范

式,结果发现,跆拳道运动员表现出显著的无意识反应启动效应,而对照组则没有。这一研究提示,运动员在专项运动领域具有无意识加工优势,并且这一优势可能得益于知觉与动作的共同编码(Gueldenpenning et al., 2015)。然而,有关运动经验与无意识加工的探讨还存在不一致的研究结果。例如,有研究以撑竿跳运动员为研究对象,探讨运动经验对身体姿势无意识加工的调节作用,结果并未发现撑竿跳运动员对专项运动信息的无意识加工优势(Gueldenpenning et al., 2011)。鉴于结果的不一致,运动经验能否影响无意识信息加工,以及运动员在此过程中是否具有加工优势,目前尚无定论。

脑功能成像技术的应用大大促进了认知神经科学的发展。核磁共振技术具有极高的空间分辨率,但其时间分辨率较低。鉴于掩蔽启动范式中启动刺激的呈现时间较短,事件相关电位技术(event-related potentials, ERP)成为掩蔽启动范式下无意识研究的理想方法。有研究指出,在掩蔽启动任务中,无意识反应启动效应在目标刺激出现后的200~400 ms内,对位于枕区和顶区的平均波幅具有调节作用(Jaskowski et al., 2003; Martens et al., 2011; Zovko et al., 2013)。为解决ERP技术的低空间分辨率问题,研究者们采用标准化低分辨率电磁扫描技术(standardized low resolution electrical tomography analysis, sLORETA)定位事件的头皮发生源。sLORETA是采用最小范数准则估计电流密度,根据局部最大的电流密度进行定位。通过矩阵变换,每个体素的标准密度得到计算,进而形成基于体素的全脑sLORETA图像。通过对ERP成分的分析及定位,可以从神经机制层面进一步探讨运动经验对乒乓球运动员无意识加工的影响。

综上所述,本研究使用掩蔽启动任务,以乒乓球运动员为研究对象,根据“Type Token”模型和乒乓球的项目特点设计了带有缺口的圆环作为启动刺激与目标刺激。Type Token模型是关于物体长时记忆的认知神经模型,它将记忆分为3个不同的表征,分别是类别追踪(type-traces)、物体符号(object tokens)以及片段符号(episodic tokens)。Ecker等(2004)认为,知觉启动是在上述3种表征的基础上实现的。后来,Zimmer等(2010)将这3种不同的记忆表征称为“types”和“tokens”。“types”是原型表征,主要针对物体的轮廓和三维信息,多用于物体的识别。“tokens”主要作用于局部特征的识别,主要针对物体的朝向及颜色特征。有研究认为,长时间与某个物体接触可以使人们对该物体产生一种熟悉感,而“types”可以和“tokens”在熟悉信息的过程中形成一种捆绑式的表征,并以较为简化的形式储存在记忆中。在乒乓球比赛过程中,对旋转的正确判断是取得比赛胜利的决定性因素之一,观察球拍与球的摩擦部位是乒乓球运动员判断来球旋转的主要方式。在本研究中,圆环提供了乒乓球的轮廓信息,而缺

口朝向则提供了乒乓球击球点的方向信息。本研究借助事件相关电位和溯源分析技术,探讨运动经验是否影响乒乓球运动员的无意识加工。我们假设,乒乓球运动员能够对与专项运动相关的信息进行无意识加工,并且乒乓球运动员的无意识反应启动效应显著大于普通大学生。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

选取 44 名被试,按照是否具有乒乓球运动经验将其分为经验组和无经验组。经验组为乒乓球运动员,共 22 名,运动等级均达到国家二级及以上水平,且每周保持 7 h 以上的训练时间。无经验组为普通大学生,共 22 名,没有乒乓球及其他持拍球类运动经验。2 名经验组和 1 名无经验组被试因身体不适或设备故障无法记录其 EEG 数据,在之后的统计分析中被剔除。最终保留 41 名被试,经验组 20 名,无经验组 21 名(表 1)。除训练年限外,两组被试没有显著差异。所有被试健康状况良好,无精神疾病史,惯用手为右手,视力或矫正视力正常,无色盲或色弱。被试在实验前签署了知情同意书,并在完成实验后给予相应报酬。

表 1 被试基本信息

组别	n	性别(男/女)	年龄/岁	训练年限/年
经验组	20	14/6	20.38±1.28	7.48±1.34
无经验组	21	13/8	19.81±1.29	0

### 1.2 实验材料

本研究选用带有缺口的圆环作为启动刺激与目标刺激。圆环缺口的角度为 30°,缺口的方向有 4 种,按顺时针方向计算,分别是 45°、135°、225°和 315°。启动刺激与目

标刺激的大小为 6×6 cm,水平视角和垂直视角均为 5.73°。掩蔽刺激为无规则线条组成的图片,大小为 6×6 cm,水平视角和垂直视角均为 5.73°,所有刺激为黑色(RGB:6,6,6),刺激背景为灰色(RGB:128,128,128)。

### 1.3 仪器与设备

16 英寸的 Dell 笔记本用于刺激呈现,屏幕分辨率为 1 024×768,刷新频率为 60 Hz。E-prime 2.0 用于控制刺激呈现与反应时的收集。

通过 Brain Production Recorder 软件,并使用 64 导电极帽记录被试的脑电活动。采样频率为 500 Hz,以 AFz 点为接地电极,FCz 点为参考电极。在右眼眶外侧 1 cm 处放置水平眼电(horizontal electrooculogram, HEOG),在左眼眶下 1 cm 处放置垂直眼电(vertical electrooculogram, VEOG)。保证所有电极点与头皮间的电阻在 5 kΩ 以下。

### 1.4 实验设计

采用 2(组别)×2(反应一致性)的混合设计。被试间变量为组别,即经验组和无经验组两个组别。被试内变量为反应一致性,是指启动刺激与目标刺激所对应的反应是否一致,有一致和不一致 2 种情况。因变量为反应时、错误率以及 ERP 成分的平均波幅。

实验在隔音且安静的房间进行。被试与电脑屏幕之间的距离约为 60 cm,被试在实验任务过程中注视屏幕中央,并按要求对目标刺激进行按键反应。刺激呈现的顺序与时间如下(图 1):1)注视点 750 ms;2)前掩蔽刺激 200 ms;3)启动刺激 33 ms;4)后掩蔽刺激 33 ms;5)目标刺激 500 ms,目标刺激消失后会呈现 1 000 ms 的空屏。实验要求被试忽视启动刺激而对目标刺激的缺口方向进行反应,如果缺口方向为 225°和 315°,按“f”键;如果缺口方向为 45°和 135°,按“j”键,被试需在 1 500 ms 内尽快完成对目标刺激的按键反应。

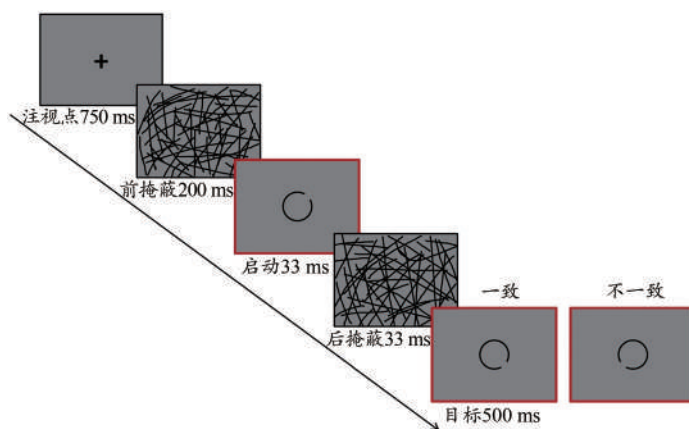


图 1 掩蔽启动任务实验流程

Figure 1. Experimental Process of Masked Priming Task

在正式实验之前,被试需要完成一个练习实验(24 个试次)。练习实验包含了 8 种可能的启动-目标刺激组合。

练习实验之后是正式实验,正式实验包括 4 个 block,每个 block 包含 40 个试次。每个 block 之后有 1 min 的休息时



间。被试可根据自己的情况选择休息或是继续进行实验。

为测量被试对启动刺激的知觉状态,在完成正式实验之后,每个被试都会接受关于能否知觉到启动刺激存在的口头询问,然后再完成一个对启动刺激的辨别力测试。辨别力测试有2个block,共包含64个试次。辨别力测试要求被试对启动刺激进行判断,其实验程序与反应规则与正式测试一致。对启动刺激的辨别力测试着重考察被试对启动刺激判断的正确率。

## 1.5 数据分析

### 1.5.1 辨别力 $d'$

为了更加客观测量被试对启动刺激的知觉状态,除采用主观阈限测量方法之外,本研究还采用了客观阈限测量方法,即通过1)单样本  $t$  检验分别比较经验组和无经验组的辨别力  $d'$  ( $d' = Z_{击中} - Z_{虚惊}$ ) 与概率水平是否具有差异(Wickens, 2010),2)独立样本  $t$  检验比较经验组与无经验组对启动刺激的辨别是否有差异(Gueldenpenning et al., 2011)。在本研究中,我们将一致条件下的正确报告视为击中,不一致条件下的错误报告视为虚惊。

### 1.5.2 反应时和错误率

为了排除错误反应和极端值的干扰,错误试次和漏报试次(4.70%)以及反应时大于或小于2个标准差的极端试次(4.90%)不做进一步分析(Martens et al., 2011)。对反应时和错误率分别进行2(组别)×2(反应一致性)的重复测量方差分析。

### 1.5.3 ERP数据分析

通过Brain Vision Analyzer对EEG数据进行离线预处理。预处理主要包括:1)将参考电极转换为Tp9/Tp10;2)滤波(低通为30 Hz,高通为0.1 Hz,斜度为24 dB/oct);3)使用独立成分分析去除眨眼伪迹,并进一步排除其他伪迹;4)波幅超过±100 μV 被视为伪迹自动剔除。5)以目标刺激出现为零点对EEG数据进行分段,向后截取800 ms,向前截取466 ms。为避免掩蔽刺激的影响,本研究选取前掩蔽刺激出现之前的200 ms(-466~-266 ms)作为基线,对分段的脑电波形进行校正,这种基线选取的方法广泛应用于掩蔽启动范式条件下的ERP研究(Kiefer et al., 2010; Ortells et al., 2016)。

鉴于无意识反应启动效应主要出现在枕区和顶区,本研究选择O1/O2、PO3/PO4、P1/P3、P2/P4、CP1/CP2、CP3/CP4这12个电极点,并根据平均后的波形选择目标刺激出现后的300~500 ms作为统计时间窗。对300~500 ms的平均波幅进行2(组别)×2(反应一致性)×12(电极点)的重复测量方差分析。

### 1.5.4 溯源分析

采用sLORETA定位无意识启动效应的头皮发生源(Fuchs et al., 2002; Jurcak et al., 2007; Pascualmarqui, 2002)。主要步骤为:1)将所有被试在每种条件下叠加平

均后的脑电数据导出,并选择除眼电和参考电极之外的所有电极点进行分析。2)将MNI坐标转化成相对应的Talairach坐标。3)通过Talairach坐标创建转换矩阵。4)将EEG数据转化为与其相对应的sLORETA文件。5)根据目的选择相对应的统计方式,并计算与300~500 ms相对应的time frame。6)通过sLORETA内置的基于统计学的非参数地形图(SnPM)的体素随机检验(5 000次置换),对每个成分用log化的fratio统计量进行独立检验。通过多次比较来校正显著性水平。最后生成的脑源定位图像中标记出激活最强的布洛德曼区(BA)和与其对应的MNI坐标值。

所有的统计分析采用双侧 $P < 0.05$ 作为显著性标准,对不满足球形检验的统计量采用Greenhouse-Geisser法矫正自由度和 $P$ ,事后检验采用LSD法。

## 2 结果

### 2.1 辨别力测试结果

在完成主实验后,所有被试均口头报告不能有意识知觉启动刺激的存在。对经验组和无经验组的辨别力  $d'$  分别进行单样本  $t$  检验,结果显示,经验组的辨别力指数  $d' = 0.03$ ,与概率水平没有显著差异 [ $t_{(19)} = 0.36, P = 0.72$ ];无经验组的辨别力指数  $d' = -0.01$ ,与概率水平也没有显著差异 [ $t_{(20)} = -0.07, P = 0.95$ ]。此外,对经验组与无经验组的辨别力  $d'$  进行独立样本  $t$  检验,结果显示,两组被试对启动刺激的辨别没有显著差异 [ $t_{(39)} = 0.26, P = 0.80$ ]。

### 2.2 反应时和错误率结果

对反应时进行了2(组别)×2(反应一致性)的重复测量方差分析,结果显示,组别的主效应显著 [ $F_{(1,39)} = 7.93, P < 0.01, \eta_p^2 = 0.17$ ],反应一致性的主效应显著 [ $F_{(1,39)} = 13.17, P < 0.01, \eta_p^2 = 0.25$ ],组别与一致性的交互作用也达到显著水平 [ $F_{(1,39)} = 7.12, P < 0.05, \eta_p^2 = 0.15$ ]。对交互作用进行简单效应分析,结果发现,经验组的反应时在一致条件 ( $P < 0.01$ ) 与不一致条件 ( $P < 0.05$ ) 下均显著小于无经验组的反应时。此外,经验组在一致条件下的反应时显著小于不一致条件下的反应时 ( $P < 0.001$ ),然而,无经验组在这两种条件下的反应时没有显著差异 ( $P = 0.50$ ,图2A)。

对错误率进行了2(组别)×2(反应一致性)的重复测量方差分析,结果显示,反应一致性的主效应显著 [ $F_{(1,39)} = 7.30, P < 0.05, \eta_p^2 = 0.16$ ],组别与反应一致性的交互作用也达到显著水平 [ $F_{(1,39)} = 6.03, P < 0.05, \eta_p^2 = 0.13$ ]。对交互作用进行简单效应分析,结果发现,经验组的错误率在一致条件 ( $P = 0.08$ ) 与不一致条件 ( $P = 0.77$ ) 下与无经验组的错误率均没有显著差异。但是,经验组在一致条件下的错误率显著小于不一致条件 ( $P < 0.01$ ),而无经验组在这两种条件下的错误率没有显著差异 ( $P = 0.86$ )。组别的主效应不显著 [ $F_{(1,39)} = 0.45, P = 0.51, \eta_p^2 = 0.01$ ] (图2B)。

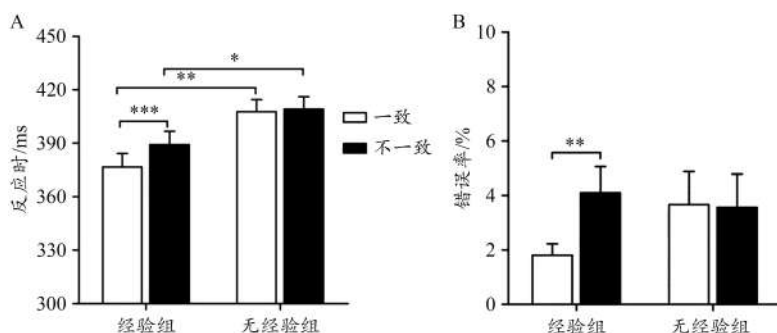


图2 经验组和无经验组在一致和不一致条件下的反应时(A)和错误率(B)

Figure 2. Mean Response Times (A) and Error Rates (B) of the Empirical Group and the Non-empirical Group under Consistent and Inconsistent Conditions

### 2.3 ERP结果

对300~500 ms的平均波幅进行了2(组别)×2(反应一致性)×12(电极点)的重复测量方差分析,结果显示,反应一致性的主效应显著 $[F_{(1,39)}=15.25, P<0.001, \eta_p^2=0.28]$ ,被试在一致条件下的波幅显著小于不一致条件。电极点的主效应显著 $[F_{(11,29)}=16.68, P<0.001, \eta_p^2=0.70]$ ,事后检验的结果显示,各个电极点的波幅从顶区到枕区依次降低,并且差异显著 $(P<0.01)$ 。

组别与反应一致性的交互作用显著 $[F_{(1,39)}=6.82, P<0.05, \eta_p^2=0.15]$ 。对交互作用进行简单效应分析发现,无论是一致条件 $(P=0.36)$ 还是不一致条件 $(P=0.11)$ ,经验组的波幅与无经验组的波幅没有显著差异,然而,经验组在一致条件下的波幅显著小于不一致条件 $(P<0.001)$ ,而无经验组的波幅在这两种条件下的差异并不显著 $(P=0.36)$ (图3、图4)。反应一致性与电极点的交互作用也达到显著水平 $[F_{(11,29)}=11.27, P<0.001, \eta_p^2=0.22]$ ,对交互作用进行简单效应分析发现,CP1、CP2、CP3、CP4、P1、P2、P3、P4、PO3、PO4在一致条件下的波幅显著小于不一致条件的波幅,而O1和O2的波幅在两种条件下并没有显著差异。

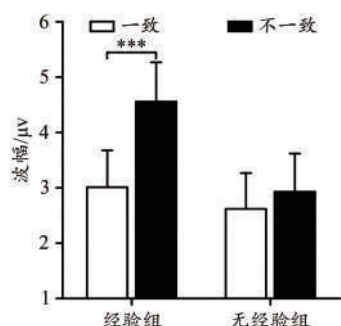


图3 经验组和无经验组在一致和不一致条件下的平均波幅

Figure 3. Mean Amplitudes of the Empirical Group and the Non-empirical Group under Consistent and Inconsistent Conditions

组别的主效应不显著 $[F_{(1,39)}=1.18, P=0.28, \eta_p^2=0.03]$ 。组别与电极点的交互作用不显著 $[F_{(11,29)}=0.57, P=0.63, \eta_p^2=0.01]$ 。组别、反应一致性与电极点的交互作用也不显

著 $[F_{(11,29)}=0.26, P=0.90, \eta_p^2=0.01]$ 。

### 2.4 sLORETA溯源分析结果

根据ERP结果,经验组在一致和不一致两种条件下300~500 ms的平均波幅具有显著差异,使用sLORETA对这一差异进行源定位分析,结果发现,差异最大激活脑区为中央后回(Brodmann 3区, X=-50, Y=-15, Z=55),但没有达到显著水平,如图5所示。对经验组在一致和不一致条件下300~500 ms的大脑激活进行源定位,结果发现,乒乓球运动员在一致和不一致条件下显著激活的脑区相似,包括舌回、后扣带回、楔叶、海马旁回、梭状回、中央前回、顶下小叶及额下回等脑区(图6),主要集中在顶叶、颞叶、额叶以及边缘系统。

### 3 讨论

为探讨运动经验是否影响乒乓球运动员的无意识加工,本研究使用掩蔽启动任务,选用与乒乓球运动相关的图形为刺激材料,比较乒乓球运动员与普通大学生对与专项运动相关信息的无意识加工。从行为和电生理两个方面证明,乒乓球运动员不仅能够对与专项运动相关信息进行无意识加工,并且在此过程中具有优势。行为结果发现,乒乓球运动员表现出显著的无意识反应启动效应,而普通人则没有。ERP结果发现,乒乓球运动员的无意识反应启动效应在目标刺激出现后的300~500 ms内,对位于顶区和顶中央的平均波幅具有调节作用,而普通人则没有。溯源结果发现,位于视觉背侧通路及腹侧通路的多个关键脑区共同作用于乒乓球运动员的无意识反应启动效应。

本研究采取多种方法确保被试对启动刺激的知觉状态处于无意识水平,具体如下:1)启动刺激的呈现时间为33 ms,并通过添加前后掩蔽进一步降低启动刺激的可视度;2)实验要求被试忽略启动刺激而对目标刺激进行反应;3)主实验结束后,使用主观阈限测量法,口头询问被试能否知觉启动刺激的存在;4)之后,告知被试目标刺激出现之前会出现一项启动刺激,要求被试完成一项针对启动刺激的辨别测试,被试需忽略目标刺激而对启动刺

激进行判断。根据被试对启动刺激的辨别计算每个被试的辨别力指标  $d'$ ,之后再做进一步的统计分析(吕勇等,

2010)。通过上述方法控制,为被试对启动刺激的知觉状态处于无意识水平提供了保证。

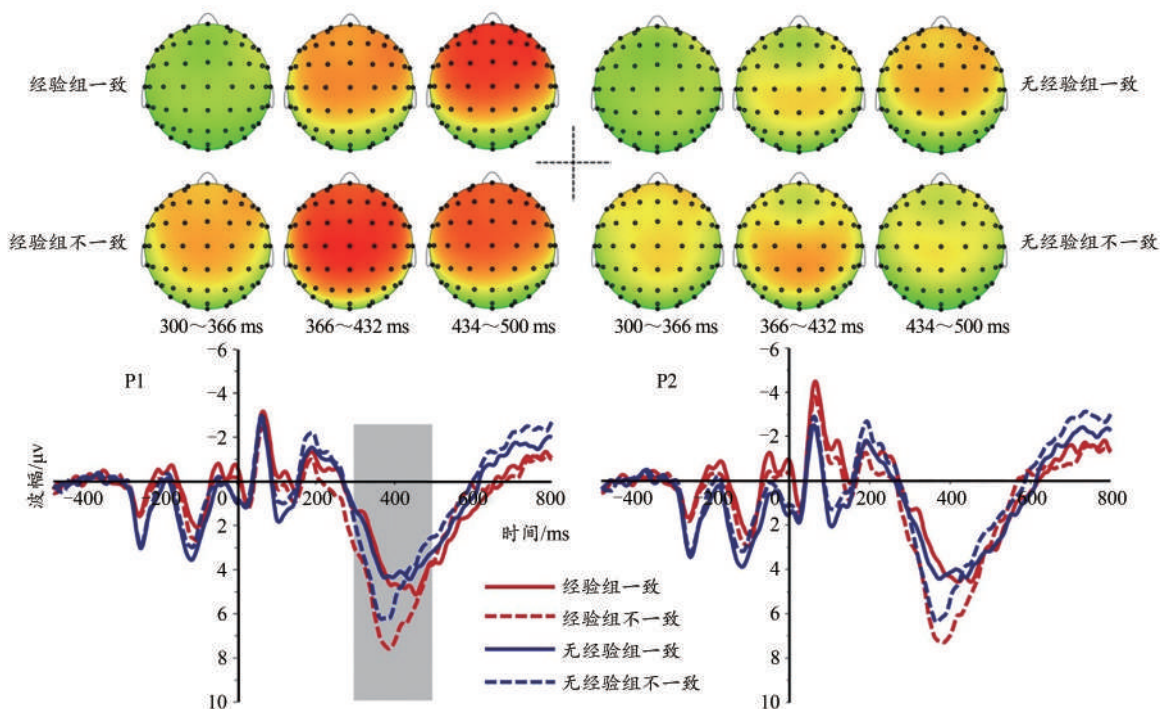


图4 经验组和无经验组在一致和不一致条件下的电流密度图及波形图

Figure 4. The Waveforms and Topographic of the Empirical Group and the Non-empirical Group under Consistent and Inconsistent Conditions

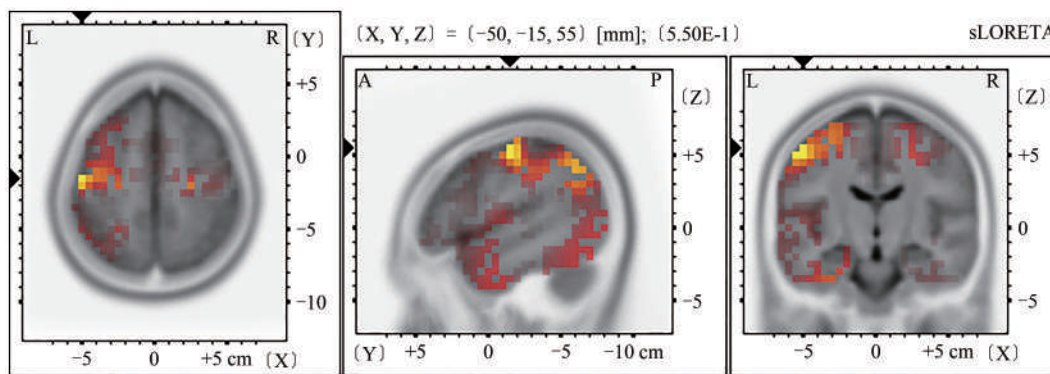


图5 经验组在两种条件下激活差异脑区(不一致>一致)

Figure 5. Difference Activated Brain Regions under Two Conditions for Athletes in Empirical Group (Incongruent>Congruent)

3.1 乒乓球运动员对与专项运动相关信息具有高知觉敏感性  
反应时的统计结果显示,无论是一致条件还是不一致条件,乒乓球运动员比普通大学生都有更快的反应速度。该结果与以往对乒乓球运动员的研究结果一致。例如,有研究发现,与带有缺口的八角形相比,乒乓球运动员在抑制阶段能够对带有缺口的圆环这一与专项运动相关的刺激投入更多的认知资源(张大为, 2014)。此外, EEG 结果显示,在对圆环缺口方向进行判断的任务中,乒乓球运动员的顶区、额区、颞叶及中央运动区的耦合程度显著高于普通大学生,体现了在与专项运动相关图形的

识别过程中,运动员大脑皮层激活的空间集中特性(郭志平等, 2015)。以上研究表明,乒乓球运动员对与专项运动相关信息加工过程中具有优势。本研究选取带有缺口的圆环作为与乒乓球专项相关的刺激,圆环上缺口朝向的变化在一定程度上反映了训练或比赛过程中击球点的变化,对击球点的准确判断有助于乒乓球运动员对来球旋转信息的把握,而这些信息对乒乓球运动员在预判对手球路过程中至关重要(Muller et al., 2012)。因此,本研究认为,与普通大学生相比,乒乓球运动员对带有缺口的圆环具有更高的知觉敏感性。



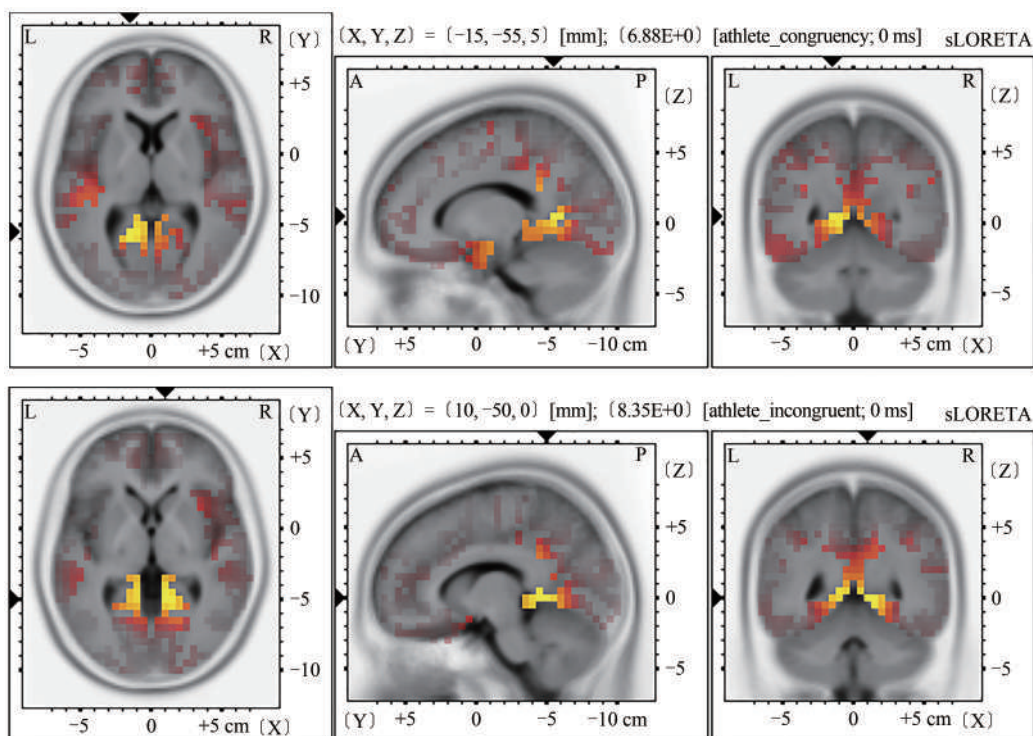


图6 经验组在一致(上)和不一致条件(下)的大脑激活区域

Figure 6. The Activated Brain Regions on Congruent Condition (Above) and Incongruent Condition (Below) in Empirical Group

### 3.2 乒乓球运动员在专项运动中的无意识加工优势

反应时和错误率的统计结果显示,乒乓球运动员在一致条件下的反应时和错误率显著小于不一致条件,表现出无意识反应启动效应。然而,普通大学生的反应时和错误率在两种条件下没有显著差异,不存在无意识反应启动效应。ERP结果与行为结果一致,乒乓球运动员在一致条件下的平均波幅显著小于不一致条件,而普通大学生的平均波幅在两种条件下没有显著差异。行为和ERP结果表明,乒乓球运动员能够对与专项运动相关的信息进行无意识加工,并表现出优势。这一研究结果与Gueldenpenning等(2015)的研究结果一致,再次肯定了经验是专项领域内无意识信息加工的必要前提。Schutz-Bosbach等(2007)认为,伴随运动经验的积累,运动员对专项领域内动作信息的知觉敏感性逐渐提高,高知觉敏感性对动作信息的无意识加工至关重要。此外,以往研究使用事件编码理论解释运动员在时间压力下的动作反应,并认为运动员的认知加工优势源于知觉与动作的共同表征(Meng et al., 2019)。鉴于此,本研究认为,对专项运动信息的高知觉敏感性以及知觉与动作的共同表征可能是导致乒乓球运动员无意识加工优势的重要原因。

一方面,本研究在讨论前半部分针对乒乓球运动员对带有缺口的圆环具有更高的知觉敏感性进行了充分证明及详细论述。另一方面,Kibele(2006)基于事件编码理论认为,运动员对专项运动信息的无意识加工主要通过两个阶段获得:第一阶段是学习阶段,通过大量练习,运

动信息与动作反应之间的无意识联结得以建立,形成知觉与动作的共同表征;第二阶段是表现阶段,运动员对运动信息的无意识加工会激活先前建立的知觉与动作的共同表征,同时,相应的动作反应得到预激活。在一致条件下,若预激活的动作反应与目标刺激动作反应一致,则会促进乒乓球运动员对目标刺激的反应,导致反应速度加快、错误率降低。在不一致条件下,若预激活的动作反应与目标刺激的动作反应相冲突,乒乓球运动员需放弃与当前不符合的刺激表征,并在记忆中寻找新的刺激表征,这一情况则会干扰乒乓球运动员对目标刺激的反应,导致反应速度变慢、错误率升高。波形图显示,乒乓球运动员在不一致条件下的平均波幅显著大于一致条件。该结果与Zovko等(2013)的研究结果一致,与一致条件相比,不一致条件含有冲突成分,乒乓球运动员对启动刺激与目标刺激之间反应冲突的处理需要投入更多的认知资源(D'Ostilio et al., 2004)。脑地形图显示,乒乓球运动员除顶叶和中央脑区激活之外,额叶的激活也比较明显。以往的研究表明,额区可以通过自上而下的方式调节当前信息以完成特定的任务(Miller et al., 2001),额叶的激活说明乒乓球运动员对无意识信息的自动化加工并非是信息的自动输入(Lau et al., 2007),可能受运动经验这一自上而下因素的影响(Kiefer, 2007)。与此相反,对普通大学生而言,呈现在无意识条件下的启动刺激并不影响其对后续目标刺激的加工。尽管普通大学生在不一致条件下的反应时与大脑活动程度略高于一致条件,但是,两种

条件下的差异并不显著。一方面是由于其对刺激材料的低知觉敏感性,另一方面是由于其记忆系统中没有可利用的知觉与动作的共同表征。因此,普通大学生不能对启动刺激进行无意识加工。

此外,本研究为理解以往关于运动员无意识加工研究结果的不一致提供启示。Gueldenpenning等(2011)的研究中,撑竿跳运动员并未表现出显著的无意识启动效应,综合本研究与以往研究结果,我们认为可能由以下两个原因所致:1)任务设置过于简单。在Gueldenpenning等(2011)的研究将一个背越式跳高的动作视频输出为8张图片,并将此动作视频分为两个动作阶段:助跑阶段和起跳阶段,要求被试判断目标动作是属于哪个阶段。对运动员来说,对目标动作所属阶段的判断不能反映出其经验优势。然而,对普通大学生来说,凭借其对撑竿跳运动的一般经验足够完成对目标图片所属阶段的判断。因此,本研究认为,运动经验对专项运动信息无意识加工的促进作用仅体现在能够真正反映运动员运动经验的任务中。2)撑竿跳属于闭锁型项目。闭锁型项目受环境变化的影响较小,而开放型运动项目具有攻防转换快、技术复杂多变的特点。相比较从事闭锁型项目的运动员,从事开放型项目的运动员对信息进行无意识加工的机会更多(Yu et al., 2017)。

### 3.3 乒乓球运动员在专项运动中无意识知觉优势的神经机制

根据双阈限理论可知,主观阈限可以区别意识过程和无意识过程,而无意识过程和不可能确定觉察的水平之间的界限则是客观阈限(Cheesman et al., 1984)。在本研究中,我们推测乒乓球运动员对启动刺激的知觉状态处于主观阈限以下,客观阈限以上,而普通大学生对启动刺激的知觉状态则处于客观阈限以下。乒乓球运动员经过长时间的运动训练,其大脑皮层发生适应性变化,与经验任务加工相关脑区神经元的阈值降低,当膜电位达到或超过一定值,神经元就会兴奋并发出脉冲,虽然这一兴奋强度没有超过特定阈限而被人所感知,但是兴奋脑区依然会作用于当前的信息加工。与乒乓球运动员相比,普通大学生因其对刺激信息的低敏感性,其大脑皮层神经元兴奋的阈值较高。因此,乒乓球运动员表现出显著的无意识启动效应,而普通大学生则没有。为了解乒乓球运动员无意识启动效应在脑内的起源,本研究借助sLORETA对乒乓球运动员在两种条件下激活的差异脑区进行了源定位分析。结果发现,乒乓球运动员在两种条件下激活的最大差异脑区为中央后回,但是没有达到显著水平。我们推测出现这一结果的原因可能在于本研究选取的乒乓球运动员级别不高,虽然多数乒乓球运动员的运动水平在国家二级以上,但是与高水平乒乓球运动员相比还存在较大差距。此外,溯源分析是对大脑激活的间接推算方式,在空间精确度上与fMRI存在较大差距,这可能

是导致与无意识反应启动效应相关的脑区在两种条件下的激活没有达到统计学差异的另外一个原因。

分别对乒乓球运动员在一致和不一致条件的ERP成分进行源定位分析,结果发现,乒乓球运动员在一致和不一致条件下都激活的脑区包括舌回、后扣带回、楔叶、海马旁回、梭状回、中央前回、顶下小叶及额下回等脑区。位于腹侧通路的舌回、楔叶及梭状回在形状表征中起重要作用,中央前回主要参与动作反应的计划、准备和执行,而位于背侧通路的顶下小叶负责将视觉特征信息传递到负责加工作用的脑区(Ulrich et al., 2016)。此外,额下回主要参与视觉空间注意或动作注意的加工(Corbetta et al., 1995),具有将注意指向即将发生动作上的作用(Rushworth et al., 2003),在学习、提取和保持刺激-反应规则方面具有重要作用(Crone et al., 2006)。据此,我们推测视觉的背侧通路和腹侧通路可能共同作用于乒乓球运动员的无意识启动效应。

## 4 结论

在专项运动信息加工过程中,乒乓球运动员表现出较强的无意识加工能力,这可能与其对与专项运动相关信息的高知觉敏感性及知觉与动作的共同编码有关。此外,视觉的背侧通路与腹侧通路可能共同作用于乒乓球运动员的无意识启动效应。

## 参考文献:

- 吕勇,张伟娜,沈德立,2010.不同愉悦度面孔阈下情绪启动效应:来自ERP的证据[J].心理学报,42(9):929-938.
- 张大为,2014.Go/Nogo任务下运动经验对抑制控制影响的电生理证据[D].上海:上海体育学院.
- 郭志平,李安民,王积福,2015.乒乓球运动员的大脑功能非对称性及功能耦合性研究[J].天津体育学院学报,30(3):256-261.
- ALARCON F, URENA N, CASTILLO A, et al., 2017. Executive functions predict expertise in basketball players [J]. Rev Psicol Deporte, 26(1): 71-74.
- ANSORGE U, KUNDE W, KIEFER M, 2014. Unconscious vision and executive control: How unconscious processing and conscious action control interact [J]. Conscious Cogn, 27(27): 268-287.
- AVNEON M, LAMY D, 2018. Reexamining unconscious response priming: A liminal-prime paradigm [J]. Conscious Cogn, 59: 87-103.
- CHAN J S Y, WONG A C N, LIU Y, et al., 2011. Fencing expertise and physical fitness enhance action inhibition [J]. Psychol Sport Exerc, 12(5): 509-514.
- CHEESMAN J, MERIKLE P M, 1984. Priming with and without awareness [J]. Percept Psychophys, 36(4): 387-395.
- CORBETTA M, SHULMAN G L, MIEZIN F M, et al., 1995. Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction [J]. Science, 270(5237): 802-805.
- CRONE E A, WENDELKEN C, DONOHUE S E, et al., 2006. Neural evidence for dissociable components of task-switching [J]. Cereb Cortex, 16(4): 475-486.



- D'OSTILIO K, DEVILLE B, CREMERS J, et al., 2013. Role of the supplementary motor area in the automatic activation of motor plans in de novo Parkinson's disease patients[J]. *Neurosci Res*, 76(3): 173-177.
- ECKER U K H, GROH-BORDIN C, ZIMMER H D, 2004. Electrophysiological correlates of specific feature binding in remembering-introducing a neurocognitive model of human memory[M]. Aachen: Shaker.
- FUCHS M, KASTNER J, WAGNER M, et al., 2002. A standardized boundary element method volume conductor model [J]. *Clin Neurophysiol*, 113(5): 702-712.
- GUELDPENNING I, BRAUN J F, MACHLITT D, et al., 2015. Masked priming of complex movements: Perceptual and motor processes in unconscious action perception[J]. *Psychol Res-Psych Fo*, 79(5): 801-812.
- GUELDPENNING I, KOESTER D, KUNDE W, et al., 2011. Motor expertise modulates the unconscious processing of human body postures[J]. *Exp Brain Res*, 213(4): 383-391.
- HEINEMANN A, KIESEL A, POHL C, et al., 2010. Masked response priming in expert typists[J]. *Conscious Cogn*, 19(1): 399-407.
- JASKOWSKI P, SKALSKA B, VERLEGER R, 2003. How the self controls its automatic pilot when processing subliminal information[J]. *J Cogn Neurosci*, 15(6): 911-920.
- JURCAK V, TSUZUKI D, DAN I, 2007. 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems[J]. *NeuroImage*, 34(4): 1600-1611.
- KIBELE A, 2006. Non-consciously controlled decision making for fast motor reactions in sports—a priming approach for motor responses to non-consciously perceived movement features[J]. *Psychol Sport Exerc*, 7(6): 591-610.
- KIEFER M, 2007. Top-down modulation of unconscious 'automatic' processes: A gating framework[J]. *Adv Cogn Psychol*, 3(1-2): 289-306.
- KIEFER M, 2012. Executive control over unconscious cognition: Attentional sensitization of unconscious information processing[J]. *Front Human Neurosci*, 6: 61.
- KIEFER M, MARTENS U, 2010. Attentional sensitization of unconscious cognition: Task sets modulate subsequent masked semantic priming[J]. *J Exp Psychol General*, 139(3): 464-489.
- KIESEL A, KUNDE W, POHL C, et al., 2009. Playing chess unconsciously[J]. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 35(1): 292-298.
- KUNDE W, 2004. Response priming by supraliminal and subliminal action effects[J]. *Psychol Res*, 68(2-3): 91-96.
- LAU H C, PASSINGHAM R E, 2007. Unconscious activation of the cognitive control system in the human prefrontal cortex[J]. *J Neurosci Official J Soc Neurosci*, 27(21): 5805-5811.
- MARTENS U, ANSORGE U, KIEFER M, 2011. Controlling the unconscious: Attentional task sets modulate subliminal semantic and visuomotor processes differentially[J]. *Psychol Sci*, 22(2): 282.
- MENG F, LI A, YOU Y, et al., 2019. Motor expertise modulates unconscious rather than conscious executive control[J]. *PeerJ*, 7: e6387.
- MILLER E K, COHEN J D, 2001. An integrative theory of prefrontal cortex function[J]. *Ann Rev Neurosci*, 24(1): 167-202.
- MULLER S, ABERNETHY B, 2012. Expert anticipatory skill in striking sports: A review and a model[J]. *Res Qr Exerc Sport*, 83(2): 175-187.
- ORTELLS J J, MARKUS K, ALEJANDRO C, et al., 2016. The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words[J]. *Cognition*, 146: 143-157.
- PASCUALMARQUI R D, 2002. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): Technical details[J]. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*, 24(Suppl D): 5-12.
- RUSHWORTH M F S, JOHANSENBERG H, GOBEL S M, et al., 2003. The left parietal and premotor cortices: Motor attention and selection[J]. *NeuroImage*, 20(Suppl 1): S89-S100.
- SCHUTZ-BOSBACH S, PRINZ W, 2007. Perceptual resonance: Action-induced modulation of perception[J]. *Trends CognSci*, 11(8): 349-355.
- ULRICH M, KIEFER M, 2016. The neural signature of subliminal visuomotor priming: Brain activity and functional connectivity profiles[J]. *Cereb Cortex*, 26(6): 2471-2482.
- VERBURGH L, SCHERDER E J A, VAN LANGE P A M, et al., 2014. Executive functioning in highly talented soccer players [J]. *Plos One*, 9(3): e91254.
- WICKENS T D, 2001. Elementary signal detection theory[M]. Oxford: Oxford University Press.
- YU Q H, CHAN C C H, CHAU B, et al., 2017. Motor skill experience modulates executive control for task switching[J]. *Acta Psychol*, 180: 88-97.
- ZIMMER H D, ECKER U K H, 2010. Remembering perceptual features unequally bound in object and episodic tokens: Neural mechanisms and their electrophysiological correlates[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 34(7): 1066-1079.
- ZOVKO M, KIEFER M, 2013. Do different perceptual task sets modulate electrophysiological correlates of masked visuomotor priming? Attention to shape and color put to the test[J]. *Psychophysiology*, 50(2): 149-157.

(收稿日期:2019-05-30; 修订日期:2022-06-08; 编辑:马婧)

