

## 《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：自我旋转面孔的识别 —— 一项 ERPs 的研究

作者：钟毅平，李璘，占友龙，范伟，杨子鹿

### 第一轮

**审稿人 1 意见：**作者结合 ERP 技术使用面孔异同匹配判断任务让被试分别对自我面孔和他人面孔进行识别，观察在不同旋转角度下，自我面孔和他人面孔的 N170 和 LPP 的差异。

存在以下问题：

**意见 1：**

一、研究创新点不突出，需进一步提炼

对于 N170，结果显示自我面孔和他人面孔没有显著差异，而随着面孔旋转角度增加，N170 波幅增加。这个结果重复出了以往对于 N170 成分研究的结果。不能算作创新点。

如文章所提及“有前人研究表明，N170 反映的是大脑对面孔结构的编码，未反映自我和他人的身份区别，N170 成分是无关系刺激的身份信息的”13 页“有研究者以 ERP 为技术手段来分析倒置面孔效应与脑电成分之间的关系，结果发现，倒置面孔（旋转至 180° 的面孔）比正立面孔诱发了更大的 N170 波幅，这是因为 N170 与面孔的结构加工有关，当面孔旋转到 180° 时，面孔结构最大程度受到破坏，从而诱发更大的 N170 波幅”3 页。

对于 LPP，结果显示随旋转角度增大，自我面孔与他人面孔的 LPP 差异逐渐降低，当面孔旋转至 180° 时，自我面孔与他人面孔的 LPP 不存在显著差异，文章认为这代表了在 90° 旋转角度下，自我面孔识别优势被削弱，而在 180° 旋转角度时完全消失。

**回应：**感谢审稿专家的意见和建议，我们重新梳理了问题提出部分，使得文章的创新点更加突出。

我们在研究中发现，“在 N170 成分上，自我面孔和他人面孔没有显著差异，而随着面孔旋转角度增加，N170 波幅增大。”这个结果验证了前人关于 N170 研究的结果。N170 是反映早期面孔识别的一个重要 ERP 成分，它是在面孔刺激呈现后的 130-200ms 记录到的，并在 160-170ms 时达到峰值的一种脑电负成分，其主要分布于大脑颞枕区，通常在 P8(T6) 或者 PO8 或者 O2 等电极处的波幅最大(李明芳, 张焯, & 张庆林, 2010; 汪海玲 & 傅世敏, 2011; Nemrodov, Anderson, Preston, & Itier, 2014; Sadeh & Yovel, 2010)。本文是有关面孔识别的研究，因此就对面孔识别的重要指标进行了报告和讨论。

过往研究表明，旋转角度会影响面孔识别，并且能够反映在脑电成分上，而自我面孔识别作为面孔识别的一个重要内容，拥有其独特性和特异性(杨红升 & 黄希庭, 2007)，是值得去探讨的，因此本研究要解决的新的科学问题主要有两个：第一，考察当心理旋转的对象为自我面孔时，旋转角度是否会影响自我面孔识别在神经反应中的表现，与他人旋转面孔相比，其加工有何特点；第二，若旋转角度影响自我面孔识别，它会发生于加工的早期、中期还是晚期阶段，其加工时程是如何表现的？

本研究的研究结果表明：1. 对于自我面孔，当旋转角度越大时，波幅逐渐变得越趋于负走向，而对于他人面孔，三个旋转角度诱发的波幅无显著差异。说明在面孔加工的晚期阶段，当旋转的自我面孔和他人面孔同时呈现时，即使面孔信息受到了破坏，自我面孔也能吸引到个体更多的认知资源，从而对其进行进一步精细的心理旋转加工，而他人面孔没有获得个体足够的认知资源，从而对其进行的心理旋转加工较为粗糙，可能没有对其进行一个完整

的旋转加工。2. 旋转角度对自我面孔加工的影响从400ms开始, 并持续100ms左右。根据研究结果, 我们有一些新的发现: 1. 个体对自我面孔的心理旋转加工是优于对他人面孔的心理旋转加工的, 可能心理旋转的操作是受旋转对象的影响; 2. 旋转角度对自我面孔识别的影响发生于面孔加工的晚期阶段, 并且其影响持续约100ms。

**意见 2:** 对于以往研究的 LPP 发现区别于文章发现的解释存在问题, 作者需要对一些可能性进行排除。

在本研究中, 被试记忆面孔为正立面孔, 而识别面孔有 2/3 几率是旋转面孔。当旋转面孔出现时, 被试如需正确完成任务, 则需要先将旋转面孔进行心理旋转, 当将刺激旋转至正立位置后, 再进行识别对比。

在本文讨论中认为, 90° 与 180° 的旋转角度破坏了面孔的结构信息 (面孔导致效应), 从而使被试无法提取精细信息, 无法分辨是自我面孔还是他人面孔, 自我面孔识别优势自然削弱或消失。因此, 自我面孔与他人面孔的 LPP 差异会随旋转角度增加而递减至消失。但是, 这部分讨论实际上是应该套用在被试不需要对面孔进行心理旋转即进行反应的实验中。正如文章第 3 页所写 “Liu, Oxner, Hayward 和 Behrmann (2014)……发现, 识别面孔的速度随旋转角度的增大而变慢”。根据 Bruce—Young 经典面孔识别认知模型面孔识别分为第一阶段的面孔知觉 (N170) 和第二阶段的面孔识别, 而在本实验中, 对于 90° 与 180° 旋转角度的面孔, 实际上被试要经历三个阶段, 分别是面孔知觉、心理旋转、面孔识别。本研究的问题在于其 LPP 的分析时间在三种不同情况下均只选取 400-500 ms, 正如文章所说 “心理旋转任务与 ERP 之间存在一个电生理指标, 即大脑顶叶在旋转刺激呈现后大约 500ms 时, 会出现一个显著的正成分, 如, P500, 并且随着旋转角度的增大, 其潜伏期会延长”。在反应面孔为正立面孔时, 被试不存在心理旋转阶段, 而面孔识别阶段的潜伏期应该会随反应面孔的旋转角度增加而递增。

因此, 即便被试对于三种面孔 (0°、90°、180°) 均产生了自我面孔识别优势, 也可能出现本研究结果。在 0° 面孔情况下, 不存在心理旋转阶段, 因此在 400-500 ms 时出现了以往研究均出现的显著 LPP 差异; 在 90° 面孔情况下, 自我面孔识别优势潜伏期后移, 因此当依然取 400-500 ms 计算 LPP 波幅时, 会导致观察到 LPP 差异减弱; 同理, 在 180° 面孔情况下, 自我面孔识别优势潜伏期更后, 因此在 400-500 ms 时窗无法观察到 LPP 差异痕迹。

以上解释并不否定 Bruce—Young 经典面孔识别认知模型, 但不认可文章将 LPP 结果简单解释为被试无法顺利完成面孔识别 (他人和自我则不再存在差别), 所以导致自我面孔识别优势消失。作者可以改变脑电时窗对结果进一步分析。若不进行这种分析, 则任务要求被试对面孔进行心理旋转这一个操作似乎变得毫无意义。

**回应:** 非常感谢审稿专家的意见和建议, 我们对一些可能性进行了排除, 并重新分析了实验结果, 认真修改了论文的讨论和结论部分。

首先, 我们对专家提出的由于时窗可能导致结果不准确的问题进行了进一步分析。

在加工的中期阶段我们分析了在额区位置的 N2 (240-300ms) 波幅, 在 N2 的平均波幅上, 重复测量方差分析表明, 旋转角度主效应显著,  $F(2, 38) = 7.78, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.29$ , 事后比较表明, 旋转 90° ( $M = -2.65\mu V \pm 0.70, M = -1.58\mu V \pm 0.77$ )、旋转 180° ( $M = -1.58\mu V \pm 0.77$ ) 的面孔刺激比正立条件 ( $M = -0.88\mu V \pm 0.83$ ) 的刺激在枕颞叶诱发了更大的 N2 波幅。其他未发现任何显著的主效应或交互作用。

在晚期阶段, 依照对晚期正成分的分析方法, 我们对时窗 (300-550ms) 进行了分析, 从 300ms 开始每隔 50ms 一直到 550ms 对 ERP 成分的平均波幅进行了分析。在 300-350ms 的晚期正成分上, 面孔主效应不显著,  $F(1, 19) = 0.13, p > 0.05$ , 旋转角度主效应不显著,  $F(2, 38) =$

3.70,  $p > 0.05$ ; 面孔类型与旋转角度交互效应不显著,  $F(2, 38) = 2.73, p > 0.05$ 。在350-400ms的晚期正成分上, 面孔主效应不显著,  $F(1, 19) = 1.67, p > 0.05$ , 旋转角度主效应不显著,  $F(2, 38) = 1.57, p > 0.05$ ; 面孔类型与旋转角度交互效应不显著,  $F(2, 38) = 0.47, p > 0.05$ 。在400-450ms的晚期正成分上, 面孔主效应显著,  $F(1, 19) = 6.60, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.26$ , 旋转角度主效应不显著,  $F(2, 38) = 0.32, p > 0.05$ ; 面孔类型与旋转角度交互效应显著,  $F(2, 38) = 4.52, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.20$ 。在450-500ms的晚期正成分上, 面孔主效应显著,  $F(1, 19) = 7.58, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.29$ , 旋转角度主效应不显著,  $F(2, 38) = 1.36, p > 0.05$ ; 面孔类型与旋转角度交互效应显著,  $F(2, 38) = 3.75, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.17$ 。在500-550ms的晚期正成分上, 面孔主效应显著,  $F(1, 19) = 20.98, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.53$ , 旋转角度主效应不显著,  $F(2, 38) = 4.29, p > 0.05$ ; 面孔类型与旋转角度交互效应不显著,  $F(2, 38) = 1.52, p > 0.05$ 。

由此, 我们发现, 在400-500ms这个时窗内, 存在面孔类型和旋转角度的交互效应, 在该时间窗口内, 旋转角度开始影响自我面孔识别, 在不同类型的面孔上, 三种旋转条件所诱发的波幅存在差异, 即在不同类型的面孔上, 旋转角度的作用是不同的, 并且这个交互作用的时间持续时间为100ms, 之后个体对角度的加工结束, 所以我们发现在500ms之后, 角度不再对自我面孔识别产生作用, 这是符合心理旋转的脑电研究的, 过往研究也证实了心理旋转会在顶叶大约400-500ms处诱发出一个显著正成分, 认为这是心理旋转的重要电生理指标(Chen et al., 2014)。

通过查阅文献发现, 个体在进行心理旋转任务的过程当中, ERP成分受到旋转角度的影响只表现在波幅大小差异上, 即旋转角度越大, 波幅越趋于负走向, 在潜伏期上未表现出差异, 例如, Beste, Heil, & Konrad(2010); Heil(2002)要求被试完成字母的心理旋转任务, 发现P500波幅越趋于负走向, 在潜伏期上无差异。这与我们分析结果是一致的, 通过分析各时间窗发现, 旋转角度的作用是从400ms开始一直持续到500ms, 而在其他时窗并未发现旋转角度的作用, 也即说LPP受到旋转角度的影响只表现在波幅大小差异上, 而在潜伏期上没有差异, 在加工时程上是相对稳定的。

其次, 我们研究的核心内容是心理旋转与自我面孔识别的交互关系, 即当心理旋转的旋转对象为自我面孔时, 其表现有何特点, 因此, 我们由对时间窗的分析发现, 二者的交互效应从400ms开始, 持续了100ms, 因此, 依照研究目的, 我们选取了400-500ms的时窗进行报告。

再次, 根据专家的意见, 我们对研究结果和讨论部分进行了重新梳理, 主要是突出了自我面孔刺激的特殊性, 从三种旋转角度在两类面孔上的不同表现进行分析, 第一, 我们将LPP出现交互效应原因的解釋侧重于自我面孔的特殊性, 自我相关信息对于个体来说有其独特性和特异性, 个体会对自我面孔更为敏感, 自我面孔能够吸引更多的认知资源(杨青 & 闫国利, 2013; Miyakoshi et al., 2007; Tacikowski & Nowicka, 2010), 因此, 个体将认知资源更多地用在对自我面孔进行心理旋转的加工, 所以角度的变化会显著影响自我面孔的加工, 而对于他人面孔, 个体未对其进行进一步精细的心理旋转加工, 所以在3个角度条件下并不存在显著差异; 第二, 为了结合早期观察到的N170成分, 我们用Bruce—Young经典面孔识别认知模型将面孔识别的早期阶段和晚期阶段进行了整合, 按照该模型, 个体会首先对面孔结构进行编码, 不涉及面孔中自我相关性信息的加工(Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000; J. Sui, Y. Zhu, & S. Han, 2006)。在此阶段, 由于旋转角度只是影响了大脑对面孔结构的快速编码。而在面孔结构信息编码之后, 即面孔识别模型的第二阶段, 个体会对自我面孔的自动加工, 也就是对面孔身份信息的精确加工, 因此个体会对自我面孔刺激敏感, 对其进行精细的心理旋转加工。

意见 3: 对于 LPP 的讨论存在错误。

文中第 14 页写到：“研究结果还显示，无论是他人旋转面孔还是自我旋转面孔，在顶叶脑区均发现了晚期正成分 LPP(400-500ms)，这一结果符合前人关于心理旋转的 ERP 研究 (Chen et al., 2014; Hamm et al., 2004; Muthukumaraswamy et al., 2003; Núñez-Peña & Aznar-Casanova, 2009)。过往研究证实了心理旋转会在顶叶大约 400—500ms 处诱发出一个显著正成分，这是心理旋转的重要电生理指标。这说明在个体进行进行旋转面孔判断的时候，进行了心理旋转。”这部分讨论逻辑是不成立的。

如果心理旋转会在 400-500 ms 产生一个显著正成分，那么我们可以预期的是，这种正成分只存在于需要进行心理旋转的任务中（90° 和 180°），而不存在于不需要心理旋转的任务中（0°）。所以旋转 90° 和旋转 180° 面孔此正成分应该显著高于 0° 面孔。但研究结果显示旋转角度对 LPP 结果不存在主效应（LPP 波幅：0° 自我  $6.92 \pm 0.70 \mu V$ ，90° 自我  $6.48 \pm 0.75 \mu V$ ，180° 自我  $5.49 \pm 0.71 \mu V$ ；0° 他人  $4.82 \pm 0.82 \mu V$ ，90° 他人  $5.64 \pm 0.65 \mu V$ ，180° 他人  $5.57 \pm 0.67 \mu V$ ；）。因此，文章所列举的证据并不能支持 LPP 可以作为被试进行心理旋转任务的指标。

**回应：**十分感谢审稿专家的意见和建议，根据专家的意见，我们对相关文献进行了再整理和总结，对研究结果和讨论进行了修改。

首先，根据前人关于心理旋转的研究，心理旋转任务与 ERP 之间存在一个电生理指标，即大脑顶叶在旋转刺激呈现后约 400-500ms 时，会出现一个显著的正成分，并且随着旋转角度的增大，其波幅会更负，反映了被试进行了心理旋转 (Beste et al., 2010; Hamm et al., 2004; Heil, 2002; Muthukumaraswamy et al., 2003; Núñez-Peña & Aznar-Casanova, 2009)。这些研究显示，个体进行心理旋转任务时，随着旋转角度的增大，波幅越趋于负走向（如图 1 所示）。

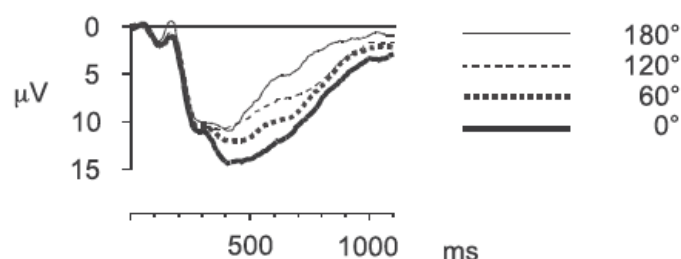


图1. 不同角度条件下在PZ上诱发的ERPs 总平均图(Heil, 2002)

其次，研究中我们发现，旋转角度对LPP结果不存在主效应，但存在交互效应，这说明在晚期正成分上，自我面孔识别和心理旋转角度产生交互作用，具体来说，旋转角度对自我面孔的影响更大，对于自我面孔，正立条件、旋转90°、旋转180° 诱发的波幅差异显著，而对于他人面孔，不论是正立还是旋转至90° 或是180° 的波幅差异不显著。这些结果表明，旋转角度只作用于自我面孔上，个体对自我面孔进行了明显的心理旋转操作，而对于他人面孔，个体并没有进行进一步精细的心理旋转，这可能导致了角度主效应的抵消，因此，才会发现自我面孔识别和心理旋转的交互效应，未发现旋转角度的主效应。

#### 意见 4：实验设计的问题。

实验设计需要被试对反应面孔进行心理旋转的目的是为什么？本研究中所进行的讨论，大可以在一个考察被试对于侧卧或倒置面孔的自我优势效应的实验进行，例如，让被试记忆正立，侧卧、倒置三种自我面孔和他人面孔，探测面孔出现于被试记忆面孔的角度完全一致，此时被试不需要进行心理旋转但依然需要对面孔进行识别。如果在这种实验设计下获得了本研究的结果，那就可以很好的套用当前文章的讨论。要说明白需要被试进行心理旋转任务的

好处（心理旋转会导致不同情况存在不同的面孔识别潜伏期，这会导致对于不同情况面孔识别的比较更困难）。

**回应：**非常感谢审稿专家的意见和建议。根据专家的意见，我们对研究目的和关键的兴趣点进行了重新梳理。

通过总结前人文献，我们发现，以往关于心理旋转的研究多以一些无社会意义的字母、几何图形等来作为旋转对象。而有研究者也利用面孔刺激来作为旋转对象，但作为面孔识别中的重要内容，自我面孔具有其特殊性，若将其作为心理旋转的对象，识别旋转的自我面孔在大脑中是如何表现的值得探究。所以我们就想从心理旋转的角度切入，来检验当自我面孔和他人面孔同时旋转时，个体是如何对其进行心理旋转加工的，并在大脑中是如何表现的。因此我们就采用了 Valentine 和 Bruce (1988)研究旋转面孔识别的经典范式——面孔异同匹配判断任务（same-different judgments）来研究自我旋转面孔识别。该范式是基于心理旋转而设计的，要求被试判断先后呈现的两张面孔（第一张为正立呈现，第二张为旋转至一定角度的面孔）是否为同一个人，其目的是让被试将第二张旋转面孔在心理旋转为正立，然后再与正立的面孔进行比对，这样能够确保个体真正对刺激进行心理旋转的操作，以此更好地观察到识别心理旋转的规律。

按照专家的意见，结合本研究的目的，我们对研究结果和讨论进行了修改：

首先，过去的研究结果中，我们只报告了 LPP(400-500ms)交互效应中的一个方向，即“当面孔旋转角度为  $0^{\circ}$  时，自我面孔所诱发的波幅显著大于他人面孔；当面孔旋转至  $90^{\circ}$  时，自我面孔所诱发的波幅大于他人面孔；当面孔旋转至  $180^{\circ}$  时，自我面孔所诱发的波幅与他人面孔差异不显著”。根据专家的提示，这样的确与我们的研究目的是不相符合的，我们主要是想研究当心理旋转的对象是自我面孔与他人面孔时，个体对二者的加工有何特点，因此我们对研究结果的报告进行了添加，补充了交互效应的另一个方向，即“对于自我面孔，三个旋转角度所诱发的波幅差异显著，而对于他人面孔，三个角度所诱发的波幅无显著差异。”

其次，在讨论部分中，我们也针对研究结果的改变而改变了侧重点，我们认为，之所以出现不同面孔类型的旋转角度效应的差异是因为自我面孔的呈现会占用个体的认知资源，对其进行了进一步精细的心理旋转加工，而对他人面孔的心理旋转加工较为粗糙，可能没有进行一个完整的旋转加工。换句话说，由于自我面孔的特殊性，个体会对自我面孔更为敏感，吸引了更多的认知资源对其进行心理旋转加工，才会导致此结果的出现。

**意见 5：**本研究的关键兴趣点是什么？

文章中目的为“考察旋转角度如何影响自我面孔和他人面孔的识别及其二者在时间进程上的差异”。这里可将目的切分为两点：一、考察旋转角度如何影响自我面孔和他人面孔识别；二、考察旋转角度如何影响自我面孔和他人面孔时间进程上的差异。文章主要集中于对于前者的讨论，虽然讨论强调本研究结果支持 Bruce—Young 经典面孔识别认知模型，而实际并没有过多讨论旋转角度对识别自我面孔和他人面孔时程上的差异。研究关键兴趣点在何处？

**回应：**十分感谢审稿专家的意见，我们已对本文的前言、结果和讨论部分进行了相应的修改，突出了本研究的关键兴趣点：1.自我面孔识别是面孔识别的一个重要内容，拥有其独特性和特异性，我们就想考察当心理旋转的对象为自我面孔时，旋转角度是否会影响个体在自我面孔识别在神经反应中的表现；2.若旋转角度影响自我面孔识别，它会发生于加工的早期、中期还是晚期阶段？即心理旋转的旋转对象为自我面孔时，其角度作用的时间进程是怎样的？因此，采用有高时间分辨率的事件相关电位（ERP）技术，我们探讨自我面孔识别是如何受到旋转角度影响，个体识别他人旋转面孔与之有何异同是本研究重点考察的问题。

结果发现，在 LPP（400-500ms）成分上，即在面孔识别的晚期阶段，对于自我面孔，正立条件、旋转至 90°、旋转至 180° 所诱发的波幅差异显著。而对于他人面孔，三个角度类型所诱发的波幅无显著差异。所以我们推测，当旋转的自我面孔和他人面孔同时呈现时，在晚期阶段，自我面孔吸引了个体更多的认知资源(杨青 & 闫国利, 2013; Miyakoshi, Nomura, & Ohira, 2007; Tacikowski & Nowicka, 2010)，从而会对其进行进一步精细的心理旋转加工，因此，对于自我面孔，当旋转角度越大时，波幅逐渐变得越趋于负走向。而他人面孔则没有获得个体足够的认知资源，从而对进一步的心理旋转的加工较为粗糙，可能没有对其进行一个完整的旋转加工。因此，根据我们的关键兴趣点，结合实验结果，我们有两点发现：1.个体对自我面孔的加工是敏感的，即使面孔信息受到了破坏，也能够吸引个体的认知资源，这也说明了心理旋转的操作是受旋转对象的影响。2. 旋转角度对自我面孔识别的影响发生于面孔加工的晚期阶段，并且其影响持续约 100ms。

另外，为了使得文章结果更为整合，我们运用了 Bruce—Young 经典面孔识别认知模型对结果进行解释，在面孔识别模型的第一阶段，个体会首先对面孔结构进行编码，在此阶段，由于旋转角度只是影响了大脑对面孔结构的快速编码。而在面孔结构信息编码之后，个体会对自我面孔的自动加工，也就是对面孔身份信息的精确加工，“自我面孔识别优势效应”出现，个体对自我面孔刺激敏感，从而占用了认知资源，当面孔刺激开始旋转的时候，旋转角度会对自我面孔加工造成影响。这些结果支持了 Bruce—Young 经典面孔识别认知模型属于继时性模型，即个体在识别面孔时是按先后遵循两个阶段，第一阶段（早期阶段），个体先编码面孔结构信息；之后进入第二阶段（晚期阶段），进行精细的面孔身份加工。这只是对结果的一种整合解释，而不作为本研究的关键兴趣点。

**意见 6:** 行为结果报告的一些小问题。

第 9 页“实验后对被试的判断正确率和反应时进行统计。各条件下的判断正确率和反应时见表 1。我们分别对各条件下的判断正确率及反应时进行了 2（面孔类型：自我，熟人）×3（旋转角度：0°，90°，180°）的两因素重复测量方差分析，结果发现，在判断正确率上，旋转角度的主效应显著， $F(2, 38) = 8.19, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.30$ ，进一步多重比较发现，被试识别旋转面孔的**反应时是随角度的增大而显著增加的**， $\text{all } t(19) > 2.15, \text{all } p < 0.05$ 。其他并没有发现任何显著的主效应或交互作用。在反应时上，面孔类型的主效应显著， $F(1, 19) = 17.47, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.48$ ，表明对自我面孔的反应识别（自我面孔 =  $609.80 \pm 13.97$  ms）显著快于对熟人面孔的识别（他人面孔 =  $623.67 \pm 13.00$  ms）。旋转角度的主效应显著， $F(2, 38) = 28.67, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.60$ ；进一步多重比较发现，被试识别旋转的面孔的反应时是随角度的增大而显著增加的， $\text{all } t(33) > 2.14, \text{all } p < 0.05$ 。面孔类型与旋转角度的交互效应边缘显著， $F(2, 38) = 2.71, p = 0.10, \eta_p^2 = 0.13$ 。”

鉴于上下文与文章图表的理解，上述标黄字的“反应时是随角度的增大而显著增加的”应为“正确率是随角度的增大而显著降低的”；上标黄字的“ $t(33)$ ”其自由度应为 19。

**回应:** 感谢审稿专家的意见，我们认真检查了全文，对有表述错误的相应句子进行了修改，并且认真校对了文章中的数值，避免了书写失误。

---

**审稿人 2 意见:** 本文研究心理旋转与自我面孔识别的交互作用，有一定理论意义。实验设计恰当，结果报告详实。但文章尚有以下问题：

**意见 1:** 引言部分虽然综述了相关文献，但段与段之间的逻辑性不强，更像是各方面文献的罗列。引言的尚需重新组织、凝练。

**回应:** 感谢审稿专家的建议，我们重新梳理了论文的前言部分，精炼了句子表达，删除了与

文章主题无关的文献，并更集中于关于自我旋转面孔脑电研究进展的综述，使其在逻辑结构上更为清晰明了。

**意见 2:** 引言最后提到本文的贡献之一：“根据 Bruce—Young 面孔识别认知模型，自我面孔识别会经历两个阶段，而这两个阶段加工的精确时程仍不明确。”此点并不准确，因为根据引言的介绍，此两阶段的时间已经是公认的了，即 N170 和 LPP 所指示的时间。

**回应:** 十分感谢审稿专家的建议，我们已对引言的这一部分所提到的理论贡献进行了重新梳理。彭小虎，罗跃嘉，魏景汉，和 王国锋 (2002)对 Bruce—Young 面孔识别认知模型进行了详细的描述和总结，他们认为，Bruce-Young 的模型包括两个阶段：第一阶段为面孔结构编码阶段，在此阶段，对面孔的结构特征进行编码。此阶段之后进入第二阶段，而该阶段有两条独立的通道：一条通道是有关视觉处理的，包含表情分析、面孔语言分析和直接视觉处理 3 个平行的处理单元；另一条通道是有关面孔身份特征识别的，包含面孔识别单元、个体特征单元和名字产生单元 3 个串行的处理过程。

但过往文献并未阐述清这两个阶段发生的具体时间，而根据审稿专家的提示，我们发现，在总结前人文献的基础上，可以推测 N170 和 LPP 所指示的时间可能是两个阶段发生的具体时间，因此，我们在文中对相应的内容已进行相应的修改，使得文章的理论贡献和创新点更为突出。

**意见 3:** “进一步厘清自我面孔识别两个阶段的加工时程”，应为“理清”。“这说明在个体进行进行旋转面孔判断的时候”，多了“进行”。此外文中还有不少类似笔误，请作者自行检查、更正。

**回应:** 感谢审稿专家的意见和建议，我们已对文章中的笔误进行了认真的修改，并让同事对全文进行了仔细的检查，确保文章没有文字错误。

**意见 4:** 审稿人认为，既然作者研究的是“心理旋转”问题，刺激物的呈现应该不仅包含 90 度和 180 度，还应有 30、60、120、150 度。这样才能更准确的反应“旋转”效应。

**回应:** 非常感谢审稿专家的意见和建议。按照以往关于心理旋转的研究，许多研究以 0° 为起始角度，对研究对象每隔 30° 顺时针叠加进行旋转，旋转角度通常涉及 0°、30°、60°、90°、120°、150° 和 180°。但我们之所以选择 0 度、90 度和 180 度作为旋转角度是出于两点考虑：

第一，根据过往研究，心理旋转角度有两个关键的角度，即 90 度和 180 度，例如，Marc Dalecki, Dern, 和 Steinberg (2013); M. Dalecki, Hoffmann, 和 Bock (2012)研究表明，当个体对物体(字母等)进行心理旋转操作时，发现 90 度和 180 度是关键转折点，在反应时上，从 0 度到 90 度反应时缓慢增长，从 90 度开始，反应时增长速率加快，直至 180 度达到反应时的峰值。由此可知，对于心理旋转来说，90 度和 180 度是关键角度。

第二，由于我们运用的是事件相关电位 (ERP) 技术，为了保证结果的稳定性，因此我们每一个条件下要设置 60 个 trail 以上，根据实验流程，每一个 trail 需要约 3600ms，若每隔 30° 进行一次旋转，则实验条件过多，整个实验持续时间过长，会让被试感到不适，因此我们根据以往研究结果，选择了稍具代表性的 0°、90°、180° 作为旋转角度，使得整个实验持续时间合理，被试能够集中精力完成任务，保证实验结果的稳定。

在今后的实验中，我们也会设置其他旋转角度以更加全面的考察自我旋转面孔的识别机制。

**意见 5:** 讨论中作者应该明确提出本文的理论贡献。

**回应:** 感谢审稿专家的建议和意见。我们重新梳理了论文的讨论部分, 根据研究目的和结果, 将讨论的重心放在了当心理旋转的对象是自我面孔与他人面孔时, 个体对二者的加工有何特点, 个体加工旋转的自我面孔与加工旋转的他人面孔在大脑反应上有什么样的区别。研究结果发现, 对于自我面孔, 0 度、90 度和 180 度三个角度所诱发的波幅差异显著, 而对于他人面孔, 这三个角度所诱发的波幅无显著差异。从而我们认为, 由于自我信息的特殊性, 它吸引了个体更多的认知资源, 个体才会对其进行进一步精细的心理旋转加工, 因此, 对于自我面孔, 当旋转角度越大时, 波幅逐渐变得越趋于负走向。而他人面孔则没有获得个体足够的认知资源, 从而对进一步的心理旋转加工较为粗糙, 可能没有进行一个完整的旋转。由此可知, 心理旋转的操作是受认知资源影响的, 而旋转对象会对其认知资源产生影响。

因此, 本文的理论贡献在于通过从心理旋转的角度, 以一个新的背景来考察自我面孔识别, 进一步明确了自我面孔对个体的特殊性。我们发现, 在面孔识别的晚期, 大脑才会对面孔的特异性信息进行精细加工。旋转角度对自我面孔识别的影响发生于晚期阶段, 从 400ms 开始, 并且只持续 100ms。相比他人旋转面孔, 自我面孔会优先占用个体有限认知资源进行下一步精细的心理旋转加工。因此, 这些研究结果表明, 初级视知觉信息会影响自我面孔识别这类社会认知过程, 也进一步理清了 Bruce-Young 面孔识别认知模型的时程问题。