



听障个体面孔识别的大脑偏侧化研究

陈杰^{1,2,3*}, 兰雅迪^{1†}, 余俊^{1†}, 李雯婕^{1,2,3}, 蒋毅^{4*}

1. 湖南师范大学教育科学学院, 长沙 410081;
2. 湖南师范大学认知与人类行为湖南省重点实验室, 长沙 410081;
3. 湖南师范大学心-脑交叉科学研究中心, 长沙 410081;
4. 中国科学院心理研究所, 北京 100101

* 联系人, E-mail: xlxchen@163.com; yijiang@psych.ac.cn

† 同等贡献

收稿日期: 2021-03-24; 接受日期: 2021-06-21; 网络版发表日期: 2021-08-17

国家自然科学基金(批准号: NSFC31771240)、湖南省哲学社会科学基金(批准号: 15YBA263)和湖南省教育厅科学研究项目(批准号: 18A036)资助

摘要 成人对面孔加工具有明显的左侧视野/右脑加工优势. 听障个体的听觉剥夺和手语习得经验会对大脑皮层的功能进行重组. 以往研究发现, 听障个体在视空间注意、视觉运动信息加工以及表情加工方面都表现出右侧视野或左脑加工优势. 本研究拟采用行为和脑电技术进一步考察成年听障个体面孔加工的大脑偏侧化特点. 实验一采用分视野范式(divided visual field paradigm)从行为层面进行考察, 研究结果显示, 健听个体对左侧视野面孔加工的正确率和矫正反应时要显著高于和短于右侧视野面孔, 而听障个体在左、右侧视野面孔加工的正确率和矫正反应时上都没有显著的差异. 但是在文字加工的矫正反应时上, 健听和听障个体都表现出相同的左侧视野加工优势. 实验二采用One-back任务从电生理层面进行考察, 研究结果显示, 健听个体面孔加工在右脑产生的N170波幅显著大于在左脑产生的N170波幅, 而听障个体面孔加工在左、右脑产生的N170波幅没有显著差异. 但在文字加工上, 健听和听障个体的左、右脑产生的N170波幅都没有显著差异. 因此, 本研究从行为和电生理层面一致发现听障个体面孔加工的左侧视野/右脑优势效应消失. 这些研究发现不但扩展了对听障个体面孔加工机制的认识, 也进一步为人类面孔加工偏侧化形成的原因提供了认知神经科学的证据.

关键词 听障个体, 面孔加工, 大脑偏侧化, N170

人类在发展的过程中会获得各种专家化知觉经验. 例如, 出生不久的婴儿便对新异面孔, 无论是人脸还是猴脸, 产生注意偏好. 随着年龄的增长, 人们对本族面孔的识别经验越来越丰富, 对其的识别能力也越来越强, 而对异族和非人类面孔的识别能力逐渐减

弱^[1]. 大量的证据表明, 成人大脑形成了高度专门化和独立的模块来负责面孔加工^[2,3]. 而且成人两半球在面孔加工上表现出不对称性. 例如, 脑成像的研究发现, 右侧枕颞区梭状回对面孔加工更为敏感^[2], 脑电研究也发现在右侧枕颞区面孔会诱发更大的N170波

引用格式: 陈杰, 兰雅迪, 余俊, 等. 听障个体面孔识别的大脑偏侧化研究. 中国科学: 生命科学, 2021, 51: 1571–1581

Chen J, Lan Y D, Yu J, et al. Brain lateralization of face recognition in hearing-impaired individuals (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2021, 51: 1571–1581, doi: [10.1360/SSV-2021-0066](https://doi.org/10.1360/SSV-2021-0066)

幅^[4,5]。行为学研究采用分视野范式(divided visual field paradigm)和嵌合面孔范式(chimeric face paradigm)也发现, 面孔加工具有左侧视野优势效应^[6-9]。因此, 这些现象也被称为面孔识别的左侧视野或右脑优势效应。

尽管面孔加工的偏侧化效应得到了大量研究的证实, 但是面孔加工偏侧化效应是如何形成和发展的目前还不清楚^[10]。近来一些研究认为, 文字习得经验在面孔加工偏侧化形成的过程中起着重要的作用。例如, 一项行为研究发现, 个体在儿童期就表现出明显的文字识别右侧视野/左脑优势, 但是面孔识别的左侧视野/右脑优势要到成年早期才出现, 并且个体的阅读理解能力与面孔识别的大脑偏侧化程度呈正向相关关系^[7]。事件相关电位技术(event-related potentials, ERPs)的研究也发现, 7~12岁的儿童在文字加工时, 出现了如成人那样的大脑左侧化效应, 即左侧大脑诱发的N170波幅显著大于右侧大脑诱发的N170波幅; 但是加工面孔时, 没有出现如成人那样的大脑右侧化效应^[11]。研究者认为文字学习对左脑的面孔加工产生了竞争, 从而促使面孔加工向右脑转移, 最终导致面孔加工左侧视野/右脑优势的形成^[7,12-14]。

以上研究也表明, 面孔识别能力的发展并不是独立的, 其他知觉经验的获得也会影响面孔识别能力的发展。此外, 早期知觉经验的剥夺也会对面孔识别能力的发展产生影响。例如, Le Grand等人^[15]的研究发现, 婴儿在出生至2~6个月期间的视觉剥夺会损害他们面孔构形加工(configural processing)能力的发展。对单侧先天性白内障患者的研究发现, 早期右脑视觉信息输入的剥夺会导致他们专家化面孔识别能力的下降, 而早期左脑视觉信息输入的剥夺则不会影响专家化面孔识别能力的发展^[16]。Robbins等人^[17]的研究发现, 相比视觉正常个体, 先天白内障患者对面孔的构形加工受损, 但是对猴子面孔和房子图片的构形加工是正常的, 这说明早期视觉剥夺对面孔构形加工的影响具有特异性。研究者认为, 早期视觉经验的剥夺会影响面孔加工相关神经结构的发展从而影响面孔构形加工^[17]。甚至早期听觉经验的剥夺也会对面孔识别能力的发展产生影响^[18,19]。例如, He等人^[19]的研究发现, 相比健听个体, 听障个体的面孔倒置效应减弱。一些研究还发现, 听障个体比健听个体具有更强的面孔再认和辨别能力^[20-22]。听觉经验的剥夺会使个体的大脑结构和功能发生跨通道和通道内部的重组, 从而对其视觉

能力产生影响^[23]。一项脑成像研究发现, 听障个体的颞叶听觉区功能会被重组用来负责面孔加工^[24]。而且听障个体左、右侧大脑半球的功能也会发生重组^[25-27]。例如, 有研究发现, 在一项视空间注意任务中健听个体表现为右脑加工优势, 而听障个体却表现为左脑加工优势^[25]。

那么, 听障个体面孔加工又具有怎样的大脑偏侧化特点呢? Letourneau和Mitchell^[28]采用分视野范式以及面孔情绪判断和面孔身份识别任务考察了听障个体对情绪面孔加工的偏侧化效应, 研究发现, 在情绪判断任务中, 听障个体的面孔加工左视野/右脑优势效应明显减弱。磁共振的研究也发现, 听障个体在加工情绪面孔时, 左侧梭状回(the fusiform gyrus, FG)有明显的激活^[29]。对于听障个体来说, 面部表情不仅传达着丰富的情绪信息, 还传达着语法和句法信息^[30-32]。而语言加工的神经中枢位于左半球, 因此听障个体在加工表情时会显著激活大脑左半球的语言中枢, 从而导致表情加工右脑优势效应的减弱或消失^[28]。尽管对听障个体表情加工的偏侧化特点有较多的研究, 但是目前很少有研究关注听障个体中性面孔加工的偏侧化特点^[33]。对听障个体中性面孔加工的偏侧化特点研究不但能加深人们对听障个体视知觉特点的理解, 还能更好地揭示人类面孔加工偏侧化的形成是如何受经验影响。Dole等人^[33]采用面孔嵌合图形(chimeric faces)来考察听障个体中性面孔加工的偏侧化特点。实验中的嵌合面孔是两个不同性别的半边面孔合成而来(左女右男或者左男右女的拼接), 被试的任务是判断嵌合面孔是偏男性化还是偏女性化。研究发现, 健听被试中具有面孔加工左视野优势的人数比听障被试中具有面孔加工左视野优势的人数多, 他们认为这在一定程度上反映了听觉剥夺或手语使用经验会影响面孔加工的偏侧化效应。但是这项研究并没有发现健听和听障组被试在总体的偏侧化效应上存在显著差异。此外, 有研究认为对面孔嵌合图形进行加工时, 左视野优势并不能完全反映右脑优势, 它还可能是反映个体的视觉扫描习惯, 因为人们总是倾向从左向右扫视, 并对左半部的面孔有更多的注视^[34,35]。并且以往关于听障个体表情加工的研究表明, 任务的性质也会影响到表情加工的偏侧化效应^[28,36]。因此, 听障个体对中性面孔加工的大脑偏侧化特点仍不清楚, 还有待进一步的研究, 特别是采用电生理或者脑成像指标能更加直接地考察

面孔加工的大脑偏侧化特点^[37].

基于此,本研究以语前聋(听力障碍出现在3岁前)的听障学生和年龄匹配的健听学生为研究对象,通过行为实验(实验一)和电生理实验(实验二)考察听障个体面孔加工的大脑偏侧化特点. Dole等人^[33]的研究采用的是面孔嵌合实验任务,尽管可以根据被试对左/右半边脸的加工偏向来考察左/右侧视野加工优势,但是嵌合面孔总是呈现在中央视野. 本研究的实验一采用分视野范式,面孔刺激呈现在左或者右侧视野. 以往采用分视野范式的研究发现,健听成人对左视野呈现的面孔识别正确率要显著高于右视野条件下的正确率,表现出面孔加工的左视野/右脑优势效应^[7]. 因此,实验一预测听障组被试对于左、右视野呈现的面孔的识别成绩不会有显著差异,或者其偏侧化效应(左视野减右视野正确率)显著小于健听组被试. 实验二进一步采用事件相关电位技术从电生理层面考察听障组与健听组被试面孔加工的偏侧化特点. 以往的脑电研究发现,面孔加工会在大脑颞枕联合区诱发一个明显的N170成分,并且右侧颞枕区的N170波幅要显著大于左侧^[5]. 实验二预测听障组被试面孔加工在左、右侧颞枕区诱发的N170波幅没有显著差异,或者其偏侧化效应(右侧减左侧颞枕区N170波幅)要显著小于健听组被试.

1 实验一: 听障个体面孔加工偏侧化效应的行为学研究

1.1 实验方法

(1) 被试. 从某大学筛选听障被试30名(男性12名,女性18名, $M_{\text{年龄}}=21.32$ 岁). 听障学生的听力损伤发生在0~3岁,损伤的程度为重度,他们均会使用手语,未做过人工耳蜗,智力正常(瑞文推理测试). 健听大学生32名(男性13名,女性19名, $M_{\text{年龄}}=20.85$ 岁). 两组被试视力或者矫正视力正常,均为右利手,无精神神经疾病史. 本实验经由湖南师范大学生物医学研究伦理委员会批准同意.

(2) 实验设计和程序. 采用2(组别: 听障组、健听组) $\times$ 2(视野: 左视野、右视野) $\times$ 2(刺激类型: 面孔、汉字)的三因素混合设计,其中刺激类型与视野为被试内变量,组别为被试间变量.

中性面孔图片选自王妍和罗跃嘉^[38]编制的面孔

图片系统,图片去掉了面孔的头发、耳朵、脖子等外部特征,保留了眼睛、鼻子、嘴巴和面颊等内部特征. 本团队通过Adobe Photoshop软件对图片进行进一步处理,使得面孔图片和汉字图片在尺寸大小(宽约2.6 cm,高约3.6 cm)、背景、对比度、亮度等物理属性上均保持一致. 实验刺激为72张中性面孔(男女各半)和72张汉字图片. 实验采用分视野实验范式^[7,28]. 实验流程如图1所示,首先在屏幕中央呈现注视点“+”(呈现时间1500~2500 ms),然后在屏幕中央呈现一张面孔或者汉字图片(呈现时间750 ms),图片消失后在屏幕中央再次呈现注视点“+”(呈现时间150 ms),紧接着在屏幕左侧或右侧呈现一张面孔或汉字图片(呈现时间150 ms),此时被试被要求判断该实验图片是否和前面呈现的实验图片一样. 如果是一样的,则用左手食指按键盘上的“F”键;如果是不一样的,则用右手食指按键盘上的“J”键. 被试需要在保证正确的前提下尽快按键. 正式实验包括4个组块(block),每个组块包含36个试次(trial). 正式实验之前会有练习实验,正确率达到70%以上才进行正式实验.

1.2 实验结果与讨论

对正确率进行组别 $\times$ 视野 $\times$ 刺激类型的三因素重复测量方差分析. 研究结果显示,组别、视野和刺激类型三者的交互作用显著($F(1, 60)=6.03$, $P=0.017$, $\eta_p^2=0.09$). 简单效应分析发现,对于文字加工,组别与视野的交互作用不显著($F(1, 60)=0.3$, $P=0.59$),视野的主效应显著($F(1, 60)=9.69$, $P=0.003$, $\eta_p^2=0.14$),右侧视野条件下的正确率显著低于左侧视野条件下的正确率. 对于面孔加工,组别与视野的交互作用显著($F(1, 60)=9.74$, $P=0.003$, $\eta_p^2=0.14$). 进一步的简单效应分析显示,健听组出现了显著的视野主效应($F(1, 29)=15.18$, $P<0.001$, $\eta_p^2=0.33$),右侧视野条件下的正确率要显著低于左侧视野条件. 但是听障组视野主效应不显著($F(1, 29)=0.71$, $P=0.41$). 同时,在左侧视野面孔加工上,健听组的正确率显著高于听障组($F(1, 60)=4.97$, $P=0.03$, $\eta_p^2=0.08$),在右侧视野面孔加工上,健听组与听障组的正确率没有显著差异($F(1, 60)=0.64$, $P=0.43$, $\eta_p^2=0.01$)(图2).

由于健听组的总体反应时(434.42 ms)显著长于听障组(395.84 ms),而正确率(85.79%)要显著高于听障组(80.42%),出现了反应速度与准确率权衡现象. 因

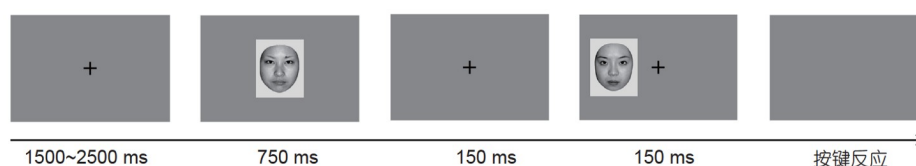
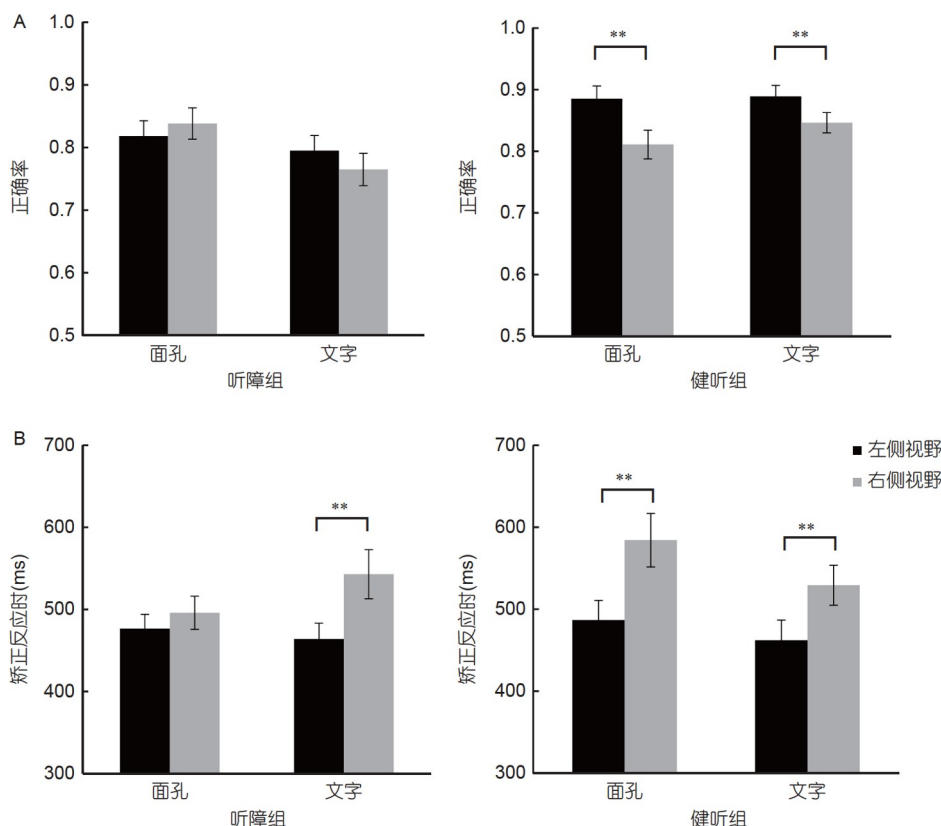


图1 视野分离范式实验流程图

Figure 1 The flow chart for divided visual field paradigm

图2 听障组和健听组被试面孔和文字加工的正确率和校正反应时(**, $P < 0.01$)Figure 2 Accuracies and corrected reaction times for face and word processing in hearing-impaired and hearing individuals (**, $P < 0.01$)

此, 本研究以校正反应时(反应速度除以正确率)作为指标进行分析。研究结果仍显示显著的三项交互作用($F(1, 60)=7.42$, $P=0.008$, $\eta_p^2=0.11$)。对于文字加工, 组别与视野的交互作用不显著($F(1, 60)=0.22$, $P=0.64$), 但出现了显著的视野主效应($F(1, 60)=32.41$, $P<0.001$, $\eta_p^2=0.35$), 右侧视野条件下的校正反应时显著长于左侧视野条件下的校正反应时。对于面孔加工, 组别与视野的交互作用显著($F(1, 60)=9.38$, $P=0.003$, $\eta_p^2=0.14$)。进一步的简单效应分析显示, 健听组出现了显著的视野主效应($F(1, 29)=29.09$, $P<0.001$, $\eta_p^2=0.48$),

右侧视野条件下的校正反应时显著长于左侧视野条件下的校正反应时, 而听障组的视野主效应不显著($F(1, 29)=1.19$, $P=0.29$)。同时, 在左侧视野面孔加工上, 听障组与健听组的校正反应时没有显著差异($F(1, 60)=0.12$, $P=0.74$), 在右侧视野面孔加工上, 听障组的校正反应时显著短于健听组($F(1, 60)=5.12$, $P=0.027$, $\eta_p^2=0.08$), 这表明听障组左脑对面孔的加工增强了。

实验一采用分视野范式从行为的层面考察了听障和健听学生面孔加工的偏侧化特点, 结果发现, 健听组被试左侧视野面孔加工的正确率和反应速度显著高于

和快于右侧视野,这与以往研究一致,发现了明显的面孔左侧视野加工优势^[7,37]。而听障组被试左、右侧视野面孔加工的正确率和反应速度没有显著差异,这说明听障组被试的面孔左侧视野加工优势消失。

在脑电研究中, N170被认为是面孔加工的一个特异性指标^[4], 并且面孔加工的N170效应也具有明显的大脑右侧优势, 即面孔在右侧枕颞区诱发的N170波幅要显著大于左侧^[5,39,40]。因此, 实验二拟采用事件相关电位技术进一步探索听障个体面孔加工的大脑偏侧化特点。

2 实验二: 听障学生面孔加工偏侧化效应的脑电研究

2.1 实验方法

(1) 被试: 24名新的听障学生参与了脑电实验(男性9名, 女性15名, $M_{\text{年龄}}=18.63$ 岁)。听障学生的听力损伤发生在0~3岁, 损伤的程度为重度, 他们均会使用手语, 未做过人工耳蜗, 智力正常(瑞文推理测试)。健听组学生24名(男性9名, 女性15名, $M_{\text{年龄}}=19.17$ 岁)。两组被试视力或者矫正视力正常, 均为右利手, 无精神神经疾病史。本实验经由湖南师范大学生物医学研究伦理委员会批准同意。

(2) 实验设计和程序: 采用2(组别: 听障组、健听组) $\times$ 2(刺激类型: 面孔、文字)两因素的混合实验设计, 其中组别为被试间变量, 刺激类型为被试内变量。实验任务为One-back知觉匹配任务^[41,42], 即要求被试判断当前刺激和与它相邻的前一个刺激是否相同。

实验流程如图3所示, 首先在屏幕中央呈现注视点“+”(呈现时间800 ms), 接着在屏幕中央呈现一张面孔或者文字图片(呈现时间200 ms), 然后会呈现一张空屏(持续时间1000~1400 ms), 空屏消失后会继续呈现一张面孔或者文字图片(呈现时间200 ms), 此时被试的任务是判断当前图片是否与前一张图片相同, 如果

相同则按数字键“1”, 若不同则不做按键反应。正式实验包括4个组块(2个面孔组块和2个文字组块), 每个组块包含82个试次, 其中10个试次出现的是重复的图片, 即需要被试做出按键反应的试次。在进行脑电数据分析时, 重复出现的图片刺激和每个组块的前两个试次不纳入分析。在正式实验之前会有一个30试次的练习实验。

(3) 数据收集与分析: 脑电图(electroencephalography, EEG)数据通过ANT(ANT Neuro EEGO Inc., Germany)脑电数据记录系统和国际10-20系统扩展的64导电极帽采集记录。电极点的电阻降低至10 k Ω 以下, 脑电信号的采样率为500 Hz, 在线参考点是CPz, 离线分析转为全脑平均参考。EEG数据在Matlab 2014a软件中使用EEGLAB工具包进行处理。在手动剪除坏段之后进行0.1~30 Hz的带通滤波。眼电伪迹采用独立成分分析(independent component analysis, ICA)进行矫正; 波幅超过 $\pm 80 \mu\text{V}$ 的视为伪迹, 在叠加中被自动剔除; 最后进行叠加平均。ERPs分析时程为刺激呈现前200 ms到刺激呈现后400 ms。

以往关于面孔识别的ERP研究主要考察N170成分, 该成分在大脑颞枕联合区激活特别明显^[5], 所以本研究选取P7, P8, PO7和PO8四个电极点对N170的平均波幅(140~180 ms)进行组别(听障组、健听组) $\times$ 图片类型(面孔、文字) $\times$ 脑区(左侧: PO7, P7; 右侧: PO8, P8)的三因素重复测量方差分析(图4)。重复测量方差分析时采用Greenhouse Geisser对 P 值进行校正。

2.2 实验结果与讨论

研究结果显示, 组别、刺激类型与脑区三者的交互作用显著($F(1, 46)=4.69$, $P=0.036$, $\eta_p^2=0.09$)。简单效应分析显示, 对于健听组被试, 刺激类型与脑区的交互作用显著($F(1, 23)=8.64$, $P=0.007$, $\eta_p^2=0.27$), 在面孔加工方面, 脑区的主效应显著($F(1, 23)=15.48$, $P=0.001$, $\eta_p^2=0.4$), 事后比较发现右脑出现的N170波

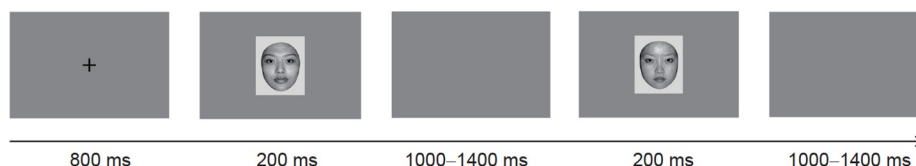


图3 One-back实验任务流程图

Figure 3 The flow chart for the One-back task

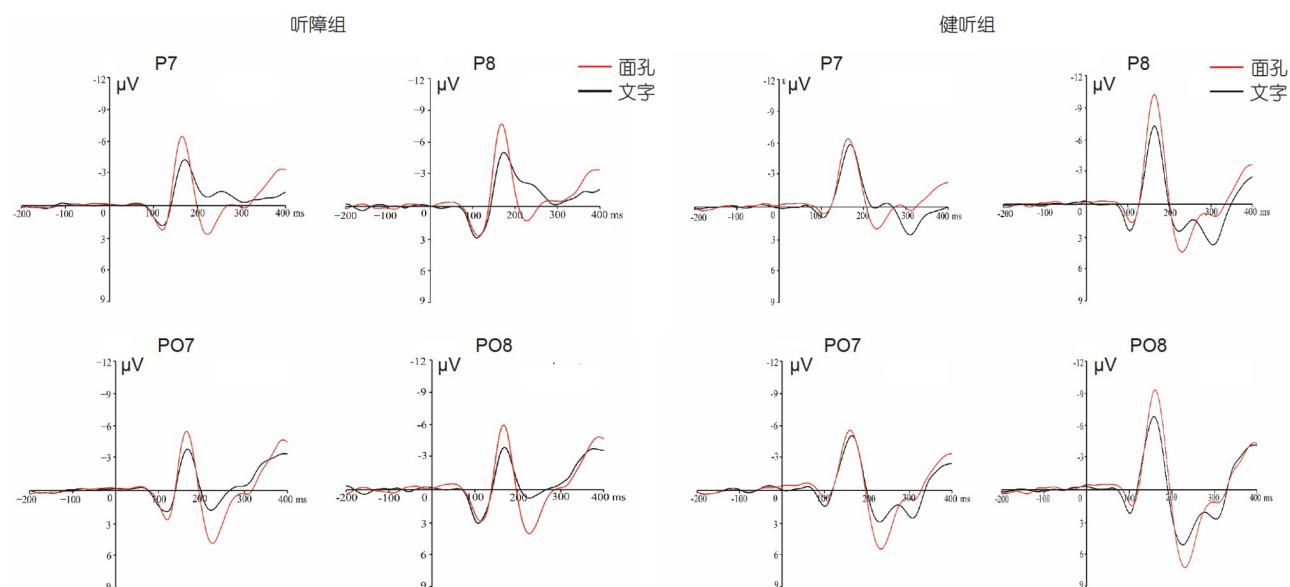


图4 听障组和健听组P7, P8, PO7, PO8电极点上面孔和文字诱发的波形图

Figure 4 Averaged event-related potentials at electrode P7, P8, PO7 and PO8 for face and word processing in hearing-impaired and hearing individuals

幅显著大于左脑出现的N170波幅;在文字加工方面,脑区的主效应不显著($F(1, 23)=2.07$, $P=0.16$)。对于听障组被试,脑区的主效应不显著($F(1, 23)=0.025$, $P=0.88$),刺激类型与脑区的交互作用也不显著($F(1, 23)=0.34$, $P=0.56$),即面孔和文字加工在左脑和右脑诱发的N170波幅都没有显著差异(图5)。这说明相比健听组被试,听障学生面孔加工的右侧化优势消失。同时,在面孔加工上,健听组右脑产生的N170波幅显著大于听障组($F(1, 46)=4.38$, $P=0.042$, $\eta_p^2=0.09$),而两组被试在左脑产生的N170波幅没有显著差异($F(1, 46)=0.08$, $P=0.78$),这表明听障组右脑对面孔的加工减弱。

此外,在文字加工方面,健听组被试在脑电N170指标上并没有表现出明显的偏侧化效应,而在实验一的行为指标上健听组被试表现出左侧视野/右脑加工优势,并且以往研究发现,对英文文字的加工主要表现为右侧视野/左脑优势^[9]。这种不一致可能是由于英文文字和汉字是两种不同的文字体系,英文文字是一种表音文字,而汉字是一种表意文字,它在正字法水平、构词法和形音义关系上都不同于英文文字^[43]。以往关于汉字加工的研究也发现,中国人对汉字的加工存在左侧视野/右脑优势^[44,45]。还有研究发现,当涉及对汉字正字法信息进行加工时,主要表现为左侧视野/右脑优势;当涉及到对汉字的语音和语义信息进行加

工时,主要表现为右侧视野/左脑优势^[46]。ERP和功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)的研究也发现,相比英文文字加工,汉字加工主要是激活大脑右侧或者双侧区域^[47~50]。Tan等人^[49]的一项fMRI研究发现,汉字加工诱发了大脑双侧区域的激活,大脑左侧的额叶区域主要负责汉字意义的加工,而大脑右侧的枕叶和顶叶区域主要负责汉字视觉特征的加工。他们认为,在汉字加工过程中,汉字的正字法、语音以及意义信息都会快速得到加工,从而引起大脑两侧皮层广泛的激活^[49]。因此,与以往研究一致,在本团队的脑电研究中健听组被试也表现出了大脑双侧区域的激活。

3 总讨论

本研究采用行为和脑电技术考察了听障个体面孔加工的偏侧化特点。在行为实验(实验一)中,健听个体对左侧视野面孔加工的正确率和矫正反应时要显著高于和短于右侧视野面孔加工,而听障个体在左、右侧视野面孔加工的正确率和矫正反应时上都没有显著差异。在脑电实验(实验二)中,健听个体面孔加工在右脑产生的N170波幅显著大于在左脑产生的N170波幅,而听障个体面孔加工在左、右脑产生的N170波幅没有

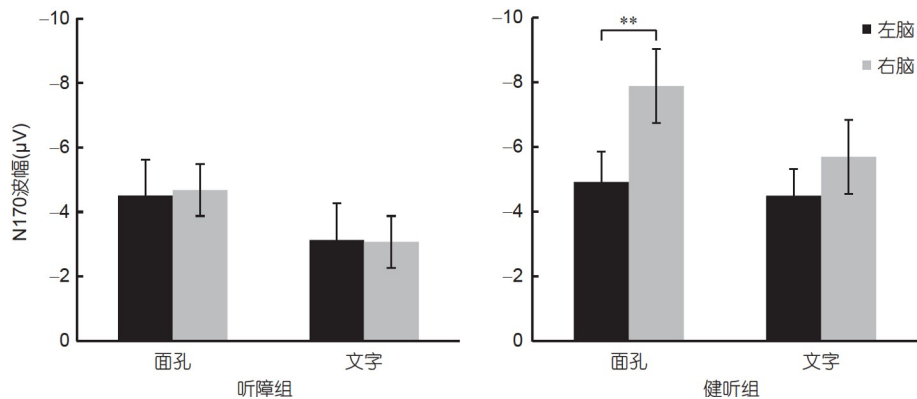


图 5 听障组和健听组面孔和文字加工在左脑(P7, PO7)和右脑(P8, PO8)诱发的N170波幅(**, $P < 0.01$)

Figure 5 Averaged amplitudes at left (P7, PO7) and right hemispheres (P8, PO8) for face and word processing in hearing-impaired and hearing individuals (**, $P < 0.01$)

显著差异. 对于文字加工, 不管是在矫正反应时上, 还是N170指标上, 健听和听障组被试都表现出相同的偏侧化模式. 因此, 两个实验一致表明听障个体面孔加工的大脑右侧化偏向消失.

通过对听障和健听个体在左、右脑面孔加工的对比分析发现, 在实验一的正确率和实验二N170指标上, 健听组对左侧视野面孔加工的正确率以及右脑诱发的N170波幅都要显著高于和大于听障组; 在实验一的矫正反应时指标上, 听障组对右侧视野面孔加工的矫正反应时显著短于健听组. 这些结果表明, 听障个体面孔加工大脑右侧化偏向的消失可能是由于左脑对面孔加工增强和右脑对面孔加工减弱两方面所致. 听障个体面孔加工的左脑优势效应与以往关于听障个体视知觉加工的认知神经机制研究结果类似. 例如, 早期的一项ERP研究发现, 在视空间注意任务中健听个体表现为右脑加工优势, 而听障个体表现为左脑加工优势^[25]. 在对运动刺激进行加工时, 听障个体也表现出右侧视野或左脑加工优势^[26,27]. Bottari等人^[51]的研究发现, 在面孔分类任务和情绪面孔辨别任务中, 先天性听障个体面孔加工相比健听个体在左脑有相对较强的激活. 听障个体左脑面孔加工增强, 一种可能的解释是听障个体在与他人交流时由于缺乏听觉线索, 会更多依赖面部线索. 尽管中性面孔不像表情那样传递明显的情绪和言语信息, 但是眉毛、眼睛、嘴唇等面部特征在听障个体内部以及听障与健听个体之间的交流中起着非常重要的作用. 因此, 听障个体会更多依赖面部线索来理解他人的言语意义, 位于左脑的言语中枢也会有更多的卷入, 从而使得听障个体在左脑有增强的面孔

加工能力.

另一方面, 目前对于面孔识别左侧视野/右脑加工优势产生的原因和影响因素尚不清楚. 对这些问题的探索能够加深人们对面孔加工机制的了解. 尽管婴儿方面的研究发现, 人类在出生早期就出现了面孔加工的右脑优势^[52], 但是面孔加工的偏侧化效应又是一个漫长的发展过程, 并且受文字习得经验的影响^[10]. Dundas等人^[7]的研究发现, 面孔加工的左侧视野/右脑优势效应在儿童和青少年期并没有出现, 直到成年早期才出现, 并且是文字经验的习得对大脑左侧的面孔加工产生竞争所致. 文字学习涉及正字法、语音、语义等方面信息的学习, 目前还不清楚究竟是哪方面的学习对面孔加工产生了竞争. 语音映射假说(phonological mapping hypothesis)认为, 英文文字加工的左脑优势是由于对文字进行加工时会进行从字素到音素的转换(grapheme-to-phoneme conversion), 而听觉言语加工主要由大脑左半球的颞叶区域负责, 即对文字的语音表征导致了文字左脑加工优势^[53-55]. 此外, 一些研究发现, 人声加工和面孔加工具有相似的认知和神经表征^[56-58]. 因此, 有可能是文字的语音表征对左脑的面孔加工产生了竞争, 从而使得面孔加工的功能向右脑转移, 最终导致面孔加工右脑优势效应的形成. 本研究以语前聋听障个体为研究对象很好地验证了这个假设. 语前聋是个体在语言习得之前就有听觉障碍, 这使得他们在文字学习过程中缺乏对语音的表征学习. Orfanidou等人^[59]的研究认为, 听障者在记忆文字时可能会先将文字转换成手语, 然后再做记忆加工, 很少依赖于语音编码策略. 因此, 如果对文字的语音表征对左

脑的面孔加工产生竞争, 那么对于听障学生, 他们的文字习得将不会对左脑的面孔加工产生明显竞争, 也不会出现明显的右脑优势效应。本研究的行为和脑电实验一致发现, 听障个体面孔加工的右脑优势效应消失。

值得注意的是, 本研究的听障个体全部熟练手语, 而并没有对会手语的健听组被试进行对比, 因此并不清楚究竟是听觉剥夺还是手语使用经验导致了听障个体大脑左、右半球的功能重组。但是一项fMRI研究选取了会手语的听障者、会手语的健听者以及不会手语的健听者进行对比, 研究结果表明, 听障个体大脑左、右半球的功能重组更可能是听觉剥夺在起作用^[60]。Emmorey和McCullough^[61]采用fMRI技术对会手语健听者进行研究也发现, 他们在加工情绪面孔时并没有表现出会手语听障者那样的左脑偏侧化效应。

因此, 与以往研究一致, 本研究中听障个体面孔加工偏侧化效应的消失主要是由听觉剥夺所引起。

4 结论

总的来说, 本研究从行为和电生理层面一致发现听障个体面孔加工的左侧视野/右脑优势效应消失。这些研究发现不但扩展了人们对听障个体面孔加工机制的认识, 更进一步揭示了人类面孔加工偏侧化形成的原因。目前关于面孔加工右侧化偏向形成原因, 一个重要的理论观点是文字习得对左脑的面孔加工产生了竞争从而推动面孔加工的右侧化^[7,12~14]。本研究进一步揭示了这种竞争可能是来自于大脑对文字的语音表征。

参考文献

- 1 Pascalis O, Scott L S, Kelly D J, et al. Plasticity of face processing in infancy. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2005, 102: 5297–5300
- 2 Kanwisher N, McDermott J, Chun M M. The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci*, 1997, 17: 4302–4311
- 3 Rossion B, Gauthier I, Goffaux V, et al. Expertise training with novel objects leads to left-lateralized facelike electrophysiological responses. *Psychol Sci*, 2002, 13: 250–257
- 4 Bentin S, Allison T, Puce A, et al. Electrophysiological studies of face perception in humans. *J Cogn Neurosci*, 1996, 8: 551–565
- 5 Rossion B, Joyce C A, Cottrell G W, et al. Early lateralization and orientation tuning for face, word, and object processing in the visual cortex. *NeuroImage*, 2003, 20: 1609–1624
- 6 Brysbaert M, D'Ydewalle G. Tachistoscopic presentation of verbal stimuli for assessing cerebral dominance: Reliability data and some practical recommendations. *Neuropsychologia*, 1990, 28: 443–455
- 7 Dundas E M, Plaut D C, Behrmann M. The joint development of hemispheric lateralization for words and faces. *J Exp Psychol Gen*, 2013, 142: 348–358
- 8 Gilbert C, Bakan P. Visual asymmetry in perception of faces. *Neuropsychologia*, 1973, 11: 355–362
- 9 Hellige J B, Laeng B, Michimata C. Processing asymmetries in the visual system. In: Hugdahl K, Westerhausen R, eds. *The Two Halves of the Brain: Information Processing in the Cerebral Hemispheres*. Cambridge: MIT Press, 2010. 379–415
- 10 Lochy A, de Heering A, Rossion B. The non-linear development of the right hemispheric specialization for human face perception. *Neuropsychologia*, 2019, 126: 10–19
- 11 Dundas E M, Plaut D C, Behrmann M. An ERP investigation of the co-development of hemispheric lateralization of face and word recognition. *Neuropsychologia*, 2014, 61: 315–323
- 12 Behrmann M, Plaut D C. Distributed circuits, not circumscribed centers, mediate visual recognition. *Trends Cogn Sci*, 2013, 17: 210–219
- 13 Bukowski H, Dricot L, Hanseeuw B, et al. Cerebral lateralization of face-sensitive areas in left-handers: only the FFA does not get it right. *Cortex*, 2013, 49: 2583–2589
- 14 Dundas E M, Plaut D C, Behrmann M. Variable left-hemisphere language and orthographic lateralization reduces right-hemisphere face lateralization. *J Cogn Neurosci*, 2015, 27: 913–925
- 15 Le Grand R, Mondloch C J, Maurer D, et al. Early visual experience and face processing. *Nature*, 2001, 410: 890
- 16 Le Grand R, Mondloch C J, Maurer D, et al. Expert face processing requires visual input to the right hemisphere during infancy. *Nat Neurosci*, 2003, 6: 1108–1112

- 17 Robbins R A, Nishimura M, Mondloch C J, et al. Deficits in sensitivity to spacing after early visual deprivation in humans: A comparison of human faces, monkey faces, and houses. *Dev Psychobiol*, 2010, 52: 775–781
- 18 de Heering A, Aljuhanay A, Rossion B, et al. Early deafness increases the face inversion effect but does not modulate the composite face effect. *Front Psychol*, 2012, 3: 124
- 19 He H, Xu B, Tanaka J. Investigating the face inversion effect in a deaf population using the Dimensions Tasks. *Visual Cogn*, 2016, 24: 201–211
- 20 Arnold P, Murray C. Memory for faces and objects by deaf and hearing signers and hearing nonsigners. *J Psycholinguistic Res*, 1998, 27: 481–497
- 21 Bettger J G, Emmorey K, McCullough S H, et al. Enhanced facial discrimination: effects of experience with American sign language. *J Deaf Stud Deaf Educ*, 1997, 2: 223–233
- 22 McCullough S, Emmorey K. Face processing by deaf ASL signers: Evidence for expertise in distinguishing local features. *J Deaf Stud Deaf Educ*, 1997, 2: 212–222
- 23 Bavelier D, Dye M W G, Hauser P C. Do deaf individuals see better? *Trends Cogn Sci*, 2006, 10: 512–518
- 24 Benetti S, van Ackeren M J, Rabini G, et al. Functional selectivity for face processing in the temporal voice area of early deaf individuals. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2017, 114: E6437–E6446
- 25 Neville H J, Lawson D. Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: an event-related potential and behavioral study. II. Congenitally deaf adults. *Brain Res*, 1987, 405: 268–283
- 26 Bavelier D, Brozinsky C, Tomann A, et al. Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing. *J Neurosci*, 2001, 21: 8931–8942
- 27 Bosworth R G, Dobkins K R. Left-hemisphere dominance for motion processing in deaf signers. *Psychol Sci*, 1999, 10: 256–262
- 28 Letourneau S M, Mitchell T V. Visual field bias in hearing and deaf adults during judgments of facial expression and identity. *Front Psychol*, 2013, 4: 319
- 29 McCullough S, Emmorey K, Sereno M. Neural organization for recognition of grammatical and emotional facial expressions in deaf ASL signers and hearing nonsigners. *Cogn Brain Res*, 2005, 22: 193–203
- 30 Brentari D, Crossley L. Prosody on the hands and face: Evidence from American sign language. *Sign Lang Linguist*, 2002, 5: 105–130
- 31 Reilly J S, McIntire M L, Seago H. Affective prosody in American sign language. *Sign Lang Stud*, 1992, 1075: 113–128
- 32 Reilly J S, Bellugi U. Competition on the face: Affect and language in ASL motherese. *J Child Lang*, 1996, 23: 219–239
- 33 Dole M, Méary D, Pascalis O. Modifications of visual field asymmetries for face categorization in early deaf adults: a study with chimeric faces. *Front Psychol*, 2017, 8: 30
- 34 Butler S H, Harvey M. Does inversion abolish the left chimeric face processing advantage? *Neuroreport*, 2005, 16: 1991–1993
- 35 Butler S H, Harvey M. Perceptual biases in chimeric face processing: eye-movement patterns cannot explain it all. *Brain Res*, 2006, 1124: 96–99
- 36 Corina D P. Recognition of affective and noncanonical linguistic facial expressions in hearing and deaf subjects. *Brain Cogn*, 1989, 9: 227–237
- 37 Yovel G, Tambini A, Brandman T. The asymmetry of the fusiform face area is a stable individual characteristic that underlies the left-visual-field superiority for faces. *Neuropsychologia*, 2008, 46: 3061–3068
- 38 Wang Y, Luo Y J. Standardization and assessment of college students' facial expression of emotion (in Chinese). *Chin J Clin Psychol*, 2005, 13: 21–23 [王妍, 罗跃嘉. 大学生面孔表情材料的标准化及其评定. 中国临床心理学杂志, 2005, 13: 21–23]
- 39 Maurer U, Rossion B, McCandliss B D. Category specificity in early perception: face and word N170 responses differ in both lateralization and habituation properties. *Front Hum Neurosci*, 2008, 2: 18
- 40 Mercure E, Cohen Kadosh K, Johnson M H. The N170 shows differential repetition effects for faces, objects, and orthographic stimuli. *Front Hum Neurosci*, 2011, 5: 6
- 41 Blokland G A M, McMahon K L, Hoffman J, et al. Quantifying the heritability of task-related brain activation and performance during the N-back working memory task: a twin fMRI study. *Biol Psychol*, 2008, 79: 70–79
- 42 Nakao Y, Kodabashi A, Yarita M, et al. Temporal activities during P3 components on the working memory-related brain regions: N-back ERP study. In: Proceedings of 2012 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics. Hongkong. 2012. Piscataway: IEEE, 2012. 424–427
- 43 Cao X H, Li C, Zhang H T, et al. N170 component in words processing: The development and its mechanisms (in Chinese). *Adv Psychol Sci*, 2013, 21: 1162–1172 [曹晓华, 李超, 张焕婷, 等. 字词认知N170成分及其发展. 心理科学进展, 2013, 21: 1162–1172]

- 44 Cheng C M, Yang M J. Lateralization in the visual perception of Chinese characters and words. [Brain Lang](#), 1989, 36: 669–689
- 45 Tzeng O J L, Hung D L, Cotton B, et al. Visual lateralisation effect in reading Chinese characters. [Nature](#), 1979, 282: 499–501
- 46 Yang M J, Cheng C M. Hemisphere differences in accessing lexical knowledge of Chinese characters. [Laterality](#), 1999, 4: 149–166
- 47 Hsiao J H, Shillcock R, Lee C. Neural correlates of foveal splitting in reading: Evidence from an ERP study of Chinese character recognition. [Neuropsychologia](#), 2007, 45: 1280–1292
- 48 Tan L H, Laird A R, Li K, et al. Neuroanatomical correlates of phonological processing of Chinese characters and alphabetic words: A meta-analysis. [Hum Brain Mapp](#), 2005, 25: 83–91
- 49 Tan L H, Spinks J A, Gao J H, et al. Brain activation in the processing of Chinese characters and words: a functional MRI study. [Hum Brain Mapp](#), 2000, 10: 16–27
- 50 Liu Y, Perfetti C A. The time course of brain activity in reading English and Chinese: An ERP study of Chinese bilinguals. [Hum Brain Mapp](#), 2003, 18: 167–175
- 51 Bottari D, Bednaya E, Dormal G, et al. EEG frequency-tagging demonstrates increased left hemispheric involvement and crossmodal plasticity for face processing in congenitally deaf signers. [NeuroImage](#), 2020, 223: 117315
- 52 Adibpour P, Dubois J, Dehaene-Lambertz G. Right but not left hemispheric discrimination of faces in infancy. [Nat Hum Behav](#), 2018, 2: 67–79
- 53 Maurer U, McCandliss B D. The development of visual expertise for words: the contribution of electrophysiology. In: Grigorenko E L, NaplesSingle A L, eds. *Single-word Reading: Behavioral and Biological Perspectives*. New York: Psychology Press, 2007. 43–64
- 54 McCandliss B D, Noble K G. The development of reading impairment: a cognitive neuroscience model. [Ment Retard Dev Disabil Res Rev](#), 2003, 9: 196–205
- 55 Rumsey J M, Horwitz B, Donohue B C, et al. Phonological and orthographic components of word recognition. A PET-rCBF study. [Brain](#), 1997, 120: 739–759
- 56 Blank H, Anwender A, von Kriegstein K. Direct structural connections between voice- and face-recognition areas. [J Neurosci](#), 2011, 31: 12906–12915
- 57 Campanella S, Belin P. Integrating face and voice in person perception. [Trends Cogn Sci](#), 2007, 11: 535–543
- 58 Yovel G, Belin P. A unified coding strategy for processing faces and voices. [Trends Cogn Sci](#), 2013, 17: 263–271
- 59 Orfanidou E, Adam R, Morgan G, et al. Recognition of signed and spoken language: Different sensory inputs, the same segmentation procedure. [J Mem Lang](#), 2010, 62: 272–283
- 60 Weisberg J, Koo D S, Crain K L, et al. Cortical plasticity for visuospatial processing and object recognition in deaf and hearing signers. [NeuroImage](#), 2012, 60: 661–672
- 61 Emmorey K, McCullough S. The bimodal bilingual brain: Effects of sign language experience. [Brain Lang](#), 2009, 109: 124–132

Brain lateralization of face recognition in hearing-impaired individuals

CHEN Jie^{1,2,3}, LAN YaDi¹, YU Jun¹, LI WenJie^{1,2,3} & JIANG Yi⁴

1 School of Educational Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

2 Cognition and Human Behavior Key Laboratory of Hunan Province, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

3 Center for Mind & Brain Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

4 Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Adults show the left-visual field/right-hemisphere advantage for the recognition of face. The experience of auditory deprivation and sign language in hearing-impaired individuals could reshape the function and structure of brain. Previous studies suggest that hearing-impaired individuals demonstrate the right-visual field or left-hemisphere superiority for visuospatial attention, visual motion information processing and facial expression processing. The present study aims to further investigate the brain lateralization for face processing in hearing-impaired adults by using behavioral and ERP measures. In experiment 1, the divided visual field paradigm was used and the accuracies and corrected reaction times of face processing in the left-visual field were found to be significantly higher and shorter than those in the right-visual field for hearing individuals, whereas there were no significant differences between left- and right-visual field in hearing-impaired individuals. However, both hearing and hearing-impaired individuals showed the same left-visual field superiority for word processing efficiency. In experiment 2, One-back task and ERPs were used to investigate the brain lateralization of face recognition in hearing and hearing-impaired individuals. The results showed that the N170 amplitude for face processing in the right hemisphere was significantly larger than that in the left hemisphere for hearing individuals. However, there was no significant difference in N170 amplitude between the left and right hemispheres for hearing-impaired individuals. As for word processing, hearing and hearing-impaired individuals both showed a bilateral activation. Therefore, the current study provided converging evidence that the left-visual field or right hemisphere superiority for face processing in hearing-impaired individuals disappeared. These findings not only expand our understanding of the face processing in hearing-impaired individuals, but also help us understand the hemispheric organization for face recognition.

hearing-impaired individuals, face processing, brain lateralization, N170

doi: [10.1360/SSV-2021-0066](https://doi.org/10.1360/SSV-2021-0066)