

生物运动信息对听障个体注意网络功能的影响^{*}

陈 杰^{1,2,3} 蔡佳慧¹ 兰雅迪¹ 李雯婕¹

(¹ 湖南师范大学教育科学学院; ² 认知与人类行为湖南省重点实验室;

³ 湖南师范大学交叉科学研究院, 长沙 410081)

摘 要 以往研究发现, 听觉经验剥夺会导致听障个体视觉注意功能发生变化。但是, 生物运动信息会如何调节听障个体的视觉注意功能仍不清楚。本研究采用注意网络测试(attentional network test)和 Flanker 范式的变式, 探讨了听障个体对光点生物运动信息的注意网络功能特点。实验 1a 采用经典注意网络测试考察了听障个体的注意网络功能特点。结果显示, 听障个体执行控制的加工效率显著低于健听个体, 而在警觉和定向上与健听个体无显著差异。实验 1b 将光点生物运动序列作为目标刺激, 结果显示, 当目标刺激为完整生物运动信息时, 听障个体警觉和执行控制的加工效率显著低于健听个体, 而当目标刺激为局部和打乱生物运动信息时, 两组被试在警觉、定向和执行控制上均无显著差异。实验 2 采用 Flanker 范式的变式考察听障个体对生物运动信息的执行控制特点。结果显示, 在完整生物运动信息上, 听障个体执行控制的加工效率显著低于健听个体, 而在局部和打乱生物运动信息上两组被试无显著差异。以上结果说明, 生物运动信息会调节听障个体的注意网络功能, 当目标刺激为完整生物运动信息时, 听障个体的注意警觉和执行控制网络功能存在受损。

关键词 听障个体, 生物运动, 注意网络测试

分类号 B842

1 引言

由于听觉剥夺, 听障个体更加依赖于视觉通道来获取环境信息, 从而其视觉信息加工发生了变化, 尤其是视觉注意加工(Dye & Bavelier, 2010)。关于听障个体视觉注意特点的观点主要分为缺陷观点、补偿观点与整合观点。缺陷观点认为, 多感觉整合对于正常发育至关重要, 缺乏听觉输入会损害个体正常视觉注意能力的发展(Quittner et al., 2007), 该观点主要得到了听障个体注意时间分配研究的支持。例如, 研究者们采用持续操作测试(continuous performance test, CPT)对听障儿童的持续注意进行研究时发现, 听障儿童在任务中的表现显著差于健听儿童(Horn et al., 2005; Quittner et al., 1994; Smith et al., 1998)。与缺陷观点相反, 补偿观点认为, 为弥补缺乏听觉输入带来的不足, 早期听觉剥夺使视

觉系统发生了重组, 从而产生了一定程度的补偿作用(Pavani & Bottari, 2012), 该观点主要得到了听障个体注意空间分配研究的支持。这些研究发现, 听障个体的视觉空间注意会重新分配至外周视野区域(Proksch & Bavelier, 2002), 从而表现出外周视野的视觉注意增强(Bavelier et al., 2000, 2006; Pavani & Bottari, 2012)。Dye 和 Bavelier (2010)认为, 在解释听觉经验剥夺对个体视觉注意造成的影响时, 缺陷观点和补偿观点是相辅相成而非相互矛盾的, 从而其提出了整合观点。该观点认为早期听觉剥夺不会简单导致个体的视觉注意功能受损或增强, 而是会对其视觉注意的不同方面产生不同的影响(Daza & Phillips-Silver, 2013; Dye & Bavelier, 2010, 2013)。因此, 要全面了解听障个体视觉注意特点, 则需要认识到注意并非是一个单一的认知资源系统。

收稿日期: 2024-08-11

^{*} 科技部科技创新 2030-“脑科学与类脑研究”重大项目(2021ZD0203804)、湖南省哲学社会科学基金(23YBA064)、湖南省普通本科高校教学改革研究项目(HNJG-2021-0381)资助。

通信作者: 陈杰, E-mail: xlxchen@163.com

Posner 和 Petersen (1990)提出的注意模型则为同时测量多种注意功能提供了可能性。这种注意模型将注意划分为三个注意网络:警觉(alerting)、定向(orienting)和执行控制(executive control)。警觉是对即将到来的信息达到或保持敏感状态的能力(Fernandez-Duque & Posner, 1997),定向是根据线索将注意转移到所要选择的目标上的能力(Posner, 1980),执行控制主要是指监测环境中存在的心理冲突,并通过抑制无关信息来解决冲突的能力(Fan & Posner, 2004)。Fan 等(2002)基于这一模型开创了注意网络测试(attentional network test, ANT)来考察个体注意网络功能。目前,已有研究者采用该范式考察了听障个体注意网络功能的特点。例如, Dye 等(2007)以听障大学生为研究对象,采用注意网络测试(ANT)对听障个体的注意网络特点进行了研究,发现听障个体执行控制的加工效率显著差于健听个体,而两者在警觉与定向的加工效率上没有显著差异。此外,在另一项以听障儿童为研究对象的研究中也同样发现,听障儿童的执行控制加工效率显著差于年龄匹配的健听儿童,而在警觉与定向的加工效率上两者没有表现出显著差异(曾桐奥 等, 2019)。

尽管以往研究发现听障个体的注意网络功能存在缺损,尤其是注意的执行控制功能,但是这些研究都是采用经典的注意网络测试,即目标刺激为非社会性刺激(不同朝向的箭头和鱼)。已有研究采用经典注意网络测试的变式考察了社会性刺激(卡通和真实人物的眼睛注视)对注意网络功能的影响,结果发现,真实人物条件下的定向和执行控制加工效率显著高于鱼与卡通人物条件,该结果表明当目标刺激是真实人物的眼睛注视时,个体的注意执行控制功能有所增强,并且会对个体的注意定向功能产生积极的影响(Federico et al., 2013)。同样,在一项以自我面孔和他人面孔为目标刺激的研究中发现,个体对自我面孔的注意定向效率显著高于对他人面孔的注意定向效率,但在注意警觉与执行控制效率上两种条件没有显著差异(高虹 等, 2018)。这些研究表明,目标刺激的社会属性会调节个体的注意网络功能。

由于听觉经验剥夺,听障个体的口语交流能力受损,而口语交流在社会互动中具有至关重要的作用,因此听障个体可能会出现不同程度的社会互动能力受损(Batten et al., 2014; Lemke & Scherpiet, 2015),以及社会认知(例如,心理理论)缺陷(Stanzione & Schick, 2014)。研究发现听障个体对社

会性信息的注意加工也存在缺损。例如, Heimler 等(2015)在考察听障个体对社会性线索和非社会性线索的注意定向效应时发现,在眼睛注视(社会性线索)和箭头线索(非社会性线索)条件下,健听个体都表现出了明显的线索一致性效应,但听障个体只在箭头线索下表现出了线索一致性效应,在眼睛注视线索条件下并没有出现线索一致性效应。这说明听障个体对社会性线索的注意加工存在缺损。眼睛注视朝向能够传递丰富的社交信息,在人们社会交往过程中具有重要作用。并且,眼睛注视朝向能够被自动地加工,并诱发反射性注意定向(Friesen & Kingstone, 2003; Langton et al., 2000)。虽然眼睛注视在社会性注意中扮演着重要角色,但在距离太远、周围环境信息复杂的情况下,人们对面孔以及眼睛注视朝向的识别就会变得困难,这时生物运动(biological motion)信息则发挥起沟通交流的重要作用(蒋毅,王莉, 2011)。研究表明,人们非常擅长从复杂的场景中识别生物运动信息,即使这些生物运动信息仅仅只由头部和主要关节处的点光源组成(Johansson, 1973)。生物运动的行走方向作为其重要属性之一,其传递着生物的意图和行为倾向等关键信息。研究发现,生物运动行走方向与眼睛注视朝向一样可以诱发反射性注意定向,但在非生物运动信息中没有发现该效应,由此,研究者们认为人类可能存在一种专门的注意机制对生物运动的行走方向高度敏感(Shi et al., 2010; Wang et al., 2014)。那么生物运动作为一种社会性信息又会怎样影响个体的注意网络功能?听障与健听个体在生物运动信息上的注意网络功能是否会存在差异?因此,本文拟考察听障与健听个体对生物运动信息的注意网络特点。

此外,生物运动的光点运动序列中包含了两部分信息:整体形状信息和局部运动信息(蒋毅,王莉, 2011; Wang et al., 2010; Wang et al., 2018)。整体形状信息指的是光点之间的空间位置,每个光点能够提供各自的位置信息,将其整合形成了整体的形状信息。此外,每个光点的运动又产生了运动信息,如速度和运动轨迹等,其被称之为局部运动信息。基于此,研究者通常认为生物运动感知也包含两种可分离的加工类型,分别是整体形状加工和局部运动加工(Troje, 2008, 2013)。已有研究表明,参与整体形状和局部运动加工的大脑皮层是独立的。具体来说,前者主要发生在腹侧视觉通路,而后者主要发生在背侧视觉通路(Giese & Poggio, 2003;

Jastorff & Orban, 2009; Vangeneugden et al., 2014)。如果生物运动信息对听障个体的注意网络功能造成了影响, 那么整体形状和局部运动信息在这一过程中是否会存在不同的影响与作用? 因此, 本文将进一步考察听障与健听个体对整体与局部生物运动的注意网络特点。

为了更明确地考察生物运动信息对听障与健听个体对注意网络功能的影响, 本研究首先采用经典注意网络测试考察了听障与健听个体的注意网络功能特点。因此, 实验 1a 采用经典的注意网络测试, 以不同朝向的箭头作为目标刺激。实验 1b 中采用经典注意网络测试的变式, 以完整生物运动、局部生物运动和打乱的生物运动序列作为目标刺激。在实验 1a 中, 我们期望能重复以往的研究(Dye et al., 2007; 曾桐奥 等, 2019), 即听障个体执行控制的加工效率显著差于健听个体, 而两者在警觉与定向的加工效率没有显著差异。已有研究显示目标刺激的社会属性会调节个体的注意网络功能(Federico et al., 2013), 而听障个体在社会互动(Lemke & Scherpiet, 2015), 社会认知(如心理理论) (Stanzione & Schick, 2014)能力等方面存在受损。因此, 在实验 1b 中, 听障个体可能在生物运动信息的注意网络功能上存在更广泛的损伤, 并且完整和局部生物运动信息对其的影响可能会不一样。

2 实验 1a: 听障个体的注意网络功能

2.1 方法

2.1.1 被试

通过 G*Power 3.1 (power = 0.90, effect size $f = 0.25$, $\alpha = 0.05$)计算在保证中等效应量的情况下每组至少需要 14 名被试(Faul et al., 2007)。从某高校特殊教育学院招募了 33 名听障生(男生 23 名, 女生 10 名), 平均年龄 21.55 岁。对每位听障学生进行瑞文推理测验(张厚粲, 王晓平, 1989)和个人情况调查, 包括听力损伤程度、听力损伤年龄、手语能力等基本信息。对照组招募了 33 名与听障被试在年龄、性别、智力等方面匹配的健听大学生(男生 21 名, 女生 12 名), 平均年龄 20.64 岁(见表 1)。所有被试视力(含矫正视力)正常、智力正常, 均为右利手, 无精神或神经疾病史。该研究经湖南师范大学生物医学研究伦理委员会批准。

2.1.2 实验材料

刺激通过 E-prime 2.0 呈现。白色星号($0.8^{\circ} \times 0.8^{\circ}$)为线索刺激, 白色箭头为目标刺激, 每个箭头的水平

表 1 实验 1a 听障组与健听组的人口学数据

变量	听障组 (<i>n</i> = 33)	健听组 (<i>n</i> = 33)	<i>t</i> / χ^2	<i>p</i>
	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>		
年龄(岁)	21.55 ± 1.84	20.64 ± 2.13	1.85	0.068
性别	23 男/10 女	21 男/12 女	0.27	0.602
瑞文推理分数	48.33 ± 4.31	49.91 ± 6.07	-1.22	0.228
听力损失年龄(岁)	1.74 ± 1.78			
手语习得年龄(岁)	9.81 ± 3.89			
听力损失程度(极重 7 人/10 人/16 人 度/重度/重度以下)				

平视角约为 1.4° 。在实验呈现中, 目标刺激由 5 个箭头组成的水平箭头链组成(1 个中央刺激和 4 个侧翼刺激, 左右两边各两个), 刺激间距为 0.4° 。考虑到听障个体外周视野的视觉注意增强(Bavelier et al., 2000, 2006; Pavani & Bottari, 2012), 因此, 本实验中的所有刺激均未呈现在外周视野(外周视野为 5° 之外) (Larson & Loschky, 2009)。侧翼刺激有两种情况: 侧翼一致(侧翼箭头的方向与中央箭头的方向一致)、侧翼不一致(侧翼箭头的方向与中央箭头的方向不一致)。

2.1.3 实验设计

2 (组别: 听障组, 健听组) $\times$ 2 (侧翼刺激类型: 一致, 不一致) $\times$ 4 (线索类型: 无线索, 中央线索, 双重线索, 空间线索)的混合实验设计, 组别为被试间变量。因变量: 反应时、正确率和三个注意网络的效应值。

2.1.4 实验程序

实验任务包括练习和正式实验两个部分, 练习实验共 8 个试次, 任务与正式实验相同, 并在被试做出反应后给予相应的反馈, 正式实验为 96 个试次。实验流程图如图 1 所示: 首先在屏幕中央呈现注视点“+” (400 ~ 1600 ms), 之后呈现白色星号“*”的线索刺激(100 ms), 线索类型有 4 种, 分别是: 无线索条件(不呈现星号线索), 中央线索条件(星号线索出现在屏幕中央注视点的位置), 双重线索条件(星号线索出现在注视点上方和下方), 空间线索条件(星号线索出现在目标刺激即将出现的位置, 即中央注视点的上方或下方)。线索刺激消失之后, 紧接着在屏幕中央呈现注视点(400 ms), 最后一排 5 个水平陈列的箭头刺激随机呈现在距注视点 2.0° 的上方或者下方。被试离屏幕的距离保持在 60 cm。被试的任务是对中央目标箭头的朝向进行判断, 而无需对侧翼箭头的朝向做出反应, 中央目标箭头指

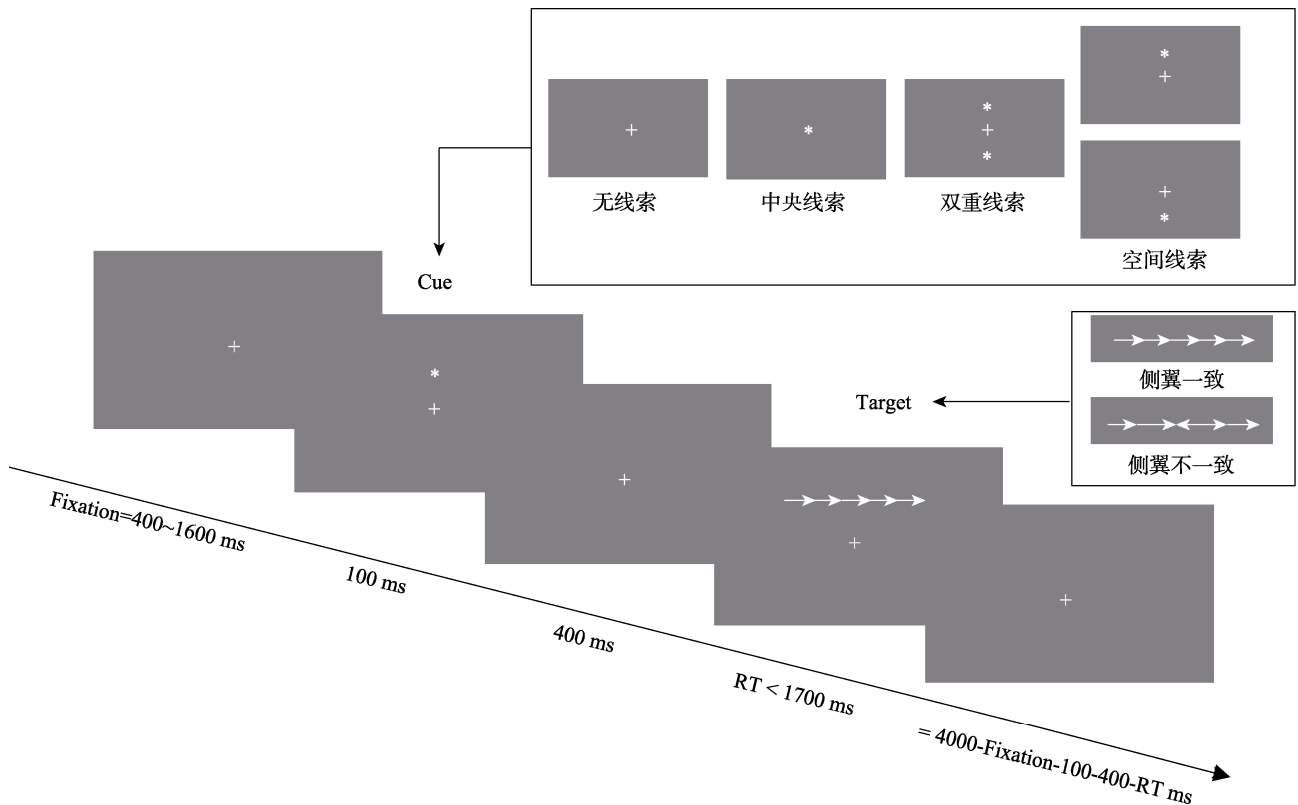


图 1 实验 1a 流程图

向左按键盘上的“←”键, 指向右按“→”键。被试需要在 1700 ms 内做出按键反应, 反之刺激将自动消失, 随后呈现一个间隔屏再进入下一个试次。每个试次时间设置均为 4000 ms。

2.1.5 数据分析

反应时在每个被试平均反应时 2 个标准差以外的试次被剔除(总剔除率低于 5%), 并且只统计正确试次的反应时。采用 SPSS 21.0 进行统计分析, 对正确率和反应时进行 2 (被试组别: 听障组, 健听组) × 2 (侧翼刺激类型: 一致, 不一致) × 4 (线索类型: 无线索, 中央线索, 双重线索, 空间线索) 的重复测量方差分析, 对听障被试与健听被试的注意网络效应值(警觉、定向和执行控制的加工效率)进行独立样本 t 检验。对不符合球形假设的 p 值采用 Greenhouse-Geisser 法校正。对平均值的多重比较分析采用 Bonferroni 法校正 p 值。各注意网络效应值计算方法如下: 警觉效应 = $RT_{\text{无线索}} - RT_{\text{双重线索}}$; 定向效应 = $RT_{\text{中央线索}} - RT_{\text{空间线索}}$, 执行控制效应 = $RT_{\text{侧翼不一致}} - RT_{\text{侧翼一致}}$ 。警觉与定向网络的效应值越大代表其效率更高, 执行控制网络的效应值越小代表其效率更高。

2.2 结果与讨论

在实验 1a 中, 所有条件下的平均正确率均达

到了 95% 以上。对正确率指标进行组别 × 侧翼刺激类型 × 线索类型的重复测量方差分析。结果显示, 侧翼刺激类型主效应显著, $F(1, 64) = 48.80, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.43$, 侧翼一致条件下的正确率显著高于侧翼不一致条件。线索类型和组别主效应、以及线索类型 × 组别、侧翼刺激类型 × 组别、线索类型 × 侧翼刺激类型、线索类型 × 侧翼刺激类型 × 组别的交互作用均不显著($ps > 0.05$)。

听障和健听被试在不同线索类型和不同侧翼条件下的反应时描述性统计结果如表 2 所示。

表 2 听障组与健听组在各条件下的反应时 $M(SD)$ (ms)

组别	侧翼类型	线索类型			
		无线索	中央线索	双重线索	空间线索
听障组	一致条件	596 (94)	553 (87)	542 (87)	535 (86)
		538 (71)	490 (63)	480 (59)	469 (57)
健听组	不一致条件	709 (152)	677 (160)	655 (136)	662 (138)
		614 (83)	570 (69)	555 (64)	554 (61)

对反应时指标进行组别 × 侧翼刺激类型 × 线索类型的重复测量方差分析。结果显示, 组别主效应显著, $F(1, 64) = 14.13, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.18$, 听障被试的反应时显著长于健听被试。侧翼刺激类型主效应显著, $F(1, 64) = 196.06, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.75$, 侧

翼一致条件下的反应时显著短于不一致条件下的反应时。线索类型主效应显著, $F(3, 192) = 98.41, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.61$, 无线索条件下的反应时显著长于双重线索条件, 中央线索条件下的反应时显著长于空间线索条件, 无线索条件下的反应时最长, 空间线索条件下的反应时最短。组别 $\times$ 侧翼刺激类型的交互作用显著, $F(1, 64) = 8.00, p = 0.006, \eta_p^2 = 0.11$ 。进一步分析发现, 在听障 $[F(1, 64) = 141.64, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.69]$ 和健听 $[F(1, 64) = 62.42, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.49]$ 被试中, 一致条件下的反应时均显著短于不一致条件下的反应时, 但两种条件的反应时差异在听障组中更显著, 说明听障被试侧翼干扰效应更大, 更容易受侧翼刺激的影响。组别 $\times$ 线索类型 $[F(3, 192) = 0.76, p = 0.50]$ 、侧翼刺激类型 $\times$ 线索类型 $[F(3, 192) = 1.27, p = 0.29]$ 、组别 $\times$ 侧翼刺激类型 $\times$ 线索类型的交互作用 $[F(3, 192) = 0.08, p = 0.96]$ 均不显著。

对听障被试与健听被试的警觉、定向和执行控制网络的效应值进行独立样本 t 检验。结果如图 2 所示, 听障组在执行控制网络上的效应值显著高于健听组, $t(64) = 2.83, p = 0.006, d = 0.70$, 说明听障被试执行控制的加工效率显著低于健听被试; 而两组被试在警觉网络 $[t(64) = -0.51, p = 0.61]$ 和定向网络 $[t(64) = -0.21, p = 0.84]$ 上的效应值均不存在显著差异。

实验 1a 的结果重复了以往研究的结果(Dye et al., 2007; 曾桐奥 等, 2019), 即听障个体执行控制的加工效率显著低于健听个体, 而在警觉与定向的加工效率上听障与健听个体不存在显著差异。这表明, 在以箭头为目标刺激的注意网络测试中, 听障个体的执行控制功能受损。实验 1b 进一步以生物运动光点序列为目标刺激, 考察生物运动信息对听障个体注意网络功能的影响。

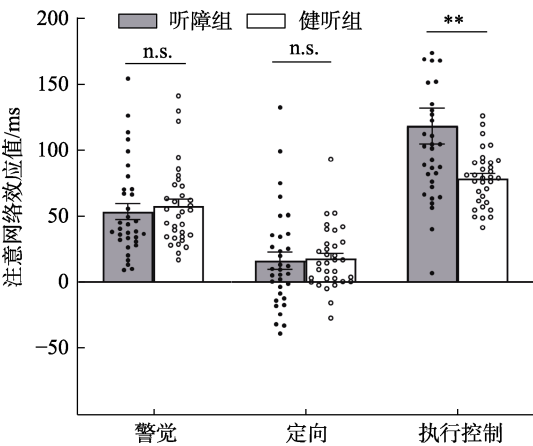


图 2 听障组与健听组注意网络效应值比较
注: 误差棒为标准误, ** $p < 0.01$

3 实验 1b: 生物运动信息对听障个体注意网络功能的影响

3.1 方法

3.1.1 被试

通过 G*Power 3.1 (power = 0.90, effect size $f = 0.25, \alpha = 0.05$)计算在保证中等效应量的情况下每组至少需要 8 名被试(Faul et al., 2007)。被试的选取标准同实验 1a, 被试的个人信息见表 3。由于自闭特质与生物运动信息加工能力存在密切关系(Jacob & Alexander, 2023; Kaiser & Shiffrar, 2013; Wang et al., 2018), 为了排除自闭特质对生物运动信息加工的影响, 本研究采用自闭特质问卷(Baron-Cohen et al., 2001; 刘萌容, 2008)对两组被试的自闭特质分数进行了匹配(见表 3)。

3.1.2 实验材料

刺激通过 MATLAB (Mathworks)和心理物理工具箱(Psychophysics Toolbox)扩展生成和显示。白色星号($0.8^\circ \times 0.8^\circ$)为线索刺激。目标刺激分别为完整

表 3 实验 1b 听障组与健听组的人口学数据

变量	听障组($n = 28$)	健听组($n = 28$)	t/χ^2	p
	$M \pm SD$	$M \pm SD$		
年龄(岁)	20.75 $\pm$ 1.32	20.64 $\pm$ 2.02	0.24	0.815
性别	21 男/7 女	21 男/7 女	0.01	0.999
瑞文推理分数	48.79 $\pm$ 6.70	48.50 $\pm$ 6.82	0.16	0.875
自闭特质分数	23.04 $\pm$ 2.90	21.36 $\pm$ 5.07	1.52	0.134
听力损失年龄(岁)	1.88 $\pm$ 2.33			
手语习得年龄(岁)	9.48 $\pm$ 3.95			
听力损失程度(极重度/重度/重度以下)	10 人/5 人/13 人			

生物运动序列、局部生物运动序列和打乱生物运动序列(见图 3)。完整生物运动序列(intact biological motion sequence)包含 13 个光点(分别来自头部、肩部、臀部、肘关节、手腕、膝盖、脚踝等人体重要关节),并且将线段数字化,将每帧的头部和关节位置编码为具有初始起始位置的运动矢量。每个试次的光点运动序列的初始帧都是随机的,以避免被试产生对实验的预测。局部生物运动序列(local biological motion sequence)通过将完整生物运动序列中脚踝的两个光点分离并保留向左或向右行走的脚部运动信息生成。打乱生物运动序列(scrambled biological motion sequence),是通过将完整生物运动序列的光点的起始位置随机化,这样能够保持单个光点的运动轨迹不变,由此保留了局部运动信息而破坏了整体形状信息。所有光点运动序列为白色,呈现在灰色背景下。在实验呈现中,生物运动序列有向左、向右行走两个方向,单个生物运动刺激的水平视角约为 0.9° 。刺激由一排 5 个水平陈列的生物运动刺激组成(1 个中央刺激和 4 个侧翼刺激,左右两侧各两个),刺激间距约 1.4° 。侧翼刺激有两种情况:侧翼一致(侧翼生物运动序列与中央生物运动序列的行走方向一致)、侧翼不一致(侧翼生物运动序列与中央生物运动序列的行走方向不一致)。

3.1.3 实验设计

2 (组别: 听障组, 健听组) $\times$ 2 (侧翼刺激类型: 一致, 不一致) $\times$ 3 (生物运动类型: 完整, 局部, 打乱) $\times$ 4 (线索类型: 无线索, 中央线索, 双重线索, 空间线索)的混合实验设计, 组别为被试间变量。因变量为反应时、正确率和三个注意网络的效应值。

3.1.4 实验程序

每个被试需要完成三个任务: 完整生物运动的注意网络测试、局部生物运动的注意网络测试、打乱生物运动的注意网络测试, 任务顺序在被试之间随机平衡。每个任务都包括练习和正式实验两个部分, 练习实验共 8 个试次, 任务与正式实验相同, 并在被试做出反应后给予相应的反馈, 正式实验为 96 个试次。实验流程如图 4 所示, 除目标刺激为三种不同类型的生物运动光点序列之外, 其实验流程与实验 1a 一致。被试的任务是对中央生物运动刺激的行走方向进行判断, 中央生物运动刺激向左行走按键盘上的“←”键, 向右行走按“→”键。

3.1.5 数据分析

反应时在每个被试平均反应时 2 个标准差以外的试次被剔除(每个被试所删试次低于 5%), 并且只统计正确试次的反应时。对正确率和反应时进行 2 (组别: 听障组, 健听组) $\times$ 2 (侧翼刺激类型: 一致, 不一致) $\times$ 3 (生物运动类型: 完整, 局部, 打乱) $\times$ 4 (线索类型: 无线索, 中央线索, 双重线索, 空间线索)的重复测量方差分析。对警觉、定向和执行控制效应值分别进行了 2 (组别: 听障组, 健听组) $\times$ 3 (生物运动类型: 完整, 局部, 打乱)的重复测量方差分析。对不符合球形假设的 p 值采用 Greenhouse-Geisser 法校正。各注意网络效应值计算方法与实验 1a 一致。

3.2 结果与讨论

在实验 1b 中, 所有条件下的平均正确率均达到了 95%以上。对正确率指标进行组别 $\times$ 侧翼刺激类型 $\times$ 生物运动类型 $\times$ 线索类型的重复测量方差分析。结果显示, 侧翼刺激类型主效应显著, $F(1, 54) =$

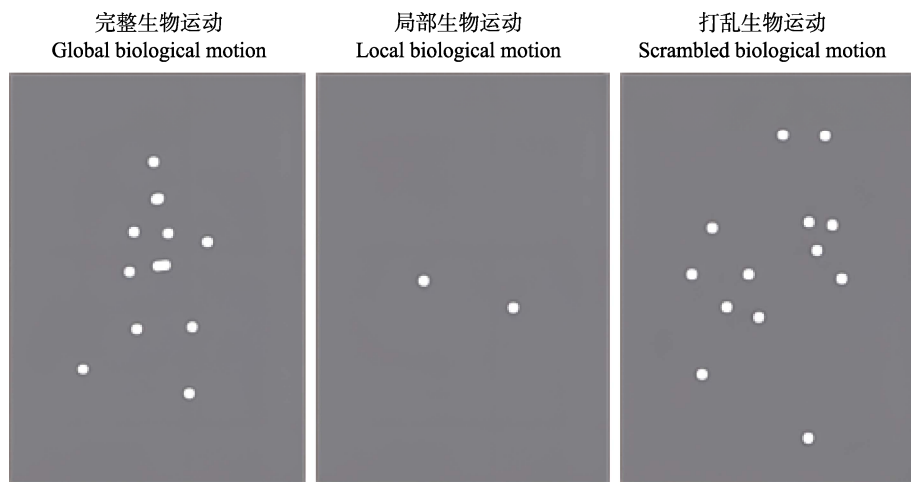


图 3 三种生物运动光点序列材料

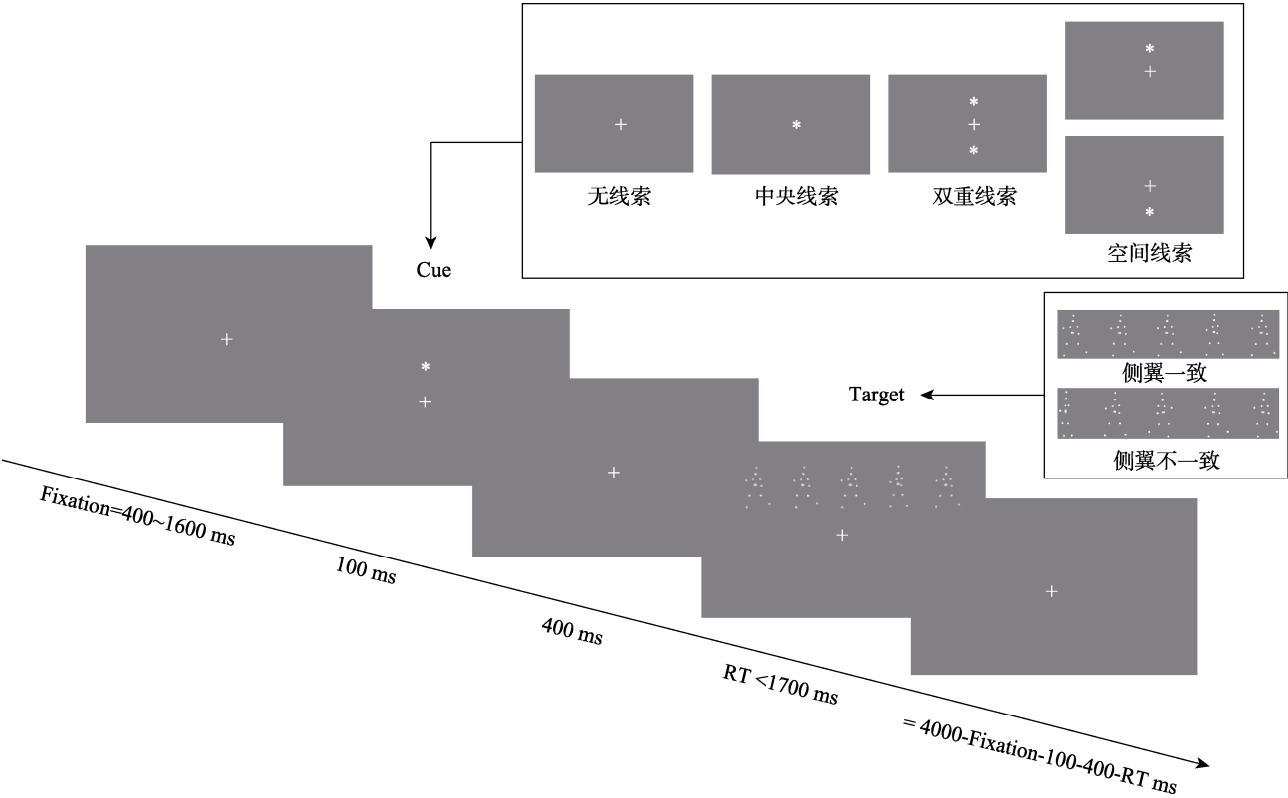


图 4 实验 1b 实验流程图(示例中是完整生物运动注意网络测试)

17.56, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.25$, 侧翼一致条件下的正确率显著高于侧翼不一致条件。生物运动类型主效应显著, $F(2, 108) = 5.16$, $p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.09$, 完整生物运动条件下的正确率显著高于打乱生物运动条件, 打乱生物运动条件下的正确率显著高于局部生物运动条件。线索类型和组别主效应不显著($ps > 0.05$), 其他交互效应均不显著($ps > 0.05$)。

听障和健听被试在各个条件下的反应时描述

性统计结果如表 4 所示。

对反应时指标进行组别 $\times$ 侧翼刺激类型 $\times$ 生物运动类型 $\times$ 线索类型的重复测量方差分析。生物运动类型 $\times$ 侧翼刺激类型 $\times$ 组别的交互作用显著, $F(2, 108) = 3.83$, $p = 0.025$, $\eta_p^2 = 0.07$ 。进一步在三种不同类型的生物运动条件下, 分别进行侧翼刺激类型与组别的两因素方差分析。结果显示, 在完整生物运动条件下, 侧翼刺激类型 $\times$ 组别的交互作用显著,

表 4 听障组与健听组在各个条件下的反应时 $M(SD)$ (ms)

生物运动类型	组别	侧翼类型	线索类型			
			无线索	中央线索	双重线索	空间线索
完整生物运动	听障组	一致条件	681 (80)	654 (87)	643 (75)	637 (93)
	健听组		633 (69)	588 (67)	573 (62)	563 (77)
	听障组	不一致条件	749 (100)	717 (93)	725 (114)	705 (111)
	健听组		679 (73)	643 (72)	628 (60)	594 (80)
局部生物运动	听障组	一致条件	850 (109)	823 (126)	812 (125)	804 (115)
	健听组		764 (116)	739 (117)	744 (132)	691 (114)
	听障组	不一致条件	910 (132)	856 (129)	866 (141)	841 (148)
	健听组		826 (137)	786 (102)	812 (139)	757 (109)
打乱生物运动	听障组	一致条件	836 (159)	799 (139)	785 (148)	775 (162)
	健听组		696 (128)	637 (113)	643 (96)	628 (113)
	听障组	不一致条件	874 (156)	826 (140)	833 (168)	806 (159)
	健听组		717 (108)	675 (129)	672 (117)	636 (109)

$F(1, 54) = 5.78, p = 0.02, \eta_p^2 = 0.10$ 。进一步简单效应分析发现, 在听障 $[F(1, 54) = 102.08, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.65]$ 与健听被试 $[F(1, 54) = 44.95, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.45]$ 中, 侧翼一致与不一致条件的差异均显著, 但这种差异在听障被试中更为显著; 在局部生物运动条件下, 侧翼刺激类型 $\times$ 组别的交互作用不显著, $F(1, 54) = 1.57, p = 0.22$; 在打乱生物运动条件下, 侧翼刺激类型 $\times$ 组别的交互作用不显著, $F(1, 54) = 0.82, p = 0.37$ 。除此之外, 组别主效应显著, $F(1, 54) = 20.85, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.28$, 听障被试的反应时显著长于健听被试。侧翼刺激类型主效应显著, $F(1, 54) = 126.62, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.70$, 个体在侧翼一致条件下的反应时显著短于不一致条件。生物运动类型主效应显著, $F(2, 108) = 52.77, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.49$, 个体在完整生物运动条件下的反应时显著短于打乱生物运动条件, 在打乱生物运动条件下的反应时显著短于局部生物运动条件。线索类型主效应显著, $F(3, 162) = 82.50, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.60$, 多重比较分析发现: 无线索条件下的反应时显著长于双重线索条件, 中央线索条件下的反应时显著长于空间线索条件, 无线索条件下的反应时最长, 空间线索条件下的反应时最短。组别 $\times$ 生物运动类型的交互作用显著, $F(2, 108) = 4.20, p = 0.023, \eta_p^2 = 0.07$ 。生物运动类型 $\times$ 侧翼刺激类型的交互作用显著, $F(2, 108) = 8.81, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.14$ 。其他交互作用均不显著($ps > 0.05$)。

为了比较两组被试在三种生物运动条件下的注意网络加工效率, 进一步对警觉、定向和执行控制效应值分别进行了组别 $\times$ 生物运动类型的方差分析。结果显示:

在警觉效应值上, 生物运动类型 $\times$ 组别的交互作用显著, $F(2, 108) = 4.03, p = 0.025, \eta_p^2 = 0.07$ 。进一步简单效应分析发现, 在完整生物运动条件下 $[F(1, 54) = 8.17, p = 0.006, \eta_p^2 = 0.13]$, 听障被试的警觉效应值显著低于健听被试(31 ms vs 55 ms), 而在局部 $[F(1, 54) = 2.57, p = 0.12]$ 和打乱生物运动条件 $[F(1, 54) = 0.42, p = 0.84]$ 下, 两组被试的警觉效应值不存在显著差异(如图 5a 所示)。此外, 生物运动类型 $[F(2, 108) = 2.51, p = 0.09]$ 和组别 $[F(1, 54) = 0.02, p = 0.89]$ 的主效应不显著。在定向效应值上, 生物运动类型 $[F(2, 108) = 0.13, p = 0.88]$ 和组别 $[F(1, 54) = 3.48, p = 0.07]$ 的主效应不显著, 生物运动类型 $\times$ 组别的交互作用也不显著, $F(2, 108) = 0.77, p = 0.47$ (如图 5b 所示)。在执行控制效应值上, 生物运动类型 $\times$ 组别的交互作用显著, $F(2, 108) = 3.83, p = 0.025, \eta_p^2 = 0.07$ 。进一步简单效应分析发现, 在完整生物运动条件下 $[F(1, 54) = 5.78, p = 0.020, \eta_p^2 = 0.10]$, 听障被试的执行控制效应值显著高于健听被试(70 ms vs 47 ms), 而在局部 $[F(1, 54) = 1.56, p = 0.22]$ 和打乱的生物运动条件 $[F(1, 54) = 0.82, p = 0.37]$ 下, 两组被试的执行控制效应值没有显著差异(如图 5c 所示)。生物运动类型主效应显著, $F(2, 108) = 8.81, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.14$, 打乱生物运动条件下的执行控制效应值显著低于完整与局部生物运动条件, 完整与局部生物运动条件下的执行控制效应值没有显著差异。组别主效应不显著, $F(1, 54) = 0.65, p = 0.43$ 。

总的来看, 在评估两组被试不同生物运动类型下的注意网络加工效率时, 发现在注意警觉和执行控制网络上出现了明显的组别与生物运动类型的

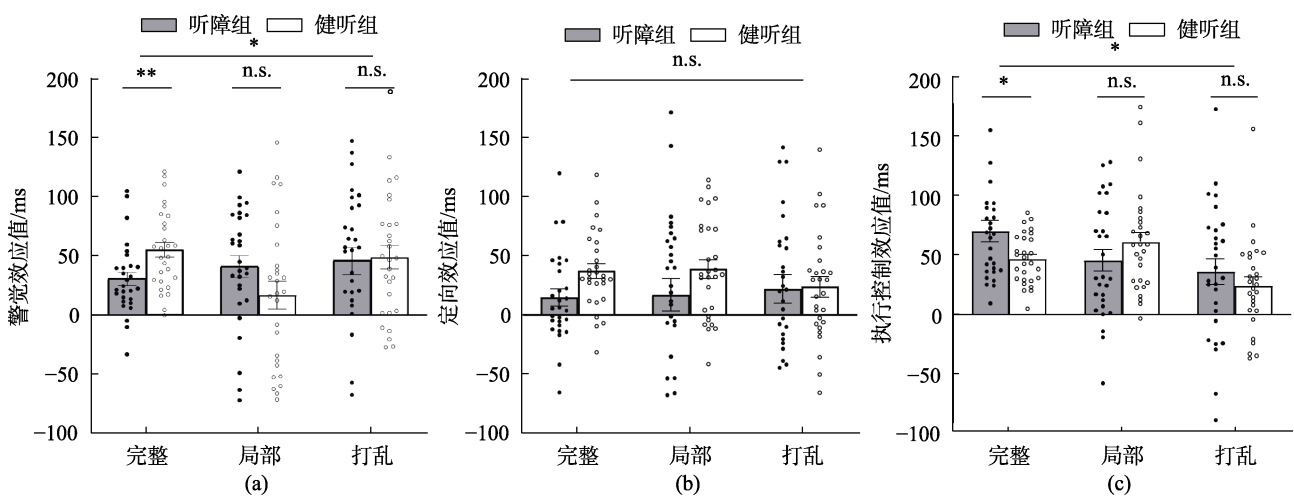


图 5 听障组与健听组在三种生物运动类型上的注意网络效应值比较

注: 误差棒为标准误, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

交互作用, 听障被试在完整生物运动条件下的警觉与执行控制加工效率显著低于健听被试, 而在局部和打乱生物运动条件下, 两组被试的警觉与执行控制加工效率没有显著差异。此外, 在注意定向网络上, 没有出现组别与生物运动类别的交互作用。这些结果可能表明听障个体利用时间线索(警觉线索)促进完整生物运动信息加工的能力, 以及通过抑制干扰刺激来准确识别完整生物运动信息的能力存在缺损, 而利用空间线索(定向线索)将注意聚焦于完整生物运动信息上的能力与健听个体相似。

以往研究发现, 在注意网络测试中, 线索类型与侧翼刺激类型之间存在显著的交互作用(Callejas et al., 2005; Fan et al., 2002, 2009)。例如, 警觉线索作为一种时间线索, 可以提供目标刺激即将出现的时间信息, 从而会提升对任务的反应速度, 这可能会出现速度与准确性的平衡, 更快的反应速度会导致更高的错误率, 使得侧翼刺激带来的干扰效应增大, 从而抑制了执行控制功能, 这可能反映了警觉与执行控制功能存在对注意资源的竞争(Fan et al., 2009)。定向线索可以提前使被试的注意指向目标刺激, 从而会减少侧翼刺激带来的干扰, 从而促进了执行控制功能。因此, 在注意网络测试任务中, 警觉线索和定向线索会通过影响个体对目标刺激的反应, 从而影响执行控制功能。此外, 实验 1b 发现听障个体对完整生物运动的执行控制功能受损, 而在局部和打乱生物运动信息的加工上, 其执行控制功能并未受损。因此, 为了验证实验结果的稳定性, 实验 2 拟采用 Flanker 范式的变式, 在排除线索刺激对执行控制的影响后, 进一步考察听障和健听个体对完整生物运动、局部生物运动和打乱生物运动信息的执行控制特点。

4 实验 2: 听障个体对生物运动信息的执行控制特点

4.1 方法

4.1.1 被试

通过 G*Power 3.1 (power = 0.90, effect size $f = 0.25$, $\alpha = 0.05$) 计算在保证中等效应量的情况下每组至少需要 16 名被试(Faul et al., 2007)。被试的选取标准同实验 1b, 被试的个人信息见表 5。

4.1.2 实验材料

实验 2 使用的刺激材料与实验 1b 相同。不同的是实验刺激由 1 个中央刺激和 5 个侧翼刺激组成, 侧翼刺激在中央刺激周围等距分布, 间距约 2.8° 。

4.1.3 实验设计

2 (组别: 听障组, 健听组) $\times$ 2 (侧翼刺激类型: 侧翼一致、侧翼不一致) $\times$ 3 (生物运动类型: 完整, 局部, 打乱) 的混合实验设计, 组别为被试间变量, 因变量为反应时、正确率以及执行控制效应值。

4.1.4 实验程序

每个被试都要完成三个任务: 完整生物运动 Flanker 任务、局部生物运动 Flanker 任务和打乱生物运动 Flanker 任务, 任务顺序在被试之间随机平衡。每个任务都包括练习和正式实验两个部分, 练习实验流程与正式实验一致, 共 8 个练习试次, 且在被试反应后给予相应反馈。正式实验共有 60 个试次, 侧翼一致条件和侧翼不一致条件各 30 个试次。在任务开始之前, 将向被试展示生物运动序列的示例, 确保被试能够识别生物运动刺激的行走方向。实验流程如图 6 所示: 首先在屏幕中央呈现注视点“+” (500 ~ 800 ms), 随后呈现 6 个生物运动刺激(由 1 个中央刺激和 5 个侧翼刺激组成, 侧翼刺激以圆圈形式排列在中央刺激周围等距分布, 且侧翼刺激之间的距离也相等)。被试的任务是对中央的生物运动刺激的行走方向做出反应, 向左行走按键盘上的“←”键, 向右行走按“→”键, 被试按键反应后刺激消失或 1500 ms 后被试仍未反应刺激自动消失, 反应后呈现 500 ms 间隔屏, 进入下一个试次。

4.1.5 数据分析

反应时在每个被试平均反应时 3 个标准差以外的试次被剔除(总剔除率低于 5%), 并且只统计正确试次的反应时。对正确率和反应时进行 2 (组别: 听障组, 健听组) $\times$ 2 (侧翼刺激类型: 侧翼一致, 侧翼不一致) $\times$ 3 (生物运动类型: 完整, 局部, 打乱) 的重复测量方差分析。对执行控制效应值进行了 2 (组别: 听障组, 健听组) $\times$ 3 (生物运动类型: 完整, 局部, 打乱) 的重复测量方差分析。对不符合球形假设的 p 值采用 Greenhouse-Geisser 法校正。执行控制效应值计算方式与实验 1 一致。

4.2 结果与讨论

在实验 2 中, 所有条件下的平均正确率均达到了 95% 以上。对正确率指标进行组别 $\times$ 侧翼刺激类型 $\times$ 生物运动类型的重复测量方差分析。结果显示, 组别主效应显著, $F(1, 52) = 15.68$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.23$, 健听被试的正确率显著高于听障被试。侧翼刺激类型主效应显著, $F(1, 52) = 28.97$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.36$, 个体在侧翼一致条件下的正确率显著高于不一致条件。生物运动主效应显著, $F(2, 104) =$

表 5 实验 2 听障组与健听组的人口学数据

变量	听障组($n = 27$)	健听组($n = 27$)	t/χ^2	p
	$M \pm SD$	$M \pm SD$		
年龄(岁)	21.15 $\pm$ 1.75	20.37 $\pm$ 1.50	1.76	0.085
性别	14 男/13 女	14 男/13 女	0.01	0.999
瑞文推理分数	48.44 $\pm$ 5.63	51.15 $\pm$ 6.47	-1.64	0.107
自闭特质分数	22.89 $\pm$ 3.41	22.78 $\pm$ 4.59	0.10	0.920
听力损失年龄(岁)	1.04 $\pm$ 1.26			
手语习得年龄(岁)	9.41 $\pm$ 3.65			
听力损失程度(极重度/重度/重度以下)	9 人/12 人/6 人			

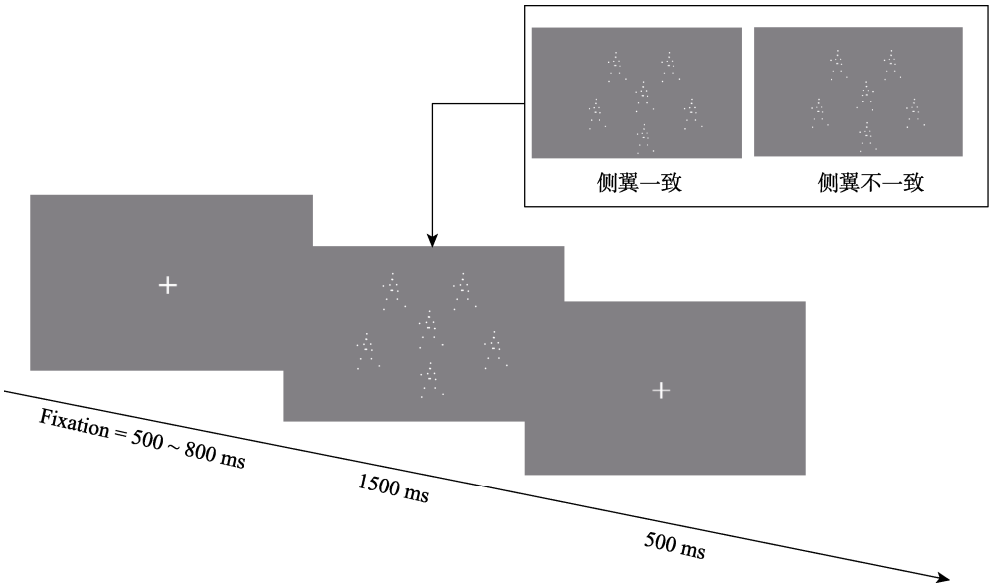


图 6 实验 2 任务流程图(示例中为完整生物运动 Flanker 任务)

7.71, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.13$, 个体在完整和打乱生物运动条件下的正确率显著高于局部生物运动条件, 前两种生物运动类型下的正确率差异不显著。生物运动类型 $\times$ 侧翼刺激类型的交互作用显著, $F(2, 104) = 4.37$, $p = 0.019$, $\eta_p^2 = 0.08$ 。进一步简单效应分析发现, 在侧翼一致条件下 [$F(2, 51) = 1.90$, $p = 0.16$], 个体三种生物运动类型的正确率无显著差异, 而在侧翼不一致条件下 [$F(2, 51) = 6.19$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.20$], 个体在完整和打乱生物运动上的正确率显著高于局部生物运动。其他交互作用均不显著($ps > 0.05$)。

听障和健听被试在各个条件下的反应时描述性统计结果如表 6 所示。

对反应时指标进行组别 $\times$ 侧翼刺激类型 $\times$ 生物运动类型的重复测量方差分析。结果显示, 生物运动类型 $\times$ 侧翼刺激类型 $\times$ 组别的交互作用显著, $F(2, 104) = 3.61$, $p = 0.043$, $\eta_p^2 = 0.065$ 。进一步在三种不同类型的生物运动条件下, 分别进行侧翼刺激类型

表 6 听障组与健听组在 Flanker 任务中各条件下的反应时 $M (SD)$ (ms)

生物运动类型	侧翼刺激类型	组别	反应时
完整生物运动	一致	听障组	573 (82)
		健听组	531 (55)
	不一致	听障组	601 (79)
		健听组	545 (57)
局部生物运动	一致	听障组	663 (105)
		健听组	604 (78)
	不一致	听障组	704 (109)
		健听组	666 (96)
打乱生物运动	一致	听障组	577 (83)
		健听组	552 (83)
	不一致	听障组	594 (80)
		健听组	561 (89)

与组别的两因素方差分析。结果显示, 在完整生物运动条件下, 侧翼刺激类型 $\times$ 组别的交互作用显著, $F(1, 52) = 5.10$, $p = 0.03$, $\eta_p^2 = 0.09$ 。进一步简单效应分析发现, 在听障 [$F(1, 52) = 42.15$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.45$]与健听被试 [$F(1, 52) = 10.87$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 =$

0.17]中,侧翼一致与不一致条件的差异均显著,但这种差异在听障被试中更为显著;在局部生物运动条件下,侧翼刺激类型×组别的交互作用不显著, $F(1, 52) = 2.18, p = 0.15$;在打乱生物运动条件下,侧翼刺激类型×组别的交互作用不显著, $F(1, 52) = 0.81, p = 0.37$ 。除此之外,组别主效应显著, $F(1, 52) = 4.95, p = 0.030, \eta_p^2 = 0.09$,听障组的反应时显著长于健听组的反应时。侧翼刺激类型主效应显著, $F(1, 52) = 87.77, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.63$,个体在侧翼一致条件下的反应时显著短于不一致条件。生物运动主效应显著, $F(2, 104) = 53.88, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.51$,个体在完整和打乱生物运动条件下的反应时显著短于局部生物运动条件,完整和打乱生物的反应时差异不显著。生物运动类型×侧翼刺激类型的交互作用显著, $F(2, 104) = 17.56, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.25$ 。其他交互作用均不显著($ps > 0.05$)。

为了评估执行控制的加工效率,进一步对执行控制效应值进行了2(组别:听障组,健听组)×3(生物运动类型:完整,局部,打乱)的重复测量方差分析。结果显示,组别×生物运动类型的交互作用显著, $F(2, 104) = 3.61, p = 0.043, \eta_p^2 = 0.07$ 。进一步简单效应分析发现,在完整生物运动条件下[$F(1, 52) = 5.10, p = 0.028, \eta_p^2 = 0.09$],听障被试的执行控制效应值显著高于健听被试,而在局部[$F(1, 52) = 2.18, p = 0.15$]和打乱的生物运动条件[$F(1, 52) = 0.81, p = 0.37$]下,两组被试的执行控制效应值没有显著差异(如图7所示)。这说明听障被试在完整生物运动上的执行控制加工效率显著低于健听被试,而在局部和打乱的生物运动上,两者的执行控制加工效率没有显著差异。此外,生物运动类型主效应显著, $F(2, 104) = 17.56, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.25$,完整和打乱生物运动条件下的执行控制效应值显著高于局部生物运动条件,而完整生物运动条件下的执行控制效应值与打乱生物运动条件之间没有显著差异。组别的主效应不显著, $F(1, 52) = 0.001, p = 0.98$ 。

实验2重复了实验1b的结果,在完整生物运动上,听障被试表现出更大的侧翼干扰效应,其执行控制加工效率显著低于健听被试,而在局部和打乱的生物运动上,听障被试的执行控制加工效率与健听被试相比没有显著差异。实验2的结果进一步说明了听障被试对完整生物运动的执行控制功能受损,而对局部和打乱的生物运动执行控制功能没有

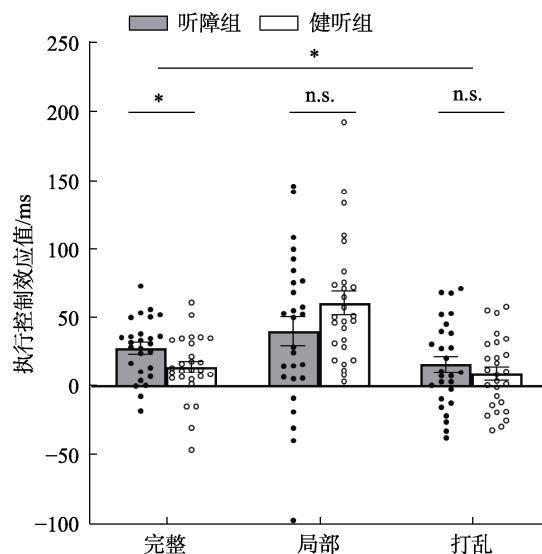


图7 听障组与健听组在三种生物运动类型上的执行控制效应值比较

注: 执行控制效应值 = $RT_{\text{侧翼不一致}} - RT_{\text{侧翼一致}}$; 误差棒为标准误, $*p < 0.05$

受损。这些结果在一定程度上也可能反映了生物运动的整体形状加工和局部运动加工是两种不同的加工,存在独立的加工机制。

5 总讨论

本研究采用经典注意网络测试及其变式,以及Flanker范式的变式,考察了生物运动信息对听障个体注意网络功能的影响。在经典注意网络测试中(实验1a),听障个体的执行控制效率显著低于健听个体,而在注意警觉、注意定向上两者没有显著差异。当目标刺激为完整生物运动序列时,听障个体在注意警觉和执行控制上的加工效率均显著低于健听个体(实验1b)。并且,在改编的Flanker任务中,听障个体对完整生物运动信息的执行控制效率仍显著低于健听个体(实验2)。但是,对于局部和打乱的生物运动信息,两组被试在注意警觉、注意定向和执行控制上均没有显著差异。这些结果表明听障个体对完整生物运动信息的注意功能存在缺损,而对局部和打乱生物运动信息的注意功能与健听个体相似。

首先,本研究重复了以往研究的结果,在经典的注意网络测试中,只发现听障个体在执行控制功能上存在缺损,而在注意警觉和注意定向功能上与健听个体没有显著差异(Dye et al., 2007; 曾桐奥等, 2019)。听障个体的执行控制功能受损在其他任务上也被发现。例如,在昼夜Stroop任务中,听障儿童的表现显著低于健听儿童,表明了其执行控制

功能在发展的过程中受到了损害(Figueras et al., 2008)。一项脑电研究采用认知 Stroop 任务发现,在反应时指标上,健听儿童的抑制控制效率显著高于听障儿童;在脑电指标上,相比健听儿童,听障儿童在 N450 成分上诱发了更大的负激活,而 N450 在抑制控制中主要负责冲突监测,研究者认为听障被试抑制控制中的冲突监测机制可能受损,在冲突监测过程中注意分配能力下降(陈琼 等, 2020)。但是,在本研究中,听障和健听个体在注意警觉与定向功能上并没有显著差异,该结果与前人研究结果一致(Dye et al., 2007; 曾桐奥 等, 2019),说明听障个体能够有效利用线索刺激来完成经典的注意网络测试。

本研究结合生物运动序列并通过改编经典的注意网络测试考察了生物运动信息对听障个体注意网络功能的影响。结果发现,当目标刺激为完整生物运动序列时,听障个体在注意警觉和执行控制上的加工效率都显著低于健听个体。这个结果一方面说明了目标刺激的社会属性会调节个体的注意功能(Federico et al., 2013),另一方面说明听障个体对完整生物运动信息的注意警觉和执行控制都出现了缺损。以往也有一些关于听障个体生物运动信息加工特点的研究。例如, Ludlow 等(2013)考察了听障儿童对光点小人动作类型(如举、跳、踢、爬、跑等动作)和情绪类型(如惊讶、悲伤、高兴、愤怒等情绪)的识别特点,研究发现听障儿童对光点小人动作和情绪的识别能力都要差于其年龄匹配的健听儿童,说明听障个体对生物运动的社会情绪加工存在缺陷。相比对光点小人动作类型和情绪类型的识别,对光点小人行走方向的识别仅涉及对生物运动的感知,这最大程度地减少了个体对动作经验信息的需求以及自上而下认知加工过程的影响(Kim et al., 2013)。因此,本研究扩展了以往研究,在一定程度揭示了听障个体对生物运动信息的注意存在缺陷。生物运动传递了丰富的社会信息,生物运动感知与社会认知过程有着密切的关系(Kéri & Benedek, 2009)。以往研究也认为个体的生物运动信息加工能力是反映其社会认知能力的重要指标(Pavlova, 2012)。例如,社会认知能力存在缺陷的孤独症患者也存在生物运动信息加工能力受损(Blake et al., 2003; Freitag et al., 2008; Koldewyn et al., 2010)。因此,听障个体对生物运动信息的注意网络功能受损,可能反映了其社会认知缺陷。这与以往关于听障个体社会认知的研究结果一致,听障

个体在面部情绪理解(de Gracia et al., 2021)和心理理论等社会认知方面存在缺陷(Peterson & Siegal, 1995; Rimmel & Peters, 2009; Russell et al., 1998; Stanzione & Schick, 2014)。但是,听障个体对生物运动信息的注意网络功能是否与其社会认知能力存在相关关系还有待进一步的研究。

值得注意的是,只在完整生物运动信息的加工上,听障个体出现了注意网络功能受损,当目标刺激为局部和打乱的生物运动序列时,听障个体在注意警觉、定向和执行控制上的加工效率均与健听个体没有差异。该结果一方面说明了听障个体对局部和打乱的生物运动的注意功能不存在缺损,另一方面也为整体形状信息与局部运动信息在生物运动加工中存在独立机制提供了一定的证据。以往对于生物运动倒置效应的研究发现,整体形状和局部生物运动信息可能在生物运动感知过程中发挥着独立的作用(Troje & Westhoff, 2006)。研究者也指出,在局部生物运动信息的加工过程中,脚部的运动,尤其是脚部运动的垂直重力加速度在该加工过程中起到了关键的作用,并且识别该部分的能力可能是与生俱来的(Chang & Troje, 2009; Troje & Westhoff, 2006)。例如,对局部生物运动信息的敏感性在新生儿身上也存在,说明个体对局部生物运动信息的加工能力是先天的(Simion et al., 2008)。此外, Wang 等(2018)采用经典的双生子实验证明,在加工局部生物运动信息时,高达 50%的个体间差异可由遗传因素解释,而对完整生物运动加工的差异在很大程度上受环境因素和其他非特定因素的影响,但不受遗传因素的影响。Hirai 和 Senju (2020)提出了一种关于生物运动加工的双加工理论,他们认为个体加工生物运动信息(行走的光点小人)时,存在两个系统,分别是脚部检测(step detector)系统和身体动作评估(bodily action evaluator)系统。脚部检测系统能快速加工脊椎动物所特有的局部脚部信息(脚部位于身体下方)以及脚部运动信息,该系统较少受后天经验的影响;而身体动作评估系统负责加工生物运动的整体结构,该系统依赖于视觉经验的积累与社会文化学习(Hirai & Senju, 2020)。因此,听障个体完整生物运动的注意功能表现出受损,可能是由于听觉经验剥夺而带来的社会生活环境的变化以及社会文化学习经验的不同所造成。另外,研究者认为箭头是一种过度学习的符号,在平时的生活中得到了强化。已有研究表明,箭头作为一种非社会性线索,其引起的注意效应没有遗传性

(Wang et al., 2020)。因此, 听障个体在以箭头为目标刺激的注意网络测试中所表现出的执行控制功能受损可能与环境因素有关。而局部与打乱的生物运动破坏了整体形状而保留了局部运动信息, 人们对其的感知与识别更多地是一种自动化的加工, 较少受后天经验的影响。因此, 目标刺激为打乱与局部生物运动信息时, 听障和健听个体的注意网络功能没有显著差异。在实验2中, 当采用 Flanker 范式直接测量个体的执行控制功能时, 听障个体仍然表现出了对完整生物运动信息的执行控制功能缺陷, 而在局部和打乱生物运动信息的执行控制功能上与健听个体没有显著差异。这也进一步反映了生物运动的整体形状加工和局部运动加工是两种不同的加工, 可能存在独立的加工机制。

尽管如此, 由于箭头信息是一种非运动信息, 而生物运动信息是一种运动信息, 因此, 在箭头信息和生物运动信息加工上产生的实验效应差异也可通过信息的运动属性差异来解释。未来研究可以再增设非生物体运动信息和静态的生物运动信息这两个实验条件, 这样可以明确实验效应是由刺激的运动性, 还是生物性或是两者的结合所导致。并且, 未来研究也有必要进一步采用 ERP 或 fMRI 技术揭示听障个体对完整和局部生物运动刺激注意加工的内在神经机制。

6 结论

本研究表明生物运动信息会调节听障个体的注意网络功能。当目标刺激为完整生物运动信息时, 听障个体的注意警觉和执行控制功能受损, 而在局部和打乱的生物运动信息上, 听障个体的注意警觉、注意定向以及执行控制功能均未受损。这些结果不但加深了我们对听障个体生物运动信息注意加工特征的理解, 也为局部生物运动加工的特异性提供了一定的证据支持。

参考文献

- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Hill, J., Raste, Y., & Plumb, I. (2001). The "Reading the Mind in the Eyes" Test revised version: A study with normal adults, and adults with Asperger syndrome or high-functioning autism. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 42(2), 241-251.
- Batten, G., Oakes, P. M., & Alexander, T. (2014). Factors associated with social interactions between deaf children and their hearing peers: A systematic literature review. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 19(3), 285-302.
- Bavelier, D., Dye, M. W. G., & Hauser, P. C. (2006). Do deaf individuals see better? *Trends in Cognitive Sciences*, 10(11), 512-518.
- Bavelier, D., Tomann, A., Hutton, C., Mitchell, T., Corina, D., Liu, G., & Neville, H. (2000). Visual attention to the periphery is enhanced in congenitally deaf individuals. *The Journal of Neuroscience*, 20(17), RC93.
- Blake, R., Turner, L. M., Smoski, M. J., Pozdol, S. L., & Stone, W. L. (2003). Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *Psychological Science*, 14(2), 151-157.
- Callejas, A., Lupiáñez, J., Funes, M. J., & Tudela, P. (2005). Modulations among the alerting, orienting and executive control networks. *Experimental Brain Research*, 167(1), 27-37.
- Chang, D. H. F., & Troje, N. F. (2009). Characterizing global and local mechanisms in biological motion perception. *Journal of Vision*, 9(5), 8-8.
- Chen, Q., Zhao, J. F., Gu, H., Xing, X. L., & Li, X. M. (2020). An ERP study on cognitive inhibition control of deaf children. *Psychological Development and Education*, 36(3), 275-282.
- [陈琼, 赵俊峰, 谷璜, 邢小莉, 李晓铭. (2020). 听障儿童认知抑制控制的脑电特点. *心理发展与教育*, 36(3), 275-282.]
- Daza, M. T., & Phillips-Silver, J. (2013). Development of attention networks in deaf children: Support for the integrative hypothesis. *Research in Developmental Disabilities*, 34(9), 2661-2668.
- de Gracia, M. R. L., de Rosnay, M., Hawes, D. J., & Perez, M. V. T. (2021). Differences in emotion knowledge among Filipino deaf children, adolescents, and young adults. *Personality and Individual Differences*, 180, 110967.
- Dye, M. W. G., & Bavelier, D. (2010). Attentional enhancements and deficits in deaf populations: An integrative review. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28(2), 181-192.
- Dye, M. W. G., & Bavelier, D. (2013). Visual attention in deaf humans: A neuroplasticity perspective. In A. Kral, A. N. Popper, & R. R. Fay (Eds.), *Deafness* (Vol. 47, pp. 237-263). Springer New York.
- Dye, M. W. G., Baril, D. E., & Bavelier, D. (2007). Which aspects of visual attention are changed by deafness? The case of the attentional network test. *Neuropsychologia*, 45(8), 1801-1811.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191.
- Fan, J., Gu, X., Guise, K. G., Liu, X., Fossella, J., Wang, H., & Posner, M. I. (2009). Testing the behavioral interaction and integration of attentional networks. *Brain and Cognition*, 70(2), 209-220.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 340-347.
- Fan, J., & Posner, M. (2004). Human attentional networks. *Psychiatrische Praxis*, 31(S2), 210-214.
- Federico, F., Marotta, A., Adriani, T., Maccari, L., & Casagrande, M. (2013). Attention network test—The impact of social information on executive control, alerting and orienting. *Acta Psychologica*, 143(1), 65-70.
- Fernandez-Duque, D., & Posner, M. I. (1997). Relating the mechanisms of orienting and alerting. *Neuropsychologia*, 35(4), 477-486.
- Figueras, B., Edwards, L., & Langdon, D. (2008). Executive function and language in deaf children. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 13(3), 362-377.
- Freitag, C. M., Konrad, C., Häberlen, M., Kleser, C., Gontard, A. V., Reith, W., Troje, N. F., & Krick, C. M. (2008). Perception of biological motion in autism spectrum

- disorders. *Neuropsychologia*, 46(5), 1480–1494.
- Friesen, C. K., & Kingstone, A. (2003). Abrupt onsets and gaze direction cues trigger independent reflexive attentional effects. *Cognition*, 87(1), B1–B10.
- Gao, H., Li, Y. Z., Hu, D., Zhu, M., Gao, X. P., & Hu, T. Y. (2018). Cognitive advantage for self-information: Evidence from the orienting network of attention. *Acta Psychologica Sinica*, 50(12), 1356–1368.
- [高虹, 李杨卓, 胡蝶, 朱敏, 高湘萍, 胡天翊. (2018). 自我信息识别优势——来自注意定向网络的证据. *心理学报*, 50(12), 1356–1368.]
- Giese, M. A., & Poggio, T. (2003). Neural mechanisms for the recognition of biological movements. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(3), 179–192.
- Heimler, B., van Zoest, W., Baruffaldi, F., Rinaldi, P., Caselli, M. C., & Pavani, F. (2015). Attentional orienting to social and nonsocial cues in early deaf adults. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(6), 1758–1771.
- Hirai, M., & Senju, A. (2020). The two-process theory of biological motion processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 111, 114–124.
- Horn, D. L., Davis, R. A. O., Pisoni, D. B., & Miyamoto, R. T. (2005). Development of visual attention skills in prelingually deaf children who use cochlear implants. *Ear and Hearing*, 26(4), 389–408.
- Jacob, P., & Alexander, G. (2023). Impaired biological motion processing and motor skills in adults with autistic traits. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 53(8), 2998–3011.
- Jastorff, J., & Orban, G. A. (2009). Human functional magnetic resonance imaging reveals separation and integration of shape and motion cues in biological motion processing. *The Journal of Neuroscience*, 29(22), 7315–7329.
- Jiang, Y., & Wang, L. (2011). Biological motion perception: The roles of global configuration and local motion. *Advances in Psychological Science*, 19(3), 301–311.
- [蒋毅, 王莉. (2011). 生物运动加工特异性: 整体结构和局部运动的作用. *心理科学进展*, 19(3), 301–311.]
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14(2), 201–211.
- Kaiser, M. D., & Shiffrar, M. (2013). Variability in the visual perception of human motion as a function of the observer's autistic traits. In K. L. Johnson & M. Shiffrar (Eds.), *People watching: Social, perceptual, and neurophysiological studies of body perception* (pp. 159–178). Oxford University Press.
- Kéri, S., & Benedek, G. (2009). Oxytocin enhances the perception of biological motion in humans. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9(3), 237–241.
- Kim, J., Norton, D., McBain, R., Ongur, D., & Chen, Y. (2013). Deficient biological motion perception in schizophrenia: results from a motion noise paradigm. *Frontiers in Psychology*, 4, 391.
- Koldewyn, K., Whitney, D., & Rivera, S. M. (2010). The psychophysics of visual motion and global form processing in autism. *Brain*, 133(2), 599–610.
- Langton, S. R. H., Watt, R. J., & Bruce, V. (2000). Do the eyes have it? Cues to the direction of social attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(2), 50–59.
- Larson, A. M., & Loschky, L. C. (2009). The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition. *Journal of Vision*, 9(10), 6–16.
- Lemke, U., & Scherpiet, S. (2015). Oral communication in individuals with hearing impairment—Considerations regarding attentional, cognitive and social resources. *Frontiers in Psychology*, 6, 998.
- Liu, M. J. (2008). Screening adults for Asperger syndrome and high-functioning autism by using the Autism-spectrum Quotient (AQ) (Mandarin version). *Bulletin of Special Education*, 33(1), 73–92.
- [刘萌容. (2008). 「自闭症光谱量表」—Autism-spectrum Quotient 中文成人版之预测效度及相关因素分析. *特殊教育研究学刊*, 33(1), 73–92.]
- Ludlow, A. K., Heaton, P., & Deruelle, C. (2013). Decoding actions and emotions in deaf children: Evidence from a biological motion task. *Journal of Cognition and Development*, 14(4), 561–572.
- Pavani, F., & Bottari, D. (2012). Visual abilities in individuals with profound deafness: A critical review. In M. M. Murray, & M. T. Wallace (Eds.), *The neural bases of multisensory processes* (pp. 421–445). CRC Press/Taylor & Francis.
- Pavlova, M. A. (2012). Biological motion processing as a hallmark of social cognition. *Cerebral Cortex*, 22(5), 981–995.
- Peterson, C. C., & Siegal, M. (1995). Deafness, conversation and theory of mind. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 36(3), 459–474.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13(1), 25–42.
- Prokisch, J., & Bavelier, D. (2002). Changes in the spatial distribution of visual attention after early deafness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(5), 687–701.
- Quittner, A. L., Barker, D. H., Snell, C., Cruz, I., McDonald, L. G., Grimley, M. E., ... CDaCI Investigative Team. (2007). Improvements in visual attention in deaf infants and toddlers after cochlear implantation. *Audiological Medicine*, 5(4), 242–249.
- Quittner, A. L., Smith, L. B., Osberger, M. J., Mitchell, T. V., & Katz, D. B. (1994). The impact of audition on the development of visual attention. *Psychological Science*, 5(6), 347–353.
- Rommel, E., & Peters, K. (2009). Theory of mind and language in children with cochlear implants. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 14(2), 218–36.
- Russell, J. A., Hosie, C. D., Gray, C., Scott, C., Hunter, N., Banks, J. S., & Macaualy, M. C. (1998). The development of theory of mind in deaf children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39(6), 903–910.
- Shi, J., Weng, X., He, S., & Jiang, Y. (2010). Biological motion cues trigger reflexive attentional orienting. *Cognition*, 117(3), 348–354.
- Simion, F., Regolin, L., & Bulf, H. (2008). A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(2), 809–813.
- Smith, L. B., Quittner, A. L., Osberger, M. J., & Miyamoto, R. (1998). Audition and visual attention: The developmental trajectory in deaf and hearing populations. *Developmental Psychology*, 34(5), 840–850.
- Stanzione, C., & Schick, B. (2014). Environmental language factors in theory of mind development: Evidence from children who are deaf/hard-of-hearing or who have specific language impairment. *Topics in Language Disorders*, 34(4), 296–312.
- Troje, N. F. (2008). Biological motion perception. In A. Basbaum, A. Kaneko, G. M. Shepherd, & G. Westheimer (Eds.), *The senses: A comprehensive reference: Vol. 2: Vision II* (pp. 231–238). Elsevier.
- Troje, N. F. (2013). What is biological motion? Definition, stimuli and paradigms. In M. D. Rutherford, & V. A. Kuhlmeier (Eds.), *Perception: Detection and interpretation of animacy, agency, and intention* (pp. 13–36). MIT Press, Cambridge, MA.
- Troje, N. F., & Westhoff, C. (2006). The inversion effect in biological motion perception: Evidence for a “life detector”? *Current Biology*, 16(8), 821–824.
- Vangeneugden, J., Peelen, M. V., Tadin, D., & Battelli, L. (2014). Distinct neural mechanisms for body form and body motion discriminations. *The Journal of Neuroscience*, 34(2), 574–585.
- Wang, L., Wang, Y., Xu, Q., Liu, D., Ji, H., Yu, Y., ... Jiang, Y.

- (2020). Heritability of reflexive social attention triggered by eye gaze and walking direction: Common and unique genetic underpinnings. *Psychological Medicine*, 50(3), 475–483.
- Wang, L., Yang, X., Shi, J., & Jiang, Y. (2014). The feet have it: Local biological motion cues trigger reflexive attentional orienting in the brain. *NeuroImage*, 84, 217–224.
- Wang, L., Zhang, K., He, S., & Jiang, Y. (2010). Searching for life motion signals: Visual search asymmetry in local but not global biological-motion processing. *Psychological Science*, 21(8), 1083–1089.
- Wang, Y., Wang, L., Xu, Q., Liu, D., Chen, L., Troje, N. F., He, S., & Jiang, Y. (2018). Heritable aspects of biological motion perception and its covariation with autistic traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(8), 1937–1942.
- Zeng, T. A., Bu, X. O., Wang, T. Z., & Ma, H. L. (2019). The effects of early auditory deprivation on children's attention network. *Chinese Journal of Special Education*, (10), 20–25.
- [曾桐奥, 卜晓鸥, 王庭照, 马海林. (2019). 早期听觉剥夺对儿童注意网络的影响. *中国特殊教育*, (10), 20–25.]
- Zhang, H. C., & Wang, X. P. (1989). Standardization research on Raven's Standard Progressive Matrices in China. *Acta Psychologica Sinica*, 21(2), 113–121.
- [张厚粲, 王晓平. (1989). 瑞文标准推理测验在我国的修订. *心理学报*, 21(2), 113–121.]

Impact of point-light biological motion information on attentional network function in hearing-impaired individuals

CHEN Jie^{1,2,3}, CAI Jiahui¹, LAN Yadi¹, LI Wenjie¹

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

(² Cognition and Human Behavior Key Laboratory of Hunan Province, Changsha 410081, China)

(³ Institute of Interdisciplinary Studies, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract

Biological motion conveys extensive social information. Thus, the accurate identification of biological motion information is essential for our survival and social development. Previous studies have suggested that auditory deprivation could alter the visual attention function of hearing-impaired individuals. However, the impact of biological motion information on the visual attention function of such individuals remains unclear. The attentional network test (ANT), along with a modified Flanker task, was used in the study to investigate the attentional network function in processing point-light biological motion information in hearing-impaired and hearing individuals.

In Experiment 1a, the classical ANT was used to investigate the attentional network function of hearing-impaired individuals. In this task, in which the target stimulus comprised a series of arrows featuring a central arrow flanked by additional arrows, participants were required to judge the direction of the central arrow. In Experiment 1b, a modified version of the classical attentional network test was employed, using intact, local, and scrambled biological motion sequences as target stimuli to investigate the influence of biological motion information on the attentional network function. Experiment 2 employed an adapted version of the Flanker task to examine the executive control in processing intact, local, and scrambled biological motion sequences. In Experiments 1b and 2, participants were required to judge the walking direction of the central point-light biological motion.

The results of Experiment 1a indicated that executive control efficiency was markedly lower in hearing-impaired than among hearing individuals. However, no significant differences were observed in alerting and orienting efficiencies between these two groups. Experiment 1b results indicated that hearing-impaired individuals had significantly lower efficiency in alerting and executive control in intact biological motion than hearing individuals. However, no significant differences were observed in the efficiencies of the three attentional networks between two groups in terms of processing local and scrambled biological motion. Experiment 2 results further revealed significantly lower efficiency of executive control in hearing-impaired than in hearing individuals for intact biological motion, but not for local or scrambled biological motion.

Overall, the present study reveals that biological motion information could affect the attentional network function of hearing-impaired individuals. The findings not only deepen academic comprehension of the visual attention for biological motion information among hearing-impaired individuals but also offer empirical support for the specificity of local biological motion processing.

Keywords hearing impaired individuals, biological motion, attentional network test