

肢体形状和肢体动作表征的早期发展*

杜碧煊 张明明 张珂烨 任 杰 何蔚祺

(辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心, 大连 116029)

摘 要 肢体是社会性信息的重要载体。研究肢体表征的早期发展对于揭示其肢体表征加工的内在机制, 进一步理解婴儿的社会性发展具有重要意义。从肢体形状和肢体动作两个方面来看, 已有研究主要考察了婴儿在处理肢体结构信息和运动信息时的表征方式, 并提出了婴儿肢体表征发展机制的两种理论。未来应进一步明确婴儿肢体表征的具体发展过程及关键期, 并通过脑成像技术探究生物运动偏好对于肢体表征的作用机制。

关键词 婴儿; 肢体表征; 肢体形状; 肢体动作; 构形加工

分类号 B844

肢体在日常生活中具有重要的社会意义。个体不仅能通过肢体获取身份、性别等基本信息, 还可以进行情绪、行为意图等社会信息的识别(de Gelder, de Borst, & Watson, 2015)。肢体信息也有其不可替代的重要性, 在个体处于极端效价和高唤醒度的情境下, 肢体信息是个体情绪识别的重要依据(Aviezer, Trope, & Todorov, 2012; Israelashvili, Hassin, & Aviezer, 2018; Wenzler, Levine, van Dick, Oertel-Knöchel, & Aviezer, 2016)。同时, 在远距离交流情景下, 由于肢体相对于面孔在视觉中占有更大的面积, 能够更好地提供线索(de Gelder et al., 2015)。从发展的角度来看, 对于肢体进行表征一方面可以帮助个体实现自我与他人的分离, 是自我概念中的重要内容, 另一方面也是社会信息习得的重要途径(Marshall & Meltzoff, 2015)。

对于肢体表征的脑机制, 研究者们给出了初步判断。其中, 随着肢体倒置效应研究的展开, 证明了肢体识别的构形加工特点以及相较于一般物体的特异性机制(Reed, Stone, Bozova, & Tanaka, 2003; 张珂烨, 张明明, 刘田田, 罗文波, 何蔚祺, 2019)。来自于事件相关电位的研究发现, 倒置肢体相比于正置肢体, 能够引发 N170 更大的波幅

和更长的潜伏期, 这进一步在时间维度上支持了肢体的构形加工(Stekelenburg & de Gelder, 2004)。同时, 外侧纹状体肢体区(extrastriate body area, EBA)和梭状回肢体区(fusiform body area, FBA)是肢体表征的关键脑区(Peelen & Downing, 2007; Peelen, Glaser, Vuilleumier, & Eliez, 2009)。具体来说, EBA 主要参与静态肢体的特征加工, 而 FBA 可能与较大面积肢体或完整肢体的构形结构加工有密切相关(Taylor, Wiggett, & Downing, 2007)。对肢体动作进行加工时, 主要的激活区域则表现在 EBA 以及后颞上沟(posterior superior temporal sulcus, pSTS) (Bachmann, Munzert, & Krüger, 2018; Chang, Ban, Ikegaya, Fujita, & Troje, 2018; de Gelder et al., 2015)。

那么, 肢体表征的特异性过程是怎样发展的, 肢体表征是否存在关键发展期? 对于这些问题的探讨不仅能够揭示肢体表征发展的早期模式, 也为婴儿一般认知能力的发展提供了新的视角。为了探究以上问题, 研究者在婴儿肢体表征领域展开了丰富的工作。从已有的成人研究来看, 个体对于肢体形状和肢体动作存在不同的大脑激活模式。对于前者, 脑活动主要表现在梭状回视觉联合区; 而对于后者, 大脑活动区域更靠近感觉运动区(de Gelder et al., 2015)。婴儿肢体表征的发展是否同样表现在这两个脑区, 即建立在空间结构信息上肢体视觉区的发展, 以及建立在感觉运

收稿日期: 2019-01-21

* 国家自然科学基金青年项目(81601166)资助。

通信作者: 何蔚祺, E-mail: weiqi79920686@sina.com

动信息上感觉运动皮层的发展(Bhatt, Hock, White, Jubran, & Galati, 2016; Marshall & Meltzoff, 2015; Slaughter & Heron, 2004)。因此, 本文将从肢体形状表征和肢体动作表征两方面出发, 论述空间结构信息、感觉运动信息在肢体识别早期发展中的作用, 并结合已有观点对于婴儿肢体表征的发展模式进行探讨。

1 婴儿对肢体形状的表征

肢体表征的相关理论基本认同个体采用构形加工的方式对肢体进行识别, 但对于构形加工的具体内容和阶段仍存在争议。首先, Maurer, Le Grand 和 Mondloch (2002)提出了面孔加工的构形加工理论。构形加工过程包括三个主要阶段: 一阶信息加工(first-order relation processing)、整体加工(holistic processing)和二阶信息加工(second-order relation processing)。由于肢体表征和面孔表征在一些研究中表现出的一致性, 研究者认为在肢体表征中存在相似的构形加工方式。具体来说, 一阶信息加工是指刺激各组成部分之间的相对位置关系。对于肢体表征而言, 躯干位于中央, 头部位于躯干上部, 胳膊位于躯干两侧, 双腿位于躯干之下。整体加工是指在确定了一阶信息后, 人们倾向于将识别的对象当作一个整体进行加工。二阶信息加工是指物体内部各个部分间精确的距离和空间比例关系。在肢体识别中, 主要表现为肢体各个部位在整个肢体中所占据的相对比例和相对大小(Reed et al., 2003)。其次, Reed, Stone, Grubb 和 McGoldrick (2006)根据肢体方面的相关研究进一步提出了构形加工的连续量理论(configural processing continuum theory)。他们认为, 特征加工(featural processing)、一阶信息加工、结构信息加工(structural information processing)、二阶信息加工和整体模板加工构成一个连续量。各个成分间不断递进, 共同构成了整体模板。在识别物体的过程中, 应用整体模板与刺激进行匹配。

处于生命早期的个体就表现出对于人类肢体和其他动物肢体的识别差异。在 Heron-Delaney, Wirth 和 Pascalis (2011)的研究中, 3个月和6个月的婴儿在观看完整人类肢体和猿类肢体图片时, 表现出对于人类肢体的偏好。这一结果表明, 婴儿能够区分人类肢体和动物肢体间的差异。而后, 研究者对婴儿进行动物肢体的熟悉化练习, 在测

试阶段保留动物头部, 将动物肢体替换为人类肢体。发现了7个月的婴儿对于替换后刺激材料的新异偏好, 表现出对于动物和人类肢体信息的区分(Axelsson, Moore, Murphy, Goodwin, & Clifford, 2018)。既然在出生后的第一年, 婴儿就能够区分不同类别的肢体信息。那么, 对于人类肢体的构形加工在早期是如何发展和形成的? 人类肢体作为重要的社会信息载体, 又是何时被个体作为一个整体进行识别? 对人类肢体进行的已有研究表明, 在婴儿出生后的第一年中, 婴儿对于他人肢体结构信息的表征能力快速发展, 能够把肢体作为一个特殊的整体进行加工。

1.1 婴儿对一阶信息的表征

在婴儿对于肢体表征的加工中, 研究者通过改变肢体的一阶信息, 探究婴儿对于肢体各部位相对位置的敏感性。Slaughter, Heron 和 Sim (2002)采用自发偏好范式(spontaneous preference paradigm), 向12、15以及18个月的婴儿, 在屏幕两侧同时呈现完整面孔/肢体图片(即正常状态下的刺激)和乱序面孔/肢体的线条图片(即改变刺激各部位相对位置, 如, 将双臂连接在腰部)。结果发现, 12个月的婴儿就表现出对于乱序面孔的注视偏好, 区分出完整面孔和乱序面孔。而对于乱序肢体的偏好直到18个月时才表现出来。12个月和15个月的婴儿对完整肢体和乱序肢体没有表现出注视差异。随后, Slaughter 和 Heron (2004)进一步采用习惯化-去习惯化范式(habituation-dishabituation paradigm), 先给婴儿呈现完整肢体, 待其对图片的注视时间达到习惯化水平后, 再呈现乱序肢体, 并观察婴儿注视乱序肢体的时间。结果显示, 15个月和18个月的婴儿对乱序肢体的注视时间显著增加; 而12个月的婴儿在观察乱序肢体时没有注视时间的变化。Heron 和 Slaughter (2010)也采用同样的习惯化-去习惯化范式, 分别让6、9、12、18个月的婴儿, 观看由2名演员现场表演的完整肢体姿势, 在达到习惯化水平后, 再观看现场表演的乱序肢体姿势。发现9个月的婴儿对乱序肢体姿势表现出注视时间的增加, 即能够区分完整和乱序肢体。但向婴儿呈现小于人体的真实玩偶时, 9个月的婴儿对于完整和乱序肢体的注视差异消失, 婴儿早期对于肢体形状的表征受到任务类型和肢体刺激生态效度的影响。因此, 早期研究认为, 婴儿对肢体形状的表征在1岁前有所发展,

但仅对符合真实大小的 3D 肢体, 具有简单的识别能力。而在 1 岁之后, 能够对肢体进行抽象加工, 才能够识别缩小的 2D 肢体。但部分学者对于这一结果提出质疑。例如, Zieber, Kangas, Hock 和 Bhatt (2015)采用女性肢体图片作为刺激, 在自发偏好范式下对于肢体的一阶信息进行调整。发现 3.5 个月的婴儿能够区分完整肢体和乱序肢体, 对于肢体的一阶信息表现出敏感性。在 1 岁以前, 发现婴儿能够识别缩小的 2D 女性肢体材料, 婴儿对于人类肢体形状表征的发展可能更早。

1.2 婴儿对二阶信息的表征

如前文所述, 二阶信息是指肢体各部位间的精确距离和空间比例。实验室中, 研究者往往会在保持肢体整体高度的前提下, 通过改变肢体各部位的正常空间距离(如, 拉长肢体的腰部, 缩短腿部等)来操纵二阶信息。通过自发偏好范式, 分别向 5 个月和 9 个月的婴儿呈现正常比例的女性肢体图片和改变了正常比例的肢体, 发现 9 个月的婴儿表现出对于正立条件下正常比例肢体的偏爱, 而在 5 个月的婴儿中没有发现这种偏好(Zieber et al., 2010)。这说明, 9 个月大的婴儿在一阶信息的基础上, 对肢体的二阶信息进行识别。进一步, Zieber 等人(2015)应用熟悉-新异偏好范式(familiarization/novelty preference procedure)向 3.5 个月的婴儿呈现一对比例改变的肢体, 在婴儿的注视时间达到熟悉水平后, 再同时呈现一张比例改变肢体和一张正常比例肢体。这一范式下, 排除了比例改变肢体作为新异刺激对婴儿的影响。在正置条件下发现了婴儿对于正常比例肢体的偏好, 而在倒置条件下不存在。这在一定程度上表明, 在一阶信息下, 即正置条件中, 3.5 个月的婴儿能够分辨身体各部位之间的相对比例, 具有一定的识别二阶信息的能力。

同时, 研究者借用部分-整体效应(whole-part effect)进一步考察了婴儿对于肢体整体加工的感知。该效应存在于成人和儿童对于肢体身份和肢体姿势的辨别中, 是肢体形状表征整体加工的有效证据(Harris, Vyas, & Reed, 2016; Seitz, 2002)。Hock, White, Jubran 和 Bhatt (2016)使用熟悉-新异范式比较 5 个月和 9 个月的婴儿对于姿势不同的完整肢体、独立肢体部分, 以及乱序肢体的注视差异, 结果发现, 在完整肢体下, 5 个月和 9 个月的婴儿对于新异的肢体形状刺激注视时间显著

长于熟悉肢体形状, 但这种注视的差异并没有表现在肢体部位和乱序肢体的识别中(Hock et al., 2016)。在出生后的前半年, 婴儿对于二阶信息的表征建立在一阶信息的框架下。5 个月时能够在完整肢体的条件下, 觉察出肢体各部位的变化, 而无法分辨独立的肢体部位之间的差异。

综上所述, 研究者们并没有对婴儿肢体构形加工的关键期得到一致的结果。部分研究者认为婴儿在生后 9 个月能够对肢体的一阶信息和二阶信息进行表征, 也有研究者认为这一关键期最早在 3.5 个月时就已经产生。造成这一结果的原因可能是: 首先, 在婴儿有关的研究中, 不同的任务范式对于实验结果的影响较大。在采用自发偏好范式的实验中, 不仅要求婴儿能够分辨出两类刺激的差异, 而且要求对其中一类表现出偏好。因此, 5 个月的婴儿没有表现出对于正常肢体或者乱序肢体的偏好差异(Zieber et al., 2010), 并不能直接说明婴儿不具备分辨能力。而在习惯化-去习惯化的范式中, 对正常肢体进行习惯化练习后, 呈现乱序肢体, 婴儿表现出对乱序肢体注视时间的增加, 是在实验控制中得到的(Heron & Slaughter, 2010; Slaughter & Heron, 2004)。这一范式下仅反映了婴儿多次暴露在某一刺激下, 能够区分这一刺激与其他刺激。熟悉-新异范式中, 在刺激熟悉阶段, 屏幕的两侧同时呈现刺激, 在测试阶段, 改变屏幕一侧的刺激, 婴儿表现出对于新异刺激的兴趣(Zieber et al., 2015)。这两个范式, 均反应了婴儿对于熟悉刺激和新异刺激表现出的反应差异。不能表明在自然条件下, 婴儿具备肢体形状表征的能力。从这个角度来讲, 自发偏好范式更能够反应婴儿对于肢体形状表征的能力。未来研究, 应进一步将婴儿在生活中常见的物体(如, 桌子, 椅子), 应用到习惯化-去习惯化以及熟悉-新异范式中, 观察婴儿是否表现出与肢体刺激相同的结果。进一步在婴儿肢体形状表征的实验中, 分离熟悉度对刺激的影响。

其次, 不同性质的刺激材料同样影响实验结果。Slaughter 等人采用男性肢体, 发现婴儿对于肢体结构进行感知的时间大约在 9 个月之后(Slaughter & Heron, 2004; Slaughter et al., 2002)。而在使用女性肢体作为实验材料的研究中却发现, 在 9 个月之前婴儿就能够对肢体结构信息进行加工(Zieber et al., 2010; Zieber et al., 2015)。需要指

出的是,男性肢体轮廓和女性肢体轮廓存在一定的差异。主要表现为女性的腰臀比小于男性,这也是成人在进行性别识别时的重要依据。在出生后的第一年,由于婴儿的抚养者多为母亲,因此研究者认为婴儿对于女性的肢体可能更为敏感。在比较了婴儿对于男性和女性肢体的注视差异后,发现 3.5 个月婴儿对更接近女性肢体轮廓的 0.7 腰臀比表现出偏好,而与男性肢体轮廓相关的 0.9 腰臀比没有表现出偏好(Bhatt et al., 2016)。在眼动研究中,研究者控制了刺激材料的第二性征和腰臀比,同时向婴儿呈现两个肢体图片。婴儿对于女性肢体的注视时间显著长于男性肢体,表现出对于女性肢体的注视偏好(Alexander, Hawkins, Wilcox, & Hirshkowitz, 2016)。这一差异还表现在 3.5 个月的婴儿对于不同性别肢体的观察模式上,在观察女性肢体时更多的注意躯干部位,而在观察男性肢体时更多注意腿部(White, Hock, Jubran, Heck, & Bhatt, 2018; White, Jubran, Heck, Chroust, & Bhatt, 2019)。研究者进一步发现婴儿在 5 个月时,就能分辨性别一致的面孔和肢体,并对性别信息一致的肢体表现出明显的偏爱(Hock, Kangas, Zieber, & Bhatt, 2015)。因此, Slaughter 等人的研究中婴儿所表现出来的可能仅是对于男性肢体的表征,而对于女性肢体的表征则可能产生的更早。

总之,从当前的证据来看,婴儿最早在 3.5 个月时对女性肢体的一阶信息和二阶信息进行感知,5 个月时,倾向于将肢体作为一个整体进行加工。而对于男性肢体形状的表征可能要晚于女性肢体。但这种表征并不能说明婴儿具备了肢体构形加工的策略,需要进一步采用脑电和脑成像等神经指标进行验证。

2 婴儿对肢体动作的表征

生物运动(biological motion)是指生物体在空间上的整体性移动行为,包括人类和动物的运动(蒋毅,王莉,2011)。其中,肢体的生物运动是社会化的重要内容,给人们提供了各类社会信息,包括肢体表情信息、身份信息、他人行为意图等(Kirby, Moraczewski, Warnell, Velnoskey, & Redcay, 2018)。Johansson (1973)通过在人体的重要关节上贴上信号灯,记录这些人体关节的运动轨迹得到人体运动的光点序列。最早将人体的生物运动信息独立出来进行研究。近年来,研究者

使用 Kinect 系统,对生物运动光点(Point light display, PLDs)技术进行了改进(Shi et al., 2018)。人类肢体的生物运动光点作为对于人类运动信息的简单表达,能够排除形状信息的影响,仅保留生物运动信息及结构信息,在肢体动作的研究中得到广泛应用。随着认知神经科学技术的发展,研究者采用脑电,以及脑成像技术探究了生物运动的神经机制。脑电研究发现完整的生物运动光点相对于打乱的生物运动光点,诱发了更大的 N240,并存在右侧化优势。而脑成像的结果显示,完整的生物运动光点能够激活颞上沟后部(pSTS)并且这种激活与脑电结果都主要表现在右半球(Bachmann et al., 2018; Chang et al., 2018)。

对于生物运动早期发展的探讨也一直是研究热点。在大量的动物研究中发现,刚出生的幼崽(如,猫、鸡)能够对于生物运动信息进行反应,即生物运动的识别具有先天优势(Blake, 1993; di Giorgio et al., 2017; Lorenzi, Mayer, Rosa-Salva, & Vallortigara, 2017)。Simion, Regolin 和 Bulf (2008)发现 2 天大的婴儿能够从熟悉化的生物运动中区分新异运动,并表现出对于生物运动的自然偏好。研究者进一步探讨了 2 天大的婴儿对生物运动进行识别时,局部信息和整体信息的作用,发现新生儿对于母鸡生物运动的偏好并不受整体运动信息的影响,部分光点的局部运动就能够激发新生儿的偏好(Bardi, Regolin, & Simion, 2011)。随后, Bidet-Ildei, Kitromilides, Orliaguet, Pavlova 和 Gentaz (2014)等人采用人类肢体的生物运动光点,探究出生后 3 天的婴儿对于平移随机光点和行走肢体光点的偏好。结果发现,出生后 3 天的婴儿对于随机光点的移动和行走肢体光点都表现出偏好。在已有的研究中,生物运动光点、局部运动光点以及平移的随机光点都引发了婴儿的偏好,这些运动信息中并不包含结构性信息(例如,肢体中的一阶信息),而是随机的,不完整的运动信息。新生儿可能仅对运动物体产生无差别的偏好,并不能分辨人类肢体的生物运动信息和随机光点运动信息,即不能识别肢体生物运动光点中的肢体结构信息。

在出生后 2~3 天,新生儿便表现出了对于生物运动信息的偏好,那么婴儿对于肢体生物运动信息的识别是如何发展的呢?人类肢体的生物运动,是在特殊的肢体结构下,特定的肢体部位,

按照一定的方向、轨迹和速度进行的。早期研究者通过一系列行为实验,对婴儿在出生后一年内肢体动作的识别进行了探究。在自发偏好范式下,向婴儿呈现肢体运动的 PLD 以及随机的光点运动。结果发现,2个月的婴儿无法进行识别,而3~6个月的婴儿对于肢体运动的 PLD 表现出偏好(Bertenthal, Proffitt, & Cutting, 1984; Bertenthal, Proffitt, & Kramer, 1987; Fox & McDaniel, 1982)。同时,3~6个月的婴儿,观察正立和倒置肢体运动时,能够对正立的肢体表现出偏好(Bertenthal et al., 1984; Fox & McDaniel, 1982)。这一结果在纵向研究中也得到了证实,通过对2~24个月婴儿的眼动研究发现,2个月的婴儿对正置和倒置肢体的 PLD 运动光点没有注视上的差异。3个月的婴儿表现出对于正立条件下的注视偏好,并且注视时间随着年龄的增加而增长(Sifre et al., 2018)。这一系列研究结果说明,婴儿在出生后就表现出对于生物运动的偏好,而对于肢体动作的识别和偏好,可能直到生后3个月才逐渐表现出来。

从肢体内部的运动信息来看,Booth, Pinto 和 Bertenthal (2002)通过比较婴儿对于行走和奔跑的生物运动光点的偏好发现,3个月和5个月的婴儿对正常行走和各个关节运动不同步的生物运动光点进行观察时,都表现出注视时间的差异。3个月和5个月的婴儿能够区分正常的肢体动作和被破坏的肢体动作。3个月的婴儿在观察行走和奔跑的 PLD 时表现出注视时间上的差异,这可能反应了婴儿将行走和奔跑的 PLD 识别为不同物体的生物运动。而5个月的婴儿没有表现出对于两种运动模式的注视差异,则表明此时婴儿能够将两种运动模式识别为肢体的生物运动。5个月的婴儿能够从整体的角度加工肢体动作,正确理解不同肢体运动模式在运动过程中的对称性。而3个月的婴儿则从四肢的运动中去理解肢体动作,不能对肢体各部位之间的运动关系进行整体性加工,无法区分肢体的不同运动模式(Booth et al., 2002)。研究者进一步检验了婴儿是否能够将人体肢体动作的 PLD 识别为一个整体形态。把6个月的婴儿分为两组,分别观看正常的人类行走 PLD,和各个关节运动不同步的行走 PLD。当两组婴儿对材料达到足够的熟悉度时,在屏幕上呈现桌子,使正常行走的 PLD 和不同步的 PLD 从桌子后面走过。在测试阶段,则让 PLD 图像穿过桌子,

使得 PLD 被桌子分为两部分。结果发现,对正常行走 PLD 进行熟悉的被试组,当 PLD 图像穿过桌子时注视时间增加,能够觉察肢体动作作为一个固体穿过桌子被分开的异常。6个月的婴儿在识别人体生物运动光点时运用固体原则(principle of solidify, 即固体不能穿过另一固体),将人体运动的 PLD 作为一个整体形态进行识别(Moore, Goodwin, George, Axelsson, & Braddick, 2007)。从5~6个月婴儿对于肢体动作 PLD 识别的进一步研究来看,婴儿或许在3个月对于正立肢体的 PLD 表现出一定偏好后,对于肢体内部各个部位相对运动的识别,仍处于发展阶段,直到5个月时才能区分同一物体的不同运动模式。同时,6个月的婴儿对于肢体固体属性的理解进一步证明了他们能够将肢体动作理解为一类特殊信息,而不是视觉意义上的简单物理刺激。

婴儿在出生后第一年内对肢体动作的表征也得到了脑电方面的证实。对于2.5个月的婴儿来说,刺激呈现后350~550 ms,正置肢体动作比倒置肢体动作在顶叶区域诱发了更大的波幅(Reid, Kaduk, & Lunn, 2019)。在Marshall和Shipley (2009)等人的脑电研究中,发现了5个月的婴儿在外侧顶叶区域,乱序的肢体动作相比于正常肢体动作引发更正的波幅。8个月大的婴儿在观察正置的、正常行走的 PLD 时,在右侧顶叶200~300 ms的时间窗内发现了相比于倒置肢体更显著的激活。而观看违背生物可能性的 PLD 时,前额在200~350 ms的时间窗出现了更负的波幅,这一激活模式与成人相似(Reid, Hoehl, Landt, & Striano, 2008; Reid, Hoehl, & Striano, 2006)。婴儿在出生后的第一年,不同的肢体动作,能够引发不同的大脑反应,也进一步证明了婴儿注视偏好行为结果的可靠性。

如上文所述,婴儿在出生后就表现出对于生物运动信息的偏好,但对于人类肢体动作的识别直到生后3个月才表现出来,5个月时能识别肢体动作的不同运动模式。从已有的脑电结果来看,5个月和8个月的婴儿对于肢体动作识别的差异都表现在顶叶脑区,婴儿对于运动信息的识别激活了感知觉运动皮层。目前研究在2个月时没有发现婴儿对于肢体动作的表征,但2个月之前的研究较少。已有的对于出生后数天内的研究大多采用的不是肢体的生物运动刺激,不能揭示肢体动作的发展。部分研究者以此为依据,认为肢体动

作识别的发展遵循U型曲线规律,2个月是肢体动作表征能力的较弱时期,这一观点是不可靠的。同时,对于2个月肢体动作表征缺失的证据较少,仍需要大量的研究继续探讨。已有研究中缺乏感知觉运动皮层对于视觉皮层肢体加工起到促进作用的直接证据。

3 婴儿肢体表征发展机制的理论

个体在生命早期对于肢体的表征是如何发展的呢?与面孔表征早期发展的理论相似,部分研究者认为这种能力的发展来自早期经验的引导,也有研究者认为婴儿对于肢体表征的快速发展受益于先天的加工系统(Morton & Johnson, 1991)。

首先,一种观点认为,肢体形状和肢体动作表征的习得类似于一般认知能力的发展过程,更依赖于后天发展,发展时期较晚。这一观点的证据主要来源于Slaughter等人早期对于婴儿肢体形状表征能力的研究。他们主要采用自发偏好范式和熟悉-新异偏好范式,对9、12、15、18个月婴儿的肢体形状表征能力进行了探讨(Christie & Slaughter, 2010; Morita et al., 2012; Slaughter & Heron, 2004; Slaughter et al., 2002)。这些研究发现,婴儿对于肢体形状的识别在第一年有所发展,但在第二年才能表现出完整性。婴儿对于肢体形状的识别受到刺激物类型的影响,对于3D肢体的感知早于2D的肢体图片。因此Slaughter等人认为婴儿对于肢体形状表征以及肢体社会性信息的获得不同于面孔,更依赖后天的学习。肢体表征的能力是后天习得的一般认知能力的一部分,不同于面孔识别具有先天的优势(Morita et al., 2012; Slaughter & Heron, 2004)。但在他们的研究中刺激材料多采用的是男性肢体图片,而在婴儿出生后较多接触的是女性抚养者,对于女性相关的信息更为敏感。在Heron和Slaughter (2010)研究中,采用了真实的女性作为实验材料,提高了实验的生态效度,结果显示婴儿对于肢体形状表征的时间由12个月提前到9个月。早期实验中很有可能受到实验范式及实验材料的影响,对于婴儿肢体识别的月龄测定不够准确。因此,建立在早期研究基础上的,认为肢体信息表征类似于一般认知能力发展过程的观点并不可靠。

其次,另一种观点则认为,肢体表征的发展与面孔表征的发展类似,得益于先天优势,发展

较早,并在早期经验的修正下不断发展。在肢体结构的表征上,3.5个月的婴儿已经对肢体结构的一阶信息和二阶信息表现出敏感性,5个月的婴儿倾向于将肢体结构作为一个整体进行加工。在观察动态的肢体和其他物体PLD时,3~8个月的婴儿中存在脑电成分上的差异(Gliga & Dehaene-Lambertz, 2005; Marinović, Hoehl, & Pauen, 2014; Peykarjou, Wissner, & Pauen, 2015)。持肢体表征受益于先天优势观点的研究者认为,虽然婴儿在出生后肢体表征能力快速发展的机制尚不清楚,但受到已有理论的支持。肢体的早期表征中存在着从经验-期待机制(experience-expectant)向经验-依赖机制(experience-dependent)的转换。经验-期待机制指个体在出生时在某些脑区间就存在大量的突触联结,即一种先天的联结优势,在发展过程中,对于经常激活的脑区和联结进行加强,而激活较弱的进行突触修剪。经验-依赖机制则指个体出生后,通过后天经验形成新的联结(Greenough, Black, & Wallace, 1987)。Chang和Troje (2009)提出,新生儿对于生物运动中局部信息的敏感性可能受到经验-期待机制的驱动。经验-期待机制使得婴儿将注意力集中在生物运动上,从而保证学习关键期对于经验的获取。随着经验-依赖机制的发展,使婴儿在经验-期待机制阶段获得的对于局部信息的敏感过渡到对整体信息的上。这一过渡主要表现在2~4个月期间。肢体发展受早期先天优势影响的观点被较多的研究者认同。

如前文所述,肢体表征的发展与一般认知能力发展过程相似,发展较晚的证据来源于早期对于肢体形状的研究。而在现实生活中,对于肢体识别和表征,动作信息起到了不可替代的作用。将动作信息纳入肢体表征中考虑,发现了婴儿在生后3个月就表现出对于人类肢体生物运动信息的识别,支持了认为肢体表征具有先天优势的观点。同时,随着实验技术的发展,对于婴儿实验的控制更加严谨,在低月龄的婴儿中也发现了对于肢体形状的表征。对于婴儿肢体表征的发展,有待于在更为严谨的实验控制下,借用脑成像技术进一步探究其背后的脑机制。

4 总结及展望

肢体信息感知的发展最早可以追溯到婴儿出生后的第一年内。已有研究分别通过对肢体形状

和肢体动作的感知, 将肢体的结构信息和运动信息分离出来进行考察。对肢体形状进行研究的结果来看, 婴儿对肢体结构一阶信息和二阶信息的表征尚没有得到一致结论, 部分研究者认为, 婴儿在 3.5 个月时对于肢体形状进行表征, 而另一部分研究者则认为婴儿在 9 个月时对于肢体形状进行表征。研究者在这一问题上的不同结果, 受到实验材料性质以及实验范式等因素的影响。从对于肢体动作的研究来看, 较少的研究者在出生后几天大的婴儿中发现了生物运动的先天优势, 并且认为这一优势一直持续到出生后 2 个月, 出生后的第三个月婴儿建立了对于肢体动作的表征。不同月龄婴儿对肢体的表征程度, 也引发了研究者对肢体表征类似于一般认知能力, 还是类似于面孔发展机制的讨论。未来研究仍需对以下几个方面进行考察。

首先, 婴儿对于肢体表征的发展关键期仍需进一步确认。在已有研究中对于肢体结构和肢体运动信息表征的习得过程, 虽然从一阶信息、二阶信息, 肢体动作的局部信息和整体信息的角度上进行了探讨, 但不同的实验范式, 和材料处理方式没有完整的揭示这一表征过程。仍需要通过统一的实验范式, 在肢体各部位信息的严格控制下, 对于出生后一年内婴儿肢体表征的发展过程进行交叉研究。对于发展关键期的探讨, 可以从不同月龄婴儿的刺激偏好差异入手。已有研究发现不同年龄阶段的婴儿, 表现出偏好的条件不同。例如, 12 个月和 18 个月的婴儿表现出对乱序肢体的偏好。而 9 个月的婴儿在观察二阶信息被破坏的肢体时, 则倾向于表现出对于正常肢体的偏好, 5 个月的婴儿也同样表现出对于性别匹配条件的偏好(Hock et al., 2015)。这可能揭示了婴儿习得肢体知识的各个阶段。在经验-期待机制下, 婴儿对于熟悉物体表现出注意偏好。在经验-依赖机制下, 婴儿对乱序肢体的注视偏好, 可能反映了新异的有关知识再学习的过程。在不同月龄婴儿中, 对于刺激偏好差异的探讨, 或许可以揭示婴儿肢体表征习得的发展阶段。

其次, 先天优势的作用方式仍需进一步明确。虽然婴儿在出生后表现出对于生物运动信息的偏好, 但直到 3 个月才发现对于人类肢体生物运动的偏好。在 4 个月和 6 个月的婴儿视觉皮层中发现了与成人相似的对于面孔和风景的大脑反

应, 而没有发现肢体在这一皮层中与成人相似的脑活动(Deen et al., 2017)。这在一定程度上说明了肢体视觉区的反应确实晚于面孔和其他物体的发展, 对于肢体的表征可能更多的来自于感知觉皮层的先天优势(Bottari et al., 2015)。并且已有研究比较了婴儿对肢体形状与肢体动作的熟悉新异偏好, 发现具有生物运动信息的图像能够促进婴儿对于肢体的识别, 动作信息会促进婴儿对于肢体形状的识别(Christie & Slaughter, 2010)。发生在感知觉运动皮层的生物运动信息的偏好, 或许在生命早期帮助婴儿获得肢体社会经验, 促进肢体视觉区的发展(Longhi et al., 2015)。而这种先天优势是如何作用于肢体识别的过程, 以及该优势发展的关键期尚不明确。对于这一关键期的确认不仅能够揭示婴儿肢体表征的发展, 也能够反映经验-期待机制向经验-依赖机制转换的发展阶段。结合认知神经科学技术的发展, 未来对于肢体表征的发展性研究, 可以进一步集中在感知觉运动皮层, 探讨婴儿大脑对于肢体动作的反应以及感知觉皮层和视觉皮层的相互联结。

参考文献

- 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.
- 张珂烨, 张明明, 刘田田, 罗文波, 何蔚祺. (2019). 肢体识别的倒置效应. *心理科学进展*, 27(1), 27-36.
- Alexander, G. M., Hawkins, L. B., Wilcox, T., & Hirshkowitz, A. (2016). Infants prefer female body phenotypes; Infant girls prefer they have an hourglass shape. *Frontiers in Psychology*, 7, 804.
- Aviezer, H., Trope, Y., & Todorov, A. (2012). Body cues, not facial expressions, discriminate between intense positive and negative emotions. *Science*, 338(6111), 1225.
- Axelsson, E. L., Moore, D. G., Murphy, E. M., Goodwin, J. E., & Clifford, B. R. (2018). The role of bodies in infants' categorical representations of humans and non-human animals. *Infant and Child Development*, 27(6).
- Bachmann, J., Munzert, J., & Krüger, B. (2018). Neural underpinnings of the perception of emotional states derived from biological human motion: A review of neuroimaging research. *Frontiers in Psychology*, 9, 1763.
- Bardi, L., Regolin, L., & Simion, F. (2011). Biological motion preference in humans at birth: Role of dynamic and configural properties. *Developmental Science*, 14(2), 353-359.
- Bertenthal, B. I., Proffitt, D. R., & Cutting, J. E. (1984).

- Infant sensitivity to figural coherence in biomechanical motions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 37(2), 213–230.
- Bertenthal, B. I., Proffitt, D. R., & Kramer, S. J. (1987). Perception of biomechanical motions by infants: implementation of various processing constraints. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(4), 577–585.
- Bhatt, R. S., Hock, A., White, H., Jubran, R., & Galati, A. (2016). The development of body structure knowledge in infancy. *Child Development Perspectives*, 10(1), 45–52.
- Bidet-Ildei, C., Kitromilides, E., Orliaguet, J.-P., Pavlova, M., & Gentaz, E. (2014). Preference for point-light human biological motion in newborns: Contribution of translational displacement. *Developmental Psychology*, 50(1), 113–120.
- Blake, R. (1993). Cats perceive biological motion. *Psychological Science*, 4(1), 54–57.
- Booth, A. E., Pinto, J., & Bertenthal, B. I. (2002). Perception of the symmetrical patterning of human gait by infants. *Developmental Psychology*, 38(4), 554–563.
- Bottari, D., Troje, N. F., Ley, P., Hense, M., Kekunnaya, R., & Röder, B. (2015). The neural development of the biological motion processing system does not rely on early visual input. *Cortex*, 71, 359–367.
- Chang, D. H. F., Ban, H., Ikegaya, Y., Fujita, I., & Troje, N. F. (2018). Cortical and subcortical responses to biological motion. *Neuroimage*, 174, 87–96.
- Chang, D. H. F., & Troje, N. F. (2009). Characterizing global and local mechanisms in biological motion perception. *Journal of Vision*, 9(5), 8 1–10.
- Christie, T., & Slaughter, V. (2010). Movement contributes to infants' recognition of the human form. *Cognition*, 114(3), 329–337.
- de Gelder, B., de Borst, A. W., & Watson, R. (2015). The perception of emotion in body expressions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(2), 149–158.
- Deen, B., Richardson, H., Dilks, D. D., Takahashi, A., Keil, B., Wald, L. L., ... Saxe, R. (2017). Organization of high-level visual cortex in human infants. *Nature Communications*, 8, 13995.
- di Giorgio, E., Loveland, J. L., Mayer, U., Rosa-Salva, O., Versace, E., & Vallortigara, G. (2017). Filial responses as predisposed and learned preferences: Early attachment in chicks and babies. *Behavioural Brain Research*, 325, 90–104.
- Fox, R., & McDaniel, C. (1982). The perception of biological motion by human infants. *Science*, 218(4571), 486–487.
- Gliga, T., & Dehaene-Lambertz, G. (2005). Structural encoding of body and face in human infants and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(8), 1328–1340.
- Greenough, W. T., Black, J. E., & Wallace, C. S. (1987). Experience and brain development. *Child Development*, 58(3), 539–559.
- Harris, A., Vyas, D. B., & Reed, C. L. (2016). Holistic processing for bodies and body parts: New evidence from stereoscopic depth manipulations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(5), 1513–1519.
- Heron-Delaney, M., Wirth, S., & Pascalis, O. (2011). Infants' knowledge of their own species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 366(1571), 1753–1763.
- Heron, M., & Slaughter, V. (2010). Infants' responses to real humans and representations of humans. *International Journal of Behavioral Development*, 34(1), 34–45.
- Hock, A., Kangas, A., Zieber, N., & Bhatt, R. S. (2015). The development of sex category representation in infancy: Matching of faces and bodies. *Developmental Psychology*, 51(3), 346–352.
- Hock, A., White, H., Jubran, R., & Bhatt, R. S. (2016). The whole picture: Holistic body posture recognition in infancy. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(2), 426–431.
- Israelashvili, J., Hassin, R. R., & Aviezer, H. (2018). When emotions run high: A critical role for context in the unfolding of dynamic, real-life facial affect. *Emotion*, in press.
- Johansson, G. (1973). Visual-perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14(2), 201–211.
- Kirby, L. A., Moraczewski, D., Warnell, K., Velnoskey, K., & Redcay, E. (2018). Social network size relates to developmental neural sensitivity to biological motion. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30, 169–177.
- Longhi, E., Senna, I., Bolognini, N., Bulf, H., Tagliabue, P., Cassia, V. M., & Turati, C. (2015). Discrimination of biomechanically possible and impossible hand movements at birth. *Child Development*, 86(2), 632–641.
- Lorenzi, E., Mayer, U., Rosa-Salva, O., & Vallortigara, G. (2017). Dynamic features of animate motion activate septal and preoptic areas in visually naïve chicks (*Gallus gallus*). *Neuroscience*, 354, 54–68.
- Marinović, V., Hoehl, S., & Pauen, S. (2014). Neural correlates of human-animal distinction: An ERP-study on early categorical differentiation with 4- and 7-month-old infants and adults. *Neuropsychologia*, 60, 60–76.
- Marshall, P. J., & Meltzoff, A. N. (2015). Body maps in the infant brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(9), 499–505.
- Marshall, P. J., & Shipley, T. F. (2009). Event-related potentials to point-light displays of human actions in five-month-old infants. *Developmental Neuropsychology*, 34(3), 368–377.

- Maurer, D., Le Grand, R., & Mondloch, C. J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(6), 255–260.
- Moore, D. G., Goodwin, J. E., George, R., Axelsson, E. L., & Braddick, F. M. B. (2007). Infants perceive human point-light displays as solid forms. *Cognition*, 104(2), 377–396.
- Morita, T., Slaughter, V., Katayama, N., Kitazaki, M., Kakigi, R., & Itakura, S. (2012). Infant and adult perceptions of possible and impossible body movements: An eye-tracking study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(3), 401–414.
- Morton, J., & Johnson, M. H. (1991). Conspic and conlern: A 2-process theory of infant face recognition. *Psychological Review*, 98(2), 164–181.
- Peelen, M. V., & Downing, P. E. (2007). The neural basis of visual body perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(8), 636–648.
- Peelen, M. V., Glaser, B., Vuilleumier, P., & Eliez, S. (2009). Differential development of selectivity for faces and bodies in the fusiform gyrus. *Developmental Science*, 12(6), F16–F25.
- Peykarjou, S., Wissner, J., & Pauen, S. (2015). Categorical ERP repetition effects for human and furniture items in 7-month-old infants. *Infant and Child Development*, 26(5), 1–12.
- Reed, C. L., Stone, V. E., Bozova, S., & Tanaka, J. (2003). The body-inversion effect. *Psychological Science*, 14(4), 302–308.
- Reed, C. L., Stone, V. E., Grubb, J. D., & McGoldrick, J. E. (2006). Turning configural processing upside down: Part and whole body postures. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(1), 73–87.
- Reid, V. M., Hoehl, S., Landt, J., & Striano, T. (2008). Human infants dissociate structural and dynamic information in biological motion: Evidence from neural systems. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(2), 161–167.
- Reid, V. M., Hoehl, S., & Striano, T. (2006). The perception of biological motion by infants: An event-related potential study. *Neuroscience Letters*, 395(3), 211–214.
- Reid, V. M., Kaduk, K., & Lunn, J. (2019). Links between action perception and action production in 10-week-old infants. *Neuropsychologia*, 126, 69–74.
- Seitz, K. (2002). Parts and wholes in person recognition: Developmental trends. *Journal of Experimental Child Psychology*, 82(4), 367–381.
- Shi, Y., Ma, X., Ma, Z., Wang, J., Yao, N., Gu, Q., ... Gao, Z. (2018). Using a kinect sensor to acquire biological motion: Toolbox and evaluation. *Behavior Research Methods*, 50(2), 518–529.
- Sifre, R., Olson, L., Gillespie, S., Klin, A., Jones, W., & Shultz, S. (2018). A longitudinal investigation of preferential attention to biological motion in 2- to 24-month-old infants. *Scientific Reports*, 8(1), 2527.
- Simion, F., Regolin, L., & Bulf, H. (2008). A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(2), 809–813.
- Slaughter, V., & Heron, M. (2004). Origins and early development of human body knowledge. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 69(2), 1–102.
- Slaughter, V., Heron, M., & Sim, S. (2002). Development of preferences for the human body shape in infancy. *Cognition*, 85(3), B71–B81.
- Stekelenburg, J. J., & de Gelder, B. (2004). The neural correlates of perceiving human bodies: An ERP study on the body-inversion effect. *Neuroreport*, 15(5), 777–780.
- Taylor, J. C., Wiggett, A. J., & Downing, P. E. (2007). Functional MRI analysis of body and body part representations in the extrastriate and fusiform body areas. *Journal of Neurophysiology*, 98(3), 1626–1633.
- Wenzler, S., Levine, S., van Dick, R., Oertel-Knöchel, V., & Aviezer, H. (2016). Beyond pleasure and pain: Facial expression ambiguity in adults and children during intense situations. *Emotion*, 16(6), 807–814.
- White, H., Hock, A., Jubran, R., Heck, A., & Bhatt, R. S. (2018). Visual scanning of male and female bodies in infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 79–95.
- White, H., Jubran, R., Heck, A., Chroust, A., & Bhatt, R. S. (2019). Sex-specific scanning in infancy: Developmental changes in the use of face/head and body information. *Journal of Experimental Child Psychology*, 182, 126–143.
- Zieber, N., Bhatt, R. S., Hayden, A., Kangas, A., Collins, R., & Bada, H. (2010). Body representation in the first year of life. *Infancy*, 15(5), 534–544.
- Zieber, N., Kangas, A., Hock, A., & Bhatt, R. S. (2015). Body structure perception in infancy. *Infancy*, 20(1), 1–17.

Early development of the body shape and body movement in infancy

DU Bixuan; ZHANG Mingming; ZHANG Keye; REN Jie; HE Weiqi

(Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: The body contains rich social information. Studying the body representation's development in the early stage is significant for revealing body representation's specific mechanism and further understanding the infants' social development. Through looking at the theories about the body shape and the body movement, we summarize the representation patterns of the infant's body structure information and movement information. At the same time, the article describes two theories on the infant's body representation development. Future researches should pay more attention to explain the specific development process and the controversial critical period of body representation in infancy. Moreover, the mechanism of biological motion preference on body representation should be explored through using the brain imaging technology.

Key words: infancy; body representation; body shape; body movement; configural processing