

• 主编特邀(Editor-In-Chief Invited) •

编者按:

知觉过程中对整体信息的加工与对局部信息的加工之间的交互作用是心理学的经典问题。中国科学院心理研究所“百人计划”的入选者——蒋毅博士和他的学生王莉在这篇综述中系统地总结了有关生物运动加工特异性的研究工作,重点放在了对局部运动信息加工的机能和相应的机制上。对局部运动的加工一方面影响了对整体结构信息的加工,另一方面也对特异性生物信息的表征有着显著的贡献并影响视觉搜索任务,尤其在处理观察者所不熟悉的局部生物运动信息方面有重要的生态学意义。有关针对局部生物运动信息特异性的探索还是一个新的研究领域,本期刊希望这篇综述能引起相关领域研究者的关注,以进一步推动对视觉加工特异性的机制以及生物运动加工机制的研究。

(本文责任编辑:李量)

生物运动加工特异性:整体结构和局部运动的作用*

蒋毅¹ 王莉^{1,2}

(¹中国科学院心理研究所心理健康重点实验室,北京 100101)

(²中国科学院研究生院,北京 100039)

摘要 人类具有很强的识别生物体运动信息的能力,甚至当运动信息仅是由附着在头部和一些重要关节上的光点的运动组成时,观察者对该信息检测和编码的优势依然存在。光点生物运动信息包含整体信息(如整体形状)和局部信息(如各个点的运动轨迹)。先前的绝大部分研究强调整体形状在生物运动知觉中的作用。最近有研究表明去除了整体结构信息的局部生物运动仍然存在加工优势,揭示了局部生物运动本身可能包含了一些特异性信息。因此生物运动知觉并非单一现象,而是一种具有不同加工机制(基于整体结构和基于局部运动)的多水平现象。

关键词 生物运动;倒置效应;整体结构;局部运动

分类号 B842

1 引言

人类是天生的社会性动物,需要与人交往,以满足各种需求。能够迅速而准确地识别其他个体,理解其行为和意图,是实现这些社会活动的前提。面孔作为人类最显著的外部特征,能提供给我们丰富的社会信息,如身份、性别、年龄、表情、种族

等,用于有效地处理错综复杂的社会情形,从而有助于社会交往以及环境适应。然而,当相隔一定的距离或处在某一特定的身体方位时,面孔的觉察就会变得相当困难,此时人体运动就成为提供社会信息的主要线索。运动特征具有静态形状特征无法比拟的优势,它易于观察,难以伪装,受环境影响小,可在远距离或恶劣的能见度下从任意角度提取,而形状特征在此情况下往往变得模糊不清。心理学研究表明当运动信息仅仅是由附着在头部和一些重要关节上的光点的运动组成时,即去除了面孔、身体等这些人们所熟悉的形状线索后,观察者仍然可以识别并从中提取很多有用的信息。更有甚者,当打散光点的整体结构,只保留各个点的运动轨迹时,

收稿日期:2010-12-30

* 中国科学院心理研究所“百人计划”启动基金(09CX202020)、中国科学院知识创新工程(KSCX2-YW-R-248)和国家自然科学基金项目(31070903)资助。

通讯作者:蒋毅, E-mail: yijiang@psych.ac.cn

这种不存在任何人体形状特征的局部光点运动仍可表征一定的生物体状态信息。

由于面孔和生物运动对人类活动的重要性,在漫长的进化过程中,人类视觉系统逐渐获得了对面孔以及生物运动不同于普通客体的加工能力。有关面孔加工的研究一直是认知神经科学的热点,备受国内外研究者的关注。相对而言,生物运动信息,尤其是去除整体形状的局部生物运动信息,并没有得到广泛而深入的研究。

2 生物运动知觉

2.1 简介

生物运动 (biological motion)指的是生物体(人类和动物)在空间上的整体性移动行为,如步行、奔跑等。在日常生活中,我们所观测到的生

物体的运动往往与其外形特征(身体形状)联系在一起。上个世纪70年代瑞士心理学家 Johansson 利用光点动画技术 (point-light animations)非常巧妙地将生物体运动模式从形状特征中分离出来,开启了在实验室中使用光点运动序列研究人体运动的先河(Johansson, 1973)。他通过在人体的一些重要关节处(如肩、肘、踝等)贴上信号灯来拍摄记录人的运动过程中这些关节的运动轨迹,由此得到光点动画(一些白色的点在黑色背景上运动),观察者仅仅通过这些动画就可以识别出人的运动。随后的研究者通过计算机合成(Cutting, 1978)或三维运动捕获系统(Ma, Paterson, & Pollick, 2006; Vanrie & Verfaillie, 2004)来改进光点动画技术。光点运动序列由此成为一种非常有效的研究生物运动知觉的工具(见图1左侧)。

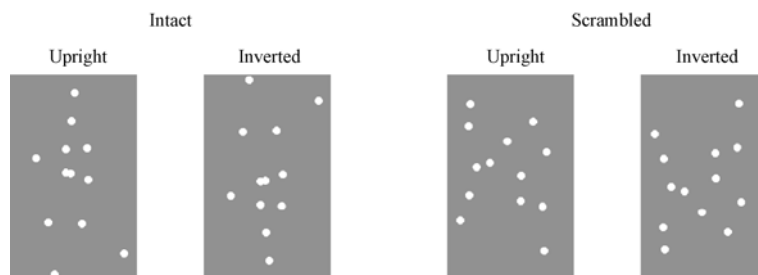


图1 生物运动刺激示意图。

左侧为完整的生物运动(正立的和倒立的),右侧为空间位置打乱的生物运动(正立的和倒立的)。

进一步的研究发现,虽然去除了人们所熟悉的形状信息,这种抽象的光点运动刺激不仅包含动作信息(Dittrich, 1993; Norman, Payton, Long, & Hawkes, 2004),还能和面孔一样提供一定的社会信息,如身份(Cutting & Kozlowski, 1977; Fani, Prasad, Harber, & Shiffrar, 2005; Troje, Westhoff, & Lavrov, 2005)、性别(Barclay, Cutting, & Kozlowski, 1978; Kozlowski & Cutting, 1977, 1978; Mather & Murdoch, 1994; Sumi, 2000; Troje, 2002)和情绪状态等(Clarke, Bradshaw, Field, Hampson, & Rose, 2005; Dittrich, Troscianko, Lea, & Morgan, 1996; Pollick, Kay, Heim, & Stringer, 2005; Walk & Homan, 1984)。此外,这种生物运动知觉能力并不仅仅局限于人体运动,人们同样可以识别其他动物的光点运动刺激(Mather & West, 1993)。大量研究表明人很擅长于识别光点运动刺激,当刺激

呈现时间短于100ms (Johansson, 1973),将光点模糊化或不断地改变其对比度(Ahlström, Blake, & Ahlström, 1997),或把光点运动序列置于一堆噪音点中(Aaen-Stockdale, Thompson, Hess, & Troje, 2008; Bertenthal & Pinto, 1994; Cutting, Moore, & Morrison, 1988; Ikeda, Blake, & Watanabe, 2005; Neri, Morrone, & Burr, 1998; Thurman & Grossman, 2008),观察者仍然有着很好的识别能力。此外,当光点步行者(point-light walker)呈现在外周视野时,观察者可以提取其方向性信息(Thompson, Hansen, Hess, & Troje, 2007),在被告知忽略外周视野刺激的情况下,仍可以影响观察者对呈现在中央视野的光点步行者走动方向的知觉(Thornton & Vuong, 2004)。我们近期的一项研究表明光点步行者的行走方向能得到自动加工并可以调节观察者的注意转移(Shi, Weng, He, & Jiang, 2010)。

2.2 发展研究

生物运动的特殊知觉能力在人类生命早期已有所表现。4个月的婴儿就已经能够分辨出生物运动光点运动序列和随机点运动序列的差别,并更喜欢注视生物运动光点运动刺激(Bertenthal, 1993; Bertenthal, Proffitt, & Cutting, 1984; Fox & McDaniel, 1982)。近期研究表明这种生物运动偏好现象在出生两天的婴儿中即已存在(Simion, Regolin, & Bulf, 2008)。此外,研究者在动物身上也发现了类似的知觉偏好现象,如刚刚出生的没有任何视觉经验的小鸡会偏好生物运动刺激(Vallortigara, Regolin, & Marconato, 2005),说明生物运动偏好是一个跨种系存在的普遍现象。除了知觉偏好现象外,生物运动表征的信息在生命早期也能得到加工。3个月的婴儿就能区别光点运动刺激的动作类型,如行走和奔跑(Booth, Pinto, & Bertenthal, 2002)。6个月的婴儿已经能区分出光点步行者的行走方向(Kuhlmeier, Troje, & Lee, 2010)。刚出生的小鸡能对光点运动序列的方向进行反应,即能摇摆自己的身体使之与生物运动刺激的方向相一致(Vallortigara & Regolin, 2006)。当呈现的光点运动刺激作出具有社会意义的熟悉动作时(转向某一方向,观察感兴趣的目标),12个月的婴儿能自发地追随该动作的方向(Yoon & Johnson, 2009)。虽然儿童对生物运动具有特殊的敏感性,但他们对生物运动的知觉能力还没有完全达到成人的水平(Bertenthal, 1993; Pinto, 2006)。在辨别人体和动物光点运动序列时,3到5岁的孩子的成绩随着年龄的增长而增长,到5岁时已达到成人水平(Pavlova, Krageloh-Mann, Sokolov, & Birbaumer, 2001)。

此外,在发展的另一端即老年观察者仍然保持着良好的生物运动知觉能力。年龄大于60岁的观察者,在一般运动知觉能力受损的情况下(Gilmore, Wenk, Naylor, & Stuve, 1992; Sekuler, Hutman, & Owsley, 1980),仍能很好地分辨出光点运动序列的动作类型,并且与年轻观察者的成绩相比没有本质上的区别(Norman et al., 2004)。

2.3 神经水平研究

生物运动加工系统究竟如何组织使得人类具有如此复杂、高效的识别技能。近年来,研究者采用多种认知神经科学技术探究生物运动知觉的神经基础,表明对生物运动的加工存在特定的

神经机制。来自猴子大脑单细胞记录的研究发现,在猴子的颞上沟(Superior Temporal Sulcus, STS)存在对生物运动特异反应的神经细胞(Perrett et al., 1985)。有关人类生物运动加工系统特异性的较早的证据来自于脑损伤病人所表现出的生物运动和一般运动识别任务上的双重分离(Battelli, Cavanagh, & Thornton, 2003; Cowey & Vaina, 2000; McLeod, 1996; Schenk & Zihl, 1997; Vaina, Lemay, Bienfang, Choi, & Nakayama, 1990)。如运动盲视的病人能够识别生物运动(McLeod, 1996; Vaina et al., 1990)。另外一方面,具有完整的运动知觉能力的病人却不能知觉生物运动(Schenk & Zihl, 1997)(需要指出的是该研究不能区别观察到的受损现象只针对于生物运动还是反应了一般的从运动提取结构的障碍)。

更直接的证据来自于用PET和fMRI等脑成像技术所进行的研究。光点运动序列与打乱的运动序列(将光点的起始位置随机化,保持每个点的运动轨迹不变)相比,能更大程度地激活颞上沟后部(pSTS)(Bonda, Petrides, Ostry, & Evans, 1996; Grossman et al., 2000),并且颞上沟后部对生物运动的特定反应主要表现在大脑右半区域(Beauchamp, Lee, Haxby, & Martin, 2003; Grossman et al., 2000; Peuskens, Vanrie, Verfaillie, & Orban, 2005; Santi, Servos, Vatikiotis-Bateson, Kuratate, & Munhall, 2003)。值得注意的是,除身体运动外,眼动、唇读以及一些简单的动作同样能更大程度地激活颞上沟后部(Calvert et al., 1997; Puce, Allison, Bentin, Gore, & McCarthy, 1998; Puce & Perrett, 2003)。随后的研究采用经颅磁刺激(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)技术短暂抑制颞上沟后部的神经活动,发现观察者识别光点运动的能力受到严重损害(Grossman, Battelli, & Leone, 2005)。此外,脑电研究表明完整光点运动序列与打乱的运动序列相比能更大程度地诱发N240,同样存在右侧偏侧化效应(Hirai, Fukushima, & Hiraki, 2003),并且8个月的婴儿就已经表现出和成人类似的反应模式(Hirai & Hiraki, 2005)。

颞上沟结构异常、功能缺陷的自闭症患者(Waiter et al., 2004; Zilbovicius et al., 2006)表现出对生物运动刺激识别困难(Blake, Turner, Smoski, Pozdol, & Stone, 2003; Kaiser & Shiffrar, 2009)。fMRI研究表明自闭症组和控制组在完成识别生

物运动任务时颞上沟后部的活动存在显著差异(Freitag et al., 2008)。此外,自闭症的幼儿也没有如正常幼儿一样表现出生物运动偏好(Klin & Jones, 2008; Klin, Lin, Gorrindo, Ramsay, & Jones, 2009)。另一社会功能损害人群精神分裂症患者同样存在生物运动信息加工障碍(Kim, Doop, Blake, & Park, 2005)。

3 生物运动信息加工机制

3.1 整体形状的作用

光点运动序列包含了整体性信息(各个点之间的空间位置关系)和局部性信息(各个点的运动轨迹)。每个光点都能提供一部分的身体位置信息,将各个点的位置信息整合起来便产生身体形状信息,另外,每个点的运动能提供局部运动信息,如速度和运动轨迹等。生物运动知觉将涉及不同神经通路的形状知觉和运动知觉联系在一起,形状分析发生在腹侧通路而对运动信息的加工则发生在背侧通路(Ungerleider & Mishkin, 1982)。生物运动的特定加工区域颞上沟后部(pSTS)则同时接收来自这两个神经通路的信号(Grossman et al., 2000)。背侧通路运动加工区域受损的病人仍然能知觉生物运动(McLeod, 1996; Vaina et al., 1990),表明生物运动的加工并不完全依赖于运动信息。

研究者将光点运动序列置于一堆噪音点中,当噪音点的运动与生物运动的局部运动完全一致时,观察者仍然能知觉到生物运动,强调了形状知觉的作用(Bertenthal & Pinto, 1994; Pinto & Shiffrar, 1999; Shiffrar et al., 1997)。确实当破坏部分形状信息时(局部运动信息保持不变),观察者检测生物运动的成绩下降(Shiffrar et al., 1997)。另外有研究认为我们对生物运动的识别来自于对动态的形状信息的知觉,而与局部运动信息无关(Beintema, Georg, & Lappe, 2006; Beintema & Lappe, 2002; Lange, Georg, & Lappe, 2006; Lange & Lappe, 2006)。为了分离空间位置信息和局部运动信息,Beintema和Lappe(2002)采用有限时程技术(limited lifetime technique),设计了一种光点运动序列的变式。标准的生物运动刺激由固定在关节上的光点的运动组成,包含了点在身体上的位置信息以及点的运动轨迹,局部运动信息来自于接连出现的两帧图片中光点的似动。光点运动序列变式则由出现在四肢上即关节

之间任一位置的光点组成,和标准生物运动序列不一样的是光点的位置不再固定在身体的某一位置,而是在每一帧中均改变每个光点在关节之间的呈现位置,这样每个点的运动轨迹即局部运动信息被完全破坏,而每一帧图片均包含静止的形状信息,即人体形状信息仍然保留。研究发现观察者可以从这种去除局部运动信息的生物运动序列中很好地识别出人走动的方向,并且观察者的识别成绩与呈现的光点数量有关(光点数量越多,则提供的人体形状信息越多),而与光点在相同位置上的持续时间无关(光点在相同位置上持续的时间越长则提供的局部生物运动信息越多),进一步说明生物运动知觉并不依赖于局部运动信息(Beintema et al., 2006)。这些研究结果和模板匹配模型相一致(Lange et al., 2006; Lange & Lappe, 2006)。在该模型中每一帧中的光点位置与人体形状模板相匹配,人体运动可以通过这些由点的位置表征的人体形状信息的累积来识别。

3.2 局部运动的作用

光点运动序列静止的时候,不知情的观察者就只能看到一堆无意义的点,只有当点运动的时候,才能知觉到人的运动。运动在光点运动序列知觉中的作用被认为是帮助恢复整体人形结构,即从运动中提取结构信息(Hoffman & Flinchbaugh, 1982; Johansson, 1973; Webb & Aggarwal, 1982)。对于提取结构信息的过程是否需要局部运动信息存在争议(Beintema et al., 2006; Beintema & Lappe, 2002; Gavrilu, 1999; Lange et al., 2006; Lange & Lappe, 2006; Neri et al., 1998)。有研究者认为局部运动能够帮助恢复部分身体形状及其关节(Gavrilu, 1999),也有研究表明提取结构信息不依赖于局部运动信息(Beintema et al., 2006; Beintema & Lappe, 2002; Lange et al., 2006; Lange & Lappe, 2006)。无论哪一种观点都是为了解释视觉系统如何恢复整体结构以及局部运动信息在这一过程中所起的作用。

早期的噪音点掩蔽实验强调了局部运动信息的重要性。研究者考察不同的掩蔽刺激对生物运动识别的影响,结果发现当掩蔽刺激包含局部运动信息时,即采用打乱的生物运动光点运动序列,识别任务受到损害的程度最大(Bertenthal & Pinto, 1994; Cutting et al., 1988; Hiris, Humphrey, & Stout, 2005)。有研究者操纵光点序列的每一帧

之间的时间间隔(inter-frame interval)以及间隔帧数(frame increment), 发现随着时间间隔以及间隔帧数的增加, 观察者知觉生物运动的能力受到损害(Mather, Radford, & West, 1992)。在实验1中每次呈现的生物运动序列共包含20帧图片, 每帧图片呈现时间为40ms, 两帧图片之间的时间间隔为0ms, 60ms或120ms, 实验结果表明只有当时间间隔为0ms时, 观察者才可以很好地识别生物运动刺激。实验2呈现的生物运动序列的两帧图片之间的时间间隔为12ms, 48ms或120ms, 间隔帧数为一帧(即连续呈现, 和实验1一样), 两帧(呈现的是第一帧图片和第三帧图片)或四帧(呈现的是第一帧图片和第五帧图片), 结果表明在每帧之间的时间间隔为12ms以及间隔帧数为一帧的情况下, 观察者完成方向判断任务的成绩最好。增加每帧图片之间的时间间隔以及间隔帧数破坏了局部运动信息即各个点的运动轨迹的加工, 而整体形状信息的加工则不受影响, 可见局部运动信息对生物运动的加工也有很重要的作用。由于以上研究都是将生物运动刺激置于噪音点中, 局部运动的作用很有可能仅仅是将生物运动刺激从背景噪音点中分离出来。

4 倒置效应

4.1 基于整体形状的倒置效应

生物运动知觉的一个重要特征是将光点运动序列垂直旋转180度以后, 观察者对它的加工能力严重受损(Ikeda et al., 2005; Pavlova & Sokolov, 2000; Sumi, 1984)。具体表现为生物运动刺激被倒置后各种任务成绩显著下降, 如目标检测(Bertenthal & Pinto, 1994; Pavlova & Sokolov, 2000; Troje, 2003), 动作识别(Dittrich, 1993; Shipley, 2003), 方向辨别(Bertenthal & Pinto, 1994), 以及性别判断(Barclay et al., 1978)等。倒立的生物运动刺激不能像正立刺激一样自动地指引观察者的注意(Shi et al., 2010)。此外当生物运动刺激被倒置之后出现在生命早期的生物运动偏好效应也随之消失(Bertenthal, 1993; Fox & McDaniel, 1982; Simion et al., 2008; Vallortigara & Regolin, 2006)。颞上沟后部对正立刺激的反应显著强于倒立刺激(Grossman & Blake, 2001), 并且当TMS短暂抑制颞上沟后部时, 与正立刺激不同的是, 观察者对倒立刺激的反应不受其影响

(Grossman et al., 2005)。正立的生物运动刺激与倒立刺激相比能在右侧顶叶后部诱发更大的200ms至300ms之间的负波(Reid, Hoehl, & Striano, 2006)。

生物运动知觉的这种倒置效应(inversion effect)与面孔知觉中观察到的现象类似。早在上个世纪70年代就有研究者发现面孔加工受倒置的损害程度比其他种类客体严重(Yin, 1969), 由此提出面孔特异性的假说。对此现象的主流解释认为, 与其他非面孔客体相比, 面孔的加工是一种基于整体性的加工, 依赖于各个器官之间的空间位置关系, 倒置正是破坏了对这种相对位置关系的加工(Farah, Tanaka, & Drain, 1995)。后续的研究也表明倒置只是破坏了面孔的整体性信息, 对局部的特征信息没有显著影响(Freire, Lee, & Symons, 2000; Leder & Bruce, 2000; Mondloch, Le Grand, & Maurer, 2002)。类似的机制可以用来解释生物运动的倒置效应。和面孔研究一样, 绝大多数研究者认为生物运动的倒置效应来自于整体结构信息, 即各个点之间的空间位置关系的破坏(Bertenthal & Pinto, 1994; Dittrich, 1993; Proffitt & Bertenthal, 1990; Reed, Stone, Bozova, & Tanaka, 2003; Shiffrar et al., 1997)。研究者用打乱的光点运动序列(光点的起始位置随机化, 各个点的运动轨迹保持不变)来掩蔽生物运动的局部运动信息, 在这样的情况下倒置效应依然存在, 支持了整体加工的观点, 同时也强调了整体结构信息在生物运动知觉中的作用(Bertenthal & Pinto, 1994; Shiffrar et al., 1997)。

4.2 基于局部运动的倒置效应

如果生物运动倒置效应仅仅和整体信息的加工有关的话, 那么将整体结构信息破坏时则不会存在倒置效应。最近有研究者发现了与整体结构信息无关的倒置效应, 提供了生物运动倒置效应的另一种解释(Troje & Westhoff, 2006)。他们采用打乱的生物运动序列(scrambled biological motion sequence), 即将完整生物运动序列的光点的起始位置随机化, 保持各个点的运动轨迹不变, 这样的运动序列破坏了整体结构信息而保留了局部运动信息(见图1右侧)。观察者仍可以通过这种局部生物运动序列分辨出人的行走方向, 而将该运动序列倒置时, 观察者就不能分辨出行走方向。当研究者仅仅把打乱的生物运动序列中代表

脚的两个点即踝关节处的点倒置时,观察者同样不能分辨出行走方向。由此可知,脚部的运动在局部运动倒置效应中起了非常关键的作用。随后的研究将代表脚的两个点(踝关节处的点)从完整光点生物运动序列中分离出来,当脚部运动序列只呈现 100ms,甚至出现在外周视野时,观察者还是能分辨出人行走的方向,而倒置时则分辨任务受到损害(Chang & Troje, 2009; Gurnsey, Roddy, & Troje, 2010)。脚部运动序列中的其中一个点水平匀速运动(与人行走方向相反),另一个点在水平和垂直方向加速运动,如果观察者可以分辨出这两个运动阶段的话,就可以知觉到人走动的方向。当把它以水平轴垂直翻转 180 度时,影响的是垂直方向上的运动,在水平方向上的运动保持不变,此时被试就无法识别出脚的走动方向。另外,将垂直方向的加速度运动变成匀速运动而其他因素保持不变时,被试同样不能分辨出运动方向,可见加速度是一个很重要的影响因素(Chang & Troje, 2009),表明局部运动倒置效应依赖于脚部运动的垂直重力加速度。

这些结果挑战生物运动的倒置效应是一个单一现象的观点。相反,至少有两种不同的倒置效应在起作用。一种是基于整体结构信息加工的倒置效应,与经典的面孔倒置效应(Yin, 1969)以及最近报告的身体形状的倒置效应相类似(Reed et al., 2003)。在这种情况下运动所起的作用就只是将身体形状信息从光点运动序列中提取出来,这个作用可以用静止的“火柴棒”图片(用线将头部和一些重要关节联接在一起)来替代。除了这种基于形状的倒置效应,还存在另外一种完全与整体形状信息无关的基于局部运动的倒置效应。该倒置效应说明局部运动除了帮助恢复整体结构信息外,本身包含了一定的生物信息(如行走方向),揭示了我们对这种局部生物运动信息的加工也可能存在特异性。

研究者发现的局部生物运动信息(打乱的生物运动序列以及脚部运动序列)的方向判断的倒置效应提供了局部生物运动信息特异性的很重要的证据,但也有可能局部运动恰好提供了方向性的线索而已。我们近期的一项研究利用视觉搜索范式来考察局部生物运动信息的加工特性(Wang et al., 2010)。研究采用正立的局部生物运动刺激(打乱的生物运动序列以及脚部运动序列)及其相

应的倒立刺激互为目标物和分心物。结果显示观察者在倒立的刺激中寻找正立的目标要比在正立的刺激中寻找倒立的目标更容易,表明正立的局部生物运动信息与倒立的局部生物运动信息相比存在加工优势。当将脚部运动序列中的加速度运动变成匀速运动而其他因素保持不变时,这种视觉搜索不对称现象则消失,强调了包含在局部生物运动中的物理规律即重力加速度的关键作用。有趣的是当生物运动的整体形状保留的时候,便不存在搜索不对称性的现象。另外,前人的研究表明,在普通物体中,如正立和倒立的大象图片,也存在搜索不对称性,但它是一个相反的效应,搜索倒立目标要比搜索正立目标更容易,研究者将这个现象归结为倒立刺激的新异性效应(Wolfe, 2001)。由此可知,采用完整的生物运动序列作为搜索刺激时,来自于正立刺激的注意效应和倒立刺激的新异性效应相互作用共同调节视觉搜索。

5 总结及展望

综上所述,来自发展研究(新生儿的生物运动偏好效应),神经水平的研究(存在特定的加工脑区,即 pSTS)以及行为水平的研究(倒置效应)证据表明对生物运动的加工存在特异性。绝大多数研究者将此归结为整体加工的结果,而局部运动的作用则被认为是帮助恢复整体结构信息,即从运动中提取结构信息(但也有研究通过破坏局部生物运动信息的方式表明结构信息的提取并不依赖于局部运动信息)。随后的有关局部生物运动信息的研究表明除了整体结构以外,局部生物运动本身也可以表征一定的生物信息(如行走方向),另外它也可以影响视觉搜索,揭示了对局部生物运动信息的加工也有可能和完整的生物运动一样存在特异性。未来的研究需要提供更多的证据来验证该假说,包括行为水平的证据,即采用更多的任务来考察正立局部生物运动刺激与倒立刺激相比存在的加工优势(倒置效应),以及发展研究(婴儿能否识别局部生物运动信息以及在生命早期是否存在局部生物运动信息偏好效应,关键是来自新生儿的证据)和神经水平研究(对局部生物运动信息的加工是否存在特定的脑区)的证据。

对局部生物运动信息的加工特性进行研究有助于我们理解视觉加工的特异性问题,并对生物运动的加工机制有更深入的了解。和完整的生

物运动序列以及面孔刺激相比,局部生物运动序列很好地分离了熟悉性效应,对于完整的生物运动序列,观察者虽然并不熟悉这类光点运动刺激,但观察者即使是在第一次接触该刺激也可以很好地识别出人体的运动,我们对人体形状信息是非常熟悉的,面孔更是我们日常生活中时刻接触的一类刺激,由此也有研究者认为面孔不同于其他种类客体的加工模式是来自于经验积累的专家化过程而非存在先天的特异性加工机制(Diamond & Carey, 1986; Gauthier, Skudlarski, Gore, & Anderson, 2000; Gauthier & Tarr, 1997)。而对于局部生物运动序列,不知情的观察者看到的只是一些运动的点,意识不到正立的局部生物运动序列和倒立的局部生物运动序列的区别。我们关于局部生物运动信息的视觉搜索的研究也从另一个侧面反映了考察局部生物运动信息特异性的意义(Wang et al., 2010)。我们的研究表明局部生物运动序列存在视觉搜索不对称性现象(在倒立的刺激中寻找正立的目标要比在正立的刺激中寻找倒立的目标更容易),而当我们采用完整的生物运动序列(正立刺激和倒立刺激)以及前人采用正立和倒立的面孔作为搜索刺激时(Kuehn & Jolicoeur, 1994; Nothdurft, 1993),却没有发现搜索不对称性现象。对于局部生物运动序列,正立和倒立刺激同样都是不熟悉的刺激,而对于完整的生物运动序列和面孔,正立和倒立刺激存在熟悉性差异,没有发现视觉搜索不对称性的原因很有可能是来自于正立刺激的加工优势和倒立刺激的新异性效应的相互抵消的结果。值得注意的是局部生物运动序列,即打乱生物运动刺激(scrambled biological motion sequences),在以往生物运动研究中是一种常用的控制刺激。如在有关生物运动加工的神经机制的研究中,研究者采用打乱生物运动序列作为控制刺激来考察生物运动激活的脑区(Bonda et al., 1996; Grossman et al., 2000)。因局部生物运动本身包含一定的生物信息,今后的研究需要采用更合适的控制刺激来考察生物运动的加工特性,如倒立的局部生物运动序列。另外,之前的一些研究并没有发现局部生物运动序列的加工优势,这些研究采用的生物运动刺激是通过计算机合成的(Cutting, 1978),而发现局部生物运动信息存在特异性的研究采用的是通过真人走路得到的生物运动刺激。利用计算机合成的生物运动刺

激与通过拍摄真人走路得到的生物运动刺激在局部运动特征上存在区别,主要表现在脚部的运动轨迹(Saunders et al., 2009)。未来的研究应改进合成生物运动刺激的算法或采用通过拍摄真人走路得到的生物运动刺激。有关局部生物运动信息的研究挑战生物运动知觉是一个单一现象的观点,相反,至少有两种不同水平的加工在起作用,即基于整体结构信息的加工以及基于局部运动的加工。除了整体信息外,局部运动本身也包含了一定的生物信息,在我们的大脑中很有可能存在对四肢运动敏感的神经机制,用于在形状信息模糊或不完整时检测环境中生物体的出现。

参考文献

- Aaen-Stockdale, C., Thompson, B., Hess, R., & Troje, N. (2008). Biological motion perception is cue-invariant. *Journal of Vision, 8*(8), 1-11.
- Ahlström, V., Blake, R., & Ahlström, U. (1997). Perception of biological motion. *Perception, 26*(12), 1539-1548.
- Barclay, C., Cutting, J., & Kozlowski, L. (1978). Temporal and spatial factors in gait perception that influence gender recognition. *Perception & Psychophysics, 23*(2), 145-152.
- Battelli, L., Cavanagh, P., & Thornton, I. (2003). Perception of biological motion in parietal patients. *Neuropsychologia, 41*(13), 1808-1816.
- Beauchamp, M., Lee, K., Haxby, J., & Martin, A. (2003). fMRI responses to video and point-light displays of moving humans and manipulable objects. *Journal of Cognitive Neuroscience, 15*(7), 991-1001.
- Beintema, J., Georg, K., & Lappe, M. (2006). Perception of biological motion from limited-lifetime stimuli. *Perception & Psychophysics, 68*(4), 613-624.
- Beintema, J. A., & Lappe, M. (2002). Perception of biological motion without local image motion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99*(8), 5661-5663.
- Bertenthal, B. (1993). Infants' perception of biomechanical motions: Intrinsic image and knowledge-based constraints. In C. Granrud (Ed.), *Visual perception and cognition in infancy*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bertenthal, B., & Pinto, J. (1994). Global processing of biological motions. *Psychological Science, 5*(4), 221-225.
- Bertenthal, B., Proffitt, D., & Cutting, J. (1984). Infant sensitivity to figural coherence in biomechanical motions. *Journal of Experimental Child Psychology, 37*(2), 213-230.
- Blake, R., Turner, L., Smoski, M., Pozdol, S., & Stone, W. (2003). Visual recognition of biological motion is

- impaired in children with autism. *Psychological Science*, 14(2), 151–157.
- Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D., & Evans, A. (1996). Specific involvement of human parietal systems and the amygdala in the perception of biological motion. *Journal of Neuroscience*, 16(11), 3737–3744.
- Booth, A., Pinto, J., & Bertenthal, B. (2002). Perception of the symmetrical patterning of human gait by infants. *Developmental Psychology*, 38(4), 554–563.
- Calvert, G., Bullmore, E., Brammer, M., Campbell, R., Williams, S., McGuire, P., et al. (1997). Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science*, 276(5312), 593–596.
- Chang, D. H., & Troje, N. F. (2009). Acceleration carries the local inversion effect in biological motion perception. *Journal of Vision*, 9(1), 19 11–17.
- Clarke, T., Bradshaw, M., Field, D., Hampson, S., & Rose, D. (2005). The perception of emotion from body movement in point-light displays of interpersonal dialogue. *Perception*, 34(10), 1171–1180.
- Cowey, A., & Vaina, L. (2000). Blindness to form from motion despite intact static form perception and motion detection. *Neuropsychologia*, 38(5), 566–578.
- Cutting, J. (1978). A program to generate synthetic walkers as dynamic point-light displays. *Behavior Research Methods and Instrumentation*, 1, 91–94.
- Cutting, J., Moore, C., & Morrison, R. (1988). Masking the motions of human gait. *Perception & Psychophysics*, 44(4), 339–347.
- Cutting, J. E., & Kozlowski, L. T. (1977). Recognition of friends by their walk: gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 9, 353–356.
- Diamond, R., & Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: An effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(2), 107–117.
- Dittrich, W., Troscianko, T., Lea, S., & Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception*, 25, 727–738.
- Dittrich, W. H. (1993). Action categories and the perception of biological motion. *Perception*, 22(1), 15–22.
- Fani, L., Prasad, S., Harber, K., & Shiffrar, M. (2005). Recognizing people from their movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 210–220.
- Farah, M., Tanaka, J., & Drain, H. (1995). What causes the face inversion effect? *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 21(3), 628–634.
- Fox, R., & McDaniel, C. (1982). The perception of biological motion by human infants. *Science*, 218(4571), 486–487.
- Freire, A., Lee, K., & Symons, L. (2000). The face-inversion effect as a deficit in the encoding of configural information: Direct evidence. *Perception*, 29(2), 159–170.
- Freitag, C., Konrad, C., Herberich, M., Kleser, C., von Gontard, A., Reith, W., et al. (2008). Perception of biological motion in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 46(5), 1480–1494.
- Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J., & Anderson, A. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience*, 3(2), 191–197.
- Gauthier, I., & Tarr, M. (1997). Becoming a "Greeble" expert: exploring mechanisms for face recognition. *Vision Research*, 37(12), 1673–1682.
- Gavrila, D. (1999). The Visual Analysis of Human Movement: A Survey. *Computer vision and image understanding*, 73(1), 82–98.
- Gilmore, G., Wenk, H., Naylor, L., & Stuve, T. (1992). Motion perception and aging. *Psychology and Aging*, 7(4), 654–660.
- Grossman, E., Battelli, L., & Leone, A. (2005). Repetitive TMS over STSp disrupts perception of biological motion. *Vision Research*, 45, 2847–2853.
- Grossman, E., & Blake, R. (2001). Brain activity evoked by inverted and imagined biological motion. *Vision Research*, 41(10–11), 1475–1482.
- Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., et al. (2000). Brain areas involved in perception of biological motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 711–720.
- Gurnsey, R., Roddy, G., & Troje, N. (2010). Limits of peripheral direction discrimination of point-light walkers. *Journal of Vision*, 10(2), 1–17.
- Hirai, M., Fukushima, H., & Hiraki, K. (2003). An event-related potentials study of biological motion perception in humans. *Neuroscience letters*, 344(1), 41–44.
- Hirai, M., & Hiraki, K. (2005). An event-related potentials study of biological motion perception in human infants. *Cognitive Brain Research*, 22(2), 301–304.
- Hiris, E., Humphrey, D., & Stout, A. (2005). Temporal properties in masking biological motion. *Perception & Psychophysics*, 67(3), 435–443.
- Hoffman, D., & Flinchbaugh, B. (1982). The interpretation of biological motion. *Biological Cybernetics*, 42(3), 195–204.
- Ikeda, H., Blake, R., & Watanabe, K. (2005). Eccentric perception of biological motion is unscalably poor. *Vision research*, 45(15), 1935–1943.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*,

- 14, 195–204.
- Kaiser, M., & Shiffrar, M. (2009). The visual perception of motion by observers with autism spectrum disorders: A review and synthesis. *Psychonomic bulletin & review*, 16(5), 761–777.
- Kim, J., Doop, M., Blake, R., & Park, S. (2005). Impaired visual recognition of biological motion in schizophrenia. *Schizophrenia research*, 77(2–3), 299–308.
- Klin, A., & Jones, W. (2008). Altered face scanning and impaired recognition of biological motion in a 15 month old infant with autism. *Developmental Science*, 11(1), 40–46.
- Klin, A., Lin, D., Gorrindo, P., Ramsay, G., & Jones, W. (2009). Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion. *Nature*, 459(7244), 257–261.
- Kozlowski, L. T., & Cutting, J. E. (1977). Recognizing the sex of a walker from a dynamic point light display. *Perception & Psychophysics* 21, 575–580.
- Kozlowski, L. T., & Cutting, J. E. (1978). Recognizing the gender of walkers from point-lights mounted on ankles: some second thoughts. *Perception & Psychophysics* 23, 459.
- Kuehn, S. M., & Jolicoeur, P. (1994). Impact of quality of the image, orientation, and similarity of the stimuli on visual search for faces. *Perception*, 23(1), 95–122.
- Kuhlmeier, V., Troje, N., & Lee, V. (2010). Young infants detect the direction of biological motion in point-light displays. *Infancy*, 15(1), 83–93.
- Lange, J., Georg, K., & Lappe, M. (2006). Visual perception of biological motion by form: a template-matching analysis. *J Vis*, 6(8), 836–849.
- Lange, J., & Lappe, M. (2006). A model of biological motion perception from configural form cues. *Journal of Neuroscience*, 26(11), 2894–2906.
- Leder, H., & Bruce, V. (2000). When inverted faces are recognized: The role of configural information in face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 53(2), 513–536.
- Ma, Y., Paterson, H., & Pollick, F. (2006). A motion capture library for the study of identity, gender, and emotion perception from biological motion. *Behavior research methods*, 38(1), 134–141.
- Mather, G., & Murdoch, L. (1994). Gender discrimination in biological motion displays based on dynamic cues. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 258, 273–279.
- Mather, G., Radford, K., & West, S. (1992). Low-level visual processing of biological motion. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 249, 149–155.
- Mather, G., & West, S. (1993). Recognition of animal locomotion from dynamic point-light displays. *Perception*, 22, 759–759.
- McLeod, P. (1996). Preserved and Impaired Detection of Structure From Motion by a Motion-blind Patient. *Visual Cognition*, 3(4), 363–392.
- Mondloch, C., Le Grand, R., & Maurer, D. (2002). Configural face processing develops more slowly than featural face processing. *Perception*, 31(5), 553–566.
- Neri, P., Morrone, M. C., & Burr, D. C. (1998). Seeing biological motion. *Nature*, 395, 894–896.
- Norman, J. F., Payton, S. M., Long, J. R., & Hawkes, L. M. (2004). Aging and the perception of biological motion. *Psychology and Aging* 19(1), 219–225.
- Nothdurft, H. C. (1993). Faces and facial expressions do not pop out. *Perception*, 22(11), 1287–1298.
- Pavlova, M., Krageloh-Mann, I., Sokolov, A., & Birbaumer, N. (2001). Recognition of point-light biological motion displays by young children. *Perception*, 30(8), 925–933.
- Pavlova, M., & Sokolov, A. (2000). Orientation specificity in biological motion perception. *Perception & Psychophysics*, 62(5), 889–899.
- Perrett, D., Smith, P., Mistlin, A., Chitty, A., Head, A., Potter, D., et al. (1985). Visual analysis of body movements by neurones in the temporal cortex of the macaque monkey: a preliminary report. *Behavioural Brain Research*, 16(2–3), 153–170.
- Peuskens, H., Vanrie, J., Verfaillie, K., & Orban, G. (2005). Specificity of regions processing biological motion. *European Journal of Neuroscience*, 21(10), 2864–2875.
- Pinto, J. (2006). Developing body representations: A review of infants' responses to biological motion displays. *Knoblich, et al.(Eds.), Human body perception from the inside out*, 305–322.
- Pinto, J., & Shiffrar, M. (1999). Subconfigurations of the human form in the perception of biological motion displays. *Acta Psychologica*, 102(2–3), 293–318.
- Pollick, F., Kay, J., Heim, K., & Stringer, R. (2005). Gender Recognition From Point-Light Walkers. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(6), 1247–1265.
- Proffitt, D. R., & Bertenthal, B. I. (1990). Converging operations revisited: assessing what infants perceive using discrimination measures. *Perception & Psychophysics*, 47(1), 1–11.
- Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J., & McCarthy, G. (1998). Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *Journal of Neuroscience*, 18(6), 2188–2199.
- Puce, A., & Perrett, D. (2003). Electrophysiology and brain

- imaging of biological motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1431), 435–445.
- Reed, C., Stone, V., Bozova, S., & Tanaka, J. (2003). The body-inversion effect. *Psychological Science*, 14(4), 302–308.
- Reid, V., Hoehl, S., & Striano, T. (2006). The perception of biological motion by infants: An event-related potential study. *Neuroscience letters*, 395(3), 211–214.
- Santi, A., Servos, P., Vatakotis-Bateson, E., Kuratate, T., & Munhall, K. (2003). Perceiving biological motion: dissociating visible speech from walking. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(6), 800–809.
- Saunders, D. R., Suchan, J., & Troje, N. F. (2009). Off on the wrong foot: local features in biological motion. *Perception*, 38(4), 522–532.
- Schenk, T., & Zihl, J. (1997). Visual motion perception after brain damage: I. Deficits in global motion perception. *Neuropsychologia*, 35(9), 1289–1297.
- Sekuler, R., Hutman, L., & Owsley, C. (1980). Human aging and spatial vision. *Science*, 209(4462), 1255.
- Shi, J. F., Weng, X. C., He, S., & Jiang, Y. (2010). Biological motion cues trigger reflexive attentional orienting. *Cognition*, 17(3), 348–354.
- Shiffrar, M., Lichtey, L., & Chatterjee, S. H. (1997). The perception of biological motion across apertures. *Perception & Psychophysics*, 59(1), 51–59.
- Shiple, T. (2003). The effect of object and event orientation on perception of biological motion. *Psychological Science*, 14(4), 377–380.
- 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.
- Sumi, S. (1984). Upside-down presentation of the Johansson moving light-spot pattern. *Perception*, 13(3), 283–286.
- Sumi, S. (2000). Perception of point-light walker produced by eight lights attached to the back of the walker. *Swiss Journal of Psychology*, 59, 126–132.
- Thompson, B., Hansen, B., Hess, R., & Troje, N. (2007). Peripheral vision: Good for biological motion, bad for signal noise segregation? *Journal of Vision*, 7(10), 1–7.
- Thornton, I. M., & Vuong, Q. C. (2004). Incidental processing of biological motion. *Current Biology*, 14(12), 1084–1089.
- Thurman, S., & Grossman, E. (2008). Temporal "Bubble" reveal key features for point-light biological motion perception. *Journal of Vision*, 8(3), 1–11.
- Troje, N. (2003). Reference frames for orientation anisotropies in face recognition and biological-motion perception. *Perception*, 32(2), 201–210.
- Troje, N. F. (2002). Decomposing biological motion: a framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision*, 2(5), 371–387.
- Troje, N. F., & Westhoff, C. (2006). The inversion effect in biological motion perception: evidence for a "life detector"? *Current Biology*, 16(8), 821–824.
- Troje, N. F., Westhoff, C., & Lavrov, M. (2005). Person identification from biological motion: effects of structural and kinematic cues. *Perception & Psychophysics* 67(4), 667–675.
- Ungerleider, L., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual system. In D. J. Ingle, Goodale, M. A. & Mansfield, R. J. (Ed.), *The Analysis of Visual Behavior* (pp. 549–586). Cambridge, MA: MIT Press.
- Vaina, L., Lemay, M., Bienfang, D., Choi, A., & Nakayama, K. (1990). Intact "biological motion" and "structure from motion" perception in a patient with impaired motion mechanisms: A case study. *Visual Neuroscience*, 5(04), 353–369.
- Vallortigara, G., & Regolin, L. (2006). Gravity bias in the interpretation of biological motion by inexperienced chicks. *Current Biology*, 16(8), 279–280.
- Vallortigara, G., Regolin, L., & Marconato, F. (2005). Visually inexperienced chicks exhibit spontaneous preference for biological motion patterns. *PLoS Biology*, 3(7), e208.
- Vanrie, J., & Verfaillie, K. (2004). Perception of biological motion: a stimulus set of human point-light actions. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 36(4), 625–629.
- Waiter, G., Williams, J., Murray, A., Gilchrist, A., Perrett, D., & Whiten, A. (2004). A voxel-based investigation of brain structure in male adolescents with autistic spectrum disorder. *Neuroimage*, 22(2), 619–625.
- Walk, R., & Homan, C. (1984). Emotion and dance in dynamic light displays. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 22(5), 437–440.
- Wang, L., Zhang, K., He, S., & Jiang, Y. (2010). Searching for Life Motion Signals. *Psychological Science*, 21(8), 1083–1089.
- Webb, J., & Aggarwal, J. (1982). Structure from motion of rigid and jointed objects. *Artificial Intelligence*, 19(1), 107–130.
- Wolfe, J. M. (2001). Asymmetries in visual search: an introduction. *Percept Psychophys*, 63(3), 381–389.
- Yin, R. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 141–145.
- Yoon, J. M. D., & Johnson, S. C. (2009). Biological Motion Displays Elicit Social Behavior in 12-Month-Olds. *Child Development*, 80(4), 1069–1075.

Zilbovicius, M., Meresse, I., Chabane, N., Brunelle, F., Samson, Y., & Boddaert, N. (2006). Autism, the superior temporal sulcus and social perception. *Trends in Neurosciences*, 29(7), 359–366.

Biological Motion Perception: The Roles of Global Configuration and Local Motion

JIANG Yi¹; WANG Li^{1,2}

(¹ Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(² Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Humans are remarkably adept at recognizing the motion of biological entities in complex visual scenes, even when it is depicted with a handful of point-lights attached to the head and major joints. Though much simplified, such point-light biological motion consists of both global configuration and local motion trajectories. Whereas most previous studies have emphasized the contribution of global form to biological motion perception, it has recently been shown that local biological motion can be processed independent of global configuration, revealing that local biological motion alone carries unique biological properties. Taken together, the evidence so far suggests that biological motion perception is a multilevel process in which each level makes distinct contributions.

Key words: biological motion; inversion effect; global configuration; local motion

作者简介

蒋毅, 研究员, 博士生导师。2002年和2004年毕业于北京大学心理学系, 分别获得学士和硕士学位。2009年毕业于美国明尼苏达大学, 获得心理学博士学位。同年入选中国科学院心理研究所“百人”计划学者, 主要利用心理物理学方法和脑功能成像技术研究视知觉、注意、意识及其神经机制。