

试谈颜色在运动中的作用^①

池海宏 孙秀如 许宗惠

中国科学院心理研究所(北京 100012)

[摘要]关于颜色在运动中的作用,一直存在着争议。一种观点认为颜色对运动系统作用很小,颜色和运动是由两条独立的平行路径加工的;另一种观点认为颜色对运动系统有作用,许多研究者从不同的方面证实了这种作用。但在颜色的作用形式上又存在不同意见,由此也产生了各种不同的运动模型。

关键词 颜色,运动,运动模型

一个运动加工器的基本任务是在物体运动时如何知觉它们的连续性,运动物体的数目越多,这个任务越复杂。其中一种解决方法是利用物体特征在时间和空间上的相对稳定。在许多的物体特征中,颜色是很引人注目的一种,但关于颜色在运动中的作用一直存在着争议。有些生理和心理物理实验的结果表明,颜色和运动是由两条独立的平行路径分别加工的;但也有很多心理物理实验从不同方面证明了颜色在运动中的作用,不过在颜色的作用形式上又有不同看法。下面将这两种观点及有关研究作一简述。

1 颜色和运动由两条独立的平行路径加工

Ramachandran 等^[1]早在 1978 年就开始研究颜色在运动系统中的作用。他们用红—绿随机点阵图进行了似动实验。结果发现,等亮度条件下似动消失,即使改变刺激呈现的频率、随机点的大小等参数也不能使似动恢复,非等亮度条件下能产生清晰的似动。他们还用淡红—深红随机点阵图进行了一项控制实验,这时似动的消失与随机点在等亮度时的消失很吻合,不过这种条件下得到的似动消失的临界范围比红—绿条件下得到的小得多。由此他们认为颜色和运动是被人类视觉系统分别加工的,颜色对运动知觉最多只有很小的作用。

Zeki^[2]研究视觉系统与人类相近的猕猴,其结果表明在皮层区域的不同部分,对方向、颜色和运动有选择性的细胞的分配是不同的。大部分对方向有选择性的细胞集中在三个区域:V2、V3 和 V3A;对颜色有选择性的细胞集中在 V4 区;具有定向选择性的细胞在运动区域高度集中。而且 V2、V3A 和运动区域中没有对颜色进行编码的细胞;V4 区域中对方向有选择性的细胞的数量显著低于 V2、V3 和 V3A 中的;V2、V3、V3A 和 V4 区只有很少的具有定

① 本文于 1996 年 6 月 5 日收到。

向选择性的细胞。也就是说颜色信息和运动信息是在大脑皮层的两个独立区域被分析、加工的,可以说他们的结果为 Ramachandran 等的结论提供了生理上的证据。

另外,Srinivasan^[3]分析了以动物为被试的许多行为和神经生理实验,最后得出结论:执行运动探测的视觉子系统一般是不能很好地分辨颜色的,原因在于运动探测器只有在牺牲颜色信息时才能达到其最大感受性。Srinivasan 对此还进行了理论论证。运动信息输入通道有一个先后顺序,先被刺激的通道会产生时间延迟。当运动探测器不能很好地分辨颜色时,各输入通道的光谱特性相同,产生的信号也相同。这样被观察物体以一定速度运动时,各通道信号间的差别能被时间延迟所弥补,从而使延迟后的信号与其它信号在时间上准确叠加,这时得到的反应值最大。如果运动探测器能准确地分辨各种颜色、各输入通道的光谱特性不同,那么不论被观察物体的速度如何,各通道的信号都不能完全叠加,这时运动系统的感受性就会比前一种情形下差。

Livingstone 等(1987)提出颜色和运动是由两个独立的子系统——P 子系统和 M 子系统分别加工的,其中 P 子系统一般负责颜色信息的加工,M 子系统与亮度、运动及深度信息的加工有关。等亮度条件下运动的产生其原因有两种可能性:一种可能性是运动系统能接受一些颜色信息;另一种可能性是颜色系统也能接受运动信息。

Kooi 等(1992)^[4]证实了前一种可能性。他们进行的等亮度颜色方格刺激的运动知觉实验表明,颜色方格刺激和低对比(<5%)亮度方格刺激的运动有很大的相似性。当组成方格刺激的两个正弦成分其对比或空间频率不同时,对比高或空间频率低的成分决定运动的知觉方向。方向知觉错误与方格成分知觉速度的误判很有关系,刺激的运动方向是从知觉速度而不是从真实速度计算出来的。这说明两种方格刺激都是首先被分解成它的两维空间频率(方向和空间频率)成分,然后再重新组合成刺激。两种刺激运动的相似性表明它们存在一个共同的运动途径,这个共同的途径有可能是 M 子系统。另外,kooi 等的研究还表明运动的亮度光栅在决定方格刺激运动方向的能力上比运动的等亮度颜色光栅大得多,颜色对运动系统的作用很小;颜色对亮度方格的运动有抑制性影响,这是因为运动系统能接受一些颜色信息。总的来说,Kooi 等仍支持颜色和运动的平行加工模型,不过他们认为颜色系统和运动系统不是完全独立的,等亮度方格和低对比亮度方格的运动都要涉及 M 子系统,它们是在部分分离的途径上被分别加工的。

2 颜色对运动系统的作用

2.1 等亮度条件下的运动反应

许多研究者证明等亮度的颜色刺激也有运动反应。Cavanagh 等^[5]通过实验判定等亮度颜色光栅的运动知觉速度,发现在比较低的空间频率,等亮度光栅明显变慢,有时甚至停止。但当亮度对比保持恒定时,增加色度使得似动速率下降更多,这就排除了速度的降低是由于亮度对比的减小这种可能性。所以他们认为知觉到的速度是亮度信息和色度信息的加权平均。Cavanagh 等^[6]的结果也表明随机点阵图的似动在等亮度条件下仍然存在,只不过这时运动图形的边界变得不清楚。

等亮度刺激也能诱导运动后效,Mullen 等^[7]验证了这一点,在他们的研究中,等亮度刺激诱导的运动后效和亮度对比诱导的一样大,有时甚至比亮度对比诱导的还要大;交叉适应

条件(对颜色刺激适应后,观看亮度刺激;对亮度刺激适应后,观看颜色刺激)下也能观察到运动后效。不管适应条件是单色亮度光栅还是等亮度颜色光栅,用颜色光栅作测验条件时观察到的运动后效一般都比较大大。这说明颜色对运动机制的作用是很强的。

Troscianko^[8]为了分析等亮度条件下似动知觉变化的原因,采用两种任务进行实验:一种任务是随机点阵图的似动知觉,另一种任务是随机点阵图的镜像对称。结果发现等亮度呈现对镜像对称没有什么影响,而对似动知觉则影响很大。如果随机点阵图的背景是变化的、被试的任务是报告目标的形状而不是觉察运动的存在,那么等亮度条件下的似动知觉消失;如果背景静止、目标活动,即使在等亮度条件下,目标的形状也仍然是可辨的。造成这种差别的原因是运动需要精确的位置信息,而对称知觉不需要,等亮度呈现刺激引进了位置偏差。还有一些研究(如 Satio, 1989; Logothesis 等, 1990)的结果表明存在对运动的等亮度颜色刺激有选择的反应的生理机制。

2.2 运动通道假设

一些研究者不仅证明了颜色在运动系统中的作用,而且提出了有关运动通道的假设。

(1) 两种水平运动通道假设

Anstis (1980)和 Braddick (1980)认为等亮度颜色刺激诱导的运动比具有同等可见性的亮度刺激差是因为这两种刺激的运动由不同的运动探测系统觉察,亮度刺激的运动由低水平系统觉察,而颜色刺激的运动由高水平系统觉察。这两种系统之间的一个本质区别是低水平系统能产生运动后效,而高水平系统不能。Derrington 等^[9]的研究证明低水平系统也能接受颜色信息。研究采用的实验条件是交叉适应,得到的结果表明亮度光栅在诱导和消除运动后效上比颜色光栅有效得多,但颜色光栅确实既能诱导运动后效,也能消除运动后效。这和 Mullen 等(1985)、Cavanagh 等(1985)的结果是一致的, Derrington 等认为这些一致的结果只能通过下述结论来解释——颜色和亮度是在同一个系统(低水平运动系统)内被加工的,否则交叉适应条件下不能产生运动后效,产生的运动后效不能被等亮度颜色刺激消除。

(2) 共用运动通道假设

Cavanagh 等^[10]提出颜色信息和亮度信息共用一个运动通道的假设。他们的研究采用匹配和消除两种实验技术。两种技术都证明,对一个只有亮度变化的运动光栅适应后,在仅变化色度的静止光栅上能观察到运动后效,这说明等亮度颜色刺激的运动是由对亮度信息和颜色信息均有反应的共用通道知觉,而不是由专门负责觉察颜色刺激运动的通道知觉。颜色作用的两个特性在 Cavanagh 等的研究中也得到体现,一般来说对颜色光栅适应后所需的消除速度比对亮度光栅适应后所需的小得多;一个具有低亮度对比的光栅增加颜色变化后,其建立或消除运动后效的能力会降低,运动系统不是将颜色作为低亮度对比看待的。Cavanagh 等由上述结果得出颜色和亮度共用一个运动通道的结论,颜色对该通道的作用比亮度小得多。DeValois 等(1975)报告的“多色细胞”是该共用通道的生理基础。

Cavanagh 等^[11]进一步通过实验证实颜色和亮度虽然共用一个运动通道,但颜色对运动系统的作用不是亮度途径的剩余反应,而是通过对比色途径起作用。他们使用两种方法进行验证,一种方法是测定运动知觉中颜色作用的空间和时间频率,以便判定它们是颜色机制的特性还是亮度机制的特性。第二种方法是研究可能使颜色刺激在亮度途径引起反应的光学因素和神经因素,看它们对运动知觉的作用是否显著。他们在进行实验时设计了一种新的运

动消除范例,并将颜色在其中所起的作用定义为颜色的“等价亮度对比”。实验发现,在比较低的空间和时间频率上得到的等价亮度对比最高,即颜色的作用随空间和时间频率的上升而下降。这与颜色机制的特性相符,而与亮度机制的特性相反(deLange, 1958; Kelly, 1983)。另外,可能在亮度通道引起神经因素及光学因素的反应,它们对运动知觉所起的作用比颜色小得多。所以,颜色对运动系统的作用不是亮度途径的剩余反应,而是通过对比色途径在起作用。

(3) 三种运动通道假设

Gorea^[12]等创建了一组新刺激,这组刺激的组成元素在实验条件间完全相同,但刺激难以是等亮度的,不过它们可分离特定的颜色和亮度运动探测机制,使这些机制的输出能直接进行比较。用这组刺激进行实验,发现来自三种途径的信息均能诱导运动知觉。一般来说,由方向匹配诱导的运动觉察成绩比颜色匹配下差;当方向线索与颜色线索存在竞争时,基于后者的运动知觉总是超过基于前者。他们还用间接方法分离出有方向的颜色通道,并证明它对运动知觉也有作用。在等亮度条件下,运动信息只能通过不同颜色间的方向匹配得到,这种运动信息是比较差的。由于三种途径诱导的运动其强度都随刺激位移和速度的变化而变化,所以 Gorea 等假设存在三种通道:一种亮度通道,一种颜色加亮度通道,一种纯颜色通道。不过,颜色加亮度通道并不等同于共用运动通道。

另外,Webster 等^[13]发现了两种新的运动后效。对垂直放置的运动的亮度刺激适应后,在水平放置的静止的亮度刺激或等亮度颜色刺激上会观察到一种很强的运动后效,在均匀测验视野上也能产生这种运动后效。而用等亮度的颜色刺激作适应条件时,无论测验条件如何,都没有运动后效产生。这说明颜色对涉及产生亮度光栅运动后效的运动通道没有作用,另外存在一条接受有方向的颜色刺激作用的运动通道。Webster 等还重复了交叉适应实验,进一步证实了 Derrington 等(1985)的结果,当适应条件和测验条件相同或交叉时,亮度和等亮度刺激都能产生强运动后效,说明存在一条对颜色和亮度都敏感的共用通道。总之,Webster 等的实验支持 Gorea 等(1989)关于运动通道的三种划分。

除了上面提到的证据,Cicerone C. M. 等^[14]还证明运动知觉能驱动颜色知觉。他们发现了一种新的颜色现象——在先知觉运动的条件下,运动限定的区域产生颜色扩散,将这种运动诱导的颜色扩散称为动态颜色扩散。动态颜色扩散的知觉与似动知觉联系在一起,虽运动知觉的评价分数增加,颜色扩散的分数也增加。还有一些解剖学和生理学资料也表明了这种相互作用,如在 V1 区发现对颜色具有选择性的神经原皮质层和对方向具有选择性的神经原皮质层间存在直接相连(Yoshioka & Lund, 1990);在视觉皮层,V4 和 MT 区域也存在直接相连(Ungerleider & Desimone, 1986 等);从 LGN 的 P 子系统层和 M 子系统层来的信号会聚于 V1 层(Nealey & Maunsell, 1991 等)等。由此可见,P 子系统的信息与 M 子系统的信息相混合有多种方式。这种相互作用使得颜色影响本身对颜色并没有选择性的运动探测器的觉察,从而影响到运动的加工,所以可以利用颜色对比的信息来觉察运动的方向。

总的来说,第一种观点认为颜色和运动是被分别加工的,不过运动系统也能接受一些颜色信息,但颜色信息的作用很小;第二种观点则认为运动系统能接受颜色信息,而且颜色信息本身就能激活运动系统,颜色系统和运动系统并不是分离的,它们之间存在相互作用。

参考文献:

[1]Ramachandran V S, Gregory R L. Does color provide an input to human motion perception? *Nature*, 1978, 275: 55—56.

[2]Zeki S M. Functional specialization in the visual cortex of the rhesus monkey. *Nature*, 1978, 274: 423—428.

[3]Srinivasan M V. Shouldn't directional movement detection necessarily be "colour-blind"? *Vision Research*, 1985, 25: 997—1000.

[4]Kooi F L, DeValois K K. The role of color in motion system. *Vision Research*, 1992, 32: 657—668.

[5]Cavanagh P, Tyler C W, Favreau O E. Perceived velocity of moving chromatic gratings. *Journal of the Optical Society of America, A*, 1984, 1: 893—899.

[6]Cavanagh P, Boeglin J, Favreau O E. Perception of motion in equiluminous kinematograms. *Perception*, 1985, 14: 151—162.

[7]Mullen K T, Baker C L. A motion aftereffect from an isoluminant stimulus. *Vision research*, 1985, 25: 685—688.

[8]Troscianko T. Perception of random-dot symmetry and apparent movement at and near isoluminance. *Vision Research*, 1987, 27: 547—554.

[9]Derrington A M, Badcock D R. The low level motion system has both chromatic and luminance inputs. *Vision Research*, 1985, 25: 1874—1884.

[10]Cavanagh P, Favreau O E. Color and luminance share a common motion pathway. *Vision Research*, 1985, 25: 1595—1601.

[11]Cavanagh P, Anstis S. The contribution of color to motion in normal and color-deficient observers. *Vision Research*, 1991, 31: 2109—2148.

[12]Gorea A, Papathomas T V. Motion processing by chromatic and achromatic visual pathways. *Journal of the Optical Society of America A*, 1989, 6: 590—602.

[13]Webster, Day R H, Cassell J F. Two movement aftereffect: evidence of luminance—and color—movement pathways. *Vision Research*, 1992, 32: 2189—2189.

[14]Cicerone C M, Hoffman D D, Gowday P D et al. The perception of colour from motion. *Perception & Psychophysics*, 1995, 57: 761—777.

(上接第 64 页)

• Experiment Reports •

Reliability and Validity Analysis for Achievement Motivation with Projective Techniques and Scales Wang Hui, Shi Kan, Sun Jian 2 (45)

Research on Preferred Skino Color and Tolerance of Photographs in Chinese Old—men Lin Zhongxian, Sun Xiuru, Xu Zonghui2 (51)

A new Task in Problem—Solving Research— — 5 Queens Problem Feng Jinhua, Sun Changshi, Sun Pei2 (55)

A Comparative Study on Mental Health and its Relative Factors of Kejia and Beijing People Qian Minyi, Li Hon3 (49)

Testing Driver's Blood Presure and Character Trait Yao Jiuru, Yao Zhanfei4 (54)