

# 微眼动类型对注意的影响

张 阳, 李艾苏, 韩 玉, 张少杰, 张 明

(苏州大学 教育学院, 江苏 苏州 215123)

**摘要:**微眼动是人在注视过程中产生的幅度和速率都相对较大的眼动,在注意知觉等认知活动中发挥重要作用。近来,研究者发现自发的微眼动可以引导注意以促进在微眼动方向上刺激的加工。但迄今为止,还尚未有研究对单眼微眼动和双眼微眼动与注意的关系进行考察。本研究拟利用高速双眼眼动记录技术对自发的单眼和双眼微眼动所诱发的空间注意进行考察。结果发现只有双眼微眼动能够诱发空间注意,揭示了微眼动所诱发空间注意的边界条件。

**关键词:**微眼动;空间注意;单眼微眼动;双眼微眼动

**中图分类号:**B842 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-5315(2016)06-0029-09

## 一 引言

眼动是视觉系统探索外部世界的一项重要工具,在注视点校正、注意转移及视觉融合等多个认知过程中都扮演着重要的角色<sup>[1]</sup>。早期研究者认为幅度较大的眼动只存在于视觉搜索过程中,直到 Dodge 首次发现在注视过程中亦存在有相当幅度的眼动(大于 0.15 度,约相当于 12 个感光细胞)。研究者们将这一注视过程中的较大幅度的眼动称为微眼动(microsaccade),认为其在注视偏差矫正和消除视觉衰退上起着重要的作用<sup>[2-4]</sup>。随后,越来越多的研究者发现微眼动还参与到了多种高级认知过程中,如注意和知觉等<sup>[5-7]</sup>。因而,微眼动得到了研究者们越来越多的关注,逐渐成为了视觉领域的几个研究热点之一<sup>[8-11]</sup>。

在微眼动研究中,探索其与空间注意的关系是近年来一个热点。早先的研究多关注于伴随注意发生的微眼动,即注意是否以及如何影响微眼动<sup>[8-13]</sup>。与这些研究不同,Yuval-Greenberg, Merriam 及 Heeger 首次从相反的视角对微眼动和注意的关系进行了探讨,即对自发微眼动能否诱发注意进行了考察<sup>[14]</sup>。在他们的研究中,当探测到被试发生微眼动后,在微眼动的相同或者相反的方向呈现一个需要被试反应的目标刺激,结果发现,相较出现在微眼动相反方向上的目标刺激而言,被试对与微眼动方向一致的目标刺激有更高的反应正确率。这一结果表明,微眼动不仅能受到注意的调节,其本身也可以诱发空间注意。

然而,大量研究表明微眼动包含单眼和双眼微眼动两种成分。单眼微眼动指在一只眼发生微眼动期间,另一只眼始终发生漂移(幅度和速率都较小的注视眼动);双眼微眼动则是指两只眼同时发生微眼动<sup>[15]</sup>。那

**收稿日期:**2016-07-26

**基金项目:**国家自然科学基金青年项目“三维大小错觉加工的时程机制”(31300833)和面上项目“三维空间视觉返回抑制的认知神经机制”(31371025)。

**作者简介:**张阳(1982—),男,重庆石柱人,博士,苏州大学特聘副教授,研究方向为视知觉,注意和微眼动;

李艾苏(1993—),女,江苏常州人,苏州大学教育学院硕士研究生,研究方向为注意和知觉;

韩玉(1993—),女,湖北武汉人,苏州大学教育学院硕士研究生,研究方向为注意;

张少杰(1990—),男,山西吕梁人,苏州大学教育学院硕士,研究方向为注意和微眼动;

张明(1959—),男,吉林长春人,博士,苏州大学教育学院特聘教授,研究方向为注意、工作记忆。

么,究竟是哪种微眼动诱发了空间注意呢,即微眼动诱发的空间注意是否受到眼动类型的调节呢?迄今为止,还未有研究对此问题进行探究。本研究正是拟利用高速双眼记录技术对不同类型的微眼动在诱发空间注意上的差别进行考察。

在本研究中,实验采用同 Yuval 等类似的任务,在探测到不同类型的微眼动(单 vs. 双眼微眼动)后,在微眼动的方向或者控制方向随机呈现一个 gabor 小片,并要求被试对该目标刺激的倾斜朝向做出反应<sup>[14]</sup>。若微眼动对于注意的诱发不受微眼动类型的制约,则预期在单双眼微眼动条件下,微眼动对注意都有诱发并且两者无显著差异。若微眼动对于注意的诱发受到微眼动类型的制约,则预期有且只有一种微眼动能够诱发注意,或者两者都可以诱发注意,但是注意的诱发量存在显著差异。

这样的设计也有助于我们对微眼动研究领域另一个重要的问题,即不同类型的微眼动的朝向空间分布进行进一步的量化研究。尽管 Engbert 发现,单眼微眼动和双眼微眼动的朝向在空间分布上有很大的差异(双眼微眼动绝大部分存在于水平方向,而单眼微眼动在水平方向和垂直方向上均匀分布)(参见图 1,其中 A 图是双眼微眼动的朝向的空间分布图,绝大部分双眼微眼动为水平微眼动;B 图是单眼微眼动的朝向的空间分布图,水平微眼动和垂直微眼动并无显著差异。)<sup>[15]</sup>。但需要指出的是 Engbert 分析和比较主要是基于单纯的延时注视任务而进行的,考虑到一方面延时注视任务本身会抑制微眼动的产生,另一方面长时间注视引起的注意起伏会影响到微眼动的各个参数。在非延时任务中(如线索—靶子范式),不同类型的微眼动的参数特征或许会有变化。本研究还可以对不同类型的微眼动的朝向的空间分布特征进行探讨。若单双眼微眼动的朝向在空间分布无显著差异,则预期单双眼微眼动的数量在水平和垂直方向均匀分布。若单双眼微眼动的朝向在空间分布有显著差异,则预期单双眼微眼动在水平和垂直方向分布不均匀,偏向于某一方向。

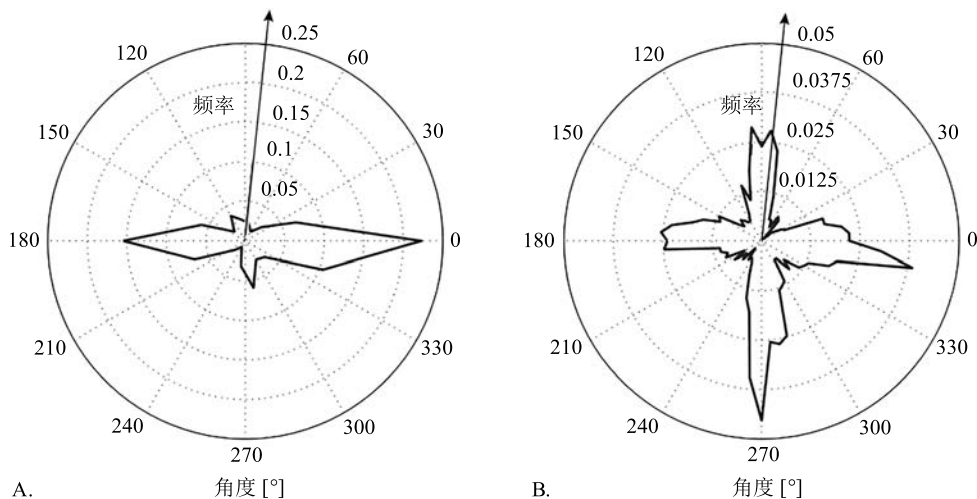


图 1. 延时注视任务中单双眼微眼动的朝向的空间分布图

## 二 实验

实验中被试在完成微眼动实验前,需要先完成一个刺激阈限探测的任务,目的是将被试的反应正确率保持在一个适中的水平,以消除天花板和地板效应对实验结果的影响。对于每个被试,通过阈限探测任务来确定其 70% 的正确率所对应的刺激强度(gabor 小片的朝向倾斜角度),并将之应用到随后的微眼动实验中。

### (一) 被试

本研究随机招募了 19 名获得报酬的大学生参与实验,其中男性被试 5 名、女性被试 14 名,平均年龄  $23 \pm 3.46$  岁。所有被试视力正常或矫正视力正常,且在过去未参加过类似的实验,在实验结束前对实验目的不了解。

### (二) 设备、刺激

实验在安静、微暗的环境中进行。实验程序采用运行于 MATLAB(版本号 R2011a)平台下的心理学编程工具包 Psychtoolbox 编制而成,运行于带独立显卡的微型计算机上。显示屏为 19 英寸的 FlexScan CRT

显示器(型号为 T766),分辨率为  $1024 \times 768$ ,刷新频率为  $120\text{Hz}$ 。实验中,本研究要求被试将头部固定在距显示器约  $65\text{cm}$  的下颌托上,被试通过游戏机手柄对实验任务作出按键反应。利用 EyeLink 1000 高速眼动仪记录被试的双眼运动情况,采样率设为  $1000\text{Hz}$ 。

### (三) 阈限探测任务流程

该任务用于确定每个被试  $70\%$  正确率的刺激阈限。每次测试的流程如下:被试需要在盯着屏幕的中央注视点( $0.2^\circ$ 视角)1000 毫秒后对呈现外周  $5.5^\circ$  位置的八个 gabor 小片(刺激大小为  $1^\circ$ ,对比度为  $100\%$ )中随机选定的一个 gabor 小片的朝向按键做出辨别反应。如果刺激顺时针偏转,则按右键,如果刺激逆时针偏转,则按左键。刺激的偏转角度一共有 8 个等级(从  $0.8^\circ$  均匀增加到  $6.4^\circ$ ) 在任务中随机呈现。被试一共完成 4 组测试(每组 64 次测试),即每个等级的刺激呈现 32 次。实验结束后,针对每个被试利用正态累计函数拟合其对刺激的心理反应曲线,并根据该曲线确定  $70\%$  正确率的刺激阈限,即 garbor 小片的偏转角度。

### (四) 微眼动任务流程

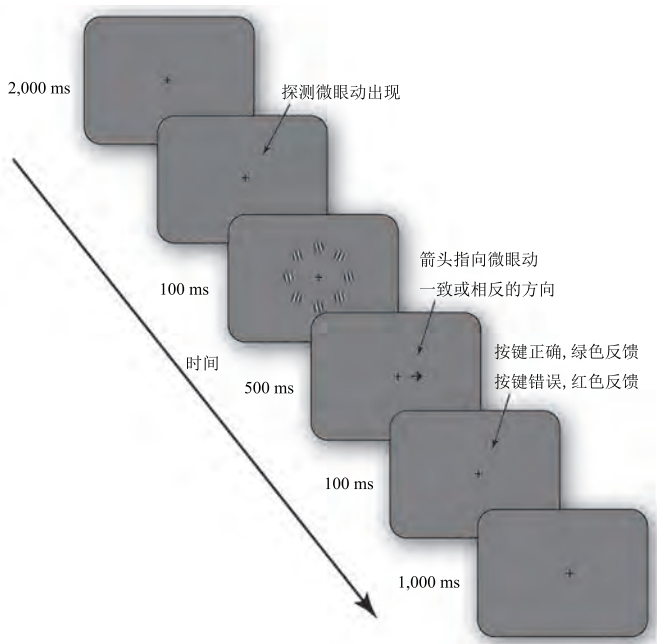


图 2. 微眼动实验中一次测试的实验流程

图 2 呈现了正式实验中一次测试的流程。在每组实验之前,被试需要进行标准的九点校正和验证,以确定双眼和屏幕位置的线性投射关系。每次测试以被试盯住中央注视点并按键完成漂移矫正开始,并以被试在按键后的 2000 毫秒内的眼动数据来计算出当前测试的微眼动识别阈值(以 6 倍标准差为阈值<sup>[15]</sup>)。如果被试在这段时间有眨眼或者注视位置大幅度地偏离了中央注视点,则这些采样点将被实时剔除,并且延长注视时间,直到眼动仪采到 2000 个有效的采样点,若被试在 4000 毫秒内还未采到 2000 个采样点,则重新进行漂移校正并重新开始采集 2000 个有效采样点。

随后利用计算得到的阈值对随后出现的微眼动进行探测。当程序探测到微眼动出现后,会在中央注视点周围同时呈现八个均匀分布的刺激(gabor patch,刺激偏离垂直方向某个角度)100 毫秒,随后呈现一个随机指向某一刺激位置的箭头 500 毫秒。40% 的试次中箭头指向与微眼动的方向相同,40% 的试次中箭头的指向于微眼动的方向相反。要求被试在箭头消失后对其所指向刺激的倾斜方向做出按键反应,若刺激相对于垂直线顺时针偏转,则按右键;若刺激逆时针偏转,则按左键。随后中央注视点改变颜色起到对被试的反应给予反馈的作用(绿色和红色分别对于正确和错误反应)。试次间的间隔时间为 1000ms。在剩余的 20% 的试次中,当被试完成 2000 个采样点的采集之后,无需检测微眼动的出现,而是间隔同上一次测试中相同的呈现时间后,呈现刺激,并在这之后呈现一个随机指向某一个刺激的箭头。图 3 是微眼动幅度分布和速率-

幅度图,其中,A图为双眼微眼动幅度分布图,B图为单眼微眼动幅度分布图,C图为双眼微眼动幅度—速率的散点图及其拟合曲线,D图为单眼微眼动的幅度—速率散点图及其拟合曲线。

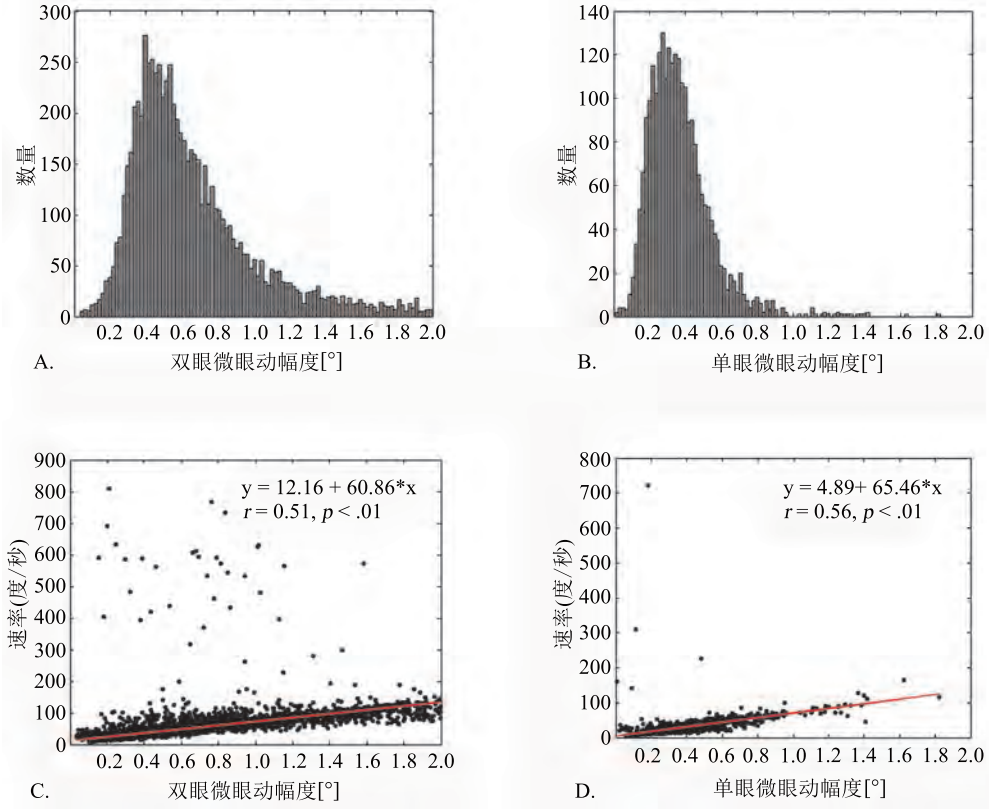


图 3.微眼动幅度分布和速率—幅度图

每个被试需要完成 10 组测试,每组 55 个试次。整个过程中注视点始终呈现,并且要求被试的头部固定在下颚托上。

### (五)实验设计

本研究采用 2(微眼动类型)×2(箭头类型)的两因素被试内设计。微眼动类型有 2 个水平:单眼微眼动和双眼微眼动;箭头类型有 2 个水平:在一致条件下,箭头指向与微眼动方向夹角最小的刺激,在不一致条件下,箭头指向与微眼动方向夹角最大的刺激。

## 三 分析和结果

### (一)分析

考虑到通过眼动仪实时在线提供的眼动数据是已经完成滤波处理的数据,为进一步提高分析精度,我们利用记录得到的未经滤波的眼动数据进行了事后重分析。即首先利用 E&K 微眼动算法对注视点出现到刺激出现这段时间内的眼动数据进行分析,找出刺激呈现前的最后一个微眼动,并依据该微眼动方向同箭头呈现方向的匹配性对试次进行分类(一致 vs.不一致条件)。具体而言,将整个极坐标等分为 10 个区间,每个区间夹角为 36 度,当微眼动方向与箭头的夹角在 36 度之内时,本研究将其判定为一致条件,当微眼动方向与箭头夹角在 144 度之外时,本研究判定为不一致条件。分析过程中依照前人处理方法,剔除了幅度大于 2 度视角的微眼动<sup>[16]</sup>,并剔除了在任一条件下正确率小于 50%以及在任一条件下微眼动次数小于 15 次的被试。最后对分类得到的数据进行两方面的统计分析:1.分别比较单、双眼微眼动条件下的空间注意效应,即各自条件下一致和不一致条件下的被试正确率的比较;2.将单眼微眼动和双眼微眼动按朝向分为水平或垂直微眼动,以对其在空间分布上的差异进行分析。

### (二)微眼动诱发的空间注意效应



实验共得到微眼动 9576 个,其中单眼微眼动 2461 个,双眼微眼动 7115 个,其对应的分布如图 3 的 A 和 B 所示。对其幅度和速率的观察发现,两者呈显著的线性关系〔图 4 相关系数分别为 0.51 和 0.56〕,(\*  $p < 0.05$ ; n. s 不显著)这和前人的研究结果相契合<sup>[17]</sup>,表明本研究中所采用的微眼动算法是有效合理的。

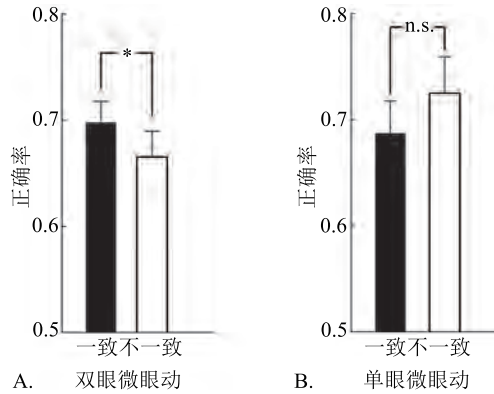


图 4.双眼和单眼微眼动诱发的空间注意效应

图 4 呈现了单、双眼微眼动中一致和不一致条件下的反应正确率。统计分析发现,双眼微眼动诱发了显著的注意效应, $t_{16} = 2.51, p = 0.023$ ,被试在一致条件对靶刺激的判断正确率显著地高于不一致条件下对靶刺激判断的正确率。这一效应却未在单眼微眼动条件下达到显著, $t_{13} = -1.64, p = 0.125$ ,单眼微眼动条件下被试并未在一致和不一致条件间表现出对靶子加工正确率的显著差异。

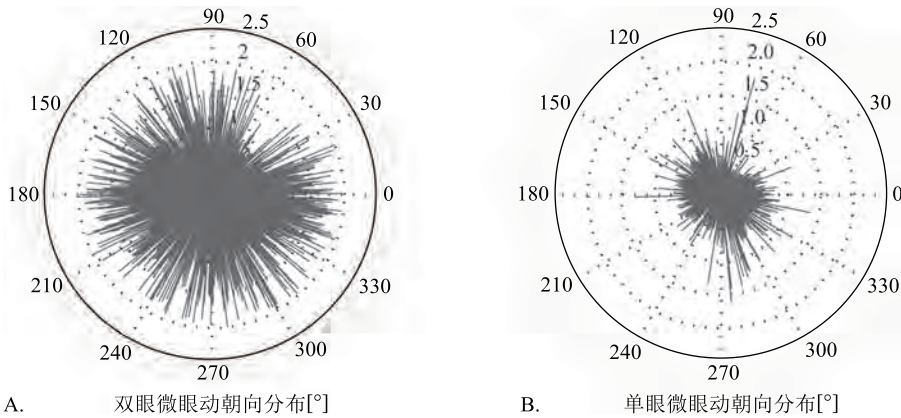


图 5.微眼动朝向的分布图

### (三)微眼的空间分布

图 5 呈现了双眼和单眼微眼动各自的空间分布,其中,A 图为双眼微眼动的朝向在空间内的分布,B 图为单眼微眼动的朝向在空间内的分布。根据微眼动方向与水平方向和垂直方向的夹角,将微眼动分为 4 个部分(与水平方向夹角在 45 度之内的左右两个部分和与垂直方向夹角在 45 度之内的上下两个部分),统计分析发现,无论是双眼微眼动还是单眼微眼动中,水平方向微眼动的数量都显著地多于垂直方向的微眼动(双眼微眼动: $\chi^2 = 2.76, df = 3, p < 0.05$ ,水平和垂直方向的微眼动数量分别为 5771 和 1344;单眼微眼动, $\chi^2 = 109.38, df = 3, p < 0.05$ ,水平和垂直方向的微眼动数量分别为 1489 和 972)。对双眼微眼动和单眼微眼动中水平方向微眼动所占的比例进行的卡方检验,发现双眼微眼动的水平微眼动比例显著大于单眼微眼动的水平微眼动的比例( $\chi^2 = 128.84, df = 1, p < 0.05$ ),这表明比起单眼微眼动,双眼微眼动更偏好于水平方向。

## 四 讨论

### (一)阈限探测实验及眼动数据的有效性

适当的任务难度对于探究微眼动诱发的空间注意而言十分重要。若实验难度过低,一方面练习效应和

疲劳效应容易对微眼动的效应量形成较大的影响,另一方面任务难度的天花板效应也不利于揭示可能存在的由微眼动诱发的空间注意效应。若实验难度过高,不仅任务本身会抑制微眼动的产生<sup>[18]</sup>,而且由此导致的地板效应也会对实验结果造成影响。实验将阈限探测实验中获得 70% 的阈限值运用到微眼动实验中,结果发现微眼动实验中各个条件下的正确率在 70% 上下小幅度波动(双眼微眼动一致条件下正确率平均为 72.54%,不一致条件下正确率平均为 66.97%,单眼微眼动一致条件下正确率为 70.56%,不一致条件下正确率为 75.86%)。这表明阈限探测实验获得的阈限值与微眼动实验的阈限值相一致,换言之,实验恰当地保持了中等难度。这一设计最大限度地减少了任务难度对实验结果的影响,提高了实验结果的信效度。

另外,对于获得的眼动数据,本研究运用了经典的 E&K 微眼动识别技术来识别微眼动<sup>[9][15][19]</sup>,对于采集到的微眼动数据,绘制了速率—幅度图,结果表明微眼动速率和幅度高度相关,成线性关系。这也与前人对于微眼动速率—幅度的研究高度一致<sup>[17][20]</sup>。这一结果在一定程度上也表明研究获得的微眼动数据是有效的。

## (二)微眼动与注意在神经机制上的联系

微眼动的产生机制对于探究和解释微眼动的认知功能有重要意义。已有大量研究表明,微眼动和眼动不仅在参数特点和激活的脑区这两个方面相似,而且在认知功能如校正视觉偏差、融合视觉等方面也有一致性<sup>[5][20-22]</sup>。因而,微眼动和眼动很可能有共同的神经机制。新近的微眼动理论指出,在注视过程中,上丘综合了来自额叶眼动区(FEF)、顶叶眼动区(PEF)、辅助眼动区(supplement eye fields)及感觉系统的输入信息,形成了视网膜拓扑图,Hafed 及其合作者认为如果超过视网膜中央凹一定距离的一些外周细胞被激活,上丘便发出微眼动指令<sup>[21][23-24]</sup>。但是,Engbert 等认为,上丘之所以发出微眼动指令,是因为当前注视点的激活量超过了某个阈值<sup>[18]</sup>。Otero-Millan 等综合了两者的理论,指出视网膜拓扑图中外周和中央的神经元存在相互抑制的关系,在注视过程中两者保持平衡<sup>[21]</sup>。一旦这种平衡被打破,就会激发微眼动。结合这三种理论,可以得出外界刺激(如光、声音)可能导致视网膜拓扑图的神经元的兴奋分布发生变化,这种变化会进而引发微眼动。从这个角度讲,自发的微眼动和注意激发的微眼动在产生机制上具有一致性。需要注意的是,在注意激发的微眼动中,内隐注意先于微眼动产生,这时微眼动能够表征注意的方向<sup>[8-9][13][25-26]</sup>。但是,当微眼动自发地产生的时候,微眼动对继而发生的注意可能会有不同的影响作用。目前很少有研究者从这个角度去考察微眼动相关的认知功能<sup>[14]</sup>。本研究正是从这一角度切入,首次考察不同类型的微眼动对注意的影响作用这一问题。

另外,从注意转移的神经机制来看,现有的大量研究证明空间注意的转移与眼动的神经机制相类似<sup>[27-29]</sup>。考虑到微眼动与眼动在幅度上具有一定的连续性<sup>[20]</sup>,加之很多研究也表明微眼动是视网膜区域的一些神经元的激活量(或视网膜区域的外周神经元与当前视网膜中心的距离)超过某个阈值但同时又不足以产生眼动时的产物<sup>[23-24][30]</sup>,不难推测,注意的转移与微眼动的产生在产生机制上很可能也具有 consistency。与这一观点相吻合,本研究 and Yuval-Greenberg 等的研究都一致发现自发双眼微眼动能诱发显著的空间注意效应,为这一观点的成立提供了直接的证据。

## (三)单双眼微眼动在诱发空间注意上的差异

当前对不同类型微眼动注意效应的考察研究发现,只有双眼微眼动能够有效地诱发空间注意。单、双眼微眼动的这种功能性差异很可能与单双眼微眼动的构成有关。双眼微眼动中左右眼都存在有微眼动,而单眼微眼动中一只眼存在有微眼动,另一只眼存在有漂移(注视过程中眼睛幅度和速率都远小于微眼动的运动)。一种可能是单眼微眼动中漂移的介入致使这种结果出现,但是,这并不必然意味着漂移导致了这种结果。鉴于漂移和震颤(叠加在漂移上高频低幅的眼动)往往同时发生,也很有可能是震颤或者漂移和震颤的共同作用导致了这种结果。有意思的是,单双眼微眼动的这种认知功能的差异并不仅仅存在于微眼动与注意的研究中,Martinez-Conde, Macknik, Troncoso 及 Dyar 等在视觉适应的研究中,同样发现了单眼微眼动和双眼微眼动的抗视觉衰退的效应量并不相同,双眼微眼动的抗视觉衰退的作用远远大于单眼微眼动<sup>[31][32]</sup>。这些研究成果都为不同类型的微眼动在认知功能上存在很大差异这一观点提供了证据<sup>[15][31]</sup>。考

虑到目前很多微眼动和眼动研究在对其认知功能进行考察时,很少对微眼动的类型进行明确的划分,甚至一些主流眼动仪会默认只采集单眼数据,当前研究的结果表明单眼和双眼微眼动可能在认知功能上存在质的差异,需要研究者引起高度重视<sup>[14][33-34]</sup>。

#### (四)微眼动朝向的空间分布的分析

Engbert 等的研究指出,单眼微眼动和双眼微眼动的朝向在空间分布上有很大的差异:双眼微眼动中绝大部分微眼动为水平微眼动,而单眼微眼动中水平微眼动和垂直微眼动在数量并没有明显差异<sup>[15]</sup>。但需要指出的是,Engbert 等记录的数据主要来源于延时注视任务。当前研究利用非延时注视任务,发现无论是双眼还是单眼微眼动,水平微眼动都显著多于垂直微眼动,尽管双眼微眼动中水平微眼动的比例显著大于单眼微眼动中水平微眼动的比例。有意思的是,当前关于微眼动神经机制的研究表明水平微眼动和垂直微眼动很有可能在产生机制上存在很大差异,有不同的激活通路<sup>[35-36]</sup>。因此,当前研究发现的微眼动空间分布差异上的一致性(水平大于垂直微眼动)很有可能提示了这两者不同的认知功能(如双眼视差、精细加工等也存在一定的差异)<sup>[32][37]</sup>。受限于当前的任务设置,本研究并未对这种空间分布的机制以及其对微眼动认知功能的影响进行考察,无疑这是一个亟待新的研究来探明的问题。

#### (五)微眼动在教育中的应用

研究发现微眼动对注意的影响受到微眼动类型的制约,只有双眼微眼动能显著地诱发空间注意。这一点是研究者在后续考察微眼动的认知功能时需要考虑的。研究的结果对于教育实践中如何高效地筛选、鉴别注意力缺失症(如注意力缺失多动症)也有一定的意义。本研究 and Yuval-Greenberg 等研究一致发现双眼微眼动同空间注意有着密切的关系,考虑到微眼动任务的简单性(仅要求被试盯住注视点即可),若进一步关于微眼动个体差异的研究验证了其对于注意缺陷的有效识别性,则其有可能成为一个潜在的快速鉴别这些注意缺失潜在的指标。需要指出的是,当前研究并未对这一可能性进行考察,因而这一可能在多大程度上有效还有赖新的研究来探明。

#### 参考文献:

- [1]RUCCI M, VICTOR J D. The unsteady eye: an information-processing stage, not a bug[J]. *Trends in Neurosciences*, 2015,(4):195-206.
- [2]CORNSEWET T N. Determination of the stimuli for involuntary drifts and saccadic eye movements[J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1956,(11):987-993.
- [3]DITCHBURN R W, FENDER D H, MAYNE S. Vision with controlled movements of the retinal image[J]. *Journal of Physiology*, 1959,(1):98-107.
- [4]PRITCHARD R M. Stabilized images on retina[J]. *Scientific American*, 1961,(6):72-79.
- [5]POLETTI M, LISTORTI C, RUCCI M. Microscopic eye movements compensate for nonhomogeneous vision within the fovea[J]. *Current Biology*, 2013,(17):1691-1695.
- [6]KO H, POLETTI M, RUCCI M. Microsaccades precisely relocate gaze in a high visual acuity task [J]. *Nature Neuroscience*, 2010,(12):1549-1553.
- [7]RUCCI M, IOVIN R, POLETTI M, et al. Miniature eye movements enhance fine spatial detail[J]. *Nature*, 2007,(7146):851-854.
- [8]HAFED Z M, CLARK J J. Microsaccades as an overt measure of covert attention shifts[J]. *Vision Research*, 2002,(22):2533-2545.
- [9]ENGBERT R, KLIEGL R. Microsaccades uncover the orientation of covert attention[J]. *Vision Res.*, 2003,(9):1035-1045.
- [10]TSE P U, SHEINBERG D L, LOGOTHETIS N K. Fixational eye movements are not affected by abrupt onsets that capture attention[J]. *Vision Research*, 2002,(13):1663-1669.
- [11]MEYBERG S, WERKLE-BERGNER M, SOMMER W, et al. Microsaccade-related brain potentials signal the focus of visuospatial attention[J]. *Neuroimage*, 2015,104:79-88.
- [12]HOROWITZ T S, FINE E M, FENCSEK D E, et al. Fixational eye movements are not an index of covert attention[J].

- Psychological Science*, 2007, (4):356-363.
- [13]LAUBROCK J, KLIEGL R, ROLFS M, et al. When do microsaccades follow spatial attention? [J]. *Attention Perception & Psychophysics*, 2010, (3):683-694.
- [14]YUVAL-GREENBERG S, MERRIAM E P, HEEGER D J. Spontaneous microsaccades reflect shifts in covert attention [J]. *The Journal of Neuroscience*, 2014, (41):13693-13700.
- [15]ENGBERT R. Microsaccades: a microcosm for research on oculomotor control, attention, and visual perception[C]// MARTINEZCONDE S, et al. *Visual Perception, Part 1, Fundamentals of Vision: Low and Mid-Level Processes in Perception*. Netherlands: Elsevier, 2006.
- [16]MARTINEZ-CONDE S, MACKNIK S L, HUBEL D H. The role of fixational eye movements in visual perception[J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2004, (3):229-240.
- [17]ZUBER B L, STARK L, COOK G. Microsaccades and the velocity-amplitude relationship for saccadic eye movements[J]. *Science*, 1965, (3702):1459-1460.
- [18]ENGBERT R, MERGENTHALER K, SINN P, et al. An integrated model of fixational eye movements and microsaccades[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, (39):765-770.
- [19]ENGBERT R, MERGENTHALER K. Microsaccades are triggered by low retinal image slip[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, (18):7192-7197.
- [20]OTERO-MILLAN J, TRONCOSO X G, MACKNIK S L, et al. Saccades and microsaccades during visual fixation, exploration, and search: Foundations for a common saccadic generator[J]. *Journal of Vision*, 2008, (14):21:1-18.
- [21]OTERO-MILLAN J, MACKNIK S L, SERRA A, et al. Triggering mechanisms in microsaccade and saccade generation: a novel proposal[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2011, 1233:107-116.
- [22]KAGAN I, HAFED Z M. Active vision: microsaccades direct the eye to where it matters most[J]. *Current Biology*, 2013, (17):712-714.
- [23]HAFED Z M. Mechanisms for generating and compensating for the smallest possible saccades[J]. *European Journal of Neuroscience*, 2011, (11):2101-2113.
- [24]HAFED Z M, GOFFART L, KRAUZLIS R J. A Neural Mechanism for Microsaccade Generation in the Primate Superior Colliculus[J]. *Science*, 2009, (5916):940-943.
- [25]LAUBROCK J, ENGBERT R, ROLFS M, et al. Microsaccades are an index of Covert Attention Commentary on Horowitz, Fine, Fencsik, Yurgenson, and Wolfe (2007)[J]. *Psychological Science*, 2007, (4):364-366.
- [26]LAUBROCK J, ENGBERT R, KLIEGL R. Microsaccade dynamics during covert attention[J]. *Vision Research*, 2005, (6):721-730.
- [27]SMITH D T, JACKSON S R, RORDEN C. Transcranial magnetic stimulation of the left human frontal eye fields eliminates the cost of invalid endogenous cues[J]. *Neuropsychologia*, 2005, (9):1288-1296.
- [28]MÜLLER J R, PHILIASTIDES M G, NEWSOME W T. Microstimulation of the superior colliculus focuses attention without moving the eyes[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, (3):524-529.
- [29]AWH E, ARMSTRONG K M, MOORE T. Visual and oculomotor selection: links, causes and implications for spatial attention[J]. *Trends in cognitive sciences*, 2006, (3):124-130.
- [30]HAFED Z M, KRAUZLIS R J. Microsaccadic Suppression of Visual Bursts in the Primate Superior Colliculus[J]. *Journal of Neuroscience*, 2010, (28):9542-9547.
- [31]MARTINEZ-CONDE S, MACKNIK S L, TRONCOSO X G, et al. Microsaccades counteract visual fading during fixation[J]. *Neuron*, 2006, (2):297-305.
- [32]ENGBERT R, KLIEGL R. Microsaccades keep the eyes' balance during fixation[J]. *Psychological Science*, 2004, (6):431-436.
- [33]MARTINEZ-CONDE S, MACKNIK S L, HUBEL D H. Microsaccadic eye movements and firing of single cells in the striate cortex of macaque monkeys[J]. *Nature Neuroscience*, 2000, (3):251-258.
- [34]MARTINEZ-CONDE S, SMACKNIK L, HUBEL D H. The function of bursts of spikes during visual fixation in the a-



wake primate lateral geniculate nucleus and primary visual cortex[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, (21):13920-13925.

[35] SPARKS D L. The brainstem control of saccadic eye movements[J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2002, (12):952-964.

[36] CURTHOYS I S, MARKHAM C H, FURUYA N. Direct projection of pause neurons to nystagmus-related excitatory burst neurons in the cat pontine reticular formation[J]. *Experimental neurology*, 1984, (2):414-422.

[37] OTERO-MILLAN J, MACKNIK S L, MARTINEZ-CONDE S. Fixational eye movements and binocular vision[J]. *Frontiers in integrative neuroscience*, 2014, 8:52-52.

## The Effect of Microsaccade Types on Attention

ZHANG Yang, LI Ai-su, HAN Yu, ZHANG Shao-jie, ZHANG Ming

(School of Education, Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215123, China)

**Abstract:** Microsaccades are the largest and fastest eye movements during fixation and play an important role in cognitive activities such as perceptual attention. Recently, studies have demonstrated that spontaneous microsaccades can guide attention to facilitate processing in the direction of microsaccades. But so far, there is no study of monocular and binocular microsaccades. In our study, high-speed binocular eye movement recording technique was applied to investigate the spatial attention induced by spontaneous monocular and binocular microsaccades. The results showed that the spatial attention is selectively captured by binocular microsaccades, so we discovered a boundary condition for the effect of microsaccades on spatial attention.

**Key words:** microsaccade; spatial attention; monocular microsaccades; binocular microsaccades

[责任编辑:罗银科]