

文章编号 1006-8147(2016)03-0273-05

综述

## 随机点动实验概述

常 淞<sup>1</sup>, 龙 盘<sup>1</sup>, 巩杨帆<sup>1</sup>综述, 刘旭峰<sup>2</sup>审校

(第四军医大学 1. 航空航天医学系; 2. 心理学教研室, 西安 710032)

关键词 随机点动实验; 心理物理学; 视觉运动觉

中图分类号 R395+R77

文献标志码 A

诺贝尔生理与医学奖获得者沃森说过:“20 世纪是基因的世纪, 21 世纪是脑科学的世纪”。而视觉作为人体 80% 以上信息的来源, 扮演着极其重要的角色。基本视觉信息包括: 运动(包括运动方向和速度)、亮度、形状、颜色、立体或深度视觉, 其中运动信息最难被察觉。人们对运动物体和静止物体的视觉感知是不相同的。目前临床上常用的评价视功能的指标如中心视力、静态视野、色觉、对比敏感度等, 实质上只是反映了视网膜对静止物体的分辨能力, 而视觉运动觉检查则是通过视觉系统对运动物体的分辨能力来评价其功能特性, 因而更能准确地反映视功能状态。随着心理物理学检测技术的不断成熟和发展, 为满足更加多样的检测需求, 随机点动实验(Random dot kinematogram, RDK)应运而生并不断完善。目前该方法已推广应用于研究阅读障碍患儿的动态视觉信息加工过程, 也可应用于多种临床疾病如心理疾病、神经精神疾病、眼科疾病等的早期诊断。本文主要介绍 RDK 的定义及基本实验方法, 简述其相关神经生理学依据, 并归纳 RDK 实验在心理学、精神病学以及眼科学等方面的临床应用, 同时对航空航天领域的应用做进一步展望。

### 1 RDK 的介绍

1.1 RDK 的定义及基本实验方法 RDK 是一种通过测量运动一致性或整体性阈值客观反映视觉运动觉的最常用的心理物理学方法。在 Wertheimer 引进运动感觉后, 随机点即被应用于研究, 但直到 Braddieks 的试验后, 随机点的应用才引起广泛关注。此方法相对不受形觉及位置的影响, 避免了受试者的心理作用。当平面图形上的元素(主要包括点、短线段)随机任意方向运动时, 若干数量的元素整合同步运动, 向同一方向运动的点的百分比不断变化。受试者通过按下按钮表明已经察觉存在同向运动(向左或向右; 向上或向下), 或者指出包含整体连贯运动的区域。通过测定受试者准确识别时运动元素的百分比来确定运动一致性或整体性阈值。通过使用密集的随机元素运动图形, 可以防止受试者从标识和跟踪元素个体的特征以推断出方向。每个运动元素的运动时间有限, 所以察觉并解释整合同步运动需要对复合运动信号进行整体识别。因此 RDK 可以客观反映视觉运动觉功能。

1.1.1 视觉运动一致性检查 视觉运动觉检查需要一台安

装随机点动觉测试软件的 PC 兼容机, 监视器显示屏中央为一圆形固视点, 每个刺激为一圆形视标, 运动的随机点占圆形视标内像素点的 5%, 每个刺激中的各随机点形状大小一致, 在每次显现时移动相同的距离。但运动的随机点中, 其中的一部分随机在某一方向以一致运动, 其余的随机点向上、下、左、右 4 个方向随机运动<sup>[1]</sup>。随机点运动到图形边缘将会消失, 且每次一致性运动的随机点会按照设计好的递增量再次出现于视标另一侧的水平对应点上, 呈同向运动。当受试者发现随机点运动一致时, 即为受试者的阈值。通过检测视觉运动一致性的阈值, 来比较检测者的视觉运动敏感度<sup>[2]</sup>。

1.1.2 视觉运动整体性检查 在同样的设备下进行试验, 刺激物为一系列短线段复合组成, 运动的随机线段占圆形视标内像素点的 5%, 每个刺激中的各随机线段, 在每次显现时移动相同的距离。复合形式的任务在一张图里, 主体察觉是一个圆周, 它由以直线为方向的线段复合组成。在运动的随机线段中, 其中的一部分随机按照圆形轨迹在运动, 其余部分的随机线段无规则随机运动。通过检测组成圆形轨迹的线段的百分比得到视觉运动整体性的阈值, 来比较检测者的视觉运动整体性的敏感性<sup>[3]</sup>。

1.1.3 视觉运动检查的衍生 RDK 最早由心理物理学家发明, 是心理疾病的一项辅助检查。根据不同检测需求, RDK 衍生出了更多的类型。通过改变随机点和背景的颜色, 检查颜色对视觉运动的影响。利用等亮度方法, 通过颜色拮抗以分离视锥细胞的功能。其原理是应用黄色背景光时, 可以抑制红和绿视锥细胞的敏感性, 使蓝视锥细胞的功能得以更加充分和单纯的分离。同理, 紫色背景下, 绿视锥细胞最易兴奋; 青色背景时, 红视锥细胞最易兴奋, 从而能够更加单纯地分离感受不同颜色视锥细胞运动觉的功能<sup>[4]</sup>。当然, 也可以进行视觉方向运动检查, 开展在垂直方向、对角线方向、扩展方向的 RDK。通过眼球开始运动的反应时间来观察眼睛对于不同方向的随机点运动处理的速度; 进行视觉形状运动检查时, 改变随机点的形状来探讨个体对不同运动形状的处理速度和差异; 进行视觉运动速率检查时, 改变随机点的运动速率来比较个体对不同速率的感知差异<sup>[5-6]</sup>。

1.2 RDK 的测量指标 阈值由受试者的反应确定, 即受试者在确定每一次正确反应后, 被选变量将下降 0.1 log 单位, 直到第一次错误反应出现, 此时即为受试者的阈值, 其测量指标如最大位移阈值(Dmax)、最小位移阈值(Dmin)、相关阈值等反映了它们的基本功能。视觉感知到运动一致性或整体性时的

基金项目 国家自然科学基金资助项目(81272174)

作者简介 常淞(1993-), 男, 学士在读, 研究方向: 航空航天心理学; 通信作者: 刘旭峰, E-mail: 583466585@qq.com。



最大位移量,即最大位移阈值( $D_{max}$ )最初被认为是固定的,但现在发现在接受刺激条件下该值会发生变化。 $D_{max}$ 的值由图形中既定运动状态下的潜在错误匹配的统计学性质和视觉系统中运动识别细胞的感受野特性共同决定。当我们觉察到屏幕上的运动时,必须有一个过程允许我们随着时间的推移追踪移动的物体。若时间不足,将会导致大量不同运动方向的信号错误输入。通过研究空间随机点动模型中的视觉运动中枢发现,低级运动识别系统有一定的空间范围,其确保随着时间的推移系统易于被同一个对象激活。该模型可预测,在 $D_{max}$ 以上,随机点动模型的运动方向不可能被准确识别,该值不受随机点动模型中运动元素的大小或密度的影响。 $D_{max}$ 是衡量视觉通路中运动识别系统功能的尺度。然而,其他的研究显示 $D_{max}$ 随着运动元素大小的增加而增大,这种情况下, $D_{max}$ 取决于模型运动后运动元素之间错误匹配的概率。这些冲突的信息最终被调和,表明在精细的细节被生理性预筛选阶段删除之后, $D_{max}$ 确实由模型中运动元素之间的间距决定,分析运动数据所需的筛选器同灵长类动物射乳通路中的神经元感受野有类似的大小<sup>[7]</sup>。

$D_{min}$ 即随机点在一水平方向上运动,在固定的时间空间频率时,其被感知到物体运动时物体的最小位移量。许多实验证明, $D_{min}$ 提供的信息不是物体的位置,而是物体运动的信息。Nakayama通过应用不同空间频率的随机点测量 $D_{min}$ ,作为时间频率的一个功能, $D_{min}$ 还通过它们具有不同的空间频率,进一步从位置信息中分离出运动。 $D_{min}$ 正常阈值比中心凹的感受野小,属超敏视力范围,一些因素如空间时间频率影响其大小。由于较大直径的神经节细胞在感知较小范围运动时起了重要作用,所以 $D_{min}$ 增大,表明大神经节细胞选择性的功能下降<sup>[8]</sup>。

相关阈值:在噪音背景下让一些随机点,以一定速率向一定方向运动,增加随机点的数量以其相关运动刚好被感知,此时的随机点与噪音的对比度比值,确定了相关阈值的大小。正常相关阈值5%~10%大小,主要受时间频率及空间频率的影响。时间间隔太长,相关运动常被感知为相反方向上的运动;而时间间隔太短,又常感觉不到物体的运动方向。空间方面,太大或太小,都只被感知为在不同运动方向上的不同的刺激点。

**1.3 RDK的神经生理学依据** 目前关于视觉信息加工的主要理论是“视觉通路假说”。该假说认为,感知深度和运动的视知觉由M视网膜节细胞传导至外侧膝状体,随后背侧通路沿着枕顶叶分布,从枕叶初级视皮层V1、V2、V3区经内侧颞叶(MT)投射至枕顶叶。背侧通路的神经元主要对运动速度与方向等特征进行反应,功能是对物体空间位置和运动进行识别<sup>[9]</sup>。RDK是一种主要用来探测大脑皮层外侧膝状体巨细胞(M细胞)在视觉运动过程中功能的心理物理学检测方法。当人体受到外界内外环境的刺激时,RDK可以客观的测量人体的心理物理学变化—视觉运动觉,通过运动一致性或整体性阈值客观反映视觉运动觉。对运动一致性的感知直接与MT区域的活动相关,与更加早期的视觉区域活动无关。通过功能性磁共振成像(functional MRI)可发现低级别RDKs刺激下后部枕叶区出现激活区域,高级别RDKs刺激下枕叶

和顶叶区域则出现了更加活跃的激活区域<sup>[10]</sup>。到目前为止,在对自闭症受试者的研究中,尚未准确定位出与识别运动的视觉系统相关的神经区域。

一般来说,整体加工是空间视觉加工信息的一种方式,包括两方面内容,即一级视觉信息和二级视觉信息。一级视觉信息是由亮度调制的,即由亮度变化决定的视觉信息(如图形轮廓或者形状等);二级视觉信息是由除亮度以外的其他因素调制,通常是由对比度调制的视觉信息<sup>[11]</sup>。

以往研究常用的亮度呈正弦曲线变化的黑白条栅就属于一级视觉信息刺激模式。这种条栅刺激可能同时兴奋视网膜中心一周围感受野,这就使早期视觉信息加工过程中的线性滤过,即对低空间频率敏感的滤过,参与了视觉信息加工即Fourier学说。这样发生在更高级阶段的信息加工异常就不能表现出来,或者不能完全表现,甚至错误表现<sup>[12]</sup>。在近年来的研究中,人们发展了亮度呈Gabor或Gaussian函数变化的条栅,制成Gabor斑、Gaussian函数斑,利用其亮度、空间频率和轮廓等特性,使它们不会受到上述空间频率的限制而使得RDK在心理物理学、视觉科学、神经生理学等研究中得到更加普遍的应用。

由对比度决定的二级视觉信息,通常需要以一定形式的视觉信息(例如:具有一定空间频率、亮度呈正弦变化的条栅)为载体再加以对比度调制<sup>[11]</sup>。研究整体视觉信息加工的一种方法是将目标信号置于视觉噪声中。在这样的视知觉任务中,信息加工包括了两方面的内容,即视觉系统对目标信号的整合和对视觉噪声的分离<sup>[13]</sup>。

## 2 RDK的运用

### 2.1 心理学领域的运用

**2.1.1 发展性诵读障碍** 发展性诵读障碍表现为阅读能力和文字写作加工能力低下,是一种大脑综合处理视觉和听觉信息不能协调而引起的一种阅读和拼写障碍。研究结果发现发展性诵读障碍患者的RDK一致性运动敏感性低于正常儿童。研究者认为这个结果支持发展性诵读障碍的“巨细胞缺陷假说”,该假说认为视觉系统主要由平行加工的巨细胞系统与小细胞系统构成,其中巨细胞系统对运动刺激或快速变化的视觉刺激进行反应<sup>[14]</sup>。这些加工过程对阅读过程中指引眼睛运动、稳定双眼注视和扫视时抑制图像模糊是必要的,但是阅读障碍者快速加工输入刺激障碍反映了普遍的时间知觉缺陷。RDK是常用的测试儿童阅读能力的方法,可以反映儿童的语言层次加工速度和视知觉能力。阅读障碍者的RDK一致性运动知觉阈值提高,视觉运动速度分辨能力较差<sup>[15]</sup>。

同时研究发现在RDK实验中,改变随机点中的信号点和噪音点的对比度,会影响视觉运动一致性的阈值。一个重要的发现是当信号点比噪声点越高,发展性阅读障碍的成人对于视觉运动知觉的敏感性越强。这表明噪声在发展性阅读障碍患者的视觉感知能力有着一定影响,这间接说明发展性阅读障碍是视觉和听觉共同作用的疾病。如果采用不同频率的声音刺激下,可以得到发展性阅读障碍患者的视觉感知能力与频率的相关性,这些改变可能与M细胞或者背侧通路的视知觉加工敏感性有关<sup>[16]</sup>。



**2.1.2 威廉斯综合征** 威廉斯综合征(WS)是一种表现为多种异常症状以及智力落后的一种基因病症。WS患者认知方面最突出的特征是语言和人脸加工能力相对较好,但非言语技能,如数字操作、空间认知、计划和解决问题能力则一般较差。目前认知方面的研究集中于语言、人脸加工和数字研究上。其视觉空间缺陷、行为问题和学习困难程度存在差异。行为方面的问题还包括听觉过敏、多动和集中注意力差,很多患者还存在睡眠问题。RDK实验测试发现其视觉运动整体性阈值明显上升,提示其视觉运动整合能力严重下降<sup>[17]</sup>。

**2.1.3 注意力缺陷多动障碍** 注意力缺陷多动综合征(ADHD)多发生于儿童,主要表现为注意力涣散;活动量过多;自制力弱<sup>[18]</sup>。目前这类疾病的诊断还是不太明确,国内外的研究学者利用RDK发现这些孩子RDK刺激一致性运动阈值大于正常儿童,且症状越重其视觉刺激一致性运动阈值越大,说明ADHD儿童存在动态视知觉敏感性减低、动态视觉加工障碍。推测其原因可能是因为ADHD儿童阅读能力较差,可能存在认知加工速度减慢和基本动态视知觉缺陷。同时相关性分析发现ADHD评分总分越高,操作智商及知觉组织智商越低,RDK视觉一致性运动阈值越高,结果表明知觉一致性运动阈值与注意和操作组织能力有关<sup>[19]</sup>。当然加工感觉能力的任务不仅需要注意和智力参与,研究也发现非语言的推理能力的评估与视觉一致性运动的感觉阈值在测量内容上是有重叠的。

## 2.2 精神疾病领域的运用

**2.2.1 自闭症** 自闭症(ASD)属于儿童广泛性发育障碍(PDD)。主要表现为社会交往障碍、言语沟通障碍和兴趣范围狭窄及刻板古怪的行为方式等,其原因可能是由于婴幼儿时期广泛性的某些脑区的发展滞后。传统上,对自闭症的心理研究主要集中于社会认知能力,最近研究人员研究自闭症儿童在视觉处理上与正常发育儿童存在较大差异。他们用RDK分别测试自闭症儿童与正常发育儿童,发现其运动一致性的阈值大于正常儿童,推测其可能是由于在婴幼儿时期视觉传导通路发育障碍所导致<sup>[20]</sup>。然而静态形式的Dmax在受试儿童中并未升高;因此认为,ASD患者由于背侧通路的损伤,运动知觉发生障碍。更多最近的证据表明,静态形式Dmax的下降同时也提高了腹侧通路受损的可能性。一项研究得出了Dmax的平均值,高机能ASD儿童为25%,而典型进展期ASD儿童则是15.3%。另一个实验室发现自闭症儿童需要22.4%的点以感知运动一致性,而区分整体运动方向平均需要11.1%。但也有学者研究发现其对于运动的敏感性高于正常发育儿童,其对于随机点运动一致性的阈值小于正常儿童,推测可能是由于大脑发育的代偿所致<sup>[21]</sup>。

有学者比较了接受两组不同类型刺激的ASD受试者和对照组受试者,刺激类型包括3个运动类别(平移、旋转和径向运动)下的亮度识别模式和对比度识别模式。刺激包括在正弦调制光栅中叠加噪声暴露。在诸多刺激类型中同时暴露于其中两者,对整体位移方向的察觉需要对位移信号的整合。然而,对比度识别刺激和亮度识别刺激在诸多方面都不相同,前者可产生较弱的运动后效应,并需要更长时间的短时整合,这更值得关注。当ASD受试者和对照组受试者在亮

度识别刺激下试图区分运动的两个方向时,两者之间的性能差异尚未被发现,这与前期研究结果不同。同样,几项研究发现,使用RDK测试ASD受试者和相应对照组,两组的运动一致性阈值无显著差异。研究表明,一些自闭症的成年人可能建立了补偿机制,从而实现了相当于通常发育个体的视觉运动灵敏度,使他们同样能够执行相同的视觉感知功能。

**2.2.2 精神分裂症** 精神分裂症是一种涉及到认知、情感和包括视觉处理的感知觉异常的一种精神障碍。研究发现精神分裂症的患者对于视觉信息的加工和感知存在异常,它已被认识到与大脑功能的受损有关,表现在一系列的视觉处理任务(例如连贯的运动和轮廓检测)可能由于其一般不能在全局级别集成视觉信息<sup>[22]</sup>。因此,精神分裂症患者与正常对照组在完成一系列视觉任务时,存在一些差异,无论是对于一些简单的纹理辨别还是对于复杂的人脸识别<sup>[23]</sup>。

研究人员通过RDK试验,发现精神分裂症患者对于由一些短链的片段组成的轮廓的识别能力低于正常人<sup>[24]</sup>,推测可能是由于精神分裂症患者的视觉感知是碎片状的,而整体水平的视觉感知能力受损<sup>[25]</sup>。相似的,精神分裂症患者的视觉运动一致性的阈值也提高了。为了进一步的探究精神分裂症患者的视知觉感知能力,研究者通过改变底色和随机点的色差,设计不同对比度的实验和不同随机点运动速度的RDK实验,发现精神分裂症患者对于颜色对比度大的随机点的敏感性更高<sup>[26]</sup>。由于精神分裂症经常伴有幻觉,涉及到多个感知系统,比如视觉和听觉。可以设计会发出不同强度声音的随机点通过视觉运动感知一致性实验来检测,发现随着声音的不断增加,视觉感知随机点运动一致性的阈值增加且对于随机点轮廓感知的阈值也增加<sup>[23]</sup>。通过训练可以提高精神分裂症患者的视觉运动功能,这可能是由于提高了精神分裂症患者的腹背侧通路的协调性<sup>[27]</sup>。根据视觉通路假说,视觉处理是平行处理的过程,精神分裂症可能是由于腹侧通路和背侧通路的不协调所致。所以RDK实验可以用于精神分裂症的早期识别和症状改善。

## 2.3 眼科疾病领域的运用

**2.3.1 近视性弱视** 近视性弱视是指在视觉发育早期,竞争着的双眼视刺激的输入失去平衡的结果。治疗方法有限,目前研究发现动态视知觉训练可以提高儿童近视性弱视的治疗效果。在弱视猫的外侧膝状体细胞电位研究中发现,M神经元反应异常,而P神经元反应正常。表现为低空间频率的分辨能力下降。这可能与提高视觉神经功能的兴奋性有关,从而提高效果<sup>[28]</sup>。通过眼球开始运动的反应时间来观察眼睛对于不同方向的随机点运动处理的速度。通过对不同年龄组儿童的检查,发现0~3岁和4~12岁的孩子的眼动反应时间显著延长,4~12岁的孩子对于不同方向的随机点运动的眼动时间表现出较明显差异,可以发现处理不同类型相干运动的年龄依赖性<sup>[29]</sup>。

利用“信号/噪声”整体运动模式,即采用RDK使一定比例的点(信号)按相同的方向运动,剩余的点(噪声)则随机运动,让受试者在尽可能小的信号/噪声比例下判断出信号的运动方向。在排除了已知的对比敏感度下降的影响后发现:弱视患者对运动和形态的整体视觉信息加工是不完善的,而



且其神经基础可能不在 V1 区;弱视患者的整体视觉信息加工缺陷,同时包括了一级和二级视觉信息处理的缺陷,且二级视觉信息处理的缺陷更加严重,特别是在斜视性弱视患者,这一点和 Wong 等<sup>[30]</sup>的研究结果相一致。因此认为在形态或运动感知中,弱视患者对一级和二级视觉信息的加工缺陷不仅仅是 V1 区神经系统缺陷的结果,而是涉及对二级视觉信息的加工更加敏感的更高级的皮层水平——可能是纹状体外皮质区的某些特殊区域。由此提示弱视患者的纹状体外皮质区可能受到影响,fMRI 研究显示可能是与形态和运动感知有关的背侧束和腹侧束受到影响<sup>[31]</sup>。

Simmers 等<sup>[32]</sup>在其整体运动模型中不仅加入了二维噪声背景,同时在一组随机点中划分了不同比例的信号刺激和噪声刺激,通过先后变换随机点的位置,让受试者判断整体运动方向。他们的研究结果显示:弱视患者对整体的方向性感知存在较大的缺陷。Mansouri 等<sup>[33]</sup>发现:对弱视患者,整体视觉信息中的方向性感知是正常的。这两个看似矛盾的结论,其原因是在前者的试验中,同时包含信息的整合和分离处理,而在后者的试验中,仅仅只有整合处理。所以 Mansouri 等推断弱视患者对二级视觉信息的整合过程是正常的。那么,弱视患者对二级视觉信息的感知缺陷,是否发生在分离处理阶段,还是整合和分离相互作用的结果,将是今后的研究的方向。

**2.3.2 青光眼** 在原发性开角型青光眼(POAG)中,早期视功能损伤往往不易被发现。因为在使用传统的检查方法如眼压、视野等发现病情之前,已有视神经纤维的丧失。近年来随着计算机技术的发展,视觉运动觉检查逐渐应用于临床,相继有应用随机点视觉运动觉检查法进行青光眼早期诊断的报道。

Bullimore 等<sup>[34]</sup>在将随机点视觉运动觉检查用于青光眼研究中发现,原发性开角型青光眼患者的 Dmin 是正常人的 2 倍,且 n 例患者中有 10 例在视力及中心凹阈值正常时,Dmin 明显异常,而 Dmax 及相关阈值无明显异常。Silverman 等<sup>[35]</sup>发现青光眼患者比正常人随机点相干运动阈值增加 70%,高眼压症患者增加 44%。有学者检查高速和低速条件下,青光眼方向区分阈值的改变,结果显示在高速运动的情况下运动觉阈值升高最明显,同时证明阈值增高与视物模糊及瞳孔大小无关<sup>[36]</sup>。研究人员通过改进 RDK 实验分别通过蓝、绿、红视标显示在黄、紫及青色背景,以分离检查青光眼 3 种视锥细胞的视觉运动觉功能,发现青光眼患者的颜色与视觉运动的损害也是显著的,他们观察到原发性开角型青光眼患者 3 种视锥细胞视觉运动觉的变化结果,发现 3 种视锥细胞的方向区分阈值与正常人相比明显受损,发生了弥漫性的损害。其中以蓝视锥细胞的视觉运动觉受损最为严重,而且可以反映青光眼早期视功能损害的有效测试指标之一。因为开角型青光眼发病进程缓慢,早期诊断方法特异性不高,通过等亮度及颜色拮抗,分离和检查青光眼不同视锥细胞视觉运动觉功能的变化规律,为开角型青光眼的早期诊断寻找新的测试指标。

**2.3.3 老年性黄斑变性** 老年性黄斑变性(AMD)是黄斑区的衰老性改变,主要表现为视网膜色素上皮细胞对视细胞外节盘膜吞噬消化能力下降,使得未完全消化的盘膜残余小体滞留于基底膜细胞原浆中,并向细胞外排出。由于黄斑区功

能突出,表现尤为明显。视觉系统与人体其他器官一样,也存在着年龄相关性变化<sup>[36]</sup>。汪建涛等利用 RDK 发现,40 岁以后随年龄增长,视觉运动觉值下降。通过分离视锥细胞运动觉检查显示,>50 岁和<50 岁组 3 种视锥细胞的视觉运动觉差异均有显著性。通过随机点运动觉检查方法,分别应用蓝、绿、红视标显示在黄、紫及青色背景,保持视标与背景间等亮度以排除亮度因素的影响,从而分离检查 20 只眼 AMD 3 种视锥细胞视觉运动觉功能的变化。观察干性型 AMD 患者 3 种视锥细胞视觉运动觉的变化,发现 AMD 3 种视锥细胞的感觉运动和方向运动阈值与正常人相比明显受损,发生了弥漫性的损害。因此视锥细胞的视觉运动觉是能够反映干性型 AMD 视功能损害的一个新的测试指标。

### 3 研究前景展望

**3.1 飞行员和航天员的选拔** RDK 检查已经由心理物理学领域延伸到多种临床疾病的辅助检查和诊断运用,而且比较敏感地发现视觉运动觉的差异。随着我国航天航空事业的飞速发展,高性能战斗机的不断研发,陆军航空兵部队的实战化训练的增多,复杂气象环境下训练的增多,对于飞行员视觉运动觉提出了更高的要求。但是目前对于飞行员的选拔却没有此项内容。RDK 实验作为心理物理测量的一种手段,应用于航空航天人员的选拔和训练的评估,可以客观反应个体的心理和视觉运动能力的强度。

**3.2 飞行员与航天员的训练** 研究结果显示,适当的训练可以提高视觉运动敏感性,可以对飞行员开展有针对性的训练。也可以对现役飞行员等建立一个视知觉感知能力的个人电子档案,合理安排,统筹兼顾,使每一位飞行员都可以最大限度地发挥自己的视知觉脑功能,更好地完成飞行任务。同时,这些大数据也可以应用于航空航天工效学设计上,比如指示灯的闪烁频率、内部座舱设计的颜色、屏幕坐标显示的形状以及三维空间的深度感受等。航空航天环境下,由于受到低气压缺氧等不良环境的影响,不可避免的对飞行员的视觉运动功能造成一定影响,但视觉敏感性下降的具体机制不明,我们可以在低压舱内模拟高空环境或失重状态进行 RDK 的研究,从而探究高空和失重环境下对人体视觉运动的影响。

### 参考文献:

- [1] Hutchinson C V, Ledgeway T, Allen H A. The ups and downs of global motion perception: a paradoxical advantage for smaller stimuli in the aging visual system[J]. *Front Aging Neurosci*, 2014, 6: 199
- [2] 汪建涛,吴德正,Fitzke F W. 正常人视觉运动觉的测试[J]. *中华眼科杂志*, 1997, 33(2): 30
- [3] Hansen P C, Stein J F, Orde S R, et al. Are dyslexics' visual deficits limited to measures of dorsal stream function[J]. *Neuroreport*, 2001, 12(7): 1527
- [4] 顾宝文,吴德正,梁炯基.青光眼视锥细胞视觉运动觉功能的变化[J]. *中华眼科杂志*, 2001, 37(2): 104
- [5] Yasuoka A, Kita S, Ishii M. Apparent depth of a patch of dynamic random noise within a static field of random dots [J]. *J Vis*, 2015, 15 (12): 832
- [6] Andersen S K, Müller M M, Martinovic J. Bottom-up biases in feature-selective attention[J]. *J Neurosci*, 2012, 32(47): 16953



- 
- [7] Miller L, Agnew H, Pilz K. Age-related changes in motion direction discrimination in the horizontal plane[J]. *J Vis*, 2015, 15(12): 283
- [8] Andersen S K, Müller M M. Behavioral performance follows the time course of neural facilitation and suppression during cued shifts of feature-selective attention[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2010, 107(31): 13878
- [9] Latimer K, Curran W, Benton C P. Direction-contingent duration compression is primarily retinotopic[J]. *Vision Res*, 2014(105): 47
- [10] Mueller M, Keitel C. Time course of early visual cortex dynamics during top-down modulated attention shifts within or between feature dimensions[J]. *J Vis*, 2015, 15(12): 922
- [11] Schofield A J, Georgeson M A. Sensitivity to modulations of luminance and contrast in visual white noise: separate mechanisms with similar behaviour[J]. *Vision Res*, 1999, 39(16): 2697
- [12] Garcia-Suarez L, Mullen K T. Global motion processing in human color vision: a deficit for second-order stimuli[J]. *J Vis*, 2010, 10(14): 20
- [13] Cai L Y, Tian H, Yuan A, et al. Interactions among contrast, spatial displacement, and dichoptic viewing during binocular combination in global motion perception[J]. *J Vis*, 2015, 15(12): 270
- [14] Conlon E G, Lilleskaret G, Wright C M, et al. Why do adults with dyslexia have poor global motion sensitivity[J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7(7): 859
- [15] Conlon E G, Lilleskaret G, Wright C M, et al. The influence of contrast on coherent motion processing in dyslexia[J]. *Neuropsychologia*, 2012, 50(7): 1672
- [16] Conlon E, Lilleskaret G, Wright C M, et al. The influence of contrast on coherent motion processing in dyslexia[J]. *Neuropsychologia*, 2012, 50(7): 1672
- [17] Meyer-Lindenberg A, Hariri A R, Munoz K E, et al. Neural correlates of genetically abnormal social cognition in Williams syndrome[J]. *Nat Neurosci*, 2005, 8(8): 991
- [18] Czamara D, Tiesler C M, Kohlböck G, et al. Children with ADHD symptoms have a higher risk for reading, spelling and math difficulties in the GINIplus and LISApplus cohort studies[J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e63859
- [19] Shanahan M A, Pennington B F, Yerys B E, et al. Processing speed deficits in attention deficit hyperactivity disorder and reading disability[J]. *Abnorm Child Psychol*, 2006, 34(5): 585
- [20] Kaiser M D, Shiffrar M. The visual perception of motion by observers with autism spectrum disorders: a review and synthesis[J]. *Psychon Bull Rev*, 2009, 16(5): 761
- [21] Kaiser M D, Delmolino L, Tanaka J W, et al. Comparison of visual sensitivity to human and object motion in autism spectrum disorder[J]. *Autism Res*, 2010, 3(4): 191
- [22] Yoon J H, Rokem A S, Silver M A, et al. Diminished orientation-specific surround suppression of visual processing in schizophrenia[J]. *Schizophr Bull*, 2009, 35(6): 1078
- [23] Christensen B K, Spencer J M, King J P, et al. Noise as a mechanism of anomalous face processing among persons with Schizophrenia[J]. *Front Psychol*, 2013, 4: 401
- [24] Keane B P, Silverstein S M, Barch D M, et al. The spatial range of contour integration deficits in schizophrenia[J]. *Exp Brain Res*, 2012, 220(3/4): 251
- [25] Silverstein S M, Keane B P. Perceptual organization impairment in schizophrenia and associated brain mechanisms: review of research from 2005 to 2010[J]. *Schizophr Bull*, 2011, 37(4): 690
- [26] Hong L E, Turano K A, O'neill H B, et al. Is motion perception deficit in schizophrenia a consequence of eye-tracking abnormality[J]. *Biol Psychiatry*, 2009, 65(12): 1079
- [27] Norton D J, Mcbain R K, Ongür D, et al. Perceptual training strongly improves visual motion perception in schizophrenia[J]. *Brain Cogn*, 2011, 77(2): 248
- [28] 肖信, 刘伟民, 王英, 等. 视知觉学习疗法治疗近视性弱视儿童屈光动态观察[J]. *实用医学杂志*, 2011, 27(5): 781
- [29] Pel J J, Van der Zee Y J, Boot F H, et al. Remote eye tracking assesses age dependence processing of coherent motion in typically-developing children[J]. *J Med Eng Technol*, 2013, 37(2): 109
- [30] Wong E H, Levi D M, McGraw P V. Is second-order spatial loss in amblyopia explained by the loss of first-order spatial input[J]. *Vision Res*, 2001, 41(23): 2951
- [31] Joshi M, Simmers A, Jeon S. Deficits in integration of global motion and form in noise is associated with the severity and type of amblyopia[J]. *J Vis*, 2015, 15(12): 193
- [32] Simmers A J, Ledgeway T, Hess R F. The influences of visibility and anomalous integration processes on the perception of global spatial form versus motion in human amblyopia[J]. *Vision Res*, 2005, 45(4): 449
- [33] Mansouri B, Allen H A, Hess R F. Detection, discrimination and integration of second-order orientation information in strabismic and anisometropic amblyopia[J]. *Vision Res*, 2005, 45(18): 2449
- [34] Bullimore M A, Wood J M, Swenson K. Motion perception in glaucoma[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1993, 34: 3526
- [35] Shabana N, Cornilleau Pères V, Carkeet A. Motion perception in glaucoma patients [J]. *Ophthalmol*, 2003, 110(1): 92
- [36] Marc R E, Jones B W, Watt C B, et al. Extreme retinal remodeling triggered by light damage: implications for age related macular degeneration[J]. *Mol Vis*, 2008, 14: 782

(2015-09-28 收稿)