

采用 Rayleigh 颜色匹配对人眼色觉老化特性的测量^X

孙 沛 孙秀如

艾立昆 刘玉华

(中国科学院心理研究所, 北京, 100101) (北京协和医院, 100013)

1 前言

对人眼颜色视觉的定量测量可以采用 Rayleigh 颜色匹配实验方法。这一实验方法是目前临床上使用的各种色觉镜的理论基础。其基本方法为, 单色绿光(545nm)和单色红光(670nm)在一个圆形视场的一半形成混合光, 同时单色黄光(589nm)投射到另一个半视场, 被试通过调整混合光中红光和绿光的比例以及黄光的亮度进行颜色匹配的测量。

随着年龄的增长, 人眼视网膜将出现一系列的变化。在结构上出现的主要变化有网膜色素上皮细胞的损失和锥体细胞的丢失等; 在功能上出现的主要变化有视敏度的降低和颜色分辨能力的降低等。由于在对人眼颜色视觉老化问题的研究中存在不同的实验研究结果, 本实验尝试使用 Rayleigh 颜色匹配方法对这一可能的色觉变化进行测定。

2 方法

211 被试: 依据俞自萍色盲检查图(1997年版)检查结果选取色觉正常被试 36 名, 按年龄分为 3 组, 即 20) 35 岁组, 36) 45 岁组, 46) 60 岁组。每组 12 名被试, 男女各半。

212 仪器装置 色觉测量实验装置为红、绿、黄三条光路组成的光学系统, 在计算机的控制下进行 Rayleigh 颜色匹配的测量。视场为圆形, 位于观察者左视野内, 红、绿混合光呈现于左半视场, 黄光呈现于右半视场(参见心理学报 1999 年第 4 期 390) 396 页)。

213 数据分析 Rayleigh 颜色匹配测量结果通常表示为混合光中红光所占的比例, 这一比例值称为 Rayleigh 匹配中点(match midpoint)。测量中另外一个重要测量值为 Rayleigh 匹配范围(match range), 它是 Rayleigh 匹配最大值和最小值的差值。

214 实验程序 在进行 Rayleigh 颜色匹配测量时, 红、绿混合光之和及单色黄光的颜色匹配刺激一般稳定在 63Td 左右, Td (Trdand) 为网膜照度单位。混合光刺激分布依据最小变化法进行, 其中一端从单色红光开始, 一端从单色绿光开始。

每次测验被试的任务是判断混合光与单色黄光相比是/较红0/较绿0还是/一致0。计算机将根据被试的反应设置下次混合光刺激中红绿的比例, 直到被试认为完全一致为止。如果被试认为右半视场单色黄光的亮度与左半视场混合光的亮度不一致, 还可以通过反应键盘上的/增亮0和/减暗0进行调节。

每个被试共进行 4 次测验, 第一次的实验数据不进入分析。被试右眼和左眼分别进行测验。

3 结果

311 Rayleigh 匹配中点 对 36 名被试 Rayleigh 匹配中点进行

单因素重复测量三因素混合设计的方差分析。结果表明, 被试内因素右眼与左眼差别不显著, $F(1, 30) = 0.63, P > 0.05$; 被试间因素男性与女性差别不显著, $F(1, 30) = 0.00, P > 0.05$; 被试间因素不同年龄组差别不显著, $F(2, 30) = 0.74, P > 0.05$; 各因素之间交互作用均不显著。

312 Rayleigh 匹配范围 对 36 名被试 Rayleigh 匹配范围进行单因素重复测量三因素混合设计的方差分析。结果表明, 被试内因素右眼与左眼差别不显著, $F(1, 30) = 0.01, P < 0.05$; 被试间因素男性与女性差别不显著, $F(1, 30) = 0.02, P > 0.05$; 被试间因素不同年龄组差别显著, $F(2, 30) = 5.08, P < 0.05$; 各因素之间交互作用均不显著。

对被试 Rayleigh 匹配范围不同年龄组因素进行多重比较结果显示, 20- 35 岁组与 36- 45 岁组差别不显著, $F(1, 30) = 1.39, P > 0.05$; 36- 45 岁组与 46- 60 岁组差别不显著, $F(1, 30) = 1.15, P > 0.05$; 20- 35 岁组与 46- 60 岁组差别显著, $F(1, 30) = 5.07, P < 0.05$ 。

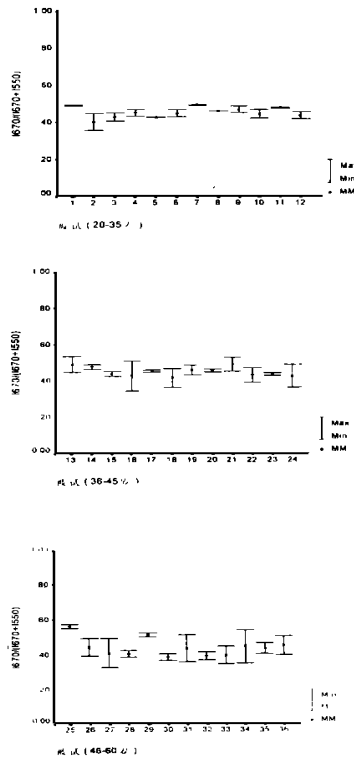


图 1 不同年龄组被试右眼 Rayleigh 匹配测量结果

4 讨论

许多研究结果表明, 随着年龄的增长, 颜色视觉存在与年龄相关的变化。在使用色觉镜和 Rayleigh 匹配的测量中, 有的研究发现随着年龄的增大被试在 V- V (转第 730 页)

^X 国家自然科学基金资助项目, 中国科学院心理所所长基金资助项目。

Temporal Context) 在里面起了作用, 即, 在 APC 上, 是以项目为情境0进行提取加工。由这两项研究可以看到, 事件引起的 fMRI 信号相对来说能更灵敏地反映神经结构的活化变化。

2) 随机化性质特点在刺激组间隔期间对认知加工和假想的神经结构的影响。/ 组块0 设计中, 理论上仅能测量到各 / 组块0 间神经活动的平均差异, 因为功能信号在一个 / 组块0 中已被平均化了。在 ITI 期间, / 组块0 中的刺激和其他刺激事件间可能存在相互作用, 而这在实验中可能是重要的影响因素 (Schacter, et. al., 1996); 而且, 行为反应和刺激组呈现顺序间的互相作用在功能像水平上也可能发生。如, Pardo et. al. (1991) 报告, 注意维持时的简单视觉和触摸任务下, 功能激活主要在右半球前额和上顶皮层。实验中, 被试执行任务时, 被指示注意即将出现的触摸或视觉刺激的呈现。而实际上, 几乎没有什么刺激呈现。这样, 这种情形和纯的无激活状态间的信号差异在一定程度上可归结为长时间的不断增强的警戒或预期状态, 而不是刺激呈现引起的认知加工。这个实验研究也表明, 认知状态实际需经相对较长时间才有改变, 可行为反应较短时间内就能完成。另外, 不同类型刺激组的加工也可引起功能改变, 并将导致更为泛化、广义上的功能改变。而所有这些, / 组块0 设计无法作出区分。

3 事件相关 fMRI 设计在心理学研究中的作用

事件相关 fMRI 设计的研究应用在前面已有所提及。一般来说, 使用事件相关 fMRI 研究脑- 行为关系常建立在依据 认知减法 (Cognitive Subtraction)0 所作的推理基础上。

在功能神经成像中, 使用认知减法以 / 延迟- 反应0 范式研究工作记忆是有一定风险的。此时, 若插入的认知过程影

响任务中其他加工过程, 就不能使用认知减法。为消除可能的伪迹, 使用认知减法还需满足: 神经信号与神经成像信号间转换必须是线性的。正如前面所讨论的, BOLD fMRI 系统并非是严格线性的。延迟- 反应范式中, 插入和不插入情形下, 若知觉加工和反应加工的神经活动信号转换为血流动力学信号的和是不同的, 则不能使用认知减法。此时, 若使用则可能导致错误的推论, 而且, 减法的结果也易产生伪迹。应指出的是, 事件相关 fMRI 并未削弱认知减法的可靠性。

有一项研究使用事件相关 fMRI 设计探讨了, 特定脑区的神经活动是否能预测以后的真实或知觉记忆成绩。在机器扫描时, 被试看一系列图或词, 接着对他们作记忆测试, 看是否记住了每个项目。通过对逐个刺激的直接比较, 研究发现, 良好记忆项目在前额和海马旁区激活得要更好。Courtney et. al. (1996) 使用 / 组块0 fMRI 设计研究得到, 面孔识别的工作记忆任务会激活脑中几个离散的区域。Courtney et. al. (1997) 对工作记忆维持的神经结构进一步作了研究。研究中他们使用了事件相关 fMRI 设计、延迟反应和多元回归分析等方法。研究结果提示, 视皮层区域主要负责知觉和编码, 但前额区主要负责工作记忆过程中表征的维持。

4 结论

与刺激组的 / 组块0 设计不同, 事件相关 fMRI 设计利用了 fMRI 较高的时间分辨率, 随着刺激组的呈现和改变, fMRI 信号变化及时而且能较为灵敏地 / 刻划0。从实验认知神经科学角度来看, 这种新方法具有广泛应用的优点, 即, 使刺激呈现随机化了, 而且对行为测量和功能变化间关系能更为有效地考察。

(接第 731 页) 均等时需要较多的红色, 有的研究则发现年龄较大的被试在颜色匹配中需要较多的绿色; 在使用 FM- 100 色彩试验对正常人颜色分辨力随年龄变化的测定研究中, 研究结果表明颜色分辨力随着年龄增长而有轻度下降, 其误差记分数的均值逐渐增加。

但是也有许多研究未发现伴随年龄增加而出现的颜色视觉变化。采用假性同色图 (色盲检查图) 进行检查很少发现颜色视觉出现的年龄变化; 在有关色觉镜的测定研究中, 研究结果表明不同年龄组 V- V 均等时混色刻度平均值无明显差别, 未见 V- V 均等时混色刻度有随年龄增加的趋势; 在使用 Panel D15 色彩试验的研究中, 结果未发现任何与年龄相关的颜色视觉变化。

本实验中使用两个量来对人眼色觉进行测量, 即一个用来描述集中趋势的 Rayleigh 匹配中点, 一个用来描述离散趋势的 Rayleigh 匹配范围。本实验未发现 Rayleigh 匹配中点有随年龄增长出现的显著变化, 但是 Rayleigh 匹配范围却存在显著的年龄差异。

那么产生这种差异的原因是什么呢?

色觉正常者的颜色视觉是由三种锥体细胞调节, 即对短波敏感的 S 锥体, 对中波敏感的 M 锥体和对长波敏感的 L

锥体。这三种锥体细胞分别含有可见光谱范围内具有不同最大波长吸收峰或敏感峰波长 (λ_{max}) 的视觉色素, 三者的最大敏感峰波长分别位于 440nm, 530nm 和 560nm。对 Rayleigh 颜色匹配来讲, 由于它所采用的匹配光范围为中到长波的光, 同时由于当波长大于 540nm 时, S 锥体对光刺激的反应基本上可以忽略, 因此可以认为 Rayleigh 匹配仅对 M 锥体和 L 锥体的功能进行诊断。

国外学者通过对 Rayleigh 颜色匹配的理论分析和对大量相关实验结果的总结, 认为在 Rayleigh 匹配中点和 Rayleigh 匹配范围分别存在不同的影响因素。其中, 对 Rayleigh 匹配中点的影响因素主要为色素和晶状体的光密度、色素光谱吸收特性, 而对 Rayleigh 匹配范围的影响因素主要为锥体细胞的数目、锥体细胞的信号增益和后感受器加工过程。已有研究表明, 人眼锥体细胞的损失速度大约为每年每平方毫米 16 个锥体细胞。也有研究表明视神经以及视皮层这些后感受器加工过程也会出现与年龄相关的变化。

总之, 不同年龄组被试 Rayleigh 匹配范围的差异反映了人眼色觉随年龄增长而出现的变化。导致这一变化的原因是多样的, 有待于更深入的实验研究。