

中国科学技术大学

本科生“科学与社会”研讨课

课程研究报告



探究以注意为核心的系列因素对工作记忆 效果影响情况的一个颜色记忆实验

小组组长：罗四维

小组成员：罗四维 栾峻岩 孙国尊 屈玥含

指导教师：何晓松 特任研究员

结题日期：2024年5月29日

一、研究小组成员及其承担的主要工作

学号	姓名	所在学院	在研究和报告撰写中承担的主要工作
PB23000013	罗四维	少年班学院	全面主持小组工作；课题报告和课题论文的排版工作；阶段性成果汇报；主持开题报告与结题答辩；引言部分的文献搜集和撰写；参与进行实验收集数据；参与实验不完备分析
PB23000011	栾峻岩	少年班学院	协助组长部分主持小组工作；组织志愿者进行实验收集数据；数据处理得出结论；阶段性成果汇报；引言部分的文献搜集；参与实验不完备性分析；实验数据处理、摘要部分的撰写
PB23000016	孙国尊	少年班学院	部分改良实验方案的提出；实验方法部分答辩报告与课题论文的撰写
PB23000015	屈玥含	少年班学院	参与设计改良实验；对课题成果与方法的讨论与改进；参与进行实验搜集数据；参与实验不完备分析

二、进度安排

2024年4月11日 开题报告	2024年5月21日 数据分析
2024年4月20日 改良实验方案设计	2024年5月23日 结题答辩
2024年5月03日 开始实验	2024年5月30日 课程论文提交
2024年5月16日 实验结束	

三、摘要、关键词

【摘要】 本实验探究了注意力和工作记忆是否同步波动以及记忆颜色时的编码方式对工作记忆效率的影响，采用配对样本 T 检验得到注意和工作记忆同时波动的结论，并且设计三种改进实验方案、采用多变量方差分析发现文字编码是对颜色工作记忆的主要编码方式。实验结束后对本次实验进行了讨论，总结出本实验的不足之处，提出了相关改进方案。

【关键词】 注意、工作记忆、文字编码、图形编码、颜色。

四、研究报告

探究以注意为核心的系列因素 对工作记忆效果影响情况的一个颜色记忆实验

研究课题报告正文部分

2024 年 5 月 28 日

1 引言

与记忆有关的问题的研究一直是心理学研究的热门话题。记忆可以分为感觉记忆，工作记忆和长期记忆。根据 Sperling 在 1960 年的研究 [1]，感觉记忆是指来自各种感官的刺激在短暂时间内被短期存储的记忆形式，可以分为视觉感觉记忆（通过视觉刺激获得信息）和听觉感觉记忆（通过听觉刺激获得信息）。感觉记忆的容量较大，持续时间短暂，主要起到过滤信息的作用。Zatorre 在 1988 年在 [2] 指出，长期记忆是指持久存储信息的系统，涵盖了对过去经验、知识和技能的记忆，它包括显性记忆（主观意识到的记忆）和隐性记忆（无意识中表现的记忆）两种形式，具有较大的容量和较长的持续时间。关于工作记忆，Baddeley 在 2009 年在专著 [3] 将其描述为用于暂时存储和处理信息的系统，它包括中央执行系统和储存子系统，在认知功能中扮演关键的角色，参与注意、学习和思维等多个方面的过程。

先前的研究表明，多种因素影响了工作记忆。Kane 和 Engle 的文 [4]，Unsworth 和 Engle 的文 [5] 以及 Arnsten 于 2009 年在文 [6] 中共同指出，可能影响工作记忆的因素包括认知负荷、情绪状态、个体差异和注意情况。有关注意和工作记忆关系的讨论，最早可以追溯到「心理学之父」William James 在 1890 年的专著 *The Principles of Psychology* [7]，其中提到“Attention is the spotlight we shine not only on the world around us, but also on the contents of our minds.” 它提出的“the world around us”，属于感知层面，更多被解释为今天的注意的概念，而“the contents of our minds”，属于智力层面，则与工作记忆密切相关。Panichello 和 Buschman 在 2021 年于文 [8] 中指出，注意和工作记忆之间共享着相同的神经中枢 LPFC。

为了进一步说明注意对工作记忆的关系，笔者设计了一个颜色记忆实验，探究以注意为核心的系列因素对工作记忆效果的影响情况。在研究颜色记忆这一项工作记忆任务时，从有关颜色的编码方式层面进行了相关扩展，综合比较研究了文字编码和图形编码两种编码方式在颜色工作记忆中的重要程度。

2 实验方法与统计方法

为了测试注意力和记忆是否同步波动，我们需要一个行为任务为注意力和工作记忆提供客观的测量。此外，我们还希望研究记忆颜色时的编码方式（如直接记忆颜色或记忆颜色对应的汉字）对工作记忆效率的影响，这需要找到一种方法来影响被试记忆时的编码方式。

2.1 注意力和工作记忆的客观测量

我们采用的设计方法是，将两个任务交织在一起：持续注意力任务和完整报告工作记忆任务。持续注意任务的作用在于连续测量被试的注意水平。在所有的轮次中，参与者都要看一组

六种不同颜色的圆形或方形物品，如图 1。针对图形是正方形或圆形，参与者需要在键盘上按

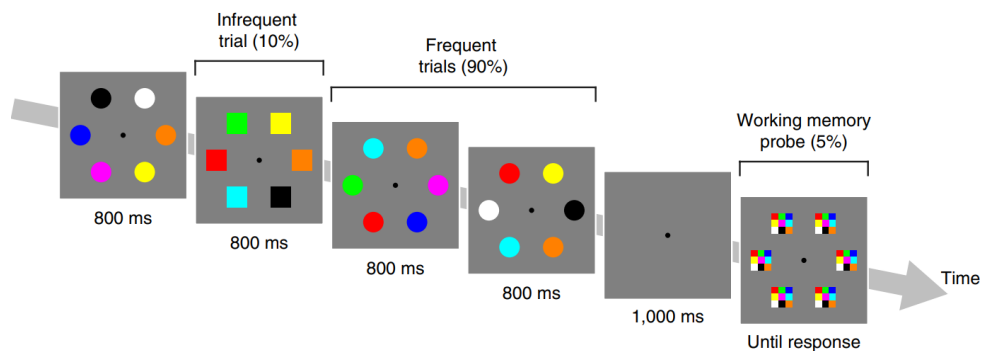


图 1: 测量注意与记忆的任务

不同的键, 我们通过反应时间以及反应正确率来定量表征参与者的注意水平。在工作记忆任务中, 参与者在每个位置使用彩色方块报告最近一组中每个项目的颜色。这些工作记忆任务是否出现是不确定的, 参与者不知道接下来是否会需要报告项目颜色。

2.2 记忆效率与编码方式的关系研究

2.2.1 方案一: 采用与颜色冲突的文字

在最初, 我们希望采用颜色与文字冲突的方式, 如图 2, 来影响被试记忆颜色时的编码方式。我们设定了两种刺激类型, 一种是文字的配色与其语义相协调, 一种是文字的配色与其语义相冲突。我们认为, 在配色与语义相协调的情况下, 会促进被试采取文字编码, 而在配



图 2: 颜色与文字冲突影响编码方式

色与语义相冲突的情况下, 会抑制被试采用文字编码, 再结合测量注意力与工作记忆的方法, 即可得到编码方式对工作记忆的影响。但最终, 这种方法并没有被采用。

2.2.2 方案二: 通过预实验挑选出不易进行文字编码的颜色

为了探究记忆颜色时的编码方式对工作记忆效率的影响, 该实验需要挑选出 9 种人们较难迅速命名的颜色。故我们设计了一个预实验: 我们事先挑选出 20 种颜色, 并且要求被测试者在 2 秒内去命名每种颜色。当被测试者在 2 秒内没有回答或者回答与标准答案相差过大时, 我们认为被测试者没有成功命名出该种颜色。在获得足够多的预处理实验数据后, 我们统计出 9 种最难成功命名出的颜色作为改进实验中的颜色。

同时, 为了避免我们选择 20 种颜色时的主观因素影响, 我们采用了通过随机 RGB 值来获得 20 种颜色的方案。我们得到的 20 种颜色如下图 3 所示。

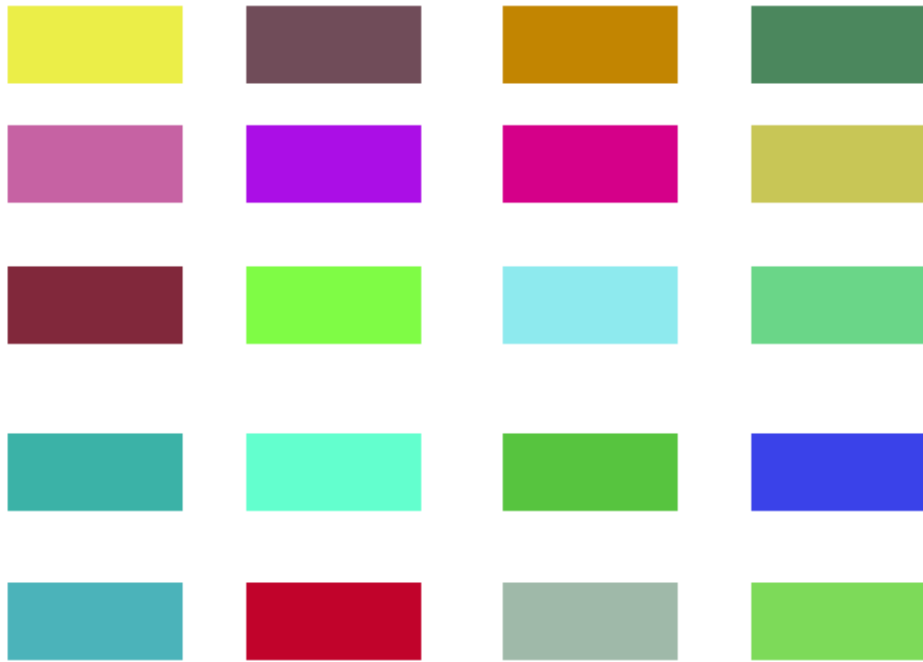


图 3: 方案二 20 种颜色

2.2.3 方案三：采用三种色系不同深浅的颜色

方案二的思路认为，采用不易被命名的颜色替换掉原始实验中的 9 种颜色进行实验，可以达到抑制文字编码，提高图形编码的效果。但是，方案二的安排，如果 9 种颜色中这一个色系的颜色仅有一个时，仍然可以用大色系的颜色替代掉颜色的具体名字进行编码，从而无法抑制文字编码。

于是，我们设计了方案三。分别选用蓝色、绿色、褐色三种色系的各 3 种共 9 种不同的颜色，我们在一开始得到了如图 4 左图所示的 9 种颜色，但是，由于第一种颜色和第二种颜色在实验用计算机上的显示过于接近，实际实验时我们采用了如图 4 右图的 9 种颜色进行实验。经过对实验代码的重新编程处理，我们改进了原有的实验，用于探究记忆效率与编码方式之间的关系，从而针对颜色记忆这一特殊的工作记忆任务探究了其不同于注意的影响因素。

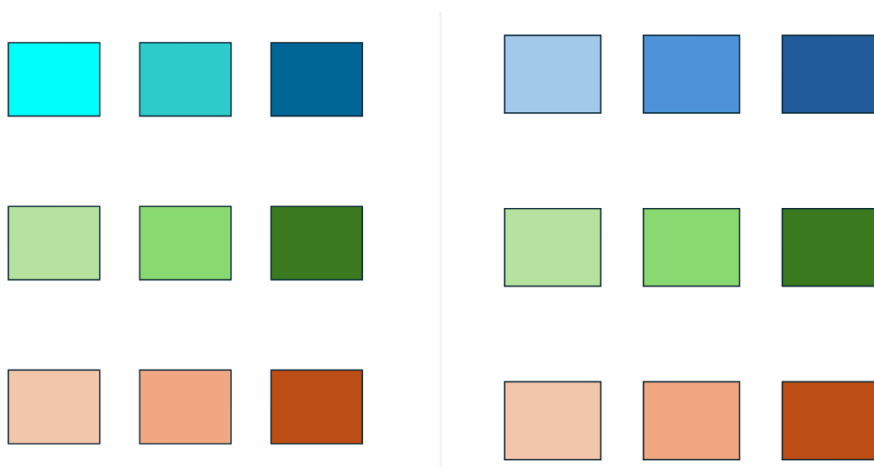


图 4: 方案三：采用三种色系不同深浅的颜色

2.3 统计方法

为了探究注意和工作记忆的关系，我们先收集到被测试者注意正确和注意错误时正确回忆出的颜色数量的平均值，然后采用配对样本 T 检验来探究注意和工作记忆的关系。

为了探究记忆颜色时的编码方式对工作记忆效率的影响，我们先收集到在不同实验中被测试者注意正确和注意错误时正确回忆出的颜色数量的平均值，然后采用多变量方差分析。

3 实验结果

3.1 结果一：注意情况的降低减弱工作记忆的整体效果

3.1.1 原始实验

我们筛选出了 20 份原始实验数据，并且每组数据都统计出了被测试者注意正确和注意错误时正确回忆出的颜色数量的平均值，采用配对样本 T 检验后得到的结果如图 5 所示：

Paired Samples T-Test

Paired Samples T-Test

Measure 1	Measure 2	t	df	p
Incorrect	Correct	-4.883	19	< .001

图 5: 原始实验探究注意和工作记忆关系配对样本 T 检验结果表

Incorrect 表示注意错误，Correct 表示注意正确。

图 5 显示出两组数据经过配对样本 T 检验后 p 值小于 0.001，在 $p < 0.05$ 的条件下可以得到两组数据相差很大，也即可以得到，在原始实验中，注意和工作记忆的波动具有相关性。

Bar Plots

Incorrect - Correct

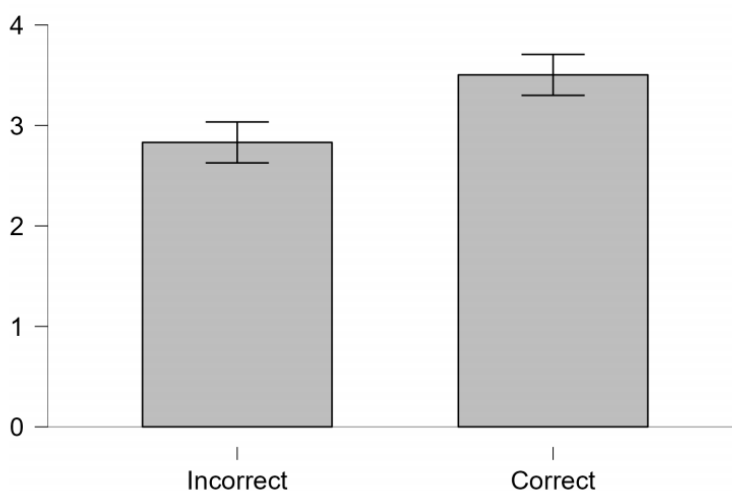


图 6: 原始实验探究注意和工作记忆关系条形图

Raincloud Plots

Incorrect - Correct

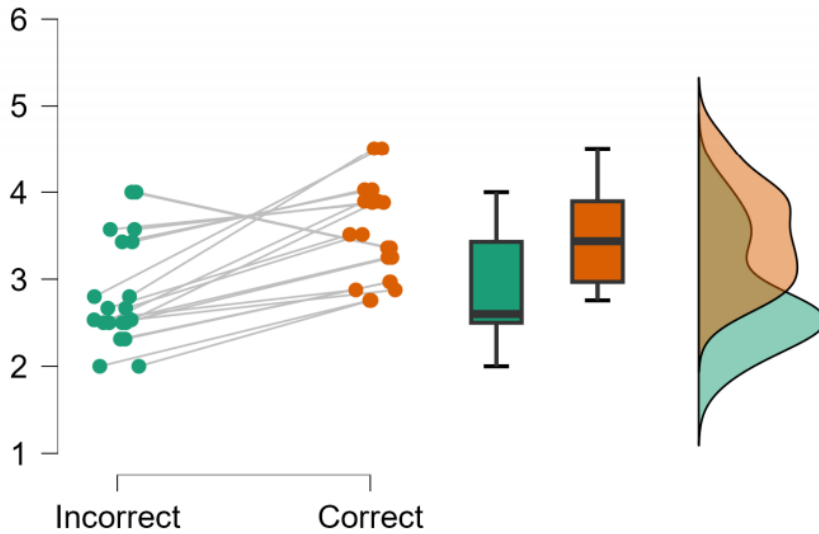


图 7: 原始实验探究注意和工作记忆关系云雨图

Incorrect 表示注意错误, Correct 表示注意正确。

图 6 和图 7 展示了在原始实验中被测试者注意错误和注意正确时正确回忆出的颜色数量的平均值的分布, 可以看出注意正确时被测试者正确回忆出的颜色数量普遍比注意错误时多。

3.1.2 改进实验

我们筛选出了 20 份改进实验数据, 并且每组数据都统计出了被测试者注意正确和注意错误时正确回忆出的颜色数量的平均值, 采用配对样本 T 检验后得到的结果如下:

Paired Samples T-Test

Paired Samples T-Test

Measure 1	Measure 2	t	df	p
Incorrect	Correct	-4.312	19	< .001

图 8: 改进实验探究注意和工作记忆关系配对样本 T 检验结果表

Incorrect 表示注意错误, Correct 表示注意正确。

图 8 显示出两组数据经过配对样本 T 检验后 p 值小于 0.001, 在 $p < 0.05$ 的条件下可以得到两组数据相差很大, 也即可以得到, 在改进实验中, 注意和工作记忆的波动具有相关性。

图 9 和图 10 展示了在改进实验中被测试者注意错误和注意正确时正确回忆出的颜色数量的平均值的分布, 可以看出注意正确时被测试者正确回忆出的颜色数量普遍比注意错误时多。

Bar Plots

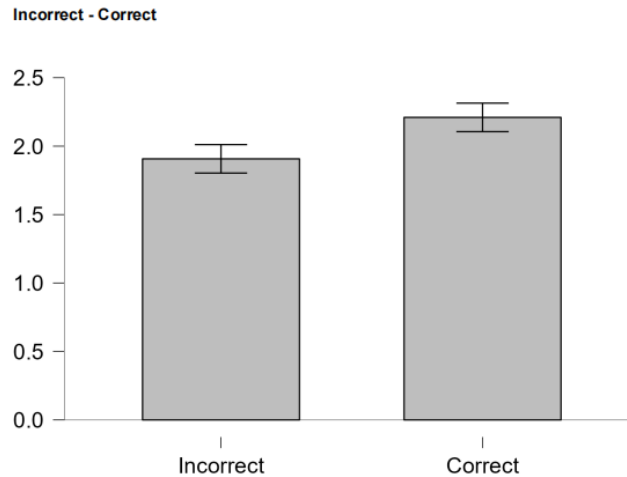


图 9: 改进实验探究注意和工作记忆关系条形图

Raincloud Plots

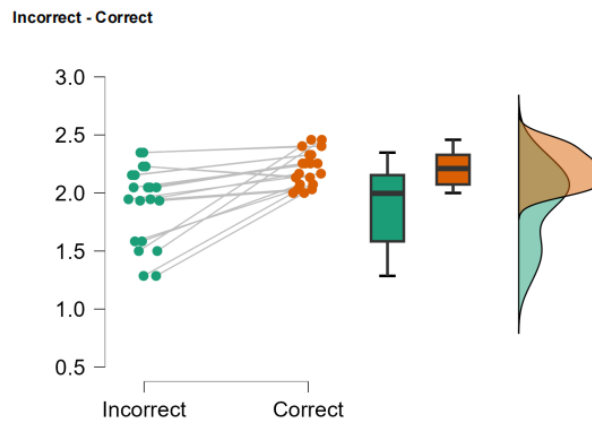


图 10: 改进实验探究注意和工作记忆关系云雨图

3.1.3 总结

通过对原始实验和改进实验两组数据的分析，我们可以得到：注意和工作记忆同步波动。

3.2 结果二：文字编码是对颜色工作记忆的主要编码方式

我们筛选出了 20 份原始实验数据和 20 份改进实验数据，这两组数据都统计出了被测试者在注意错误和注意正确时正确回忆出的颜色数量的平均值，我们对其采用多变量方差分析：

如图 11, Acc 为 0 表示注意错误, Acc 为 1 表示注意正确; Version 为 0 表示为原始实验, Version 为 1 表示为改进实验。

可以看到 p 值为 0.071, 在 $p < 0.05$ 的条件下可以得到：记忆颜色时的编码方式对工作记忆效率不存在显著影响, 即无法得到文字编码是对颜色工作记忆的唯一编码方式。

如图 12 可以看到在 Version 0 情况下, 注意错误和注意正确时正确回忆出的颜色数量的平均值均比 Version 1 情况下多, 可以得到文字编码是对颜色工作记忆的主要编码方式。

ANOVA

ANOVA - The Average Num

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Acc	4.756	1	4.756	23.345	< .001
Version	24.579	1	24.579	120.655	< .001
Acc * Version	0.682	1	0.682	3.350	0.071
Residuals	15.482	76	0.204		

Note. Type I Sum of Squares

图 11: 记忆颜色时的编码方式对工作记忆效率的影响结果表

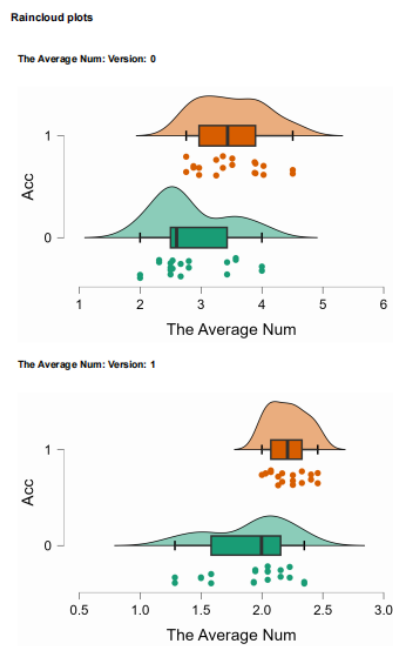


图 12: 不同实验方案下注意错误和注意正确时正确回忆出颜色数量平均值

4 讨论与改进

4.1 注意任务与工作记忆任务的衔接相关问题的讨论

本实验显著分为两部分，注意任务以及工作记忆任务，对注意任务与工作记忆任务之间的衔接，有如下讨论。

4.1.1 注意任务到工作记忆任务间空屏的可能效果分析

实验在注意任务与工作记忆任务间安排了 1000 ms 的空屏，我们对这一安排作了分析。分析认为，空屏的可能作用为提醒被试验者回忆之前注意任务中的颜色，也可能有意加强被试验者对注意任务颜色的遗忘。通过删除空屏，比较删除空屏前后的工作记忆效果，可能从实验层面探究这个问题，并给出背后的原因，这是本实验可以改进的一个角度。

4.1.2 工作记忆任务到注意任务缺乏衔接

在工作记忆任务结束后，即当被试验者点选最后一个回忆的颜色后，程序将立即跳转到注意环节，被试验者需要根据屏幕显示的不同颜色在键盘上按不同的键，这可能导致被试验者缺乏工作记忆任务到注意任务的反应时间，从而影响被试验者在注意任务环节的发挥。

因此，笔者认为，有必要添加从工作记忆任务到注意任务之间的衔接，这可能是试验过程中的提示语、倒计时，或者是注意任务到工作记忆任务间采用的空屏，从而建立时间，让被试验者产生心理准备，在注意环节正常发挥。这也是本实验可以改进的一个角度。

4.2 改进实验能够有效判断颜色编码方式与工作记忆间的关系

为了判断针对颜色的工作记忆编码主要采取文字编码还是图形编码，我们设计了三个方案，并且最终采用了方案三。如果采用文字编码记忆颜色，比如针对绿色记忆了「绿色」，那么在被试验者面对实际实验的不同颜色时，并不能对三种绿色进行有效区分，这就在客观上促进被试验者更多采取图形编码而非文字编码，如果改进实验的工作记忆效果显著低于原实验的工作记忆效果，就可以得到针对颜色的工作记忆编码主要采取文字编码的结论。因此，改进实验能够有效判断颜色编码方式与工作记忆间的关系。

4.3 改进实验的颜色安排仍然具有缺陷

4.3.1 实际实验的颜色排序可能诱导按照颜色深浅进行文字编码

在改进方案 3 中，我们采用了如图 4 右图所示的 9 种颜色，这是在蓝色、绿色、褐色三种色系下深浅分别为浅、中、深的各三种颜色，可能分别采用「浅某」「中某」「深某」（某代指色系整体名称）进行文字编码，从而起不到抑制文字编码的效果。在实际实验计算机的显示屏幕上，工作记忆任务的 9 种备选颜色按照同一个色系浅、中、深的顺序整齐排列如图 13，这可能在实际实验中诱导被试验者采取如上所述的文字编码方式进行编码，这和试验的目的不符。说明改进实验的颜色安排仍然存在缺陷。

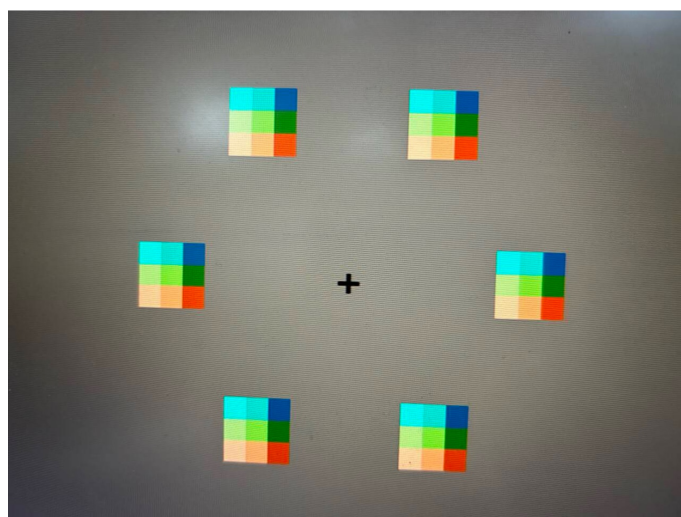


图 13: 实际实验中工作记忆任务备选九宫格的颜色排列方式

4.3.2 可以采用色环选择的方法探究颜色编码方式对工作记忆的影响

为了探究在颜色工作记忆任务中可能采取的编码方式，我们设计了三个方案，却都存在各种缺陷。是否存在一种方法能够规避掉如上所述的种种缺陷？需要指出的是，本文采取的工

作记忆任务主要是对应位置颜色的回忆，主要通过正确回忆的颜色数目来体现工作记忆的整体效果，而文 [8] 中采用色环记忆的方法，需要被试验者在色环中点击与记忆颜色最相近的颜色，比较点击颜色与实际记忆任务展示颜色之间的误差角 θ ，通过选择颜色的准确程度来判断工作记忆的效果。如果我们需要被试验者回忆具体的颜色，就可以规避掉文字编码，从而强迫被试验者选择文字编码的方式对文字进行工作记忆。因此，采用这种方法可以更加方便探究颜色编码方式对工作记忆的影响。对于本课题的相关改进可能在这一方面进行。

5 总结

本实验通过对不同注意情况下工作记忆效果的配对样本 T 检验，得到了注意的降低可能会导致工作记忆水平显著下降的结论。由于本实验的工作记忆任务基于颜色，对于颜色的两种不同编码方式：文字编码或图形编码可能成为影响颜色工作记忆效果的因素。本实验通过设计的方案三的结果与原实验结果采用多变量方差分析，得到针对颜色的工作记忆编码主要采取文字编码的结论。

附录

读者可以在如下的 Github 仓库中访问原始数据的相关信息。<https://github.com/luosiweicmd/WorkingMemorySupplyInformation.git>

参考文献

- [1] Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, **74**(11), 1-29.
- [2] Zatorre, R. J. (1988). Implicit memory: History and current status. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **14**(3), 501-518.
- [3] Baddeley, A. (2009). *Working memory, thought, and action*. Oxford University Press.
- [4] Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, **9**(4), 637-671.
- [5] Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, **114**(1), 104-132.
- [6] Arnsten, A. F. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience*, **10**(6), 410-422.
- [7] James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. Dover Publications.
- [8] Panichello, M.F., Buschman, T.J. (2021). Shared mechanisms underlie the control of working memory and attention. *Nature*, **592**, 601-605.

五、导师评审意见

<p style="text-align: center;">导师签字： 日期：</p>
