

# 《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：数学困难儿童估算策略运用的中央执行负荷效应

作者：杨伟星，张堂正，李红霞，张佳佳，司继伟

---

## 第一轮

**审稿人 1 意见：**选题具有理论和实践意义。作者有多年的工作基础，研究设计比较合理，结果和结论可靠。发现数困学生在策略选择适应性上比正常组差，且受到中央执行负荷影响。尽管有一些方面值得肯定，但是在前言、方法、结果分析、讨论中主要关注如下问题：

**意见 1：**作者需要说清楚为何需要探讨中央执行负荷对数学困难儿童的估算策略的影响作用。

**回应：**非常感谢审稿专家的建议。

对于为何需要探讨中央执行负荷对数学困难儿童的估算策略的影响作用，我们在相应的段落进行了补充说明，“对中央执行功能参与算术认知活动的研究大多采用双任务实验范式。有研究发现，中央执行负荷会导致儿童在算术认知中的策略执行效果下降，对简单任务和复杂任务都会产生整体性的影响(王明怡，陈英和，2006)。Imbo, Duverne 和 Lemaire(2007)也发现，中央执行负荷会导致成人的策略执行变差，且上调策略比下调策略的表现更差，也会影响选择条件下的策略使用，个体会更多选择简单策略，而非最佳策略，说明中央执行功能参与了策略运用过程。因为存在中央执行负荷的时候，各种策略对认知资源的竞争变得激烈，导致个体倾向于选择占用认知资源较少的简单策略。在自由选择策略时，个体也倾向于重复使用相同策略，因为执行、选择新策略时，中央执行功能既要抑制刚刚使用的策略，又要激活新的策略，这些都需要更多的认知资源，但同时也说明了策略运用需要中央执行的参与(Lemaire, & Lecacheur, 2010)。而一些关于个体策略运用随着年龄变化而变化的研究可能也在某种程度上证明了中央执行功能参与了个体的策略运用。Imbo 和 Vandierendonck (2007)的研究发现，随着年龄的增长，儿童倾向于选择更有效的策略。Lemaire 和 Calliès (2009)也发现，个体的策略运用与年龄的变化相关更大。他们推测这可能是因为中央执行功能的发展。Lemaire 和 Lecacheur(2011)最近的研究发现，中央执行在策略运用的年龄相关差异中起中介作用，且中央执行功能的得分与选择最佳策略的比例存在一定程度的相关。此外，中央执行负荷对成人的策略选择、策略执行及策略选择适应性都产生了一定影响，高负荷条件下个体的策略选择适应性更差(司继伟，杨佳，贾国敬，周超，2012)。但这些研究大多采用相关设

计，直接检验中央执行功能在个体的策略运用中的作用的实验研究还很少。”(见 1 引言，第四段)。

“可见，数学困难儿童的策略运用一般都不如正常发展儿童，但具体原因仍不清楚。有研究者认为，数困儿童的情感因素方面可能存在问题(Passolunghi, 2011)，但 Desoete 和 De Weerd(2013)从认知的角度对数困儿童进行研究，发现工作记忆，特别是中央执行，对数困儿童的行为抑制特别重要。较差的中央执行功能在某种程度上可能阻碍了数困儿童策略运用的表现，他们可能无法有效抑制额外的干扰。那么，数困儿童较差的策略运用是否是因为中央执行这一认知性功能较差呢？本研究将对这一问题进行研究。”(见 1 引言，第六段)。

“然而，以上研究虽然从某种程度上证实了中央执行与数困儿童的策略运用有一定的相关，较差的中央执行功能可能会在一定程度上导致数困儿童较差的算术策略运用，至少是与此有关，对于中央执行功能如何影响数困儿童的策略运用却缺乏进一步的真正的实验设计方面的研究。而将执行功能分离开来研究也有所片面，因此，对中央执行负荷进行整体性的操控可以更全面地理解执行功能对个体的策略运用过程的具体影响。此外，以上研究忽视了不同的中央执行负荷水平对数学困难儿童估算策略运用的潜在影响，如果能对中央执行负荷在不同水平上进行严格的操控，我们或许会发现数困儿童与正常儿童在估算策略运用中更深层次的差异。即两类儿童的策略运用都会受到负荷的影响，但是，随着负荷的增加，两类儿童受到的影响会发生变化，数困儿童受到的影响可能会更大。考察中央执行负荷对数困儿童估算策略运用的影响，不仅可以揭示数困儿童与正常组儿童的估算策略运用存在差异的原因，也有助于丰富和完善对中央执行功能在个体策略运用以及数学认知中所起作用的认识。此外，虽然国外也有类似研究(Torbeyns, 2004; Torbeyns et al., 2004)，但是鉴于估算策略运用的跨文化差异(Imbo & LeFevre, 2009; 2011)，因此，以国内的数困儿童为研究对象对于中国这一人口基数庞大的国家来说显得尤为重要，从而有助于更好地关注和服务这一特殊群体，改善其数学能力与表现。”(见 1 引言，第八段)。

“此外，采用高低负荷条件可以避免先前研究只研究有无负荷的局限性，因为高负荷任务需要信息操作与更新，低负荷任务主要是保持信息，而信息的操作与更新会更大程度的激发中央执行的参与程度，通过比较高低负荷对任务结果的影响，从而更全面理解中央执行对估算策略运用的影响(司继伟, 2012)，本研究拟采用数学困难儿童和数学能力正常发展的对照组为被试，采用选择/无选法范式，通过设置无、低、高三种负荷条件的材料，更全面揭示中央执行负荷对数学困难儿童算术策略运用的限制，以此考察其策略运用的缺损机制，即数困儿童的中央执行功能可能存在缺陷，不能有效抑制额外干扰并合理分配认知资源，从

而导致较差的策略运用。我们假设，随着负荷的增加，两组儿童的策略运用表现都会下降，且数困儿童的表现明显差于正常发展组儿童，但负荷对数困儿童和正常发展组儿童的策略执行和策略选择会导致差异性影响，负荷越高，数困儿童的策略运用受到的影响越大，其策略运用表现越差，但正常组儿童受到负荷的影响较小。”(见 1 引言，第九段)。

以往研究主要侧重于考察中央执行负荷对正常的儿童或成人算术策略运用的影响，很少有研究考察其对数困儿童的估算策略运用的影响，即使有一些研究，也主要是一些相关设计，直接通过实验考察中央执行负荷对数困儿童估算策略运用的影响的研究还很稀少，国外虽有一些类似的研究，但鉴于估算策略的跨文化差异，考察汉语背景下数困儿童的估算策略运用情况就变得格外重要。此外，因为高负荷任务需要信息操作与更新，低负荷任务主要是保持信息，而信息的操作与更新会更大程度的激发中央执行的参与程度，严格把负荷分为高、低、无三种条件能更全面理解中央执行功能对估算策略运用的影响，对于三种不同的负荷条件如何影响数困儿童的估算策略的运用情况仍不清楚，同时这也是本研究的目的所在，所以，我们研究了高低无三种中央执行负荷水平对数困儿童估算策略运用的影响。

我们也对参考文献部分进行了相应补充：

Desoete, A., & De Weerd, F. (2013). Can executive functions help to understand children with mathematical learning disorders and to improve instruction? *Learning Disabilities -- A Contemporary Journal*, 11(2), 27–39.

Imbo, I., Duverne, S., & Lemaire, P. (2007). Working memory, strategy execution, and strategy selection in mental arithmetic. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(9), 1246–1264.

Wang, M. Y., & Chen, Y. H. (2006). The influence of central executive of working memory on children's arithmetical cognitive strategies. *Psychological Development and Education*, 22(4), 24–28.

[王明怡, 陈英和. (2006). 工作记忆中央执行对儿童算术认知策略的影响. *心理发展与教育*, 22(4), 24–28.]

**意见 2:** 30 道两位数加法估算问题是否也可以采用精算的策略完成。作者例举的一些问题是非常简单的。对于 6 年级的学生，可以采用精算策略。

**回应:** 非常感谢审稿专家的建议。

30 道两位数加法估算问题虽然简单，且对于 6 年级儿童也很有可能使用精确计算，因此，我们采用了两种方式避免儿童使用精算策略。首先，在正式实验之前，我们会给被试详细介绍估算策略(上调和下调)的使用，并做一些相应的练习，直到被试真正理解实验程序和任务要求才开始正式实验。其次，在软件进行数据采集时，如  $23+48$ ，在无选上调条件下，正确的结果是  $30+50=80$ ；在无选下调条件下，正确结果是  $20+40=60$ ；在有选条件下，本题最佳的策略是上调策略，正确的结果是 80。只有在相应条件下输入相应的结果才算正确，若被试输入了 71，虽然是精确答案，但却是错误的，我们会对此类数据不进行分析。通过这两种方法，我们最大限度地确保了被试使用估算策略解决问题，即使被试有能力进行精确计算。这一点我们在正文中进行了相应的补充(详见 2 方法，2.4 实验程序)。

**意见 3：**在高低负荷任务的操作中，作者采用的是阿拉伯数字，是否因为数字的特殊作用导致了执行负荷的影响。如果采用非数学类的材料是否也有相同的效果。

**回应：**非常感谢审稿专家的建议。

对于审稿专家提到的这一点我们在文中作了详细补充，“有研究认为，次任务类型会影响心算的表现，研究者假设，数学估算与阿拉伯数字信息的操作会占用同一种认知资源(一致任务)，而数学估算与字母信息的操作占用不同的认知资源(不一致任务)，因此，阿拉伯数字作为次级任务对主任务(两位阿拉伯数字的加法估算)的影响会比字母作为次级任务的影响更大，但研究结果没有发现一致任务与不一致任务存在差异，即没有表现出不同次级任务对主任务的差异性影响，相比于负荷强度，负荷的材料类型的影响并不明显(司继伟 等，2012)。”(见 2 方法，2.3 实验材料，2.3.2 次任务材料)。

所以，材料的类型是数字还是其它的，如字母，对中央执行负荷是没有影响的，即使有影响，但相比于负荷强度而言，负荷类型的影响并不显著，是可以忽略的。

**意见 4：**在高低负荷任务上两组之间是否有差异。

**回应：**非常感谢审稿专家提出的宝贵建议。

在策略执行的正确率上，高低负荷任务之间，两组儿童差异显著，简单效应分析发现，在低和高负荷条件下，正常组儿童的正确率均显著高于数困组；在策略执行的反应时上，简单效应分析发现，在低负荷条件下，正常组儿童反应显著快于数困组，但在高负荷条件下，

正常组(3498ms)和数困组(3717ms)反应时差异不显著,  $F(1,72)=2.99$ ,  $p=0.088$ ,  $\eta_p^2=0.04$ 。(见 3 结果, 3.1 策略执行, 第二段, 第三段)。

在策略选择的正确率上, 高低负荷任务之间, 两组儿童差异显著, 简单效应分析发现, 在低和高负荷条件下, 正常组儿童的正确率均显著高于数困组; 在策略选择的反应时上, 高低负荷任务之间, 两组儿童差异显著, 简单效应分析发现, 在低和高负荷条件下, 正常组儿童的策略选择反应时均快于数困组。(见 3 结果, 3.2 策略选择, 第二段, 第三段)。在策略选择适应性上, 高低负荷任务之间, 两组儿童差异不显著。(见 3 结果, 3.3 策略选择适应性, 第二段)。

.....

#### 审稿人 2 意见:

**意见 1:** 被试选择部分 (1) 作者应阐明 40 名数困儿童是从多少名儿童中筛选出来的, 检出比率是多少? 这有利于判断作者的数困儿童筛选方式是否合理(过高和过低的检出率都是不合理的)。(2) 另外, 在被试选择上, 作者为何选用 6 年级儿童, 是出于什么样的考虑, 请作者进一步叙述。

**回应:** 非常感谢审稿专家的建议。

我们对于问题(1)和(2)的回答如下:

(1)对于检出率的问题我们确实没有说清楚, 对这一点在修改稿正文中对检出数据进行了补充, “总共从 11 个班级的 657 名 6 年级儿童中筛选出数学困难被试 40 名(检出率约为 6.09%)以及正常发展组被试 40 名, 最后完成实验的有效被试为: 数困儿童 36 名(男 20 名; 平均年龄 11.75 岁); 正常发展组儿童 38 名(男 18 名; 平均年龄 11.60 岁)。需要说明的是, 虽然本研究对数困儿童的检出率与黄大庆和陈英和(2016)采用自编的数学认知能力问卷对数困儿童的检出率 3.32%有差异, 但为使本研究所关注的数困儿童这一群体既不偏离数学困难的定义, 也能使得实验结果更切合小学的实际教学, 同时, 为了不脱离数学认知活动所依赖的背景和任务, 所以本研究采用了 6 年级儿童的校级考试的数学成绩这一与数学教学相关的数学认知能力测验(相对于更一般性的认知能力测验而言)来筛选数困儿童。因为有研究表明, 8~18 岁的数困儿童最大的困难是解数学应用题(Bryant, Bryant, & Hammill, 2000), 而数学应用题是数学教学实践中的重要部分, 和现实生活关系密切。且随着身心发展, 年龄增加, 经验的增多, 儿童的认知能力有所提高且所面对的数学任务已发生变化(相较于年龄较小的儿童)。所以, 我们考虑选取与儿童相应能力对应的校级数学考试作为筛选工具。”(见 2 方法, 2.1 被试)。

(2)对于被试年龄的选取在文中确实没有交代清楚,本研究选取 6 年级儿童作被试基于以下几点考虑,我们在修改稿中作了补充,“鉴于前人的研究发现,二、三年级的数学困难儿童可能还存在某些基本数字知识和概念性知识的困难,可能不能完全理解计算原理,且在基本加减乘除的算术事实的提取中也可能存在困难(黄大庆,陈英和,2016),这会影响到本研究的实验结果,从而分不清到底是数困儿童的中央执行功能较差导致其估算策略运用较差,还是数困儿童的数学认知能力较差导致其估算策略运用较差,因此,本实验需要选取数学知识经验较丰富的年龄较大的 6 岁儿童。此外,有研究发现,儿童估算策略最重要变化可能出现在四、六年级之间(Lemaire, Lecacheur, & Farioli, 2000; Si et al., 2016),而 Case 的认知发展理论认为,个体要到 11~18 岁才能同时注意一件事物的多种属性,而估算需要复杂的心算,同时要注意各数字的属性关系。且考虑到中国小学生的实际情况,六年级是小升初的过渡阶段(也可能是因为这一阶段的特殊性,研究者或者被试的监护人或者校方担心影响或者耽误儿童的升学,所以相关的研究相对稀少),考察中央执行负荷对数困儿童估算策略运用的影响不仅可以探明其策略运用较差的原因从而更好地服务于这一群体,也能为提高数困儿童在数学运算中的策略运用以及为更好地面对未来的初中时期的数学学习提供理论和实践指导。因此,本研究选取了六年级这一特殊时期的儿童作被试。”(见 1 引言,最后一段)。

相应地我们在参考文献部分也进行了补充:

Bryant, D. P., Bryant, B. R., & Hammill, D. D. (2000). Characteristic behaviors of students with ID who have teacher-identified math weaknesses. *Journal of Learning Disabilities*, 33(2), 168–178.

Huang, D. Q., & Chen, Y. H. (2016). Study on the development of math cognitive abilities for mathematic difficulties in grade 2~6 primary students. *Journal of Mathematics Education*, 25(2), 70–74.

[黄大庆, 陈英和. (2016). 小学二至六年级数学困难儿童数学认知能力的发展. *数学教育学报*, 25(2), 70–74.]

Lemaire, P., Lecacheur, M., & Farioli, F. (2000). Children's strategy use in computational estimation. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54(2), 141–148.

**意见 2:** 实验程序部分 (1) 作者并未详细描述如何引导被试在选择时使用 3 种条件 (即 C1,C2,C3)。我没有理解被试如何使用三种策略, 如  $53+48$  这道题, 儿童要正确反应就需要使用混合策略, 否则儿童如何得出正确答案呢? 但是实验中又要求被试不能使用混合策略, 请作者详细解释, 这里的条件设置。(2) 无负荷任务中, 估算题目的呈现时间是多长? 文章中并未写出, 图 1 中也并未标注。

**回应：**非常感谢审稿专家的建议。

对于问题(1)和(2)的回答如下：

(1)对于如何引导被试在选择条件下使用策略，我们可能没有解释清楚，其实，本实验中的实验条件分为有选择的条件和无选择的条件，在无选择的条件下有上调和下调两种策略，我们要求被试在 c2(无选上调)条件下只能使用上调策略来解决所有问题，在 c3(无选下调)条件下只能使用下调策略解决所有问题，而在 c1(有选条件)条件下可以自由选择上调策略或者下调策略来解决问题，但是每一道题目都有正确的估算结果，如， $53+48$  这道题虽然使用混合策略  $50+50=100$  更接近精确答案 101，但我们规定不能使用混合策略，所以输入估算答案 100 是错误的，输入精确答案 101 也是错误的，而使用上调策略所获得估算答案  $60+50=110$  才是正确的，这一点我们在正文中进行了修改补充(见 2 方法，2.4 实验程序)。对于无负荷任务和低负荷、高负荷任务而言，估算题目的呈现时间都是 1000ms，我们已在修改稿正文中进行了补充说明(见 2 方法，2.4 实验程序)。

**意见 3：**实验任务的适用性。作者要求儿童进行估算，但是本实验任务程序可能并不能排除儿童进行了精确运算。工作记忆能力较强的儿童完全可以在无负荷实验中记住加法运算的数字，在输入估算答案阶段进行精确运算，得出结果。作者是如何避免儿童进行精确运算的？

**回应：**非常感谢审稿专家的建议。

30 道两位数加法估算问题虽然简单，且对于 6 年级儿童也很有可能使用精确计算，因此，我们采用了两种方式避免儿童使用精算策略。首先，在正式实验之前，我们会给被试详细介绍估算策略(上调和下调)的使用，并做一些相应的练习，直到被试真正理解实验程序和任务要求才开始正式实验。其次，在软件进行数据采集时，如  $23+48$ ，在无选上调条件下，正确的结果是  $30+50=80$ ；在无选下调条件下，正确结果是  $20+40=60$ ；在有选条件下，本题最佳的策略是使用上调策略，正确的结果是 80。只有在相应条件下输入相应的结果才算正确，若被试输入了 71，虽然是精确答案，但却是错误的，我们会对此类数据不进行分析。且最后的结果也显示，被试都能够理解并使用估算策略，而不是精算策略。通过这两种方法，我们最大限度地确保了被试使用估算策略解决问题，即使被试有能力进行精确计算。这一点我们在正文中进行了相应的补充(见 2 方法，2.4 实验程序)。

.....

**审稿人 3 意见：**本研究从中央执行功能出发，探讨了数学学习困难儿童在策略选择和使用方面的特点。研究的选题有较强的实践意义，但在设计细节和论文写作方面还存在较多不足。

**意见 1:** 文章的引言部分没能有针对性地提出所研究的问题所在。引言用较大篇幅介绍了有关算术策略及中央执行功能影响的研究，继而提出前人没有选择数学学习困难学生进行考察。然而在这一部分，虽然介绍了数学学习困难儿童在策略使用方面的一些特点，却没有真正说明执行功能对这些儿童可能会造成什么样的独特影响，即专门选择这一群体进行研究究竟想得到什么样的结果，哪些结果是之前研究没有得到也难以得到的。特别是在引言部分的最后一段中，作者所写到的“以往研究忽视了中央执行负荷对数学困难儿童策略运用的潜在影响”、“先前研究只研究有无负荷的局限性”、“考察其策略运用的缺损机制”、“负荷对数困儿童和正常发展儿童的策略执行和策略选择会导致差异性影响”，都是到此为止，缺乏对到底是哪些“潜在影响”和“差异性影响”，到底希望得到什么“缺损机制”以及为何只研究有无负荷就有局限的深入讨论，使研究问题的提出显得基础不足。

**回应:** 非常感谢审稿专家的建议。

根据审稿专家的建议，我们在修改稿中对问题提出部分进行了相应的补充说明，并对一些细节进行了深入的讨论，且解释了可能获得的结果，把研究目的介绍得更加具体详细，“对中央执行功能参与算术认知活动的研究大多采用双任务实验范式。有研究发现，中央执行负荷会导致儿童在算术认知中的策略执行效果下降，对简单任务和复杂任务都会产生整体性的影响(王明怡，陈英和，2006)。Imbo, Duverne 和 Lemaire (2007)也发现，中央执行负荷会导致成人的策略执行变差，且上调策略比下调策略的表现更差，也会影响选择条件下的策略使用，个体会更多的选择简单策略，而非最佳策略，说明中央执行功能参与了策略运用过程。因为存在中央执行负荷的时候，各种策略对认知资源的竞争变得激烈，导致个体倾向于选择占用认知资源较少的简单策略。在自由选择策略时，个体也倾向于重复使用相同策略，因为执行、选择新策略时，中央执行功能既要抑制刚刚使用的策略，又要激活新的策略，这些都需要更多的认知资源，但同时也说明了策略运用需要中央执行的参与(Lemaire & Lecacheur, 2010)。而一些关于个体策略运用随着年龄变化而变化的研究可能也在某种程度上证明了中央执行功能参与了个体的策略运用。Imbo 和 Vandierendonck(2007)的研究发现，随着年龄的增长，儿童倾向于选择更有效的策略。Lemaire 和 Calliès (2009)也发现，个体的策略运用与年龄的变化相关更大。他们推测这可能是因为中央执行功能的发展。Lemaire 和 Lecacheur(2011)则发现，中央执行在策略运用的年龄相关差异中起中介作用，且中央执行功能的得分与选择最佳策略的比例存在一定程度的相关。此外，中央执行负荷对成人的策略选择、策略执行及策略选择适应性都产生了一定影响，高负荷条件下个体的策略选择适应性更差(司继伟，杨佳，贾国敬，周超，2012)。但这些研究大多采用相关设计，直接检验中央执行功能在个体的策略运用中的作用的实验研究还很少。”（见 1 引言，第四段）。

“在以往探讨中，研究者往往侧重于中央执行负荷对正常儿童或成人算术策略运用的影



响(刘昌, 2004; 司继伟 等, 2012), 但忽视了关注数学困难儿童这一“特殊群体”。; “可见, 数学困难儿童的策略运用一般都不如正常发展儿童, 但是具体的原因仍不清楚。有研究者认为, 数困儿童的情感因素方面可能存在问题(Passolunghi, 2011), 但 Desoete 和 De Weerdt(2013) 从认知的角度对数困儿童进行研究, 发现工作记忆, 特别是中央执行, 对数困儿童的行为抑制特别重要。中央执行功能差在某种程度上阻碍了数困儿童的数学技能的发展, 他们可能无法有效抑制额外的干扰。那么, 数困儿童较差的策略运用是否是因为中央执行这一认知性功能较差呢? 本研究将对这一问题进行研究。之前对此方面的研究也确实有一些, 他们从某种角度也证明了数困儿童的中央执行功能差会导致其在策略运用上的表现较差。”(见 1 引言, 第六段)。

“然而, 以上研究虽然从某种程度上证实了中央执行与数困儿童的策略运用有一定的相关, 较差的中央执行功能可能会在一定程度上导致数困儿童较差的算术策略运用, 至少是与此有关, 但是这些研究大多采用相关设计, 对于中央执行功能如何影响数困儿童的策略运用却缺乏进一步的真正的实验设计方面的研究。而将执行功能分离开来研究也有所片面, 因此, 对中央执行负荷进行整体性的操控可以更全面地理解执行功能对个体的策略运用过程的具体影响。此外, 以上研究忽视了不同的中央执行负荷水平对数学困难儿童估算策略运用的潜在影响, 如果能对中央执行负荷在不同水平上进行严格的操控, 我们或许会发现数困儿童与正常儿童在估算策略运用中更深层次的差异。即两类儿童的策略运用都会受到负荷的影响, 但是, 随着负荷的增加, 两类儿童受到的影响会发生变化, 数困儿童受到的影响可能会更大。考察中央执行负荷对数困儿童估算策略运用的影响, 不仅可以揭示数困儿童与正常组儿童的估算策略运用存在差异的原因, 也有助于丰富和完善对中央执行功能在个体策略运用以及数学认知中所起作用的认识。此外, 虽然国外也有类似研究(Torbeyns, 2004; Torbeyns et al., 2004), 但是鉴于估算策略运用的跨文化差异(Imbo & LeFevre, 2009; 2011), 因此, 以国内的数困儿童为研究对象对于中国这一人口基数庞大的国家来说显得尤为重要, 从而有助于更好地关注和服务这一特殊群体, 改善其数学能力与表现。”(见 1 引言, 倒数第二段)。

“采用高低负荷条件可以避免先前研究只研究有无负荷的局限性, 因为高负荷任务需要信息操作与更新, 低负荷任务主要是保持信息, 而信息的操作与更新会更大程度的激发中央执行的参与程度, 通过比较高低负荷对任务结果的影响, 从而更全面理解中央执行对估算策略运用的影响(司继伟 等, 2012), 本研究拟采用数学困难儿童和数学能力正常发展的对照组为被试, 采用选择/无选法范式, 通过设置无、低、高三种负荷条件的材料, 更全面揭示中央执行负荷对数学困难儿童算术策略运用的限制, 以此考察其策略运用的缺损机制, 即

数困儿童的中央执行功能可能存在缺陷，不能有效抑制额外干扰并合理分配认知资源，从而导致较差的策略运用。我们假设，随着负荷的增加，两组儿童的策略运用表现都会下降，且数困儿童的表现明显差于正常发展组儿童，但负荷对数困儿童和正常发展组儿童的策略执行和策略选择会导致差异性影响，负荷越高，数困儿童的策略运用受到的影响越大，其策略运用表现越差，但正常组儿童受到负荷的影响较小。”（见 1 引言，最后一段）。

以往研究主要侧重于考察中央执行负荷对正常的儿童或成人个体算术策略运用的影响，很少有研究考察其对数困儿童的估算策略运用的影响，即使有一些研究，也主要是一些相关设计，直接通过实验考察中央执行负荷对数困儿童估算策略运用的影响的研究还很稀少，而严格把负荷分为高、低、无三种条件的更是少见，因为高负荷与低负荷的效用是不同的，高负荷任务需要信息操作与更新，低负荷任务主要是保持信息，而信息的操作与更新会更大程度的激发中央执行的参与程度，之前的研究只考察了有无负荷，而没有对负荷条件进行细分，对于三种细化后的不同负荷条件如何影响数困儿童的估算策略的运用仍待解决，同时这也是本研究的目的所在，既有理论意义又有现实意义，所以，我们研究了中央执行负荷对数困儿童估算策略运用的影响以及与正常儿童相比有何差异。

此外，我们对审稿专家提出的“以往研究忽视了中央执行负荷对数学困难儿童策略运用的潜在影响”、“先前研究只研究有无负荷的局限性”、“考察其策略运用的缺损机制”、“负荷对数困儿童和正常发展儿童的策略执行和策略选择会导致差异性影响”这些细节进行了详细的解释和说明，使得问题的提出基础更加有理有据。

我们也相应地对参考文献部分进行了补充：

Desoete, A., & De Weerd, F. (2013). Can executive functions help to understand children with mathematical learning disorders and to improve instruction? *Learning Disabilities -- A Contemporary Journal*, 11(2), 27–39.

Imbo, I., Duverne, S., & Lemaire, P. (2007). Working memory, strategy execution, and strategy selection in mental arithmetic. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(9), 1246–1264.

Wang, M. Y., & Chen, Y. H. (2006). The influence of central executive of working memory on children's arithmetical cognitive strategies. *Psychological Development and Education*, 22(4), 24–28.

[王明怡, 陈英和. (2006). 工作记忆中央执行对儿童算术认知策略的影响. *心理发展与教育*, 22(4), 24–28.]

**意见 2:** 方法部分对一些关键细节缺乏必要的介绍。其中最重要的就是对上调和下调策略的介绍及对因变量指标的明确说明。(1)从文中可以大致猜出上调及下调策略的意思,但对于普通读者来说,还应该进行更明确的说明,特别是为何这两种策略对于某些问题来说就是应该被选择的较优策略。(2)对使用的指导语还需要进一步详细的说明,特别是怎么给被试介绍这两种策略,在可选择条件下又如何要求被试选择较优的策略且不选择这两者之外的策略。(3)对因变量指标缺少说明。后面研究结果部分所做的数据分析以什么数据为因变量目前是需要猜测的。特别是 3.2 部分的策略选择正确性和 3.3 部分的策略选择适应性,到底分别对应什么指标?又有什么差别?目前是比较难懂的。

**回应:** 非常感谢审稿专家的建议。

对于问题(1)、(2)、(3)的回答如下:

(1)对于上调策略和下调策略的意思我们在修改稿中进行了补充说明,“策略运用分为策略执行和策略选择,策略执行指的是个体使用指定的策略解决问题的时间和正确率(Mata, Josef, & Lemaire, 2015),可以比较不同策略解决问题的效能差异以及不同个体有效执行策略的能力差异。策略选择指的是个体在某一情境中如何选择合适的策略有效地解决问题。具体到本研究中,策略执行有两种条件,无选上调和无选下调。上调指把每个加数都向上调整为最接近的整十数然后相加(如,  $23+48$  上调后为  $30+50=80$ ),下调指把每个加数都向下调整为最接近的整十数然后相加(如,  $23+48$  下调后为  $20+40=60$ )。”(见 1 引言, 第一段)。

对于为何这两种策略对于某些问题来说是最佳策略,我们在修改稿中详细说明了这一点,“c1 最佳选择条件:可以考察策略选择和策略选择适应性。对于每个问题,我们要求被试必须从上调策略和下调策略中选择出一种又准又快得出估算结果的策略来解决问题,如,  $23+48$ ,被试可以选择上调策略或者下调策略来解决,输入的估算答案 80 和 60 都是策略选择的正确结果,但只有 80 反映了策略选择的适应性,即解决本题使用上调策略才是最佳策略,因为 80 更接近精确结果 71。此外,要求不能使用混合策略,即不能一个加数使用上调策略,而另一个加数使用下调策略;如,  $23+48$  使用混合策略  $20+50$  获得的结果 70 虽然更接近精确答案 71,但却是错误的;”。最佳选择条件的基本原则就是采用给定的两种估算策略中能估算出最接近精确答案的策略即为较优策略,估算结果与精确答案差异较小的就是最佳策略。(见 2 方法, 2.4 实验程序)。

(2)对于“怎么给被试介绍这两种策略,在可选择条件下又如何要求被试选择较优的策略且不选择这两者之外的策略”,我们在修改稿中详尽说明了这一点,“实验程序由 E-prime 2.0 软件编写,随机呈现刺激,计算机自动记录被试反应时(RT)和正确率(ACC)。基于选择/无选法范式的设计思想(司继伟 等, 2014; Xu et al., 2014),实验分为三种条件, c1 最佳选择条

件：可以考察策略选择和策略选择适应性。对于每个问题，我们要求被试必须从上调策略和下调策略中选择出一种又准又快得出估算结果的策略来解决问题，如， $23+48$ ，被试可以选择上调策略或者下调策略来解决，输入的估算答案 80 和 60 都是策略选择的正确结果，但只有 80 反映了策略选择的适应性，因为 80 更接近精确结果 71。此外，要求不能使用混合策略，即不能一个加数使用上调策略，而另一个加数使用下调策略；如， $23+48$  使用混合策略  $20+50$  获得的结果 70 虽然更接近精确答案 71，但却是错误的；c2 无选择上调条件：被试需要使用上调策略来解决所有问题；c3 无选择下调条件：被试需要使用下调策略来解决所有问题。有选条件能独立考察策略选择，而无选条件则独立考察策略执行。为避免无选择条件下被试的策略执行影响到无选择条件下的策略选择，所有被试均按照 c1→c2→c3 的顺序进行测试(司继伟 等，2012)。每种实验条件间隔 5 分钟，每名被试需完成 90 个实验试次，正式实验之前告诉被试对于每道加法题都采用估算的方式解决，而不需要精确计算，为了确保被试对实验程序和任务要求的理解，正式实验之前有 8 个练习试次，会有正误反馈，练习试次不会出现在正式试验之中，且正式实验没有反馈。”（见 2 方法，2.4 实验程序）。

对于审稿专家的建议“如何要求被试选择较优的策略且不选择这两者之外的策略”，其实，30 道两位数加法估算问题对于 6 年级儿童来说，他们有能力使用给定的两种策略之外的其他策略，即很有可能使用精确计算，因此，我们采用了两种方式避免儿童使用精算策略。首先，在正式实验之前，我们会给被试详细介绍估算策略(上调和下调)的使用，并做一些相应的练习，直到被试真正理解实验程序和任务要求才开始正式实验，这确保被试既能理解又能使用两种估算策略。其次，在软件进行数据采集时，如  $23+48$ ，在无选上调条件下，正确的结果是  $30+50=80$ ；在无选下调条件下，正确结果是  $20+40=60$ ；在有选条件下，本题最佳的策略是使用上调策略，正确的结果是 80。只有在相应条件下输入相应的结果才算正确，若被试输入了 71，虽然是精确答案，但却是错误的，我们会对此类数据不进行分析。且最后的结果也显示，被试都能够理解并使用估算策略，而不是精算策略。通过这两种方法，我们最大限度地确保了被试使用两种给定的估算策略解决问题，即使被试有能力使用其他策略，如精确计算。

(3)对于审稿专家提出的因变量指标问题，我们在修改稿中作了详尽说明，“采用 2(被试类型：数困儿童、正常数学成就儿童)×3(任务类型：高负荷、低负荷、无负荷)×3(策略选择条件：最佳选择、无选上调、无选下调)三因素混合实验设计，其中被试类型为被试间变量，任务类型和策略选择条件为被试内变量，因变量是被试的策略运用，包括策略选择的反应时和正确率、策略执行的反应时和正确率以及策略选择适应性的正确率。”（见 2 方法，2.2

实验设计)。

“选择/无选法中的无选条件可以无偏考察各种策略的执行时间和准确性，可以反映策略解决问题的相对优势。本研究中的 c2 和 c3 条件下的反应时和正确率分别反映了无选上调和无选下调策略的执行情况。我们只分析了被试按照指定策略正确解决问题的反应时，没有按照指定策略解决问题的反应时不作统计分析。无选条件下被试要用给定的策略解决问题，包括上调策略和下调策略。根据被试输入的估算答案判断被试使用了何种策略，若被试使用了给定的策略则编码为 1，若没有使用则编码为 0，编码为 0 的反应时数据不作分析，我们只分析了编码为 1 的反应时数据。正确率即为编码为 1 的试次数/总试次数。c2 和 c3 条件下的数据分别统计。为比较数困儿童和正常儿童策略执行的特点，以被试类型为被试间变量，实验条件(无负荷、高负荷、低负荷)和题目类型(无选上调、无选下调)为被试内变量，对策略执行的反应时和正确率(见表 1)进行  $2 \times 3 \times 2$  三因素重复测量方差分析。”(见 3 结果，3.1 策略执行，第一段)。

“在本研究中，被试在最佳选择条件下(c1)的反应时和正确率反映了其策略选择情况。根据被试输入的估算答案判断被试使用了何种策略。策略选择的反应时数据编码如下：若被试使用了上调策略编码为 1，若使用了下调策略则编码为 2，若使用其它策略则编码为 0。本研究只分析编码为 1 和 2 的数据，编码为 0 的数据不予分析。策略选择正确率的编码如下：若被试使用了给定策略中的一种正确解决了问题，则编码为 1，若使用了其它策略则编码为 0。如，解决  $23+48$  可以使用上调策略  $30+50=80$  或者下调策略  $20+40=60$  都反映了策略选择的正确率，策略选择的正确率为编码为 1 与 2 的试次数之和/总试次数。为比较数困儿童和正常儿童在策略选择环节方面的区别，以实验条件(无负荷、高负荷、低负荷)为被试内变量，被试类型为被试间变量，对被试选择策略的正确率和反应时(见表 2)进行  $3 \times 2$  重复测量方差分析。”(见 3 结果，3.2 策略选择，第一段)。

“在本研究中，策略选择适应性是指：被试在策略的选择过程中，选择了更接近于精确计算结果的策略，那么被试对这个策略的选择是适应性的(Lemaire, Arnaud, & Lecacheur, 2004)。例如：对于  $86+43$ ，使用下调策略可以得到更为精确的结果，若被试使用了下调策略  $80+40=120$ ，那么就说明被试在该题的策略选择上具有良好的适应，若被试使用了上调策略  $90+50=140$  虽然是正确的策略选择结果，但却不是适应性的。本实验有一个策略运用条件(c1)涉及策略选择的适应性。此处我们采用被试选择最佳策略的正确率来衡量策略选择的适应性。将选择适应性的策略计为“1”，没有选择适应性的策略计为“0”，策略选择适应性的正确率即为编码为 1 的试次数/总试次数，以实验条件(高负荷、低负荷、无负荷)作为被试内

变量，以被试类别作为被试间变量，对数学困难儿童的策略选择适应性的正确率(见表 3)进行  $2 \times 3$  的重复测量方差分析。”(见 3 结果，3.3 策略选择适应性，第一段)。

对于因变量的指标我们在修改稿中进行了详细说明。策略选择的正确率和策略选择适应性的正确率也在修改稿中进行了详尽的说明，在本研究中，策略选择指的是被试选择了某种策略并估算出正确答案，尽管这一策略的估算结果并不是最佳的。策略选择适应性指的是被试选择了能估算出最接近精确答案的策略。策略选择的正确率所统计的策略既有上调策略又有下调策略，二者正确的结果占总试次数的比例，而策略选择适应性的正确率指的是最佳策略的试次数占总试次数的比例。如， $23+48$ ，被试可以选择上调( $30+50=80$ )或者下调( $20+40=60$ )来解决，但只是反映了策略选择正确率的情况，而其中被试选择能更接近精确答案的上调策略才是真正反映了策略选择的适应性正确率的情况，这是二者的区别。

**意见 3:** 实验控制方面存在一些细节问题。(1) C1-C2-C3 的固定顺序会不会造成练习效应？这是否是结果中下调策略表现更好的原因？(2) 如何保证被试一定使用了研究者所关注的策略？(3) 运算题目的呈现时间只有 200ms，会不会太短？这是不是结果中普通六年级小学生进行两位数估算正确率只有 70%左右的原因？

**回应:** 非常感谢审稿专家的宝贵建议。

对于问题(1)、(2)、(3)的回答如下：

(1)对于专家提出的“C1-C2-C3 的固定顺序会不会造成练习效应？”的问题，先进行策略选择条件 c1，再进行策略执行条件 c2 和 c3，这样可以避免策略执行对策略选择的影响，因为若先进行策略执行，被试可能会有意无意地觉知到上调策略和下调策略的难度不同，有很多研究已经表明，上调策略难于下调策略(如 Imbo, Duverne, & Lemaire, 2007)，c1 是考查被试的策略选择情况，被试可以选择上调和下调两种策略，如果先进行策略执行，这将导致被试在策略选择中总是倾向于使用下调策略，但是实验要求选择最佳策略，这将影响实验结果的可靠性，所以要先进行策略选择条件 c1。此外，固定的顺序并不会造成练习效应，先进行难度高的上调策略 c2，再进行简单的下调策略 c3 并不会造成练习效应或者造成的简单效应可以忽略不计，若先进行简单策略，再进行难的策略，可能存在练习效应，因为这可能造成难的上调策略的执行难度由于之前的练习而降低，而练习效应对简单策略的影响可以忽略不计。(见 2 方法，2.4 实验程序)。

(2)30 道两位数加法估算问题对于 6 年级儿童来说有可能使用其它策略，如精确计算，因此，我们采用了两种方式避免儿童使用其它策略，从而确保被试一定使用了研究者所关注的策略。首先，在正式实验之前，我们会给被试详细介绍估算策略(上调和下调)的使用，

并做一些相应的练习，直到被试真正理解实验程序和任务要求才开始正式实验。其次，在软件进行数据采集时，如  $23+48$ ，在无选上调条件下，正确的结果是  $30+50=80$ ；在无选下调条件下，正确结果是  $20+40=60$ ；在有选条件下，本题最佳的策略是上调策略，正确的结果是 80。只有在相应条件下输入相应的结果才算正确，若被试输入了 71，虽然是精确答案，但却是错误的，我们会对此类数据不进行分析。通过这两种方法，我们最大限度地确保了被试使用估算策略解决问题，即使被试有能力进行精确计算。这一点我们在正文中进行了相应的补充。（见 2 方法，2.4 实验程序）。

(3)非常感谢审稿专家的意见，运算题目的呈现时间应该是 1000ms，这一点是我们的疏忽，已在正文中改正。（见 2 方法，2.4 实验程序）。

此外，结果中普通六年级小学生进行两位数估算正确率只有 70% 左右的主要原因是儿童的中央执行功能还在发展之中，有研究发现，儿童的策略运用会随着年龄的增加而升高 (Imbo & Vandierendonck, 2007; Lemaire & Calliès, 2009)，即使是正常儿童，他们的中央执行功能还处在发展之中，他们对策略的灵活运用能力和对外界干扰的抑制能力还没有达到成人的水平，所以正确率 70% 左右是正常的。

**意见 4：**在研究结果中，最为重要的是实验条件和被试类型的交互作用，基本只有这个交互作用能体现出本研究针对数学学习困难儿童考察中央执行功能影响的意义和必要性。但在结果中，这个交互作用比较弱，虽然在多个检验中达到了显著性水平，但并没有体现出数学学习困难儿童和普通儿童受负荷影响的重要模式性差别。至少在目前的写作中很难看到这一点。

**回应：**非常感谢审稿专家的建议。

我们对专家的上述意见尝试做出如下回应：

在策略执行上，“本研究发现，数困组儿童在策略执行的反应时和正确率上均劣于正常组儿童。即相较于正常发展儿童，他们在策略执行上存在较为明显的障碍，不能按照提示策略有效地执行任务，导致在策略执行上的表现更差。该结果与前人的研究结果相一致 (Torbeyns et al., 2004)。以往研究已证实，相较于正常发展儿童，数困儿童在工作记忆上是存在缺陷的，他们无法有效地抑制额外的或者不相关的干扰信息(如 Passolunghi, 2011; 蔡丹，李其维，邓赐平，2011)，这表明数困儿童策略执行较差，可能和他们的工作记忆发展缺陷有很大关系(吕娜，杨静，华晓腾，司继伟，王翔艳，2015)。此外，由于有限的工作记忆资源，因此无法充分地利用有限的资源去更好地完成有负荷任务，进而严重阻碍了他们在策略执行上的表现。”（见 4 分析与讨论，4.1，第一段）。尽管不能确定是什么原因导致数困儿

童的中央执行功能较差，但其较差的中央执行功能确实导致了其较差的策略执行表现。因为虽然正常儿童也会受到负荷的影响，但数困儿童从无负荷的时候其策略执行的表现就较差，随着负荷的增加，其策略执行的表现越来越差，且始终比正常发展组儿童的差。这是二者在策略执行上的差异。

在策略选择上，“策略选择过程比策略执行更加复杂，需要更多的认知资源来协调主任务(艾继如 等, 2016; Lemaire et al., 2004)，而本研究也显示了中央执行负荷与策略选择有关的差异。在本研究中，数困组儿童策略选择的反应时和正确率上均劣于正常组儿童，中央执行负荷效应在两组的正确率和反应时上的差异均显著。在数困组中的策略选择正确率上，低负荷与高负荷间差异不显著，但二者与无负荷间的差异却都显著。这说明数学学习困难儿童的控制注意能力不足，即中央执行抑制能力可能有缺陷，无法抑制对与主任务具有一致性的次任务材料所带来的干扰，从而在策略之间进行灵活转换的能力不足，只要存在负荷(无论高低)都会对其策略选择表现产生影响。执行不同负荷条件下的两位数加法估算问题的策略选择时，需要个体在不同的策略之间进行灵活转换，同时抑制无关任务的干扰，协调运用认知资源，这就要求个体主动监控目标行为，同时抑制无关信息的干扰，根据任务要求灵活地完成策略选择并正确执行，从知觉和行为两方面进行控制注意(蔡丹 等, 2011)。而数困儿童的中央执行功能较差，不能较好完成与策略选择有关的中央执行的抑制与转换功能，从而导致较差的策略选择表现。”（见 4 讨论，4.2，第一段）。

在策略选择适应性上，“在最佳选择条件下，被试要根据问题类型选择适应性策略，要对两种策略进行比较，选择一种适应性策略并抑制另一策略，这需要更多的认知资源，中央执行负荷越高，被试的策略选择适应性越差。Ardiale 和 Lemaire(2012)研究发现，个体可以实现项目内的策略转换。个体根据特定问题进行策略选择时，会同时评估该策略的有效性，若发现该策略不是解决问题最有效的策略时，认知系统会修正最初的选择而转向最佳策略，这些认知加工过程都需要消耗个体有限的认知资源。由于数困儿童的中央执行功能较差，认知资源相比于正常儿童更加不足，当执行负荷任务时，没有足够的认知资源对策略的有效性进行评估，从而导致其策略选择表现显著差于正常组儿童。并且随着中央执行负荷的增加，数学困难儿童和正常发展组儿童的表现差距越大。这意味着，不管是低负荷还是高负荷情境下，数学困难儿童在两种任务上的策略选择适应性均存在障碍。”（见 4 讨论，4.2，第二段）。在策略选择及策略选择适应性上，数困儿童从无负荷时的表现就比正常儿童差，随着中央执行负荷的增加，数困儿童的表现越来越差，且始终差于正常组儿童，这是二者在策略选择及适应性上的差异。



因此,我们认为数困儿童和正常组儿童在三种中央执行负荷条件下的策略运用的模式性差异主要有以下几点:在无、低和高三种中央执行负荷条件下,数学困难组儿童的估算策略运用(执行和选择以及适应性)普遍差于正常组儿童;无论是数困组还是正常组儿童,其策略运用都会随着中央执行负荷的增加而变差,但数困组受到负荷的影响更大。

**意见 5:** 讨论部分有较大篇幅脱离了本研究的内容,特别是对于数学困难儿童的“畏难情绪”、“焦虑水平”等的探讨,感觉对于解释本研究所发现的数据结果还是有一定距离。此外讨论部分对于上述交互作用的表达着重于“数学学习困难儿童只要存在负荷都会对其策略表现产生影响”,而实际上普通儿童也是这样的,两者差别只是高低负荷的作用是否有差异。此外,讨论中对定势等问题的讨论都在本研究中缺乏依据,至少没有得到清晰明确的解释。总体上,讨论比较牵强,这严重地影响了对本研究问题和结果的意义性解释,使得在引言中没能较好提出的研究问题仍然没有得到有效的讨论。

**回应:** 非常感谢审稿专家的建议。

对于“畏难情绪”的解释,我们将其修改为“在本研究中,数学困难组儿童在三种负荷条件下的正确率均差于正常发展组,这基本符合我们的假设。数困组儿童的中央执行功能差,在负荷条件下不能快速按照指示完成策略执行任务。而在无负荷和低负荷条件下,数困组反应时也慢于正常发展组,这也基本符合我们的预期,但在高负荷条件下两组差异并不显著(3498ms vs. 3717ms)。我们推测,这可能是由于高负荷任务太难,需要的工作记忆资源更多,导致两个组均不能较好地完成任务,但由于正常组被试抑制无关信息的能力较强,所以其策略执行的准确性仍然高于数困组。而数困组儿童在面对高负荷任务时,被试由于没有多余的认知资源来权衡速度和准确性,只能顾及某一方面,从而导致正确率虽然显著低于正常组,但反应时却不存在差异。虽然两组的反应时差异不显著,但数学困难儿童的平均反应时间还是长于正常发展儿童,这也从侧面证明了相较于正常发展儿童,数学困难儿童的中央执行功能存在缺陷,更加无法有效抑制额外的干扰。一般而言,在双任务实验中,儿童需要不断地执行次级任务,如数字排序任务,同时还要执行估算认知加工,这导致数困儿童有限的工作记忆资源的竞争变得更加激烈,分配到估算策略执行上的认知资源降低,导致其不能有效地完成估算策略任务的执行。这表明,数困儿童的中央执行功能较差,不能合理分配认知资源,抑制无关干扰,相较于中央执行功能正常的儿童,更加不能有效地完成策略执行(艾继如 等, 2016; Andersson & Lyxell, 2007; 王明怡, 陈英和, 2006)。总之,在策略执行上,数困儿童的中央执行功能可能较差,导致其在负荷任务上的策略执行的表现显著差于正常发展组。”(见 4 分析与讨论, 4.1, 第二段)。

但是,对于“数学焦虑水平”的解释,我们并不打算全部修改,对此,我们主要是基于以

下的几点思考，数困儿童的中央执行功能可能较差，工作记忆资源有限，但导致这一结果的具体原因是什么目前并不确定。根据许多数困儿童的工作记忆与数学焦虑关系的相关研究，我们推测主要是因为数困儿童虽然在其它学科中不存在却在数学这一学科中存在过高的数学焦虑造成的。所以我们在修改稿内对数困儿童较差的策略执行表现的原因做出了如下讨论，“此外，对于数困儿童较差的策略执行表现的深层原因，我们推测如下：数困儿童的中央执行功能差，可能是因为他们存在更高的数学焦虑，而数学焦虑本身就会占用一部分认知资源，导致数困儿童的认知资源从一开始就处于劣势。有研究发现，尽管数学困难儿童在其它学科中的焦虑水平与正常儿童类似，却存在更高水平的数学焦虑，这导致数学困难儿童的机能失调，不能合理有效地使用认知资源(Passolunghi, 2011)。Wahid 等人(2014)研究发现，学生的算术表现更多依赖数学焦虑，高数学焦虑导致数学表现较差，这可能是数学学习困难儿童同时会伴随着更高的数学焦虑的原因。此外，有研究证据表明，随着年级的升高，数学焦虑对策略运用的影响越来越显著(耿柳娜，陈英和，2005)，六年级儿童受数学焦虑的制约更多，表现为高焦虑儿童只顾及到速度而正确率较差(Si et al., 2016)。因此，我们推测数困儿童受到数学焦虑的影响从而导致工作记忆资源不足，从而间接导致数困儿童的策略执行较差，或者是直接因为工作记忆资源不足，导致速度准确性权衡出了问题。这可能解释了数困儿童在高负荷条件下正确率低于正常组儿童但反应时没有显著差异的原因。而成年人中高焦虑者的工作记忆负荷更高也印证了这一点(司继伟，徐艳丽，封洪敏，许晓华，周超，2014)。至于数学焦虑是如何导致数困儿童工作记忆资源不足，从而最终导致策略执行较差的具体作用机制可能存在以下几点：焦虑的数学困难儿童在执行任务时会有一部分注意资源被动转移(即策略执行受到干扰)到外界对自己的评价上，从而导致策略执行的表现变差(Northern, 2010)。即使在无负荷的条件下，数学困难儿童在估算策略执行上的表现也比正常发展儿童要差，可能是因为数学焦虑情绪会使其有限的认知资源从对估算任务的注意(目标-导向注意系统)转移到对数学焦虑情绪的注意(刺激-驱动注意系统)上(Eysenck & Derakshan, 2011)，这也将加重负荷条件下较差的策略执行表现。加工效能理论(Eysenck, Derakshan, Santos, & Calvo, 2007)认为，焦虑对认知加工效能的影响依赖于中央执行的抑制成分，当任务需求增加时，中央执行的抑制功能会受损，从而导致焦虑个体更容易受到外部(分心物)或者内部(担心的想法)等任务无关刺激的干扰，数学困难儿童有限的工作记忆资源会被焦虑情绪占用一部分，而他们可能还会调用一部分资源来抑制焦虑情绪对主任务的干扰，这些任务无关的干扰可能都会与策略执行竞争有限的认知资源，这使得本来就存在工作记忆缺陷的数学困难儿童的中央执行负荷更高，从而导致其策略执行表现更差。有证据表明，儿童的策略运用更易

受到数学焦虑的干扰(Si et al., 2016), 因此, 数学焦虑可能并不直接导致较差的策略执行, 而是通过中央执行功能作为(部分或完全)中介, 导致数学困难儿童的策略执行表现较正常发展儿童更差。而在正常组内部, 无负荷与低负荷与高负荷两两差异显著, 这表明在正常组儿童中, 本实验在负荷任务的设置上具有良好的区分度。负荷越高, 儿童策略执行的反应时越长。而数学困难组只出现高负荷与无负荷、低负荷的差异, 无负荷和低负荷之间的反应时差异并不显著。这表明, 数学困难儿童即使在无负荷情况下策略运用也会出现执行障碍, 这可能和他们本身就存在中央执行功缺陷有关, 他们无法抑制具体题目运算对策略执行的影响, 导致反应时过长, 表现为面对题目时无法快速进行策略执行。虽然正常组儿童的策略执行也会受到认知负荷的影响, 但相比于同辈的数困儿童的策略执行表现, 正常组儿童由于中央执行功能正常, 受到认知负荷的影响更小, 在策略执行整体上的表现也就更好。总之, 在策略执行方面, 数学困难儿童对负荷很敏感, 较小负荷就会导致其较差的策略执行表现。数学困难儿童在面对负荷任务的估算问题时, 中央执行不能协调运用心理资源, 在解决问题时无法抑制无关信息的干扰, 导致其在策略执行上表现更差。”(见 4 分析与讨论, 4.1, 第三段)。

而对于“**定势**”的探讨我们在原稿内可能没有表达清楚, 策略选择主要涉及策略运用的灵活性, 如果个体的中央执行功能较差, 不能有效抑制简单的和之前用过的策略, 而又重新激活新的适应性的策略, 那么很有可能个体会倾向于选择简单的下调策略或者之前用过的处在高激活状态的策略来执行任务, 而不是根据题目选择适应性的策略, 而外在的可观测的表现就是数困儿童的策略选择适应性的正确率显著低于正常发展组儿童。在此, 我们尝试做如下解释, “策略选择过程比策略执行更加复杂, 需要更多的认知资源来协调主任务(艾继如 等, 2016; Lemaire et al., 2004), 而本研究也显示了中央执行负荷与策略选择有关的差异。在本研究中, 数困组儿童策略选择的反应时和正确率上均劣于正常组儿童, 中央执行负荷效应在两组的正确率和反应时上的差异均显著。在数困组中的策略选择正确率上, 低负荷与高负荷间差异不显著, 但二者与无负荷间的差异却都显著。这说明数学学习困难儿童的控制注意能力不足, 即中央执行抑制能力可能有缺陷, 无法抑制对与主任务具有一致性的次任务材料所带来的干扰, 从而在策略之间进行灵活转换的能力不足, 只要存在负荷(无论高低)都会对其策略选择表现产生影响。执行不同负荷条件下的两位数加法估算问题的策略选择时, 需要个体在不同的策略之间进行灵活转换, 同时抑制无关任务的干扰, 协调运用认知资源, 这就要求个体主动监控目标行为, 同时抑制无关信息的干扰, 根据任务要求灵活地完成策略选择并正确执行, 从知觉和行为两方面进行控制注意(蔡丹 等, 2011)。而数困儿童的中央执行功能较差, 不能较好完成与策略选择有关的中央执行的抑制与转换功能, 从而导致较差的策略

选择表现。”（见 4 讨论，4.2，第一段）。

“本研究的结果表明，数困儿童的中央执行能力可能存在不足，在负荷任务中表现出较差的策略执行表现，对此，我们认为可以从以下几点来解释：数学学习困难儿童的工作记忆资源不足，抑制习惯化反应的能力较弱，无法抑制在上一试次中使用的策略，当进入到下个试次中，无法转换到更适应的策略，从而导致较差的策略选择表现，因为这些操作都需要更多的认知资源。Lemaire 和 Lecacheur(2010)提出策略重复效应来解释这一现象，认为策略转换会产生认知代价，从一个策略转换到下一个新的策略比重复使用同一策略的表现更差。而个体的执行功能会影响策略选择，策略转换代价可以从认知灵活性和抑制能力来解释。中央执行功能还会影响个体使用策略的数量以及如何选择策略(Lemaire & Lecacheur, 2011; Hodzik & Lemaire, 2011)。个体的策略运用与中央执行的转换功能关系密切。在无负荷的情况下，正常发展组儿童的执行功能可能比数困组儿童发展正常，从而能更好地在不同策略间进行灵活转换，抑制旧的策略，选择并执行新的策略(司继伟 等，2012)。但在有负荷情况下，正常组儿童的策略选择也会受到影响，但数困组儿童受到的影响更大，策略选择的表现更差，这可能与他们的中央执行发展不完善有关。”（见 4 讨论，4.2，第二段）。

“在最佳选择条件下，被试要根据问题类型选择适应性策略，要对两种策略进行比较，选择一种适应性策略并抑制另一策略，这需要更多的认知资源，中央执行负荷越高，被试的策略选择适应性越差。Ardiale 和 Lemaire(2012)研究发现，个体可以实现项目内的策略转换。个体根据特定问题进行策略选择时，会同时评估该策略的有效性，若发现该策略不是解决问题最有效的策略时，认知系统会修正最初的选择而转向最佳策略，这些认知加工过程都需要消耗个体有限的认知资源。由于数困儿童的中央执行功能较差，认知资源相比于正常儿童更加不足，当执行负荷任务时，没有足够的认知资源对策略的有效性进行评估，从而导致其策略选择表现显著差于正常组儿童。并且随着中央执行负荷的增加，数学困难儿童和正常发展组儿童的表现差距越大。这意味着，不管是低负荷还是高负荷情境下，数学困难儿童在两种任务上的策略选择适应性均存在障碍。对此，我们推测可能存在以下几点原因：Lemaire 和 Lecacheur(2010)提出的策略启动过程(或者策略集的惯性)。当个体从一个试次转换到另一个试次时，需要抑制刚刚被执行的策略，而去选择激活启动一种新的策略，当解决下一个问题时，在上一个问题上刚刚被执行过的策略会更容易获得和回忆，因为这一策略处于较高的激活状态，个体会更倾向于使用与上一试次相同的策略。但是当任务要求被试选择最佳策略时，正常组儿童因中央执行抑制控制较数困组更好，会调用认知资源来抑制重复使用同一策略的反应倾向，而数困组儿童的工作记忆存在缺陷，抑制功能较差，不能在当前问题上适应性地

选择最佳策略，从而导致策略选择的正确率显著低于正常组儿童。另一可能解释是策略集的重构过程 (Lemaire & Lecacheur, 2010)。一旦某一问题采用某一策略得到解决，个体必须重构认知系统，使用另一(或相同)策略来解决问题，这一过程涉及到一系列的中央执行控制过程，换句话说，个体必须抛弃刚刚执行过的策略或抑制无关策略的激活，使用工作记忆中可获得的另一策略或激活相关的策略作为将要执行的策略。这两种假设可能分别或共同解释了中央执行控制功能较差的数困儿童的策略选择适应性更差的内在原因。Lemaire 和 Lecacheur(2011)曾证实，中央执行抑制功能影响策略选择，抑制功能越高的儿童策略选择适应性越好。这也佐证了本实验的研究结果。而负荷条件确实影响儿童的策略选择适应性，负荷越高，占用的认知资源越多，儿童在最佳选择条件下的策略选择适应性越差，虽然实验条件和被试类别交互作用不显著，但数困儿童在每种实验条件下的正确率都低于正常发展儿童，这也证明了数困儿童的中央执行抑制控制能力较差，策略选择适应性相对更低。”（见 4 讨论，4.2，第三段）。

我们结合了考察数困儿童和中央执行负荷的相关性的研究，中央执行负荷与正常个体的策略运用的实证研究，在这些有限研究的基础上，对数困儿童较差的策略运用表现的最可能原因进行了有关讨论，希望以此揭示数困儿童较差的策略运用表现的深层原因，而其中的“数学焦虑”、“抑制和转换能力”等是比较可能的原因。

最后，再次衷心感谢审稿专家和编辑老师对本文付出的巨大劳动！

---

## 第二轮

审稿人 1 意见：作者已经比较好地回答了审稿人提出的问题。建议发表。

审稿人 2 意见：作者对一审提出的问题做了较好地回应，但是还存在以下问题：

意见 1：前言部分引用的文献过于冗杂。如“现有大量证据表明，中央执行(Caviola, Mammarella, Cornoldi, & Lucangeli, 2012; Geary, Hoard, Nugent, & Bailey, 2012; 周欣 等, 2013)、年龄(Duverne, Lemaire, & Vandierendonck, 2008; Hinault, Lemaire, & Tournon, 2017; Lemaire & Lecacheur, 2011; Si et al., 2016; Taillan, Ardiale, & Lemaire, 2015; Uittenhove, Burger, Tacconat, & Lemaire, 2015)、认知风格(司继伟, 刘亚琼, 贾国敬, 黄碧娟, 2016)、策略效率(Hinault et al., 2014; Uittenhove & Lemaire, 2012; 2013)和策略难度(Uittenhove & Lemaire, 2012)、序列问题中的上一问题的策略使用(Ardiale & Lemaire, 2012; Hinault, Lemaire, & Phillips, 2016; Lemaire & Brun, 2016; 余姣姣, 张剑心, 孙丽霞, 刘电芝, 2016)、任务难度(Hinault, Dufau, & Lemaire, 2014)、问题情境(Hinault et al., 2014; Leonhard & Ulrich, 2011;

Töllner, Strobach, Schubert, & Müller, 2012)、文化差异(Hamamura, Heine, & Paulhus, 2008; Imbo & LeFevre, 2009; 2011; Xu, Wells, Lefevre, & Imbo, 2014)等内外因素都会不同程度地影响策略的运用质量与效率。”这一部分中,文献所占的比例远超过正文部分的叙述,有些喧宾夺主。作者只需引用最贴切的文献即可说明问题,请作者对这一部分进行精简。

回应:非常感谢审稿专家细致的审阅建议。

我们根据审稿专家的建议对相关文献进行了精简,保留了最贴切的文献,并对参考文献列表进行了相应的变动。

**意见 2:** 本文探讨的重点是中央执行功能对数困儿童的影响。但是现有的数据分析结果似乎还不能强有力的回应这个问题,得出有价值的结论。在策略执行部分“简单效应分析发现,在无、低和高三种负荷下,正常组儿童的正确率均显著高于数困组,  $F(1,72)=205.00, p<0.001, \eta^2=0.74$ ;  $F(1,72)=232.61, p<0.001, \eta^2=0.77$ ;  $F(1,72)=300.93, p<0.001, \eta^2=0.81$ ; ”;在策略选择部分“简单效应分析发现,在无、低和高三种负荷下,正常组的策略选择均显著优于数困组,  $F(1,72)=39.01, p<0.001, \eta^2=0.35$ ;  $F(1,72)=78.85, p<0.001, \eta^2=0.52$ ;  $F(1,72)=85.01, p<0.001, \eta^2=0.54$ ”。这些结果说明,在无负荷条件下,数困儿童和正常儿童的中央执行功能是否存在差异的,那么低负荷和高负荷条件下,数困儿童和正常儿童的中央执行功能的差异可能并不是是由于增加了负荷而造成的(因为没有负荷的时候这种差异也存在)。作者只有通过数据分析证明数困儿童和正常儿童中央执行功能的差异在增加负荷后加大(也就是低负荷和高负荷条件下的两组儿童执行功能差异大于无负荷条件下两组儿童执行功能的差异)才能说明,负荷对于数困儿童的中央执行功能有影响。从现在的写作中我们看出数困儿童和正常儿童的策略执行和策略选择正确率都会随负荷增加而降低,并没有看到数困组的独特模式,那么作者对比数困儿童和正常儿童有什么意义呢?数困儿童和正常儿童在中央执行功能上存在差异(数困组劣于正常组)这一点是不证自明的。

回应:非常感谢审稿专家的修改意见。

对于中央执行负荷对数困组儿童的策略运用的表现产生的独特模式差异,我们的数据分析确实不到位,对此,我们对数据进行了更加细致详尽的分析,除了接受了专家提出的宝贵建议“只有通过数据分析证明数困儿童和正常儿童中央执行功能的差异在增加负荷后加大(也就是低负荷和高负荷条件下的两组儿童执行功能差异大于无负荷条件下两组儿童执行功能的差异)才能说明,负荷对于数困儿童的中央执行功能有影响”之外,我们在此基础上进一步对两组儿童在从无负荷到低负荷,从低负荷到高负荷之间的策略表现的增幅(差值的变化情况)进行了对比分析,结果发现,整体来说,正常组儿童的增幅基本不变,但数困组却呈现出:反应时上,在高负荷上的增幅比在低负荷上的增幅变大的情况,即负荷越高,数困组的斜率变得越加陡峭,即策略表现受到的影响越大;在正确率上,正常组儿童的增幅基本不变,但数困组却出现在高负荷上的增幅一般比在低负荷上的增幅变小的情况,即随着负荷升高,数困组的斜率先变大再变小。这一发现表明,随着中央执行负荷升高,两组儿童的

策略表现出现了模式性的差异，即数困组有着区别于正常组的独特模式的变化。具体的分析过程以及讨论部分的变动我们在正文中进行了补充修改。

“此外，为了探究数困儿童和正常儿童的策略执行的表现受负荷影响的重要模式性差别，我们比较了随着负荷的增加，两组儿童儿童的中央执行功能差异的变化情况，即，无、低、高负荷三种条件下的正常组与数困组在策略执行正确率上的差异的变化情况，对三种条件下的差值(三种条件下对应的的正常组的正确率减去数困组的正确率)进行了单因素方差分析，结果显示，三种负荷条件间差异显著， $F(2,105) = 3.18$ ， $p = 0.045$ ， $\eta^2 = 0.054$ 。多重比较显示，两组儿童之间的差值在低负荷之间的差异(0.36)显著大于在无负荷(0.28)之间的差异， $p = 0.01$ ；虽然在高负荷之间的差异(0.33)大于在无负荷之间的差异(0.28)，但未达到显著水平， $p = 0.14$ ，高负荷与低负荷之间的差异也不显著， $p = 0.30$ 。从图 2 也可以形象地看出，在无、低、高三种负荷条件下，两组的差异是先变大再基本不变，可能是高负荷对两组儿童来说认知负担都很大，导致正常组的表现也变得很差，从而使得差异不明显。此外，我们从图 2 可以形象地初步认为，随着负荷的增加，正常组以近似线性的变化，而数困组是非线性的，为了更详可靠地比较两组儿童的中央执行功能对负荷增加所分别表现出的独特差异，我们还对两组儿童的正确率在三种负荷条件下的各自的增幅(变化程度)进行了分析。增幅的计算方法为，高负荷正确率(反应时)的增幅等于高负荷的正确率(反应时)减去低负荷的正确率(反应时)，低负荷正确率(反应时)的增幅等于低负荷的正确率(反应时)减去无负荷的正确率(反应时)，由此，我们对两组儿童的策略执行正确率的增幅进行了 2(被试类型：正常/数困组)×2(增幅：高负荷/低负荷)的两因素混合设计的重复测量方差分析，结果显示，两者交互作用显著， $F(1,72) = 5.93$ ， $p = 0.017$ ， $\eta^2 = 0.08$ 。简单效应分析显示，正常组的增幅差异不显著， $F(1,72) = 1.20$ ， $p = 0.28$ ；数困组的增幅差异显著， $F(1,72) = 19.93$ ， $p < 0.001$ ； $\eta^2 = 0.22$ ，高负荷正确率的增幅(0.10)显著小于低负荷正确率的增幅(0.39)，呈现出先增加后降低的趋势，从图 2 也可以看出，低负荷增幅的斜率比高负荷的更加陡峭。这说明，随着负荷增加，正常组的策略执行正确率以近似线性的趋势下降，而数困组却是以先快后慢的非线性趋势下降。”（见 3 结果，3.1 策略执行，第三段）

“此外，我们分析了三种负荷条件下的正常组与数困组在策略执行反应时上的差异的变化情况，对三种条件下的差值进行了单因素方差分析，结果显示，三种负荷条件间差异显著， $F(2,105) = 3.18$ ， $p < 0.001$ ， $\eta^2 = 0.16$ 。多重比较显示，两组儿童在低负荷之间的差异(339.09ms)显著小于无负荷之间的差异(840.80ms)， $p = 0.001$ ；高负荷之间的差异(209.83ms)虽然小于低

负荷之间的差异(339.09ms),但差异并没有达到显著水平,  $p=0.38$ ;高负荷之间的差异显著小于无负荷之间的差异,  $p<0.001$ 。此外,与正确率类似,正常组的反应时随着负荷增加以近似线性的趋势变化,而数困组是非线性的,我们对两组儿童的策略执行反应时的增幅进行了  $2\times 2$  的重复测量方差分析,结果显示,二者交互作用边缘显著,  $F(1,72)=2.99$ ,  $p=0.088$ ,  $\eta^2=0.04$ 。简单效应分析显示,正常组儿童的增幅差异不显著,  $F(1,72)=0.076$ ,  $p=0.78$ ;数困组儿童的增幅差异显著,  $F(1,72)=4.60$ ,  $p=0.035$ ;  $\eta^2=0.06$ ,高负荷反应时的增幅(307.19 ms)显著大于低负荷反应时的增幅(143.22 ms),表现出不断变大的趋势,从图 3 也可以看出,数困组中,高负荷的斜率比低负荷的更加陡峭。这表明,随着负荷增加,正常组的策略执行反应时以近似线性的趋势上升,而数困组却是以不断加快的非线性趋势上升。从以上的分析结果可以看出,数困组有着区别于正常组的独特的中央执行负荷模式。”(见 3 结果, 3.1 策略执行, 第五段)

“此外,我们对其策略选择的正确率也进行了同样的分析,对高、低、无三种负荷条件下正常组与数困组的差值进行了单因素方差分析,结果显示,三种负荷条件间差异显著,  $F(2,105)=4.87$ ,  $p=0.009$ ,  $\eta^2=0.09$ 。多重比较显示,两组儿童之间的差值在低负荷之间的差异(0.30)显著大于在无负荷之间的差异(0.16),  $p=0.003$ ;在高负荷之间的差异(0.25)显著大于在无负荷之间的差异(0.16),  $p=0.049$ ;虽然在高负荷之间的差异(0.25)小于在低负荷之间的差异(0.30),但未达到显著水平,  $p=0.28$ ,这说明从无负荷、到低负荷、再到高负荷,两组儿童策略选择正确率的差异是先变大然后基本保持不变,从图 4 也可以形象地看出这一变化趋势。此外,与策略执行的正确率类似,随着负荷的增加,正常组以近似线性的变化,而数困组是非线性的,为了进一步确定各组的变化模式,我们对两组儿童策略选择正确率各自的增幅进行  $2\times 2$  的重复测量方差分析,结果显示,二者交互作用显著,  $F(1,72)=11.00$ ,  $p=0.001$ ,  $\eta^2=0.13$ 。简单效应分析显示,正常组儿童的增幅差异不显著,  $F(1,72)=0.04$ ,  $p=0.85$ ;数困组儿童的增幅差异显著,  $F(1,72)=23.17$ ,  $p<0.001$ ;  $\eta^2=0.24$ ,高负荷正确率的增幅(0.03)显著小于低负荷正确率的增幅(0.24),从图 5 也可以看出,数困组中,低负荷的斜率比高负荷的更加陡峭。这表明,随着负荷增加,正常组的策略选择正确率以近似线性的趋势下降,而数困组却是以先快后慢的非线性趋势下降。”(见 3 结果, 3.2 策略选择, 第三段)

“此外,我们分析了三种负荷条件下的正常组与数困组在策略选择反应时上的差异的变化情况,对三种条件下的差值进行了单因素方差分析,结果显示,三种负荷条件间差异显著,  $F(2,105)=6.94$ ,  $p=0.001$ ,  $\eta^2=0.12$ 。多重比较显示,低负荷之间的差异(366.42ms)显著小



于无负荷之间的差异(814.65ms),  $p = 0.017$ ; 高负荷之间的差异(1043.99ms)显著大于低负荷之间的差异(366.42ms),  $p < 0.001$ ; 高负荷之间的差异虽然大于无荷之间的差异(814.65ms), 但未达到显著水平,  $p = 0.22$ , 这说明随着负荷增加, 两组儿童策略选择的表现之间的差异呈现出先变小再变大的非线性变化。此外, 从图 5 可以形象地看出, 两组儿童的策略选择反应时随着负荷增加都出现了非线性变化, 为了更详地比较差异的具体情况, 我们对两组儿童的策略选择反应时增幅进行了  $2 \times 2$  的重复测量方差分析, 结果显示, 二者交互作用显著,  $F(1,72) = 12.24$ ,  $p = 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.15$ 。简单效应分析显示, 正常组儿童的增幅差异显著,  $F(1,72) = 7.19$ ,  $p = 0.009$ ,  $\eta^2 = 0.091$ , 高负荷反应时的增幅(337.33ms)显著小于低负荷反应时的增幅(907.85ms); 数困组儿童的增幅差异显著,  $F(1,72) = 5.16$ ,  $p = 0.026$ ;  $\eta^2 = 0.067$ , 高负荷反应时的增幅(992.40ms)显著大于低负荷反应时的增幅(495.83ms), 从图 5 也可以看出, 数困组中, 高负荷的斜率比低负荷的更加陡峭, 而正常组正好相反, 高负荷的斜率比低负荷的平缓。这表明, 随着负荷增加, 正常组的策略选择反应时呈现出先快后慢的非线性上升趋势, 而数困组却是以不断加快的非线性趋势上升。从以上的分析结果可以看出, 数困组有着区别于正常组的独特的中央执行负荷模式。”(见 3 结果, 3.2 策略选择, 第五段)

“而进一步的分析, 我们发现, 在正确率上, 正常组儿童的策略执行表现的增幅随着负荷的增加而未出现显著差异, 即策略执行的表现以近似线性降低, 但数困组儿童的策略执行的表现的却存在独特的负荷效应, 随着负荷增加而以先快后慢的非线性趋势下降; 在反应时上, 正常组儿童的增幅差异不显著, 但数困组儿童的策略执行表现的增幅随着负荷增加而呈现出显著的不断增大的趋势, 这说明两组儿童的中央执行负荷效应是不同的, 数困组儿童受到负荷的影响更大, 随着负荷增加, 其策略表现变得更差。这些结果都表明, 中央执行负荷对数困组儿童在策略执行上产生的独特的模式性差异。数困儿童在策略执行上受到负荷的影响更大。”(见 4 分析与讨论, 4.1, 第二段)

“在反应时上, 三种负荷条件下, 数困组的策略选择反应时呈现出持续变大的显著趋势, 且均显著差于正常组。这一模式与策略执行类似, 可能是因为高负荷对数困组来说难度太大, 正确率上可能发生了天花板效应, 即使高负荷的难度加大, 但被试可能存在某一猜测概率, 而使其下降变缓, 但反应时的天花板效应较高, 使得策略选择反应时随着负荷增加时可能会不断显著变大。”(见 4 讨论与分析, 4.2, 第一段)

“在策略选择正确率上, 两组儿童的中央执行负荷效应存在差异, 从无负荷、到低负荷、再到高负荷, 两组儿童策略选择正确率的差异一直在增大。此外, 分别对两组儿童策略选择

的表现随着负荷增加而产生的变化进行了增幅分析，发现正常组儿童的增幅差异不显著，随着负荷增加，他们的策略选择正确率呈现近似线性的降低，这与策略执行的变化相类似，而数困组儿童的表现却呈现出先快速降低后慢速降低的独特的非线性变化；在策略选择反应时上，随着负荷增加，两组儿童之间的差异先变小再变大。此外，分别对两组儿童的策略选择的表现随着负荷增加而产生的变化进行的增幅分析显示，正常组儿童表现为显著的先增加后下降的非线性变化，而数困组儿童表现为先慢速增加后快速增加的非线性变化，且三种条件下数困组的表现均显著差于正常组。这些结果都表明，中央执行负荷对数困组儿童在策略选择中产生了独特的模式性差异。数困组不但在一开始的无负荷条件下的策略选择就差于正常组，而且随着认知负荷增加时，虽然正常组的表现也变差，但数困组的策略选择表现受到负荷影响的程度更大。”（见 4 分析与讨论，4.2，第二段）

**意见 3：**在策略适应性上，作者并没有发现被试类别和实验条件的交互作用，也就是说不同的负荷水平对于两组儿童的策略适应性并没有显著影响。但是作者的讨论只是着重讨论了数困儿童的策略适应性劣于正常儿童的可能原因，并没有解释为什么会出现这样的结果。这里如何体现中央执行功能的负荷效应呢？

**回应：**非常感谢审稿专家细致的审阅建议。

正如专家所说，在策略适应性上，被试类别与实验条件确实没有交互作用，但这并不是否定了不同负荷对两组儿童的策略适应性存在显著影响的事实，只是这种影响在两组儿童的表现上不存在显著性差异，负荷以差不多同等程度影响着两组儿童的策略选择适应性。我们对这一结果进行了更加详细的说明，并在正文中进行了补充修正。

“在最佳选择条件下，被试要根据问题类型选择适应性策略，要对两种策略进行比较，选择一种适应性策略并抑制另一策略，这需要更多的认知资源，中央执行负荷越高，被试的策略选择适应性越差。Ardiale 和 Lemaire(2012)曾发现，个体可以实现项目内的策略转换。个体根据特定问题进行策略选择时，会同时评估该策略的有效性，若发现该策略不是解决问题最有效的策略时，认知系统会修正最初的选择而转向最佳策略，这些认知加工过程都需要消耗个体有限的认知资源。由于数困儿童的中央执行功能较差，认知资源相比于正常儿童更加不足，当执行负荷任务时，没有足够的认知资源对策略的有效性进行评估，从而导致其在三种负荷条件下的策略选择适应性表现均显著差于正常组儿童，但负荷条件与组别不存在显著的交互作用。即，在无负荷的时候，数困组儿童的表现就较差，随着负荷增加，两组儿童的表现都同等程度的降低，表明负荷对两组儿童的中央执行功能均存在显著影响。将本研究

结果与前人对成人的策略适应性(司继伟 等, 2012)和用智力/年龄匹配设计研究记忆刷新对数困儿童的策略运用的影响(吕娜 等, 2015)的有关研究进行对比发现, 成人在早期双任务协调任务和正常儿童在记忆刷新条件下的策略适应性也会变差, 即成人和表现最佳的年龄匹配组儿童的策略适应性也会受到负荷的影响。据此推测, 负荷增加时, 任务难度也增加, 两组儿童可能在不同负荷条件下都更可能选择较简单的下调策略(吕娜 等, 2015), 从而释放一部分工作记忆资源, 相对来说, 任务难度反而下降。而数困组的中央执行功能较差, 其策略适应性在三种条件下均低于正常组, 说明虽然负荷和组别均对个体的策略适应性产生影响, 但是负荷对两组儿童策略适应性的差异性影响低于个体本身在中央执行功能上的差异对结果的影响, 这可能是存在显著的组别差异和负荷条件的差异却未出现交互作用的原因。此外, 有研究表明, 转换对数困组和正常组个体的策略适应性无显著影响, 而刷新对个体的策略适应性影响显著(华晓腾, 2013), 而本研究在策略适应性上可能主要涉及到中央执行的转换功能, 数困组因执行功能较差虽然在策略表现上一直差于正常组, 但负荷的增加未对两组造成显著的差异性影响, 而只是使得两组儿童的策略适应性以同等程度降低, 这可能也是未出现交互作用的原因。” (见 4 讨论与分析, 4.2, 第三段)

最后, 再次衷心感谢审稿专家和编辑老师对本文付出的巨大劳动!

---

### 第三轮

**审稿人 1 意见:** 作者对二审中提出的意见做出了较好的回应, 同时在文章中进行了相应修改, 建议接收。

**审稿人 2 意见:** 作者针对审稿人的意见进行了认真回复和修改, 建议修改后发表。

**意见 1:** 本文篇幅过长, 仅参考文献就达 106 条。建议对文献进行取舍, 保留重要的、实质性的参考文献, 以不超过 50 条为宜。相应压缩前沿和讨论部分, 建议分别不超过 3500 字。

**回应:** 非常感谢审稿专家的建议。

我们根据审稿专家的建议, 将相关文献精简到 45 条, 并对篇幅进行了相应的压缩, 前言和讨论部分都压缩到投稿要求的 3500 以下。

**意见 2:** 另外, 本文提出: 国外已有类似研究(Torbeyns, 2004; Torbeyns et al., 2004), 但是鉴于估算策略运用的跨文化差异(Imbo & LeFevre, 2009; 2011), 因此有此研究。但讨论部分对

文化特异性和普遍性的讨论欠缺。

**回应：**非常感谢审稿专家细致的审阅建议。

前言中提到的估算策略运用的跨文化差异只是为了引出在中国文化背景下进行此项研究的必要性，并不是本文探讨的重点，所以讨论部分对此着墨不多，但根据您的建议，我们在正文中对文化方面的探讨也进行了相应的补充，“此外，估算策略选择适应性可能存在跨文化差异，与其它文化背景的人相比，中国被试虽然策略执行更快更精确，但适应性较差，尤其是存在认知负荷时，这可能是因为中国教育高度重视的数学练习与训练虽然导致高度自动化解题，却反而降低了适应性，而欧洲和北美教育所强调的灵活性和探索性反而增加了被试的适应性(Imbo & LeFevre, 2009)。中国被试更加不能容忍这种近似解题策略，当要求估算时，他们可能不得不抑制精确计算倾向(Imbo & LeFevre, 2011)，这加重了数困儿童的认知负荷。这些都将导致被试(包括正常组)没有在所有题目上选择最佳策略。”（见 4 分析与讨论，4.2，第三段）。

---

### 主编终审第 1 轮

**主编意见：**研究通过操纵中央执行的负荷水平，研究不同负荷水平下数困儿童和正常发展儿童在策略运用上的差异。结论得到符合水平对两个群体策略运用的影响模式可能存在差异。但是数据分析对结论（数困儿童受负荷水平影响更大）的支撑还需要进一步澄清，同时行文也还有进一步完善的空间。

**意见 1：**建议对“数困组的策略选择受负荷影响更大”、“这也说明数困儿童的中央执行功能较差，受负荷影响更大，导致较差的策略执行。”等结论进一步斟酌。例如，在策略执行正确率的分析中，“多重比较显示，两组儿童在低负荷之间的差异(0.30)显著大于在无负荷之间的差异(0.16)， $p=0.003$ ；在高负荷之间的差异(0.25)显著大于在无负荷之间的差异(0.16)， $p=0.049$ ；虽然在高负荷之间的差异(0.25)小于在低负荷之间的差异(0.30)，但未达到显著水平， $p=0.28$ ”，以及后面的增幅分析，都只能说明两者模式上可能存在差异，而不能认为数困儿童受负荷增加影响更大。同理，其他指标的分析也需要注意相应的问题。

**回应：**非常感谢主编的宝贵意见，我们对相关发现进行了重新梳理，对相关结论做了进一步斟酌，对于主编的问题我们将作以下回应：结合引言中对前人研究的回顾总结和本研究的结果发现，我们认为，策略运用（包括策略执行和策略选择）会受到中央执行功能的影响，而中央执行功能可用中央执行负荷来研究，因此，每种负荷条件下两组被试间的策略运用的差异反映了两组被试本身的不同中央执行功能水平对策略运用的差异性影响，数困组的策略运用较差是因为其中央执行功能较差，因此会受到负荷的较大影响。本研究发现，在无负荷条件下，数困组的策略运用表现就比正常组差，说明数困组的中央执行功能较差，导致其在无负荷条件下的表现就比正常组差，随着负荷的增加，两个组的中央执行功能都会受影响，而

且  $\Delta$  分析表明，数困组受影响更大，说明随着负荷增加，数困组在已有中央执行功能受损的情况下其策略运用表现更差，但是当负荷达到一定程度后，数困组和正常组的中央执行功能因负荷太高而受损达到极限，故两组在高负荷条件下的策略执行反应时差异不再显著，但数困组的正确率却显著差于正常组，这说明，即使在执行完策略的时间上，二者差异不再显著，但数困组的策略执行效率仍然较差（正确率低），而且，虽然在策略执行时间上差异不显著，但数困组的反应时仍然长于正常组（3717ms vs. 3498ms）。同理，在策略选择上也是一样的，所以整体来看，数困组的中央执行功能较差，导致策略运用也比正常组差。可能是我们之前的结论推导过程不够详细，导致主编有此疑惑。同时，我们在结论中也加入了“两组被试的负荷变化模式存在差异”这一结论，这使得结论更加饱满具体。

**意见 2：**对于策略执行和策略选择两个部分，数困儿童的反应时和正确率变化模式存在不一致性，作者在分析中着重讨论了每个指标单独的影响，但是没有讨论这一结果及可能的机制。例如，负荷的提高是否影响了数困儿童在准确率和速度上的分配模式。建议补充。

**回应：**非常感谢主编的宝贵意见，我们在修改稿中对主编所提建议进行了补充，先对准确率和速度权衡进行了分析，发现不存在速度准确性权衡问题（相关系数的  $p > 0.05$ ）。至于数困儿童在策略执行和策略选择中的反应时和正确率的变化模式为什么存在不一致性，我们认为，这很可能是因为策略选择比策略执行难度更大（艾继如 等，2016），这可能导致两组被试的反应时和正确率的变化模式不一致。同策略执行相比，策略选择还存在一个策略判断的过程，需要个体付出更多的认知努力，而数困组的中央执行功能可能较差，这可能导致他们协调运用心理资源的能力较差，从而导致在策略执行和策略选择上，数困儿童的反应时和正确率变化模式存在不一致性。（见 4 讨论，4.2 第一段）

**意见 3：**高低负荷任务是否有正确率的检验？如何保证高低负荷任务在两组被试间均成功操作？可以考虑报告这一数据，降低潜在因素的影响。

**回应：**非常感谢主编的宝贵意见，我们对高低负荷任务的正确率进行了检验，发现，在策略执行上，无论是正常组还是数困组，在高负荷任务中的正确率都显著低于在低负荷任务中的正确率，而在策略选择上，正常组中，高负荷条件下的正确率显著低于低负荷条件，在数困组中，虽然在高低负荷条件间的正确率差异不显著（0.55 vs. 0.53），但低负荷条件下的正确率显著低于无负荷条件，且高负荷条件下的反应时也显著高于低负荷条件。这说明，无论是正常组还是数困组，负荷越高，策略执行和选择在整体上都会变差，虽然在策略选择上数困组的高低负荷之间差异未达到显著水平，但综合考虑反应时数据来看，高低负荷任务在两组被试间均成功操作，而且之后的变化程度( $\Delta$ )的分析也说明了这一点，随着负荷增加，两组被试的表现都呈现变差的显著趋势。（见 3 结果，3.1 策略执行和 3.2 策略选择的正确率的结果部分）

此外，需要说明的是，我们并不需要保证高低负荷任务在两组被试间均成功操作，只要保证在正常组被试中高低负荷任务被成功操作即可，这样无论数困组在高低负荷任务上的表现如何，相比于正常组这一对照组来说，都是有意义的，在 4 讨论，4.1 中的正文我们也进行了说明“而正常组在三种负荷上两两差异显著，这表明，本实验在负荷任务设置上具有良好区分度，从而保证了两组儿童是在同样实验条件下进行比较，结论可信度较高。”

**意见 4：**文字叙述部分 文中有一些地方表意不够明确，叙述不够完整。例如，2.4 实验程序高负荷任务中，算术式呈现的时间和位置，没有在文中说明，只在图中呈现。 例如，“增幅的计算方法为，高负荷正确率(反应时)的增幅等于高负荷的正确率(反应时)减去低负荷的正确率(反应时)， 低负荷正确率(反应时)的增幅等于低负荷的正确率(反应时)减去无负荷的正确率(反应时)。”； 用“增幅”表示高负荷正确率到低负荷正确率的变化（负向变化），和一般语言表达习惯相反。 例如，“有研究认为，次任务类型会影响心算表现， 估算与阿拉伯数字信息的操作会占用同一种认知资源(一致任务)，而与字母信息的操作占用不同的认知资源(不一致任务)，因此，阿拉伯数字作为次级任务对主任务(两位阿拉伯数字的加法估算)的影响会比字母的影响更大， 但研究结果没有发现一致与不一致任务存在差异，即没有表现出不同次级任务对主任务的显著差异性影响，相比于负荷强度，负荷的材料类型的影响并不明显(司继伟 等，2012)”前后表达的两种相反的研究结论，前一部分是否需要新的文献支撑？或者两个观点是由同一篇文献提出，则应修改行文方式，避免出现阅读上的障碍。

**回应：**非常感谢主编的宝贵意见，我们对表意不够明确，叙述不够完整的地方进行了逐条的详细修改，具体如下：

**4.1“2.4 实验程序高负荷任务中，算术式呈现的时间和位置，没有在文中说明，只在图中呈现”。**

**答：**我们在正文中将其修改为“高负荷实验：被试进行数字大小排序和估算任务。高负荷实验：被试进行数字大小排序和估算任务。每位被试单独施测，视距保持 60cm，先在 17 英寸屏幕(屏幕分辨率为 800\*600，刷新率为 75Hz)中央呈现红色注视点“+”，500ms 之后在同一位置随机依次呈现 5 个 1-9 的阿拉伯数字(灰底黑字，Times New Roman 字体，48 号)，每个数字呈现 200ms，每个数字之后间隔 500ms，要求从大到小依次排序，所有数字呈现完之后，在屏幕中央呈现算术式(如，23+48)1000ms 之后，被试需要对排序的数字先进行再认(正确按 F 键，错误按 J 键)，然后输入估算结果，按回车键之后进入下一试次”（见 2 方法，2.4 实验

程序)

**4.2** “增幅的计算方法为，高负荷正确率(反应时)的增幅等于高负荷的正确率(反应时)减去低负荷的正确率(反应时)，低负荷正确率(反应时)的增幅等于低负荷的正确率(反应时)减去无负荷的正确率(反应时)。”；用“增幅”表示高负荷正确率到低负荷正确率的变化(负向变化)，和一般语言表达习惯相反。

**答：**非常感谢主编的建议，我们参照日常表达经验和以往文献对变化量的表达方式将文中的与“增幅”有关的变化量全部改为变化程度( $\Delta$ )，用“ $\Delta$ ”这一经常使用的变化量符号来表示反应时和正确率的变化情况，这使得和一般语言表达习惯更加接近。

**4.3** “有研究认为，次任务类型会影响心算表现，估算与阿拉伯数字信息的操作会占用同一种认知资源(一致任务)，而与字母信息的操作占用不同的认知资源(不一致任务)，因此，阿拉伯数字作为次级任务对主任务(两位阿拉伯数字的加法估算)的影响会比字母的影响更大，但研究结果没有发现一致与不一致任务存在差异，即没有表现出不同次级任务对主任务的显著差异性影响，相比于负荷强度，负荷的材料类型的影响并不明显(司继伟等，2012)”前后表达的两种相反的研究结论，前一部分是否需要新的文献支撑？或者两个观点是由同一篇文献提出，则应修改行文方式，避免出现阅读上的障碍。

**答：**这两个观点是由同一篇文献提出，对此，根据专家的建议，我们修改了行文方式，将其改为“对次任务材料的选取，不同研究的结论不同。司继伟等人(2012)假设，次任务类型会影响心算表现，估算与阿拉伯数字信息的操作会占用同一种认知资源(一致任务)，而与字母信息的操作占用不同的认知资源(不一致任务)，因此，阿拉伯数字作为次级任务对主任务(加法估算)的影响会比字母的影响更大。但研究结果发现，在反应时上，一致任务只有在高负荷下的干扰作用才大于不一致任务，在正确率上却未发现任何差异，即没有表现出不同次级任务对主任务的显著差异性影响。Han 和 Kim(2004)对执行工作记忆是否影响视觉搜索的研究发现，主任务材料和次任务材料的一致性越高越能刺激被试的优势反应定势。综合考虑之后，我们选取了对主任务可能存在更大刺激的数字(一致任务)作为次任务材料。”(见 2 方法，2.3 实验材料，2.3.2 次任务材料)。

此外，我们对文章其他不合适的行文方式也进行了修改，增强了文章的可读性。

再次感谢主编为本文提出的宝贵建议和意见。

## 主编终审第二轮

**意见：**文章考察了中央执行功能对算术策略运用的影响。并发现了数困儿童和正常儿童在不同中央执行负荷条件下策略执行、选择和适应性的模式差异。实验设计能够较好的反映研究问题，实验数据也进行了充分分析。对于审稿人提出的问题也做了合理的回复和相应的修改。

**建议：**可以发表。