arXiv:2303.12223v1 [cs.HC] 18 Mar 2023

结合反向链与前向链，促进元认知技能的习得与迁移

MarkAbdelshiheed、JohnWesley Hostetter、
XiYang、Tiffany Barnes 和 MinChi {mnabdels, j
whostet, yxi2, tmbarnes, mchi}@ncsu.edu

美国北卡罗来纳州罗利市 27695，北卡罗来纳州立大学

摘要。 元认知技能通常与演绎领域中的为未来学习做准备有关。许多研究者认为，策略意识和时间意识是两种元认知技能，分别涉及如何以及何时运用问题解决策略。研究表明，在演绎领域中，同时具备策略意识和时间意识的学生（$StrTime$）表现优于其 $nonStrTime$ 同伴。本研究中，学生接受了逻辑辅导系统的训练，该系统默认支持前向链（FC）和反向链（BC）策略。我们考察了将 BC 与 FC 结合起来，如何影响对 $nonStrTime$ 学生策略意识和时间意识的培养。在逻辑教学过程中，实验组学生（Exp）获得了两个反向链例题，并通过一些反向链练习题学习如何以及何时 使用反向链。与此同时，对照组（$Ctrl$）和 $StrTime$ 同伴没有接受此类干预。六周后，所有学生都使用仅支持反向链的概率辅导系统，以评估所获得的元认知技能能否从逻辑迁移过来。结果表明，在两种辅导系统中，Exp 的表现均优于 $Ctrl$ ，并追赶上了 $StrTime$。

关键词： 策略意识 · 时间意识 · 元认知技能教学 · 为未来学习做准备 · 后向链式推理。

1 引言

教育的一个根本目标，是通过将已掌握的技能和问题解决策略迁移到不同领域，为未来学习做好准备 [6]。尽管实现这种迁移并不容易 [6], ，先前研究已表明，获得元认知技能有助于促进迁移 [1,2,3,4,8]。人们一直认为，元认知技能对学业成就至关重要 [9], ，而教授此类技能会影响学习结果 [8]和策略使用 [14]。许多先前研究将知道如何以及何时使用问题解决策略归为两种元认知技能 [16], ，分别称为策略意识和时间意识。我们先前的研究发现，在策略意识和时间意识方面兼具优势的学生——称为 $StrTime$——在各个演绎领域中都胜过他们的 $nonStrTime$ 同龄人 [3,4]。在当前研究中，我们为后者提供干预措施，帮助他们赶上自己的 $StrTime$ 同龄人。

逻辑、物理学和概率等演绎领域通常需要运用多种问题解决策略。这些领域中两种常见的策略是前向链（FC）和反向链（BC）。早期研究表明，专家在运用策略时往往会结合使用前向链和反向链 [13]。本研究探讨结合使用前向链和反向链对培养 $nonStrTime$ 学生的策略意识和时间意识所产生的影响。

我们的研究涉及两种智能辅导系统（ITS）：逻辑辅导系统和概率辅导系统。学生首先被分配到支持 FC 和 BC 的逻辑辅导系统，其中 FC 为默认模式；六周后，他们转而使用仅支持 BC 的概率辅导系统。在逻辑教学期间， $nonStrTime$ 学生被分为实验组（Exp）和对照组（$Ctrl$）。对于 Exp，辅导系统提供了两个采用 BC 解答的例题，并给出了一些采用 BC 的问题供学生练习如何以及何时使用 BC。 $Ctrl$ 未接受此类干预，因为每道题默认都以 FC 呈现，但学生可以切换到 BC。我们的目标是考察这种干预能否帮助 Exp 追上已经掌握这两种元认知技能、因而无需干预的黄金标准——$StrTime$ 学生。所有学生都使用同一款概率辅导系统，以评估从逻辑中获得的元认知技能是否发生迁移。结果表明，在两种辅导系统中， Exp 的表现都优于 $Ctrl$ ，并追上了$StrTime$ 。

1.1 元认知技能教学

元认知技能调节个体对自身认知的觉察与控制 [7]。许多研究已证明，元认知技能教学对学业表现 [9]、学习成果 [1,3,8] 以及调节策略使用 [14] 的重要性。Schraw 和 Gutierrez [14] 认为，元认知技能教学包括感知自己对某项任务哪些方面已知、哪些方面未知。他们指出，此类教学还应从学习者的角度，根据策略的可行性和熟悉程度对策略进行比较。Chi 和 VanLehn [8] 发现，教授学生原理强调技能缩小了高水平与低水平学习者之间的差距，不仅在教学所涉及的领域（概率）如此，在未进行教学的第二个领域（物理学）也如此。

策略意识和时间意识一直被视为元认知技能，因为它们分别涉及使用问题解决策略的方式和时机 [9,16]。研究人员强调了策略意识在为未来学习做准备中的作用 [3,5] ，以及时间意识对规划技能和学业表现的影响 [9,10]。Belenky 和 Nokes [5] 表明，相较于同伴，那些更有志于掌握所呈现材料和策略的学生，在迁移任务中的表现更好。Fazio 等人 [10] 发现，知道何时使用各种策略来选出分数大小最大的分数的学生，其数学能力高于同伴。de Boer 等人 [9] 表明，知道何时以及为何使用特定策略的学生，具有能够提升其学业表现的长期元认知知识。de Boer 等人强调，在多策略领域中进行策略选择时，知道何时和为何与知道如何同样重要。

1.2 前向链与反向链

前向链和反向链是演绎领域中的两种标准问题解决策略。在前向链中，推理从给定命题出发，朝目标推进；而反向链则由目标驱动，从目标状态反向推理至给定状态。大量研究从两个类别探讨了前向链和反向链策略的影响：实证研究和事后观察。

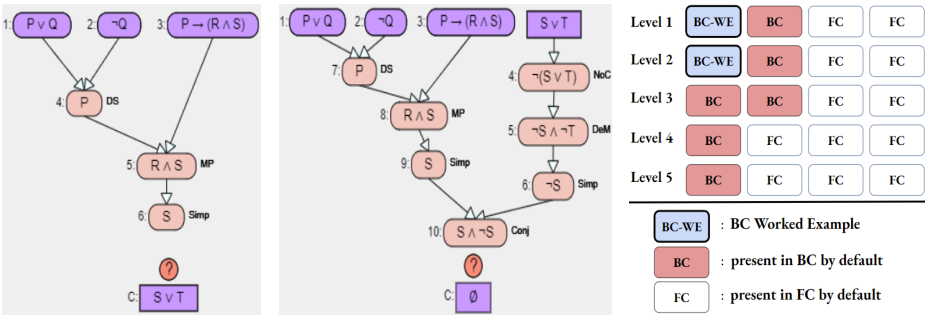
以往的实证研究表明，在学习物理学 [11] 和举重动作 [12]时，前向链优于反向链。Moore 和 Quintero [12]比较了采用前向链和反向链教授初学举重者挺举和抓举动作的效果。参与者接受前向链训练后表现出熟练水平，而接受反向链训练后，表现准确性的提升则明显较少。将部分反向链举重动作改为前向链后，所有参与者都掌握了这些动作。相反，一些研究报告称，两种策略之间没有显著差异 [15]。Slocum 和 Tiger [15] 评估了儿童在各种学习任务中对前向链和反向链策略的偏好。他们发现，儿童使用两种策略的效率相同，对混合策略的偏好也相似。

早期研究考察了混合采用前向链和反向链策略的影响 [13]。Priest 和 Lindsay [13] 比较了专家与新手解决物理学问题的方式。尽管两组都混合使用前向链和反向链，只有 专家知道如何以及何时使用每种策略，并且制定的计划和阶段明显比新手同伴更加完整。简言之，尽管对于前向链还是反向链在问题解决中更有效尚未达成共识，但以往研究发现，混合使用前向链和反向链能带来最高的表现准确性，因为学习者知道如何以及何时使用每种策略。

2 方法

参与者 他们是北卡罗来纳州立大学的计算机科学专业本科生。学生将每个辅导系统作为课程作业，并被告知必须完成才能获得全部学分。与我们此前的研究类似，我们使用随机森林分类器（RFC），该分类器根据前测表现，在逻辑训练之前预测元认知标签（$StrTime$ 或其他），此前研究表明其准确率为 96% [3]。具体而言，$StrTime$ 学生经常遵循预期行为，在较早 （前 30 个操作内）切换到 BC，而他们的同学则要么经常较晚切换（前 30 个操作之后），要么坚持使用默认的 FC [1,3,4]。共有 121 名学生完成了两个辅导系统，RFC 将其中 26 $StrTime$ 名学生归类为该类别，另有 95 名学生归为其他类别。后一类学生被随机分配至 $Experimental$ （Exp：$N = 49$）和$Control$ （$Ctrl$： $N = 46$）条件。RFC 对未接受干预的学生进行分类时，准确率为 97%——$Ctrl$ 和 $StrTime$。

逻辑辅导系统与我们的干预逻辑辅导系统通过应用肯定前件式等推理规则来教授命题逻辑证明。学生可以采用**前向链**或**反向链**策略来解答任何问题。在前向链中，学生从顶部的已知条件出发，在底部推导出结论（图1a）；而在反向链中，学生则从已知条件和结论的



(a) 正向链策略 (b) 反向链策略 (c) 修改后的训练

图 1. 逻辑辅导系统

否定出发推导矛盾（图1b）。问题默认以前向链方式呈现，学生可以点击按钮切换到反向链。辅导系统包含两道前测题、20道训练题和六道后测题。后测题难得多，且前两道后测题与两道前测题同构。前测和后测得分通过分别对前测和后测的问题得分取平均值计算，其中问题得分由作答时间、准确性和解答长度决定。训练部分包含五个难度逐步递增的等级，每个等级包含四道题。我们修改了训练部分，将反向链与前向链结合起来（图1c）。具体而言，我们加入了两个关于反向链的例题（WE），辅导系统会逐步呈现解答过程；此外，还有六道题默认以反向链方式呈现。这两个例题和六道题旨在教会学生如何以及何时使用反向链。请注意，图1c中着色的问题是根据我们的数据中的历史策略切换选出的 [4]。

概率辅导系统 它教授如何运用十条原理解决概率问题，例如补集定理。该辅导系统由教科书、前测、训练和后测组成。教科书介绍领域原理，而训练包含 12 道题，每道题只能通过 BC 解答，因为需要列出并求解方程，直到目标最终化简为已知条件。前测和后测中，学生分别解答 14 道和 20 道开放式问题，由经验丰富的评分员以双盲方式使用部分评分量表进行评分。前测和后测成绩分别是相应部分的平均分，评分仅依据准确性。与逻辑辅导系统一样，后测比前测难得多，而且每道前测题都有一道与之对应的同构后测题。

流程 学生被分配到逻辑辅导系统，并依次完成前测、训练和后测。在逻辑训练开始前，RFC 根据参与者部分所述，为每位学生预测元认知标签。

训练期间， Exp 接受了图1c所示的修改版辅导系统，而 $Ctrl$和 $StrTime$ 接受了原版辅导系统，其中所有问题默认以FC 呈现。六周后，学生接受了概率辅导系统的训练。

3 结果

表1. 比较不同辅导系统中的组

	$Experimental\,(Exp)$ ($N = 49$)	$Control\,(Ctrl)$ ($N = 46$)	$StrTime$ ($N = 26$)
逻辑辅导系统			
Pre	61.7 (18)	58。7（20）	62.1（20）
$Iso\text{-}Post$	81 (11)	70.4（14）	81。3（10）
$Iso\text{-}NLG$	0。27 (。12)	0.09 (.31)	0.29 (.16)
$Post$	77。4（11）	66.7 (14)	79 (9)
NLG	0。24 (。15)	0.06 (.37)	0.25 (.18)
概率辅导系统			
Pre	74。8（14）	74.2 (16)	75。8（15）
$Iso\text{-}Post$	90。4（10）	65.3 (16)	90。6（8）
$Iso\text{-}NLG$	0.29 (.19)	-0。02（。27）	0.26 (.17)
$Post$	89。5 (15)	62。5（18）	88。8 (7)
NLG	0.26 (.21)	-0。08（。3）	0.24 (.15)

表1比较了各组在两种辅导系统中的表现，列出了前测和后测分数、同构题分数的均值和标准差，以及以标准化学习增益（NLG）表示的学习结果，其定义为（$NLG = \frac{Post-Pre}{\sqrt{100-Pre}}$），其中100为最高测试分数。我们分别将前测、后测和自然语言生成（NLG）分数记作 Pre、 $Post$和 NLG。对于两种辅导系统，单因素方差分析均未发现各组在 Pre 方面存在显著差异。

为衡量同构题上的进步，我们以{Pre、 $Iso\text{-}Post$}为因子进行了重复测量方差分析。结果显示，在两种辅导系统中， Exp 和 $StrTime$ 均取得了显著学习进步，$p < 0.0001$ ；而在两种辅导系统中， $Ctrl$ 在 $Iso\text{-}Post$ 上的表现均未显著高于 Pre 。这些发现证实了RFC的准确性： $StrTime$ 在两种辅导系统中均取得了显著学习进步，而 $Ctrl$ 则没有，尽管二者都未接受干预。

全面比较三个组对于评估我们的干预至关重要。在逻辑辅导系统中，以 Pre 为协变量、以组为因子进行单因素协方差分析，发现对 $Post$有显著影响：$F(2, 117) = 14。5$，$p < .0001$，$\eta^2 = .18$。随后进行的 Bonferroni 校正事后分析（$\alpha = .05/3$）显示， Exp 和 $StrTime$ 的表现显著优于$Ctrl$：$t(93) = 3.8$，$p < .001$ ；以及$t(70) = 3.9$，$p < .001$。使用方差分析和事后比较对 NLG 进行分析，也观察到了类似模式。

在概率辅导系统中，以 Pre 为协变量、组为因子进行单因素协方差分析，结果显示对 $Post$有显著影响：$F(2, 117) = 48.1, p <.0001, \eta^2 = .35$。采用邦费罗尼调整进行后续两两比较，结果显示 Exp 和 $StrTime$ 的表现显著优于 $Ctrl$：$t(93) = 6.1, p <$

.0001和$t(70) = 5.9, p < .0001$，结果分别如此。使用方差分析和事后比较，在NLG上也发现了类似结果。

4 结论

我们发现，在逻辑辅导系统中将反向链与前向链结合，改善了实验组学生的学习成果：实验组学生在逻辑方面的表现显著优于对照组，在仅支持反向链的概率辅导系统中也有同样表现。此外，实验组学生在两种辅导系统中的表现都追赶上了对照组，这表明实验组学生已为未来学习做好准备，因为他们在逻辑方面掌握了基于案例的掌握技能，并将这些技能迁移到了概率领域，而他们在那里并未接受干预。我们的研究至少存在一个局限：概率辅导系统仅支持一种策略。更有说服力的测试平台应当让辅导系统同时支持两种策略。未来的工作将包括在概率辅导系统中实现前向链。

致谢：本研究由美国国家科学基金会资助，资助项目编号：1660878、1651909、1726550 和 2013502。

参考文献

1. Abdelshiheed, M., Hostetter, J.W., Shabrina, P., Barnes, T., Chi, M.：《助推的力量：探索智能辅导系统中元认知技能教学的三种干预措施》。载于：认知科学学会第44届年会论文集。第44卷（2022） 2. Abdelshiheed, M., Maniktala, M., Barnes, T., Chi, M.：《运用元认知与动机评估能力：时间意识在为未来学习做准备中的作用》。载于：《智能辅导系统设计建议》，第9卷，第121–131页（2022） 3. Abdelshiheed, M., Maniktala, M., Ju, S., Jain, A., Barnes, T., Chi, M.：《让毫无准备的学生为未来学习做好准备》。载于：认知科学学会第43届年会论文集。第43卷（2021） 4. Abdelshiheed, M., Zhou, G., Maniktala, M., Barnes, T., Chi, M.：《元认知与动机：时间意识在为未来学习做准备中的作用》。载于：认知科学学会第42届年会论文集。第42卷（2020） 5. Belenky, D.M., Nokes, T.J.：《动机与迁移：掌握趋近目标在为未来学习做准备中的作用》。《学习科学杂志》**21**(3), 399–432 (2012) 6. Bransford, J.D., Schwartz, D.L.：《重新思考迁移：一项简单提议及其多重影响》。《教育研究综述》**24**(1), 61–100 (1999) 7. Chambres, P.E., Izaute, M.E., Marescaux, P.J.E.：《元认知：过程、功能与运用》。Kluwer Academic Publishers（2002） 8. Chi, M., VanLehn, K.：《智能辅导系统中的元认知策略教学：如何、何时以及为何》。《教育技术与社会》**13**(1), 25–39 (2010) 9. De Boer, H., Donker, A.S., Kostons, D.D., Van der Werf, G.P.：《元认知策略教学对学生学业表现的长期影响：一项元分析》。《教育研究综述》**24**, 98–115 (2018)

10. Fazio, L.K., DeWolf, M., Siegler, R.S.: 《分数大小比较中的策略使用与策略选择》。《实验心理学杂志：学习、记忆与认知》**42**(1), 1 (2016) 11. Larkin, J., McDermott, J., Simon, D.P., Simon, H.A.: 《物理问题求解中专家与新手的表现》。《科学》**208**(4450), 1335–1342 (1980) 12. Moore, J.W., Quintero, L.M.: 《比较奥林匹克举重教学中的正向链式与反向链式教学》。《应用行为分析杂志》**52**(1), 50–59 (2019) 13. Priest, A., Lindsay, R.: 《关于物理问题求解中新手与专家差异的新发现》。《英国心理学杂志》**83**(3), 389–405 (1992) 14. Schraw, G., Gutierrez, A.P.: 《突出监控与控制过程作用的元认知策略教学》。载于：《元认知：基础、应用与趋势》，第3–16页。施普林格（2015） 15. Slocum, S.K., Tiger, J.H.: 《对正向链式与反向链式教学效率及儿童偏好的评估》。《应用行为分析杂志》**44**(4), 793–805 (2011) 16. Winne, P.H., Azevedo, R.: 《元认知》。载于：Sawyer, R.K.（编），《剑桥学习科学手册》。《剑桥心理学手册丛书》，剑桥大学出版社，第2版（2014）