·教育研究·

“掌握学习”在医学教育中的应用

金哲[1]　何睿[2]　齐心[2]　李海潮[1]
[1]北京大学第一医院呼吸和危重症医学科　100034;[2]北京大学第一医院整形烧伤科　100034
通信作者:齐心,Email:randyq@126.com

【摘要】 掌握学习是一种基于胜任力的混合教育方法。掌握学习将复杂的医学教育内容按照难度分解为若干教学单元,每个教学单元均设定最低通过标准,通过形成性评价,检验学习者是否达到掌握标准,通过-继续学习/不通过-重复学习,最终达到“掌握”的目的。达到掌握标准的学习者通常能够在临床实践中更自如地运用知识,降低被监督程度,并通过自己的判断完成更复杂任务。

【关键词】 掌握学习;　胜任力;　刻意训练;　反馈;　反思讨论
【中图分类号】 R-05
基金项目:中华医学会医学教育分会和中国高等教育学会医学教育专业委员会 2018 年医学教育研究立项课题(2018B-N05035)
DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2020.01.001

Application of "mastery learning" in medical education

Jin Zhe[1], He Rui[2], Qi Xin[2], Li Haichao[1]
[1]Department of Respiratory and Critical Medicine, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China;
[2]Department of Plastic Surgery & Burns, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China
Corresponding author: Qi Xin, Email: randyq@126.com

【Abstract】 Mastery learning is a competency-based mixed education method, which divides complex medical education contents into several teaching units according to the degree of difficulty and sets minimum passing standard for each teaching unit. Formative assessment was used to evaluate whether the learners had reached the mastery standard and finally mastered the knowledge through pass-continue or fail-repeat approach. The learners who had reached the mastery standard were usually able to use their knowledge more freely in clinical practice, and were able to accomplish more complex tasks through their own judgment with less supervision.

【Key words】 Mastery learning; Competency; Deliberate practice; Feedback; Reflective discussion
Fund program: 2018 Project of Medical Education Research from Medical Education Branch of Chinese Medical Association & Medical Education Professional Committee of China Association of Higher Education (2018B-N05035)
DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2020.01.001

现代医学教育正在经历第三次大变革,强调知识以外的核心胜任力培养[1]。这种胜任力导向的医学教育(competency-based education,CBE),其实质是以培养大批优秀临床医生为目标[2]。掌握学习(mastery learning)作为一种基于胜任力的混合教育方法,常被用于协助医学生获取一系列能力,如程序性技能、临床决策和与患者及家属的沟通能力等,加速将医学生的胜任力转化到临床实践,从而改善患者预后[3-5]。

1　掌握学习的概念

掌握学习首先由 Carroll[6]提出,经过 Keller[7]、

Block和 Burns[8]、Bloom[9]不断完善。其理论基础是教学目标和方法选择适当时，即使学习者之间的智力存在差异，但只要给予他们足够的时间，几乎所有的学习者最终都能够无差别地达到某一合理的学习水平。为使几乎所有的学习者达到掌握标准（mastery criterion），必然会占用较多的时间进行矫正性教学（corrective instruction），从而导致教学内容减少。因此掌握学习理论需要平衡学习内容的广度和深度之间的矛盾[10]。将掌握学习的课程划分成若干个教学单元，按照难度逐层递进；通过形成性评价（formative evaluation）和矫正性教学，确保 90%的学生能够达到预定的掌握标准后，才能进入下一个单元的学习。当完成所有教学单元后，可通过终结性评价（summative evaluation）验证教学效果，同时根据评价结果修正教学方式和方法。在教学过程中，掌握学习通常需要与同伴学习等方法相结合[11-12]，让学习者互相帮助、共同学习，并根据教学过程中的实际情况，通过矫正性教学帮助部分学习者掌握基本学习内容，而对其他学习者则需要扩展学习内容。整体而言，掌握学习能够有效促进学习者进步[13]。

2　掌握学习在医学教育中的应用

掌握学习紧密契合 CBE 理念，被广泛应用于 CBE 各层面的课程和培训中，尤其体现在核心胜任力（core competence）和置信职业行为（entrustable professional activities，EPA）的培养过程中[14]。

医学教育中掌握学习课程至少应该包括以下 7 个步骤[15]：基线，或诊断性测试；明确学习目标，设计难度依次递进的教学单元；采用多种教学方法，达到教学目标；为每个教学单元设置最低通过标准（minimum passing standard，MPS）；形成性评价衡量教学单元结束后是否达到 MPS；在达到或超过 MPS 的前提下，进入下一个教学单元；持续实践或学习，最终达到掌握标准。

由此可见，掌握学习中的“掌握”是指已经掌握教学单元的学习内容，达到教学目标，表明学习者已经做好准备，可以进入下一阶段的学习或培训。比如，住院医师在模拟器上掌握了中心静脉置管的操作，说明他已准备好，具备在上级医师监督下进行临床操作的能力，但他仍有很多相关内容需要学习。掌握学习，需要将复杂的医学教育内容按照难度分解为若干教学单元，每个教学单元均设定 MPS，通过形成性评价，检验学习者是否达到掌握标准，通过-继续学习/不通过-重复学习，最终达到“掌握”的目的。因此掌握学习，能够确保学习者在临床实践中充分展现胜任力，将学习效果转化到临床实践。

2.1　目标

掌握学习课程的教学目标应具体、可测量，通常与教学等大纲的进度相一致，可以参照胜任力或置信职业行为等进行设计，务求教学目标按照难度依次递进，避免教学目标设置过低或过高。

2.2　前测

掌握学习课程开始时通常需要对学习者进行测试，即前测（pretest），允许部分已经掌握的学习者直接进入下个阶段。前测的表现，能够凸显学习者的基础和前期的教学体验与教师预期之间的差距，促使教师及时修正教学内容和方法，在课程中弥补这一差距。单纯就成绩而言，无法分辨出是单纯记忆，抑或真正掌握所致的结果，需要教师观察前测的过程，将这种短暂和持久的教育效果区分出来，选择适当的教学方法。

2.3　方法

掌握学习常采用同伴学习、模拟教学、刻意训练等多种方法相结合的方式进行教学。同伴学习，同伴或同等水平人员间互相学习[16]，即使在跨专业的团队中同样有效[17]。掌握学习中明确的目标设定，有助于促进学习者通过刻意训练（deliberate practice）达到目标。刻意训练能够有效提高学习者的临床胜任力[18]，从而协助他们逐步成长为专家[19]。根据自我决定理论（self-determination theory），掌握学习中不断成功和胜任的感觉促使学习者产生内在动力[20]。在刻意训练中感受到自我进步，他们会更主动地接受反馈，自觉改进，加速掌握过程。另外，刻意练习是基于模拟的掌握学习（simulation-based master learning，SBML）的核心[21]。SBML 通过“刻意训练+形成性评价+反馈”的过程，让学习者达到掌握标准。与其他方法相比，SBML 教学时间会因学习者而异，但总体而言 SBML 的教学效果优于非 SBML[22]。

2.4　反馈或反思讨论

反馈（feedback）是指教师观察学习者的表现，并和标准进行比较，给予学习者有针对性的改进意见，促进他们改善自我表现。反馈需要专业、诚实、不具威胁性，但反馈是一种单向的告知。反思讨论（debriefing）则是一种师生间对学习者表现的

交互式讨论或交谈[23]。反思讨论可以发生在事后某个明确的阶段,也可以发生在教学现场。比如模拟场景当中,“暂停–讨论”,学习者简短反思,教师提供直接的反馈和(或)师生间的原理探讨;另外课程中反复出现的错误也需要暂停,教师进行即时的反馈。与传统的教学后的单纯反馈或反思讨论不同,在掌握学习中,学习者在讨论改进措施后,有机会重复场景,再次实践,直至他们能够掌握,从而帮助学习者从反馈或反思讨论中切实获益[24]。因此,在掌握学习课程设计之初就需要考虑反馈或反思讨论的类型、来源和时间[25]。教学过程中,教师应鼓励学习者同伴间的反馈或反思讨论,采用多源性反馈促进学习[26]。目前的研究表明事后的反思讨论可能优于运行中的反思讨论[26]。

2.5 标准

在掌握学习中,标准主要用于判断学习者是否做好准备进入下阶段的教学或实践。因此,在掌握学习课程设计之初需要明确学习者掌握标准的具体定义,并据此设计评价、矫正性教学和再评价的方式和内容。掌握标准的设定有别于传统的考试及格线,如设定为低于平均成绩的 1.5 个标准差以上或 80% 的正确率等[27-28]。尤其在临床环境中,即使学习者的成绩达到及格线,但是某个单项的遗漏或不正确,有可能对患者安全和预后产生重大影响[29]。因此,在设定标准时,首先要明确哪些属于关键标准,一旦不合格即要求学习者重新学习和再评价,虽然这样增加了测试的“假阳性”,但必须首要保证临床的安全性。

比如,将掌握缝合技能定义为熟练缝合的能力,仅需要少量甚至不需要任何意识思维,那么掌握标准就是学习者在被干扰的情况下依然能够缝合良好[30]。达到掌握标准需要保证给予学习者足够的时间和资源来反复练习、矫正和再测试。同时学习者在各个子单元中的表现必须达到最低标准,只有当学习者通过全部子单元,学习者才能被认为掌握。如果在以后的教育单元中发现学习者难以达标,需要考虑可能是因为之前的一项或多项掌握标准过于宽松。反之,如果学习者随后的表现令人满意,那就说明前面设定的掌握标准足够严格。由于模拟状态与临床环境间存在着显著差异,导致模拟状态下合格的学习者,可能无法应对纷繁复杂的临床环境,因此模拟状态下的掌握标准应适度提高。综上所述,掌握学习中的标准是标准参照式标准(criterion-based standards),课程设计时需对掌握标准进行测试和校准,随着掌握学习的不断深入和普及,可能对教学质量产生潜移默化的作用,需要定期验证并动态修正 MPS[31]。

2.6 评价

严格而健全的评估是掌握学习的基石,并通过测试促进学习[32]。针对学习者掌握程度的评价不准确或不到位,可能导致教学进程过快或不必要的重复学习。因此掌握学习中的评价采用标准参照考试,这一考核方式特别适用于医学教育中胜任力导向的课程及认证[33]。对于掌握标准的把控必须严格。只有确保学习者在模拟器获得适当水平的技能后,方能安排他们进行患者的侵入性操作[29]。另外,课程的总体测量误差随着每个子单元测量误差呈几何指数增长。例如,如果课程包含 5 个单元,每个单元的信度都是 0.8,那么总信度将只有 0.33,这是一个极低的信度系数[34]。评估贯穿掌握学习,每个单元后都需要开展形成性评价,课程结束时进行终结性评价,务求学习者能够达到掌握的程度,并真正转化为临床胜任力。评估结果应与学习者在随后单元学习中的表现有较强的相关性,同时应关注学习者对评价的反应,深度探究“为什么”是他们建立自身知识体系的重要过程。

在多数情况下,学习者需要经过至少 2 次测试,前测和至少一次后测,因此需要准备多个等效测试非常重要[35]。如果再评价内容与上次考核内容相同或相似,那么主要考核的是表面细节,而非他们真正需要掌握的内容。掌握学习中,通常在培训结束后即刻进行评价,但医学教育中大多数学习单元间紧密相连,培训后就立即评价会使教学效果迅速下降[36],掌握效果难以长期保留[37]。因此应避免单纯评价知识的掌握程度,课程需要更多针对深层次思维层面的培训和评价[38]。对于真实分数远低于掌握标准的学习者,测量的准确度并不十分重要,很显然学习者并不能掌握学习内容。针对这部分学习者,根据评估应给予他们更丰富、有针对性的反馈,更有利于他们达到掌握标准。因此这时候评价主要作用是促进学习,而非精确评价。真实成绩位于掌握标准的标准差内的学习者,优先需要精确评估。为了更好地评估,可能需要复杂的心理测量方法,如项目反应理论[39]。对于真实成绩远高于掌握标准的学习者来说,无论是测量精度,还是反馈,都不是主要问题,

因此只需花费少量精力。

2.7　转化

一旦掌握学习的标准和评估模式被确定,大多数医学生应被允许按照他们自己的节奏进行学习,同时对他们的表现进行持续的形成性评价。达到掌握标准的学习者通常能够在临床实践中更自如地运用知识,降低被监督程度,并通过自己的判断完成更复杂的任务。掌握学习可确保医学生毕业后即可胜任住院医师工作[40],掌握学习同样适用于住院医师规范化培训[41]。掌握学习对住院医师的技能提高有很大影响,从而对患者预后产生影响[22]。在高级心脏生命支持[42]、穿刺术[43]、腰椎穿刺[44]、中心静脉置管术[45]等技术性技能培训中,掌握学习能够有效促进学习者的患者照顾能力。此外,通过 SBML 有能力理解和驾驭各种患者和复杂环境,能够更有效地展现他们的临床胜任力,因此 SBML 已被定义为模拟医学教育的最佳实践[21]。SBML 可能花费更多的教学时间,但对学习者技术性技能的提高有很大帮助[22]。减少手术或操作时间能够转化为提高手术室效率,最终使患者受益,降低医疗系统的花费。美国针对住院医师工作时间的限制,影响了住院医师在手术室内的工作时间,SBML 可以给予有效补充。

3　掌握学习在医学教育中的应用实例

西北大学范伯格医学院(Northwestern University Feinberg School of Medicine)研究团队从临床需求出发,发现内科住院医师在轮转西北纪念医院(Northwestern Memorial Hospital,NMH)内科重症监护室(medical intensive care unit,MICU)时,中心静脉置管(central venous catheterization,CVC)的技能和效果不均质,并发症(动脉穿刺等)的概率比较高,穿刺后的中心静脉导管相关血流感染(central-line-associated bloodstream infection,CLABSI)的发生率也高于预期。因此,该团队最初的目标是通过掌握学习规范所有内科住院医师 CVC 操作流程。

研究团队针对第 2、3 年内科住院医师开发了 CVC 的 SBML 课程。根据循证指南和专家意见,研究团队设计了针对颈内静脉和锁骨下静脉置管的包含 27 项内容的技能检查表。通过预实验之后,由 11 名专家组成的专家委员会将 MPS 定在 79%的项目正确[46]。

轮转 MICU 前在模拟器上采用技能检查表,对第 2、3 年内科和急诊科住院医师进行基线测试。然后,住院医师观看无菌术、CVC 适应证、禁忌证、置入过程及并发症的讲座,并接受 2 次 2 h 的超声技术课程,组织住院医师在模拟器上训练,接受教师的指导和焦点反馈,并要求他们完成整个穿刺过程。培训结束后,使用检查表对住院医师进行后测,达到或超过 MPS,方被允许进入 MICU 进行轮转。如果住院医师没有达到 MPS,就需要接受额外的刻意训练,直至达到 MPS,额外的刻意训练时间通常不超过 1 h[45-46]。

与基线相比,培训后的成绩分别提高 50.6%(颈内静脉置管)和 48.4%(锁骨下静脉置管)。课程结束后 6 个月和 12 个月分别进行再评价,27 名住院医师 CVC 的技能随时间的推移而衰退,但仍有 82%的学员通过考试,并在培训后 1 年保持良好的表现[47]。跟踪一年,与传统方式培训的住院医师相比,动脉穿刺、置管失败率和置入后再调整均明显降低[45]。在内科住院医师开始接受 SBML 后 19 个月,CLABSI 下降 85%。与未接受 SBML 的外科监护室相比,CLABSI 也有明显降低[48]。一项成本分析显示,因 CLABSI 降低,培训费用比原来节省了 1/7[49]。研究显示,SBML 的附带效应使同等临床和教育背景的住院医师的前测成绩稳步提高[50],进而使 MPS 从 79%提高到 88%[51]。一方面证明掌握学习能够保证患者安全和促进预后,另一方面也证明严格的教育能够促进临床实践。

该团队将 CVC 的 SBML 课程推广到 NMH 附近的社区医院——美慈医院及医疗中心(Mercy Hospital and Medical Center,MHMC),并取得了类似的培训效果[31]。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明　金哲、何睿:负责整理材料;齐心:提出论文构思、撰写论文;李海潮:总体把关、论文审定

参考文献

[1] 吴红斌, 王维民. 世界医学教育改革与发展回顾及我国八年制医学教育的思考[J]. 中华医学教育杂志, 2018, 38(1): 641-645. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-677X.2018.05.001.
Wu HB, Wang WM. A review of world medical education and some thoughts on eight-year medical education program of China [J]. Chin J Med Edu, 2018, 38(1): 641-645. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-677X.2018.05.001.

[2] 李海潮. 实施胜任力导向的医学教育, 提高住院医师规范化培训水平[J]. 中国医刊, 2018, 53(1): 21-24. DOI: 10.3969/j.issn.

1008-1070.2018.01.006.
Li HC. Competency-oriented medical education for improving standardized training level in residents [J]. Chinese Journal of Medicine, 2018, 53(1): 21-24. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1070.2018.01.006.

[3] McGaghie WC, Issenberg SB, Barsuk JH, et al. A critical review of simulation-based mastery learning with translational outcomes [J]. Medical Education, 2014, 48(4): 375-385. DOI: 10.1111/medu.12391.

[4] McGaghie WC, Draycott TJ, Dunn WF, et al. Evaluating the impact of simulation on translational patient outcomes [J]. Simul Healthc, 2011, 6(Sl): 42-47. DOI: 10.1097/SIH.0b013e318222fde9.

[5] McGaghie WC, Issenberg SB, Cohen ER, et al. Translational educational research: a necessity for effective health-care improvement [J]. Chest, 2012, 142(5): 1097-1103. DOI: 10.1378/chest.12-0148.

[6] Carroll JB. A model of school learning [J]. Teachers College Record, 1963(64): 723-733.

[7] Keller FS. "Good-bye, teacher..." [J]. J Appl Behav Anal, 1968, 1(1): 79-89. DOI: 10.1901/jaba.1968.1-79.

[8] Block JH, Burns RB. Mastery learning [J]. Review of Research in Education, 1976(4): 3-49. DOI: 10.2307/1167112.

[9] Bloom BS. Time and learning [J]. American Psychologist, 1974(29): 682-688.

[10] Slavin RE. Mastery learning reconsidered [J]. Review of Educational Research, 1987, 57(2): 175-213. DOI: 10.2307/1170235.

[11] Guskey TR. Cooperative mastery learning strategies [J]. Elementary School Journal, 1990, 91(1): 33-42. DOI: 10.1086/461636.

[12] Mevarech ZR, Kramarski B. Improve: a multidimensional method for teaching mathematics in heterogeneous classrooms [J]. American Educational Research Journal, 1997, 34(2): 365-394. DOI: 10.3102/00028312034002365.

[13] Kulik C-LC, Kulik JA, Bangert-Drowns RL. Effectiveness of mastery learning programs: a meta-analysis [J]. Review Educational Research, 1990(60): 265-299. DOI: 10.2307/1170612.

[14] Frank JR, Snell LS, ten Cate O, et al. Competency-based medical education: theory to practice [J]. Medical Teacher, 2010(32): 638-645. DOI: 10.3109/0142159X.2010.501190.

[15] McGaghie WC, Siddall VJ, Mazmanian PE, et al. Lessons for continuing medical education from simulation research in undergraduate and graduate medical education: effectiveness of continuing medical education: American College of Chest Physicians Evidence-Based Educational Guidelines [J]. Chest, 2009, 135(3): 62S-68S. DOI: 10.1378/chest.08-2521.

[16] Topping KJ. Trends in peer learning [J]. Educational Psychology, 2005, 25: 631-645. DOI: 10.1080/01443410500345172.

[17] Boet S, Bould MD, Sharma B, et al. Within-team debriefing versus instructor-led debriefing for simulation-based education: a randomized controlled trial [J]. Ann Surg, 2013, 258(1): 53-58. DOI: 10.1097/SLA.0b013e31829659e4.

[18] Hunt EA, Duval-Arnould JM, Nelson-McMillan KL, et al. Pediatric resident resuscitation skills improve after "rapid cycle deliberate practice" training [J]. Resuscitation, 2014, 85(7): 945-951. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2014.02.025.

[19] McGaghie WC, Issenberg SB, Cohen ER, et al. Does simulation-based medical education with deliberate practice yield better results than traditional clinical education? A meta-analytic comparative review of the evidence [J]. Acad Med, 2011, 86(6): 706-707. DOI: 10.1097/ACM.0b013e318217e119.

[20] Ten Cate TJ, Kusurkar RA, Williams GC. How self-determination theory can assist our understanding of the teaching and learning processes in medical education. AMEE guide No. 59 [J]. Med Teach, 2011, 33(12): 961-973. DOI: 10.3109/0142159X.2011.595435.

[21] McGaghie WC, Issenberg SB, Petrusa ER, et al. A critical review of simulation-based medical education research: 2003-2009 [J]. Med Educ, 2010, 44(1): 50-63. DOI: 10.1111/j.1365-2923.2009.03547.x.

[22] Cook DA, Brydges R, Zendejas B, et al. Mastery learning for health professionals using technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis [J]. Acad Med, 2013, 88(8): 1178-1186. DOI: 10.1097/ACM.0b013e31829a365d.

[23] Cheng A, Eppich W, Grant V, et al. Debriefing for technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis [J]. Med Educ, 2014, 48(7): 657-666. DOI: 10.1111/medu.12432.

[24] Auerbach M, Kessler D, Foltin JC. Repetitive pediatric simulation resuscitation training [J]. Pediatr Emerg Care, 2011, 27(1): 29-31. DOI: 10.1097/PEC.0b013e3182043f3b.

[25] Chiniara G, Cole G, Brisbin K, et al. Simulation in healthcare: a taxonomy and a conceptual framework for instructional design and media selection [J]. Med Teach, 2013, 35(8): e1380-1395. DOI: 10.3109/0142159X.2012.733451.

[26] Hatala R, Cook DA, Zendejas B, et al. Feedback for simulation-based procedural skills training: A meta-analysis and critical narrative synthesis [J]. Adv Health Sci Educ Theory Pract, 2014, 19(2): 251-272. DOI: 10.1007/s10459-013-9462-8.

[27] Cizek GJ. Setting performance standards: concepts, methods, and perspectives [M]. Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2001.

[28] Downing SM, Tekian A, Yudkowsky R. Procedures for establishing defensible absolute passing scores on performance examinations in health professions education [J]. Teach Learn Med, 2006, 18(1): 50-57. DOI: 10.1207/s15328015tlm180111.

[29] Yudkowsky R, Tumuluru S, Casey P, et al. A patient safety approach to setting pass/fail standards for basic procedural skills checklists [J]. Simul Healthc, 2014, 9(5): 277-282. DOI: 10.1097/SIH.0000000000000044.

[30] Stefanidis D, Scerbo MW, Montero PN, et al. Simulator training to automaticity leads to improved skill transfer compared with traditional proficiency-based training: a randomized controlled trial

[J]. Ann Surg, 2012, 255(1): 30-37. DOI: 10.1097/SLA.0b013e318220ef31.

[31] McGaghie WC, Barsuk JH, Cohen ER, et al. Dissemination of an innovative mastery learning curriculum grounded in implementation science principles: a case study [J]. Acad Med, 2015, 90(11): 1487-1494. DOI: 10.1097/ACM.0000000000000907.

[32] Richland LE, Kornell N, Kao LS. The pretesting effect: do unsuccessful retrieval attempts enhance learning? [J]. J Exp Psychol Appl, 2009, 15(3): 243-257. DOI: 10.1037/a0016496.

[33] Lammers RL, Davenport M, Korley F, et al. Teaching and assessing procedural skills using simulation: metrics and methodology [J]. Acad Emerg Med, 2008, 15(11): 1079-1087. DOI: 10.1111/j.1553-2712.2008.00233.x.

[34] Hambleton RK, Slater SC. Reliability of credentialing examinations and the impact of scoring models and standard setting policies [J]. Appl Meas Educ, 1997(10): 19-38. DOI: 10.1207/s15324818ame10012.

[35] Crocker L, Algina J. Introduction to classical and modern test theory [M]. Holt, Rinehart, Winston, Calif: Wadsworth, 1986.

[36] Arthur W, Bennett W, Stanush PL, et al. Factors that influence skill decay and retention: a quantitative review and analysis [J]. Hum Perf, 1998, 11: 57-101. DOI: 10.1207/S15327043HUP11013.

[37] Rohrer D, Pashler H. Recent research on human learning challenges conventional instructional strategies [J]. Educ Res, 2010(39): 406-412. DOI: 10.2307/40793325.

[38] 齐心, 李楠, 刘斯, 等. 客观结构化临床考试在第一年外科住院医师规范化培训中的持续改进研究[J]. 中华医学教育杂志, 2017, 37(3): 457-461. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-677X.2017.03.031.

Qi X, Li N, Liu S, et al. Research on continuous improvement of objective structured clinical examination in standardized training of postgraduate year 1 surgery residents [J]. Chin J Med Edu, 2017, 37(3): 457-461. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-677X.2017.03.031.

[39] Embretson SE, Reise SP. Item response theory for psychologists [M]. Multivariate Applications Books Series, Mahwah NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2000.

[40] Core entrustable professional activities for entering residency: curriculum developers' guide [R/OL]. Association of American Medical Colleges (AAMC), 2014. https://store.aamc.org/core-entrustable-professional-activities-for-entering-residency.html.

[41] Eric SH, Laura E, Stan H. The milestones guidebook [M/OL]. Accreditation Council for Graduate Medical Education, 2016. https://www.acgme.org/What-We-Do/Accreditation/Milestones/Resources.

[42] Didwania A, McGaghie WC, Cohen ER, et al. Progress toward improving the quality of cardiac arrest medical team responses at an academic teaching hospital [J]. J Grad Med Educ, 2011, 3(2): 211-216. DOI: 10.4300/JGME-D-10-00144.1.

[43] Barsuk JH, Cohen ER, Feinglass J, et al. Clinical outcomes after bedside and interventional radiology paracentesis procedures [J]. Am J Med, 2013, 126(4): 349-356. DOI: 10.1016/j.amjmed.2012.09.016.

[44] Barsuk JH, Cohen ER, Caprio T, et al. Simulation-based education with mastery learning improves residents' lumbar puncture skills [J]. Neurology, 2012(79): 132-137. DOI: 10.1212/WNL.0b013e31825dd39d.

[45] Barsuk JH, McGaghie WC, Cohen ER, et al. Simulation-based mastery learning reduces complications during central venous catheter insertion in a medical intensive care unit [J]. Crit Care Med, 2009, 37(10): 2697-2701. DOI: 10.1097/ccm.0b013e3181a57bc1.

[46] Barsuk JH, McGaghie WC, Cohen ER, et al. Use of simulation-based mastery learning to improve the quality of central venous catheter placement in a medical intensive care unit [J]. J Hosp Med, 2009, 4(7): 397-403.

[47] Barsuk JH, Cohen ER, McGaghie WC, et al. Long-term retention of central venous catheter insertion skills after simulation-based mastery learning [J]. Acad Med, 2010, 85(10S): 9-12. DOI: 10.1097/ACM.0b013e3181ed436c.

[48] Barsuk JH, Cohen ER, Feinglass J, et al. Use of simulation-based education to reduce catheter-related bloodstream infections [J]. Arch Intern Med, 2009, 169(15): 1420-1423. DOI: 10.1001/archinternmed.2009.215.

[49] Cohen ER, Feinglass J, Barsuk JH, et al. Cost savings from reduced catheter-related bloodstream infection after simulation-based education for residents in a medical intensive care unit [J]. Simul Healthc, 2010, 5(2): 98-102. DOI: 10.1097/SIH.0b013e3181bc8304.

[50] Barsuk JH, Cohen ER, Feinglass J, et al. Unexpected collateral effects of simulation-based medical education [J]. Acad Med, 2011, 86(12): 1513-1517. DOI: 10.1097/ACM.0b013e318234c493.

[51] Cohen ER, Barsuk JH, McGaghie WC, et al. Raising the bar: reassessing standards for procedural competence [J]. Teach Learn Med, 2013, 25(1): 6-9. DOI: 10.1080/10401334.2012.741540.

（收稿日期：2019-07-11）
（本文编辑：唐宗顺）