



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.016  
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.016  
China Journal of General Surgery, 2024, 33(3):439-447.

· 文献综述 ·

## ERCP训练模型的现况与问题及未来发展设想

李锦阳<sup>1</sup>, 王玮琛<sup>1</sup>, 谢婉莹<sup>1</sup>, 陈晓晓<sup>2</sup>, 谭沁文<sup>2</sup>, 何超<sup>1</sup>, 刘威<sup>1</sup>, 熊力<sup>1</sup>

(1. 中南大学湘雅二医院 普通外科, 湖南 长沙 410011; 2. 中南大学湘雅药学院, 湖南 长沙 410013)

### 摘要

内镜逆行胰胆管造影术(ERCP)是临床上常用的胆胰系统疾病的诊断方法和治疗手段。为了缩短训练期限和减少因操作问题产生的手术并发症的发生, 操作者需要通过训练模型大量训练才能达到能够独立完成1次手术的水平。在此, 笔者总结分析了目前国内外投入使用的模型类型的现状与存在的问题: 机械模拟操作模型和计算机模拟模型具有灵活性、可视性等特点, 适合初学者了解操作流程, 但真实性不如其他模型; 活体动物模型具有可以进行完整的操作训练和并发症的处理的优点, 但价格相对昂贵, 且没有完全匹配人体结构适合训练的动物品种; 离体动物模型价格低廉, 具有较好真实性, 适用于进阶学习与初步开展并发症的应对训练。最后, 笔者根据不同模型的特点, 创新性提出一种阶段性联合ERCP训练方案一五阶段法, 并提出ERCP训练模型发展迭代的新方向。

### 关键词

胰胆管造影术, 内窥镜逆行; 模拟培训; 元宇宙

中图分类号: R657.5

## Current status and problems of ERCP training models, and future development prospects

LI Jinyang<sup>1</sup>, WANG Weichen<sup>1</sup>, XIE Wanying<sup>1</sup>, CHEN Xiaoxiao<sup>2</sup>, TAN Songwen<sup>2</sup>, HE Chao<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>, XIONG Li<sup>1</sup>

(1. Department of General Surgery, the Second Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410011, China; 2. Xiangya School of Pharmaceutical Sciences, Central South University, Changsha 410013, China)

### Abstract

Endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP) is a common diagnostic method and therapeutic technique for biliary and pancreatic diseases in clinical practice. In order to shorten the training period and reduce the occurrence of surgical complications due to operational issues, operators need extensive training through training models to reach the level of independently performing a procedure. Here, the authors summarize and analyze the current status and existing problems of different models used at home and abroad: mechanical simulation operation models and computer simulation models have characteristics such as flexibility and visibility, suitable for beginners to understand the procedural flow, but lack realism compared to other models; live animal models have the

**基金项目:** 湖南省科学技术厅重点研发基金资助项目(2023DK2003); 中南大学前沿交叉基金资助项目(2023QYJC028); 湖南省科技厅2022年颠覆性技术十强基金资助项目(2022GK3003); 湖南省自然科学基金-部门联合基金资助项目(2023JJ60506); 湖南省卫生健康委科研课题重点指导基金资助项目(C202204017138)。

**收稿日期:** 2023-11-24; **修订日期:** 2024-03-11。

**作者简介:** 李锦阳, 中南大学湘雅二医院本科生, 主要从事消化系统疾病微创诊疗新技术临床和基础方面的研究。

**通信作者:** 熊力, Email: 13787782059@163.com; 刘威, Email: liuwei0217@gmail.com

advantage of complete operational training and management of complications, but they are relatively expensive and do not fully match the human anatomy for training purposes; ex vivo animal models have the advantages of low cost and better realism, suitable for advanced learning and initial training in managing complications. Finally, based on the characteristics of different models, the authors innovatively propose a phased joint ERCP training scheme—the five-stage method, and also suggest new directions for the iterative development of ERCP training models.

**Key words**

Cholangiopancreatography, Endoscopic Retrograde; Simulation Training; Metaverse

**CLC number:** R657.5

内镜逆行胰胆管造影术（endoscopic retrograde cholangiopancreatography, ERCP）是一种常用的胆胰外科诊治技术。由于其操作难度系数大、学习曲线比其他内镜操作技术更长<sup>[1]</sup>。操作医生的熟练度与插管成功率和术后并发症的发生率均直接相关<sup>[2]</sup>。术后并发症危害较严重。所以，ERCP的操作训练就十分重要。

目前ERCP的操作训练所使用的模型类型按训练学习顺序分类主要有四类：计算机模拟模型、机械模拟操作模型、离体动物操作模型、活体动物操作模型<sup>[3-4]</sup>。以上四类操作模型有各自的优点，但均不能满足所有的训练环境的需求和训练目的。因此本文在总结上述模型的优缺点同时，创新性提出ERCP训练的“五阶段法”——将不同模型联合，根据操作者自身的需求以及训练条件的限制，分阶段使用不同模型进行训练。旨在解决ERCP训练学习周期长、难度大等问题。同时还提出，建立元宇宙训练模型联合AI反馈操作实时数据，加强每一次训练细节的可视度，精细化调整训练方案。有潜力成为ERCP训练模型迭代的新方向。

## 1 ERCP及相关操作

1968年，第一次报道使用内镜完成乳头插管的操作。随着前视镜器械的发明应用，促进了ERCP相关技术理论的成型，ERCP这个名字首次出现于1974年墨西哥举办的世界大会专题研讨会，是指将内窥镜和X射线影像技术结合的一种手术方法，具体是先在患者的体内引入1个内窥镜，从

胃进入十二指肠，找到十二指肠乳头后打入造影剂，在X射线下可以清晰地看到胆胰管的具体情况<sup>[5]</sup>。

由于ERCP手术操作难度系数大、学习时间长、术后并发症严重<sup>[6-7]</sup>，需要操作者不断训练，提高手术安全性<sup>[8]</sup>。Spyglass子母镜，即在母镜十二指肠镜的基础上增加了子镜胆道镜，可在一定程度上降低ERCP的操作难度和减少学习时长。在欧洲<sup>[9]</sup>、英国<sup>[10]</sup>和美国等各国都非常重视ERCP训练<sup>[11]</sup>，并且都出台了培训规范。在国内也有很多家医院对ERCP的训练十分重视，如：在2022年，中南大学湘雅二医院举办了ERCP技术培训班，培训导师们示范了手术的每一步的规范操作，帮助学员们进行技术纠正和改进。要求进行ERCP操作的医生每年需要完成对应手术数目<sup>[12]</sup>：虽然每个国家具体要求的年操作次数不一样，但均在100次左右（图1），这也再次说明了ERCP需要反复操作训练。传统的训练模式是学习操作者通过培训者的指令和示范操作直接在患者身上进行操作。由于学习操作者缺乏经验，容易有过度紧张的心理，导致操作不规范，这会增加患者术后并发症发生的概率，对患者可能造成不可忽视的创伤。而且事实上，很多已经通过培训却没有达到足够训练次数的操作者仍然无法独立、高效、安全完成ERCP手术，这可能和训练操作的不规范、训练模型无法模拟出真实环境、操作者面对术中并发症时缺乏经验等有关。由此可见，适用于ERCP训练的机会很少<sup>[13]</sup>，亟需高效的训练体系。

ERCP训练标准比较	美国	培训时限	至少12个月
		培训课程	12个月的胃肠道病学培训
			ERCP技能培训
	需完成操作次数	50~200例	
	韩国	培训时限	12个月以上
		培训要求	插管成功率≥80%
			总胆结石取出和胆管引流成功率≥85%
	英国	培训时限	4年
		培训要求	300次以上的培训
			能够识别和处理并发症
	最近50例插管成功率≥80%		
	澳大利亚	培训时限	12个月以上
培训要求		200次以上无辅助有ERCP	
		80次有监督独立完成的括约肌切开手术	
	60次以上支架置入		

图1 不同国家ERCP训练标准的比较

Figure 1 Comparison of ERCP training standards of different countries

## 2 ERCP训练模型发展状况及存在的问题

### 2.1 模拟操作模型的现况

除了使用离体、活体动物模型以外，计算机模拟操作系统、机械模拟操作模型也是训练ERCP操作常用的训练模型。可以将计算机模拟操作模型和机械模拟操作模型统称为模拟操作模型。

在最早训练模型研发阶段，操作者要想增加ERCP操作的熟练度和手眼协调能力，只能通过塑料或橡胶管来模拟肠道环境<sup>[14]</sup>。这种机械式模拟系统既不能还原触碰到不同组织所反馈的触感，也无法模拟肠道的蠕动，对增加操作者经验效果甚微，训练者需要制作出与真实场景更加相似的模型进行训练。2008年，Frimberger等<sup>[15]</sup>运用一些常见的且易获得的工具研发了机械式ERCP训练模型—X-vision模型，这个模型是由4个机械模型组成，它可以模拟胰腺或胆管进行选择插管训练，还可以根据不同排列的乳头进行支架放置训练和生物乳头括约肌切开的训练。在后续阶段，von Delius等<sup>[16]</sup>对X-vision模型训练ERCP进行应用效果进行评估。但是这种训练模型有一些无法解决的问题，如机械模型很难模拟出人类肠道的黏膜以及平滑肌走行方向，这也是之后机械模型一直未能很好解决的一个问题。

2014年，Nguyen等<sup>[17]</sup>使用弹簧模型和Signorini

的接触模型一定程度上解决了机械乳头无法模拟真实触感的问题。2018年，van der Wiel等<sup>[18]</sup>开发了一种The Boskoski-Costamagna ERCP机械性操作训练模型，这种模型拥有体积小，便于运输且同样适配于其他内窥镜训练的特点。这增加了机械模型的灵活性，使操作者能够在更多场景和时间下进行训练。2020年，Jirapinyo等<sup>[19]</sup>开发了TEST box，他们创新性地使用了硅胶模拟乳头，并使模型具有可以任意改变乳头的角度、改变胆胰管开口位置、改变乳头在十二指肠内的位置等特点，很大程度上解决了机械模型无法真实模拟出人生理解剖场景的弊端。通过文献的查阅，机械模型目前主要是在十二指肠乳头的模拟上有较大的突破，但对肠道的其他环境模拟效果并不如其他模型，可以与其他模型联合使用，取长补短，增加整体模型的真实性和可靠性。由于机械模型操作相对简单，通常被初学者使用训练，可以增加初学者的信心以及对ERCP操作流程的熟悉程度。在2020年，Meng等<sup>[20]</sup>也对机械模拟训练对初学ERCP的影响进行了报道分析，研究指出：机械训练模型是一种适合初学者训练ERCP的训练模型有助于提高学员的早期插管成功率，缩短学习曲线，降低对患者的潜在风险。

有关计算机模拟模型的使用最早是在1990年，Williams等<sup>[21]</sup>开发了第一个用于内窥镜训练的计算机模拟系统。2000年，Bar-Meir<sup>[22]</sup>借鉴航天领域中的计算机模型模拟训练，将其运用到内窥镜的训练中，并介绍了Symbionix和HT Medical Systems这两种目前已经投入使用的计算机模拟模型的优点和训练成果，对计算机模拟模型寄予厚望。2003年，Sedlack等<sup>[23]</sup>通过比较几种训练模型的学员训练成果发现，计算机模拟操作模型可以在减少培训时长的同时得到较好的操作熟练度。2006年，有学者<sup>[24-25]</sup>创造了计算机模拟操作训练模型，这个模型包括了模拟人解剖模型和内窥镜。学员可以通过计算机模拟操作锻炼手眼协调能力。但是价格十分昂贵，并且需要特定条件的储藏室，对操作环境的要求较高<sup>[23]</sup>。随着虚拟现实（virtual reality，VR）技术进一步发展，开始有科学家将其与内窥镜的训练结合在一起，并且对其训练结果的有效性和可靠性进行评估测试<sup>[26-28]</sup>，2010年，Bittner等<sup>[29]</sup>将计算机模拟系统和VR相结合的技术进一步完善，开发了GI Mentor II系统。新系统增加了训

练计算机模型的真实性和真实性，为操作者提供了更真实的应力感应以及完善了训练指标的评定。由于临床上对ERCP手术的需求量大、操作难度高、培训周期长<sup>[30]</sup>，所以训练模型需要能够使操作者在短期内达到良好的训练效果<sup>[31]</sup>。Boškoski等<sup>[30]</sup>在2019年ERCP训练教学中也指出，目前最新的计算机模拟系统有：Simbionix GI-Mentor™、GI-Mentor II™和CAE Healthcare Accu Touch™，它们都是给予假人模型和计算机模拟操作，进行病例模块预设的训练系统，但也都存在着经济成本过高和无法获得真实触感反馈等问题。解决触感以及应力反馈等问题可以将计算机模型加入体感装置，通过电磁阻抗和振动使操作者获得更多的反馈。还可以与AI学习结合，进一步增加模拟图像的真实性。

## 2.2 模拟操作模型存在的问题

**2.2.1 机械操作模型** 机械操作模型作为初学者熟悉手术入路以及操作步骤是一种良好的操作模型，但机械操作模型最大的问题就是无法完全模拟出完整的肠道环境，现阶段随着技术发展，部分解决了十二指肠乳头触感真实性的问题，但仍无法完全模拟肠道蠕动以及黏膜和平滑肌等。

**2.2.2 计算机模拟模型** 和机械模型相比，计算机模拟可以增加模型的真实性和可以将操作数据实时反馈，但大多机构并没有充足的基金用来引进计算机模拟系统，这极大程度上限制了该模型的适用场景。计算机系统模拟模型可以通过VR等增加视觉真实性，但是其在触感模拟以及团队协作的磨合训练和面对突发状况的应急解决方案的训练上仍然无法得到较好的效果。除此之外，高昂的经费也是计算机模拟模型的局限之一。在保证模拟的视觉真实性的同时降低制作成本以及联合体感可能是未来计算机模拟模型进一步提升的方向。

## 2.3 活体动物操作模型的现况

目前适用于ERCP手术操作的实验动物相对少见。在1974年，Falkenstein等<sup>[32]</sup>首次将狗作为ERCP训练模型，他们认为狗具有和人类类似的胆胰系统解剖特点，是训练ERCP较好的模型。之后也有Yandza等<sup>[33]</sup>也将狗作为训练模型，但这引发了动物保护者协会的不满。这反映了当使用活体动物作为训练模型时，需要面对实验动物伦理问题。1989年，Siegel等<sup>[34]</sup>使用与人类同为灵长类动物的狒狒作为实验动物进行ERCP的操作训练。在

训练过程中发现：狒狒能够较好地模拟出人类肠道蠕动和胆胰管的解剖结构的特点。但研究灵长类动物的设施很有限，且需要高额成本，很少有实验机构能大量使用狒狒作为手术操作训练的模型。在1990年，Gholson等<sup>[35]</sup>首次提出，用猪来作为ERCP训练模型。经过更多的实验发现，猪在生理模拟效果、模型的可操作性以及模型术后恢复性都十分出色，同时也解决费用昂贵的问题，为ERCP活体动物训练模型打开了新篇章，猪成为现阶段最常用的活体模型动物。除此之外，运用活体动物模型可以评价生物安全性，为内置物进行组织相容性评价<sup>[36-37]</sup>。这些也是活体动物进行ERCP训练的最重要的优点，可以强化操作者进行1次完整的操作，在全程中都注意预防可能发生的并发症，对实验动物进行最大程度的利用。

## 2.4 活体动物模型存在的问题

**2.4.1 猪** 实验用猪的品种有很多如约克夏猪、巴马小猪等，不同品种的猪所需要的饲养费用和胆胰管的解剖可能存在差异。可以根据不同实验的需求进行不同的选择。在将活体猪作为操作模型一段时间后，实验者发现，每一次训练就要耗费一只实验动物，其经济低廉的优点逐渐被弱化，且仍然涉及实验动物伦理问题。此外，正常生理情况下，猪的胆胰系统解剖和人类的胆胰系统解剖仍然存在着一些生理上的差别<sup>[38]</sup>，如：Laukkarinen等<sup>[39]</sup>发现由于十二指肠长度不同，无法在猪体内进行内镜插管技术，正常的十二指肠镜太短，无法到达猪十二指肠乳头；猪十二指肠乳头和幽门距离过近也增加了插管和定位的难度<sup>[40]</sup>。经查验，这可能与猪的品种有关，具体情况有待进一步验证<sup>[41]</sup>。但目前可以确定的是，不同猪的胆胰系统的解剖结构确实存在着个体差异<sup>[42]</sup>。

**2.4.2 猴子** 在ERCP手术操作模型的历史上也存在使用猴子作为训练模型的例子，但较为罕见，可能是因为培养猴子作为实验动物的成本较高，并且猴子的胆胰系统无法完全模拟人类的胆胰系统的解剖<sup>[43]</sup>，因此很少有学者使用猴子作为动物训练模型。

**2.4.3 狗** 狗的胆胰系统和人类相比，最大的不同在于狗的胰腺在胃的上段和胃系膜腹段背侧，呈现倒“V”形，右叶位于十二指肠系膜中段，沿着十二指肠方向延伸；左叶向脾脏延伸。Yandza等<sup>[33]</sup>曾将狗作为实验动物模型，但其做法一直备受实

验动物伦理所争议。不论是狗还是猪等其他动物均涉及实验动物伦理的问题。如何减少实验动物痛苦的同时还能完整地进行手术实验操作也是需要考虑的问题。

这些问题不仅仅是训练ERCP活体动物模型可能遇到的问题,也是应用活体实验动物开展其他研究会遇到的痛点。因此还需要和动物学相关领域联合,继续寻找既能满足拥有和人类一致的胆胰系统解剖结构同时还具有廉价易得特点的实验动物。

## 2.5 离体动物操作模型的现况

由于活体动物模型需要长期的喂养以及管理,需要较高的费用。且在活体实验动物模型中可进行操作的次数十分有限,无法满足大量的训练要求。

在1997年,由Hochberger等<sup>[44]</sup>首次提出可以使用特定的离体猪标本作为内窥镜操作训练模型。在一定程度上解决了上述问题。同年,Hochberger等<sup>[45]</sup>提出由动物组织重建模拟十二指肠乳头组织,但仍然存在无法同步进行透视操作的弊端。2006年,Matthes等<sup>[40]</sup>提出把鸡心脏组织固定在十二指肠上模拟Oddi括约肌,用猪的髂动脉或脾动脉血管模拟胆胰管。在研究中也指出离体动物训练模型所具有的特点:与活体动物有类似的生理解剖环境、避免实验动物伦理问题、进一步降低经济成本。由于猪的髂、脾动脉也不是常见易得的动物器官,还是会产生较高的成本,需进一步改进。为了更加能够模拟真实临床场景,2007年,Maiss等<sup>[46]</sup>通过提前将离体气管覆盖在乳头上,增加模拟真实性,再进行ERCP操作的模拟训练模型。这增加了操作模型的真实性和真实性。2013年,Itoi等<sup>[47]</sup>可以在猪的离体胃或直肠中加入用氯化钠稀释的透明质酸,然后在黏膜下次重建十二指肠乳头,提高模型使用率。2014年,Velázquez-Aviña等<sup>[48]</sup>提出了新的猪胃十二指肠化的方法,还创新性地使用猪的气管代替髂动脉模拟胆管,在鸡心脏上覆盖了猪的食管,这样做更可以模拟真实的解剖情况。在“乳头”中放入支架和导丝,增加其稳定性和便于根据不同训练需求更换乳头模型,

反复利用<sup>[48]</sup>。2016年,Artifon等<sup>[49]</sup>又对鸡心脏模拟十二指肠乳头的ERCP训练模型进行教学评估,对这种模型的教学意义给予了很大的肯定,其廉价性和可以更换乳头的特点非常适用作为教学训练模型。

现在部分ERCP操作训练仍然在使用这种离体动物模型:它可在高度模拟操作环境的同时还可以进行反复训练操作,不论是经济性还是真实性都具有不错的表现。如果想进一步发展可以和上文提到的其他模型相结合,创造出一个联合几类模型优点的混合模型。

## 2.6 离体动物模型现存的问题

离体动物模型虽然解决了经费高昂的问题,增加了模型可重复操作次数,但是也存在下述问题:(1)与活体动物模型相似,所有关于动物的实验操作都涉及实验动物伦理的问题。(2)缺乏真实性和不能提供ERCP操作完整性训练。无法完整地进行ERCP操作就无法验证手术真实的效果以及对内置物进行生物安全性和组织相容性结果的评定,更无法进一步模拟真实临床场景中可能遇到的应对措施。

## 3 ERCP训练模型的总结与思考

不同模型特点的总结见表1。ERCP训练模型可以从很多方面进行评价,如Sedlack等<sup>[23]</sup>在2003年发布了评估表从:(1)模型组织是否柔软;(2)乳头的解剖结构;(3)视觉真实感;(4)插管真实感;(5)整体ERCP操作体验等几个方面对ERCP训练模型进行初步评估。模型的真实性和真实性主要是要在组织学、局部结构,特别是适应内镜造模的整体结构上进行评估。因此,在材料方面可以进行改进,根据之前的文献报道,可以使用3D打印技术来模拟胆胰管,进一步增加解剖真实性<sup>[50-51]</sup>。除了3D打印出胆胰管以外,还可以打印出乳头模型,内部运用物理弹簧模型等模拟出人十二指肠乳头的生理特性,增加机械模型的应力性和真实性。也可以将机械模型和离体动物模型相结合,创造联合模型。

表1 各种训练模型特点总结

Table 1 Summary of characteristics of different training models

模型名称	类型	构成	优点	缺点
计算机模拟模型	单纯计算机系统模拟	计算机操作软件	避免实验动物伦理问题;避免模型无法	费用昂贵;需要特殊操作
	计算机系统结合其他模型	计算机操作软件+机械模型+生物模型+真实内窥镜	人胆胰系统真实解剖;安全,减少患者或实验动物受到伤害的可能;可重复性,操作者可以反复多次进行实验	环境;无法模拟患者的体验或反应;缺乏整体训练的完整性
	VR模型	计算机操作软件+VR系统	操作;个性化训练,可以根据计算机系统绘制出学习曲线	
机械模拟模型	塑料橡胶管模型	内窥镜+塑料模拟胆胰系统	直观,训练者在真实内窥镜下操作,可以直观看到结构,锻炼手眼协调;安全;可以重复性;相对简单性,可以独立操作,增加训练者自信心;可以远程教学操作模拟;训练没有时间限制,比较灵活	无法模拟真实结构触感;无法完全模拟出肠道蠕动的运动性;有限复杂性,无法模拟出临床可能遇到的各种并发症
	硅胶模型	内窥镜+硅胶模拟乳头模型		
	物理弹簧模型	内窥镜+弹簧模拟乳头模型		
离体动物模型	单纯十二指肠离体模型	猪十二指肠以及胆胰系统器官	避免动物实验伦理问题;解剖相似性,尤其是人工重构后的离体动物模型和人体结构解剖更加类似;可反复操作,通过更换鸡心脏模拟的十二指肠乳头的结构可以反复利用模型;成本较低,且材料较容易获得;可以模拟出和人体肠道类似的触感,应力性好	无法检验操作训练后预后情况;难以模拟真实手术情况;缺乏实时反馈,无法和虚拟操作系统一样提供实时数据分析
	人工再构模型	猪胆胰系统器官+鸡心脏组织+猪动脉 猪胆胰系统器官+鸡心脏组织+猪气管		
活体动物模型	猪	实验动物+内窥镜	生理实时反馈,可以根据动物的反应对手术操作进行调整;单次训练的完整性,可以检验手术预后情况如何等;可以模拟临床上可能遇到的并发症,学习应对措施;更真实,触感,应力,以及肠道的蠕动都与人类似	实验动物伦理问题;成本高;不适用于初学者;无法重复训练操作
	狒狒			
	狗			

#### 4 五阶段ERCP训练法

根据具体训练要求以及可提供的经费可以选择不同的训练模型,并且根据不同模型的优势和不足以及操作者训练目标的差异选择分阶段联合训练模型的使用。笔者根据这些特点提出五阶段ERCP训练法。

第一阶段为机械模型联合离体动物模型。适用范围:初学者、训练经费有限的机构。优点:机械模型和离体动物模型所需要的经费以及操作难度都较低,适合初学者来熟悉ERCP具体操作流程以及不同结构的解剖位置和触感。训练目标:熟悉ERCP操作流程,学会使用内窥镜的使用以及不同结构的解剖位置和触感。第二阶段为离体动物模型联合计算机模拟模型。适用范围:有一定操作训练基础者。优点:使用计算机模型可以进一步增加视觉模拟的真实性,同时联合使用离体动物模型以及机械模拟局部结构,使模型触觉更

真实。训练目标:熟练掌握ERCP具体操作,能够完成计算机模拟模型系统中不同适应证的操作训练。第三阶段为离体动物模型联合VR计算机模拟模型。适用范围:有较多模拟训练经验者、经费相对充足机构。优点:VR的视觉反馈比单纯计算机模拟视觉反馈好很多,并且可以使操作者立体地感受具体手术入路以及解剖关系,了解不同特异性个体可能产生的解剖差异性,从而减少因操作失误带来的并发症。训练目标:熟练掌握ERCP具体操作,操作过程中较少出现操作失误次数。第四阶段为活体动物模型。适用范围:熟练掌握ERCP操作者、需要检验术后并发症效果、需要探究生物安全性、植入物的组织相容性等、能够饲养实验动物机构。优点:使用活体动物模型可以训练面对不同并发症的处理操作,更贴合真实的临床情况。还可以检验生物安全性以及组织结构相容性等特点。训练目标:熟练掌握ERCP不同并发症的应对措施。第五阶段为活体动物模型联

合AI分析。适用范围:需要AI评估操作评价和预测并发症发生概率、经费充足机构。优点:加入AI分析模型可以实时反馈给操作者操作数据,以及每一次操作可能带来的并发症概率。操作者可

以通过AI分析进一步改良操作细节,减少并发症的发生。训练目标:极大程度降低因操作产生的并发症发生概率。上述五阶段ERCP训练法的总结见表2。

表2 ERCP五步训练法

Table 2 The five-stages training method for ERCP

阶段	操作模型	适用范围	优点	训练目标
第一阶段	机械模型联合离体动物模型	初学者、经费有限	便宜,简单易操作	初步熟悉了解操作过程
第二阶段	离体动物模型联合计算机模拟模型	有一定操作训练基础者	增加视觉、触觉真实性	熟练掌握ERCP、初步了解并发症应对措施
第三阶段	离体动物模型联合VR计算机模拟模型	较多经验、经费充足	提供立体视觉反馈	熟练掌握ERCP、能够应对不同个体解剖差异带来的困难
第四阶段	活体动物模型	熟练掌握操作者、需要进行完整训练者	更贴近临床真实情况,学会处理术中并发症以及术后预后	熟练掌握ERCP不同并发症的应对措施
第五阶段	活体动物模型联合AI分析	精细化操作完整性、经费充足	加入AI模型,精细化每一步操作	极大程度降低因操作产生的并发症发生概率

五阶段法的提出除了考虑到了不同模型的特点,也将全球ERCP训练标准进行结合,因此五阶段除了具有经济实惠,对各种模型的优点进行集合的优点外,也能最大程度上符合训练学习循序渐进的特点,对不同阶段的训练者都能有较大的适配度。

## 5 ERCP训练模型发展的新方向

目前,元宇宙已成为虚拟世界与真实世界结合的平台,将带动社会生产力提升、生产关系变革。因此,在计算机模拟方面还可以和元宇宙相联合,研究开发在元宇宙引擎的基础上,增加能够模拟ERCP训练操作的模块,还可以建立不同操作者个体性的训练学习曲线档案,并使用AI分析操作者的每一次训练记录的效果和需要改进的操作,缩短学习时限,减少因为操作而产生的并发症。目前已经有工业元宇宙的AI数字人生成与数字孪生技术运用在医学训练相关领域。

另外,寻找合适的活体动物模型也十分重要。在活体动物进行ERCP操作后可以进一步评价手术的完成度以及预后效果,如预后出现胰腺炎并发的概率是多少,以及出现并发症的处理操作训练,更能体现一次ERCP手术训练的完整性。也可以进一步训练各种ERCP适应证的不同操作。因此,找到一种特殊能满足进行ERCP手术且价格、生理解剖与人类极度类似的实验动物十分重要。但经过

对实验动物学领域相关文献的查阅,仍没有发现适合动物种类。也可以通过基因编辑<sup>[52]</sup>或细胞因子诱导现成的实验动物,使其胆胰系统解剖发生改变成更能模拟人类生理状态下的解剖结构。

综上所述,目前已投入使用的ERCP训练模型种类很多,涉及多学科交叉、技术融合创新等特点,相信在不久的将来会出现更多更出色的ERCP训练模型。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:李锦阳负责撰写论文、文章框架设计与修改;王玮琛、谢婉莹负责国内外研究进展调研;陈晓晓、谭沁文负责文献管理、对文章内容进行审阅批改;何超、刘威、熊力、负责拟定写作思路并指导撰写论文、最后定稿。

### 参考文献

- [1] Rivas A, Pherwani S, Mohamed R, et al. ERCP-related adverse events: incidence, mechanisms, risk factors, prevention, and management[J]. *Expert Rev Gastroenterol Hepatol*, 2023, 17(11): 1101-1116. doi:10.1080/17474124.2023.2277776.
- [2] Syrén EL, Sandblom G, Enochsson L, et al. Outcome of ERCP related to case-volume[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(7): 5339-5347. doi:10.1007/s00464-021-08915-y.
- [3] Phillips MS, Marks JM. Overview of methods for flexible endoscopic training and description of a simple explant model[J]. *Asian J Endosc Surg*, 2011, 4(2): 45-52. doi: 10.1111/j. 1758-5910.2011.00078.x.

- [4] Leung JW, Yen D. ERCP training-the potential role of simulation practice[J]. *J Interv Gastroenterol*, 2011, 1(1):14-18. doi: 10.4161/jig.1.1.14594.
- [5] McCune WS, Shorb PE, Moscovitz H. Endoscopic cannulation of the Ampulla of Vater[J]. *Ann Surg*, 1968, 167(5):752-756. doi: 10.1097/00000658-196805000-00013.
- [6] 任庆旗, 林泽伟, 熊沛, 等. ERCP术中导丝损伤致肝包膜下血肿1例报告并文献复习[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(2):309-316. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.02.017.
- Ren QQ, Lin ZW, Xiong P, et al. Guidewire-induced subcapsular hepatic hematoma during endoscopic retrograde cholangiopancreatography: a case report and literature review[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(2): 309-316. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2023.02.017.
- [7] 马勇新, 张旭升, 柳科军, 等. 恶性胆道梗阻ERCP术后早期胆道感染预测模型的建立与评价[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(8):1208-1217. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.08.009.
- Ma YX, Zhang XS, Liu KJ, et al. Establishment and evaluation of early biliary infection prediction model after ERCP in malignant biliary obstruction[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(8):1208-1217. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.08.009.
- [8] Cappell MS, Friedel DM. Stricter national standards are required for credentialing of endoscopic-retrograde-cholangiopancreatography in the United States[J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(27):3468-3483. doi:10.3748/wjg.v25.i27.3468.
- [9] Bisschops R, Dekker E, East JE, et al. European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) curricula development for postgraduate training in advanced endoscopic procedures: rationale and methodology[J]. *Endoscopy*, 2019, 51(10): 976-979. doi: 10.1055/a-1000-5603.
- [10] Bekkali NL, Johnson GJ. Training in ERCP and EUS in the UK anno 2017[J]. *Frontline Gastroenterol*, 2017, 8(2): 124-128. doi: 10.1136/flgastro-2016-100771.
- [11] Johnson G, Webster G, Boškoski I, et al., Curriculum for ERCP and endoscopic ultrasound training in Europe: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Position Statement[J]. *Endoscopy*, 2021, 53(10):1071-1087. doi: 10.1055/a-1537-8999.
- [12] Kowalski T, Kanchana T, Pungpapong S. Perceptions of gastroenterology fellows regarding ERCP competency and training[J]. *Gastrointest Endosc*, 2003, 58(3):345-349. doi:10.1067/s0016-5107(03)00006-3.
- [13] Cotton PB. Are low-volume ERCPists a problem in the United States? A plea to examine and improve ERCP practice-NOW[J]. *Gastrointest Endosc*, 2011, 74(1): 161-166. doi: 10.1016/j.gie.2011.03.1233.
- [14] Baillie J. Endoscopic retrograde cholangiopancreatography simulation[J]. *Gastrointest Endosc Clin N Am*, 2006, 16(3): 529-542. doi:10.1016/j.giec.2006.03.017.
- [15] Frimberger E, von Delius S, Rösch T, et al. A novel and practicable ERCP training system with simulated fluoroscopy[J]. *Endoscopy*, 2008, 40(6):517-520. doi:10.1055/s-2007-995456.
- [16] von Delius S, Thies P, Meining A, et al. Validation of the X-Vision ERCP Training System and technical challenges during early training of sphincterotomy[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2009, 7(4):389-396. doi:10.1016/j.cgh.2008.11.004.
- [17] Nguyen TT, Kim M, Lee DY. A hybrid contact model for cannulation simulation of ERCP[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2014, 196:304-306.
- [18] van der Wiel SE, Koch AD, Bruno MJ. Face and construct validity of a novel mechanical ERCP simulator[J]. *Endosc Int Open*, 2018, 6(6):E758-E765. doi:10.1055/s-0044-101754.
- [19] Jirapinyo P, Thompson AC, Aihara H, et al. Validation of a novel endoscopic retrograde cholangiopancreatography cannulation simulator[J]. *Clin Endosc*, 2020, 53(3): 346-354. doi: 10.5946/ce.2019.105.
- [20] Meng WB, Yue P, Leung JW, et al. Impact of mechanical simulator practice on clinical ERCP performance by novice surgical trainees: a randomized controlled trial[J]. *Endoscopy*, 2020, 52(11): 1004-1013. doi:10.1055/a-1217-6727.
- [21] Williams CB, Baillie J, Gillies DF, et al. Teaching gastrointestinal endoscopy by computer simulation: a prototype for colonoscopy and ERCP[J]. *Gastrointest Endosc*, 1990, 36(1):49-54. doi:10.1016/s0016-5107(90)70923-6.
- [22] Bar-Meir S. A new endoscopic simulator[J]. *Endoscopy*, 2000, 32(11):898-900. doi:10.1055/s-2000-8088.
- [23] Sedlack R, Petersen B, Binmoeller K, et al. A direct comparison of ERCP teaching models[J]. *Gastrointest Endosc*, 2003, 57(7): 886-890. doi:10.1016/s0016-5107(03)70025-x.
- [24] Cohen J, Cohen SA, Vora KC, et al. Multicenter, randomized, controlled trial of virtual-reality simulator training in acquisition of competency in colonoscopy[J]. *Gastrointest Endosc*, 2006, 64(3): 361-368. doi:10.1016/j.gie.2005.11.062.
- [25] Bar-Meir S. Simbionix simulator[J]. *Gastrointest Endosc Clin N Am*, 2006, 16(3):471-478. doi:10.1016/j.giec.2006.03.013.
- [26] Ayodeji ID, Schijven MP, Jakimowicz JJ. Determination of face validity for the Simbionix LAP mentor virtual reality training module[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2006, 119:28-30.
- [27] Moorthy K, Munz Y, Jiwanji M, et al. Validity and reliability of a virtual reality upper gastrointestinal simulator and cross validation using structured assessment of individual performance with video playback[J]. *Surg Endosc Other Interv Tech*, 2004, 18(2):328-333. doi:10.1007/s00464-003-8513-2.
- [28] Zhang AM, Hünerbein M, Dai YY, et al. Construct validity testing of a laparoscopic surgery simulator (Lap Mentor®)[J]. *Surg Endosc*, 2008, 22(6):1440-1444. doi:10.1007/s00464-007-9625-x.
- [29] Bittner JG IV, Mellinger JD, Imam T, et al. Face and construct validity of a computer-based virtual reality simulator for ERCP[J]. *Gastrointest Endosc*, 2010, 71(2): 357-364. doi: 10.1016/j.gie.2009.08.033.
- [30] Boškoski I, Tringali A, Costamagna G. Teaching endoscopic

- retrograde cholangiopancreatography cannulation[J]. *Transl Gastroenterol Hepatol*, 2019, 4:30. doi:10.21037/tgh.2019.04.05.
- [31] Goodman AJ, Melson J, Aslanian HR, et al. Endoscopic simulators[J]. *Gastrointest Endosc*, 2019, 90(1):1–12. doi:10.1016/j.gie.2018.10.037.
- [32] Falkenstein DB, Abrams RM, Kessler RE, et al. Endoscopic retrograde cholangiopancreatography in the dog: a model for training and research[J]. *Gastrointest Endosc*, 1974, 21(1):25–26. doi:10.1016/s0016-5107(74)73775-0.
- [33] Yandza T, Tauc M, Saint-Paul MC, et al. The pig as a preclinical model for intestinal ischemia-reperfusion and transplantation studies[J]. *J Surg Res*, 2012, 178(2): 807–819. doi: 10.1016/j.jss.2012.07.025.
- [34] Siegel JH, Korsten MA. ERCP in a nonhuman primate[J]. *Gastrointest Endosc*, 1989, 35(6): 557–559. doi: 10.1016/s0016-5107(89)72912-6.
- [35] Gholson CF, Provenza JM, Silver RC, et al. Endoscopic retrograde cholangiography in the swine: a new model for endoscopic training and hepatobiliary research[J]. *Gastrointest Endosc*, 1990, 36(6): 600–603. doi:10.1016/s0016-5107(90)71175-3.
- [36] Bošković I, Konikoff FM, Ben Muvhar S, et al. A novel gallbladder umbrella stent (the Shai™ Stent) for prevention of stone migration and impaction: results on feasibility and short-term safety in a porcine model[J]. *Surg Endosc*, 2019, 33(9): 3050–3055. doi: 10.1007/s00464-019-06993-7.
- [37] García-Cano J, de la Santa Belda E, Domper F. Use a biodegradable stent in ERCP and it will never be forgotten[J]. *Rev Esp Enferm Dig*, 2022, 114(9): 513–515. doi: 10.17235/reed.2022.8926/2022.
- [38] Kararli TT. Comparison of the gastrointestinal anatomy, physiology, and biochemistry of humans and commonly used laboratory animals[J]. *Biopharm Drug Dispos*, 1995, 16(5): 351–380. doi:10.1002/bdd.2510160502.
- [39] Laukkanen J, Lämsä T, Nordback I, et al. A novel biodegradable pancreatic stent for human pancreatic applications: a preclinical safety study in a large animal model[J]. *Gastrointest Endosc*, 2008, 67(7):1106–1112. doi: 10.1016/j.gie.2007.10.013.
- [40] Matthes K, Cohen J. The Neo-Papilla: a new modification of porcine ex vivo simulators for ERCP training (with videos) [J]. *Gastrointest Endosc*, 2006, 64(4): 570–576. doi: 10.1016/j.gie.2006.02.046.
- [41] Cheng YT, Ding SJ, Azad MAK, et al. Comparison of the pig breeds in the small intestinal morphology and digestive functions at different ages[J]. *Metabolites*, 2023, 13(1): 132. doi: 10.3390/metabo13010132.
- [42] Ferrer J, Scott WE, Weegman BP, et al. Pig pancreas anatomy: implications for pancreas procurement, preservation, and islet isolation[J]. *Transplantation*, 2008, 86(11):1503–1510. doi:10.1097/tp.0b013e31818bfda1.
- [43] Tsuchitani M, Sato J, Kokoshima H. A comparison of the anatomical structure of the pancreas in experimental animals[J]. *J Toxicol Pathol*, 2016, 29(3):147–154. doi:10.1293/tox.2016-0016.
- [44] Hochberger J, Euler K, Naegel A, et al. The compact Erlangen Active Simulator for Interventional Endoscopy: a prospective comparison in structured team-training courses on “endoscopic hemostasis” for doctors and nurses to the “Endo-Trainer” model[J]. *Scand J Gastroenterol*, 2004, 39(9): 895–902. doi: 10.1080/00365520410006765.
- [45] Hochberger J, Neumann M, Hohenberger W, et al. EASIE-Erlangen Education Simulation Model for Interventional Endoscopy--a new bio-training model for surgical endoscopy[J]. *Biomed Tech (Berl)*, 1997, 42(Suppl):334.
- [46] Maiss J, Diebel H, Naegel A, et al. A novel model for training in ERCP with double-balloon enteroscopy after abdominal surgery[J]. *Endoscopy*, 2007, 39(12):1072–1075. doi:10.1055/s-2007-967021.
- [47] Itoi T, Gotoda T, Baron TH, et al. Creation of simulated papillae for endoscopic sphincterotomy and papillectomy training by using in vivo and ex vivo pig model (with videos)[J]. *Gastrointest Endosc*, 2013, 77(5):793–800. doi:10.1016/j.gie.2012.12.015.
- [48] Velázquez-Aviña J, Sobrino-Cossío S, Chávez-Vargas C, et al. Development of a novel and simple ex vivo biologic ERCP training model[J]. *Gastrointest Endosc*, 2014, 80(6): 1161–1167. doi: 10.1016/j.gie.2014.07.061.
- [49] Artifon EL, Nakadomari TS, Kashiwagui LY, et al. An innovative ex-vivo model for rapid change of the papilla for teaching advanced endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures[J]. *Arq Bras Cir Dig*, 2016, 29(4):269–271. doi:10.1590/0102-6720201600040013.
- [50] Dhir V, Itoi T, Fockens P, et al. Novel exvivo model for hands-on teaching of and training in EUS-guided biliary drainage: creation of “Mumbai EUS” stereolithography/3D printing bile duct prototype (with videos)[J]. *Gastrointest Endosc*, 2015, 81(2):440–446. doi: 10.1016/j.gie.2014.09.011.
- [51] Kwon CI, Shin Y, Hong J, et al. Production of ERCP training model using a 3D printing technique (with video)[J]. *BMC Gastroenterol*, 2020, 20(1):145. doi:10.1186/s12876-020-01295-y.
- [52] Kruse RL, Huang YT, Shum T, et al. Endoscopic-mediated, biliary hydrodynamic injection mediating clinically relevant levels of gene delivery in pig liver[J]. *Gastrointest Endosc*, 2021, 94(6): 1119–1130.e4. doi:10.1016/j.gie.2021.06.016.

( 本文编辑 熊杨 )

本文引用格式:李锦阳,王玮琛,谢婉莹,等. ERCP训练模型的现况与问题及未来发展设想[J]. 中国普通外科杂志, 2024, 33(3):439–447. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.016

Cite this article as: Li JY, Wang WC, Xie WY, et al. Current status and problems of ERCP training models, and future development prospects[J]. *Chin J Gen Surg*, 2024, 33(3):439–447. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.016