

• 医疗人工智能 •

人工智能肝癌临床决策支持系统的开发、验证和应用价值



严律南, 杨家印

四川大学华西医院肝胆外科/肝脏移植中心(成都 610041)

人工智能(artificial intelligence, AI)是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新技术科学,专门研究计算机模拟或实现人类的学习行为即机器学习,以获取新的知识或技能,重新组织已有的知识结构,使之不断改善自身的性能。机器学习是一门多领域交叉学科,涉及概率论、统计学、逼近论、凸分析、算法复杂度理论等多门学科。自2016年1月27日英国《自然》杂志发表的一篇文章报道谷歌的AI系统阿尔法围棋(AlphaGo)于2015年10月以5:0完胜欧洲围棋冠军以来,AI在医学领域的应用研究也开始了广泛探索^[1-2]。

1 智能医院、智能肝脏外科的兴起

近年来,AI在超声、CT、MRI影像诊断方面有了飞速的进展^[3-5],在胃肠内镜诊断方面也进行了大量探索^[6-9],在临床诊治^[10-11]及外科手术^[12]中有了喜人的进展。AI为医学的发展和变革开启了新的机遇,开始逐步兴起了智能医院及智能肝脏外科的概念。

2 四川大学华西医院对AI在肝癌诊治方面的初步开发研究

上海华山医院张群华教授团队的颐保医疗科技“医库云”与四川大学华西医院(以下简称“我院”)肝胆外科合作,采用2006-2016年期间我院“肝癌诊治随访登记系统”中约2.3万病例中有完整随访资料的5008例肝癌患者对AI系统进行研究,制定了多种技术路线,通过多角度及深层次的尝试,致力于开发出效果较好、实用性较强的医疗决策系统。在算法方面,采用可解释性较强的基于决策树的梯度提升迭代决策树(gradient boosting decision tree, GBDT)算法;同时受Siamese Net启

发,采用共享权值的方式模拟同一患者不同决策方案治疗的结果,从而为患者挑选出最佳治疗方案。清华大学及第三军医大学在技术层面给与了支持。

经过1年多的努力,最终开发出了“AI肝癌临床决策支持系统”(以下简称“AI肝癌系统”)这一创新程序。临床医生只需将肝癌患者的临床检验数据、影像学数据等输入AI肝癌系统,经该系统计算后可立即给出治疗方案,同时输出包括患者的生存周期、复发率、复发周期等预测值的AI报告。

AI肝癌系统生成报告包括患者信息、指南方案推荐结果及AI辅助诊断结果三大部分。①“患者信息”包括患者特征、疾病基本情况、肝癌既往治疗史、影像学、肝功能评估、既往病史、生化检查结果及综合指标8项。②“指南方案推荐结果”是基于肝癌医学指南知识,提供有优先级的治疗方案,并给出其相应的诊断依据。③“AI辅助诊断结果”包括治疗方案智能推荐及生存和复发状况智能预测。

3 对AI肝癌系统的临床验证情况

采用我院2019年11月至2020年2月共4个月期间收治的临床病理资料完整的549例肝癌患者对AI肝癌系统进行验证。其中2019年11月100例患者,2019年12月49例患者,2020年1月200例患者,2020年2月200例患者;复发肝癌321例、初诊肝癌227例;手术切除147例,消融18例,介入337例,肝移植4例。将全部数据输入AI肝癌系统中验证的结果发现,手术切除准确率为95.2%(140/147),消融准确率为88.9%(16/18),介入准确率为94.1%(317/337),肝移植准确率为75.0%(3/4)。

其中3例典型病例的影像图见图1。3例患者均在诊断为肝癌后入院,入院完善各项检查后,将“患者信息”这一部分内容输入AI肝癌系统,经该系统程序处理后即可生成AI报告,见图2-图4。从AI报告图可见,病例1(图2),中国肝癌分期标

DOI: 10.7507/1007-9424.202007092

通信作者: 严律南, Email: yanlunan688@163.com

<http://www.gensurg.cn>

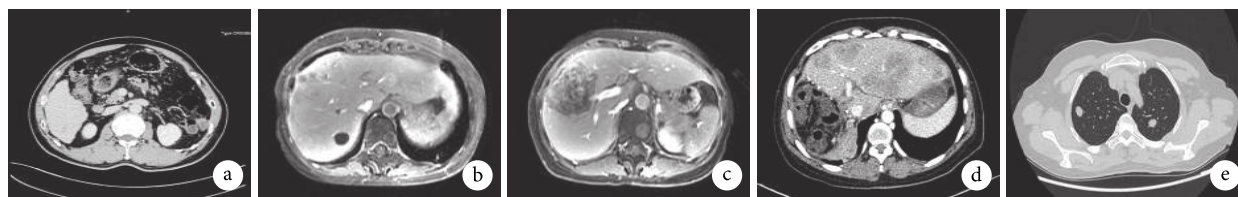


图 1 示 3 例典型病例的影像学检查结果

a: 病例 1 的 CT 影像图; b、c: 病例 2 的 MRI 影像图; d、e: 病例 3 的 CT 影像图

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-06-22 18:18:11

诊断治疗疾病: 原发性肝癌
患者ID: 1270537887489847298
患者类型: 初诊患者

患者信息

患者特征

性别: 男 年龄: 53.00岁
体能状态: ECOG1 能自由走动及从事轻体力活动, 包括一般家务或办公室工作, 但不能从事较重的体力活动 身高: 178.00 cm
体重: 78.00 kg

疾病基本情况

入院疾病诊断: 肝细胞肝癌 是否复发: 否
肝外转移: 否 侵及周围器官: 否
淋巴结转移: 否 淋巴结转移位置: 无
大血管侵犯: 否 器官肿大或静脉曲张: 无

肝癌既往治疗史

次数	治疗方案
1	

影像学

病灶数: 1个 最大病变的大小: 2.00 cm
肿瘤总大小: 2.00 cm 累及肝段: 右后叶下段
门静脉累及或癌栓形成: 否 门静脉高压: 是
距各肝管最近距离大于 5 mm: 是 术后残肝体积大于 40%: 是

* 此报告仅供有权访问“医库云AI肝癌临床决策支持系统”(“支持系统”)的癌症治疗医师使用。“支持系统”以及此报告旨在提供信息, 以帮助合格的临床医生制定患者医疗决策。医库云对患者护理行为不承担任何责任。 癌症治疗医师全权负责所有患者护理决策, 使用“支持系统”和此报告不会减轻癌症治疗医师对患者护理的责任。

Page 2

指南方案推荐结果

手术切除 推荐

理由: 肝脏储备功能良好的 I 期肝癌是手术切除的首选适应证。

射频消融 推荐

理由: 患者肿瘤直径 < 2 cm, 无血管、胆管和邻近器官侵犯以及远处转移, 肝功能评价 A 级, 采用局部消融有可能获得根治性治疗效果。此时采用 RFA 方案的疗效类似或优于手术切除。

肝移植 推荐

理由: 患者肿瘤数目 1 个, 最大直径 2.0 cm, 总直径不足 8 cm, 且无大血管侵犯, 按照 UCSF 标准, 可考虑肝移植治疗。

放射治疗 推荐

理由: 患者为 CNLC I 期肝癌, 如不愿意采用手术切除或局部消融等有创治疗, 也可考虑采用放射治疗。在放疗中需注意放射剂量的控制。

中医中药治疗 推荐

理由: 中医中药能够改善患者的临床症状, 提高集体的抵抗力, 减轻放疗不良反应, 提高生活质量。

* 此报告仅供有权访问“医库云AI肝癌临床决策支持系统”(“支持系统”)的癌症治疗医师使用。“支持系统”以及此报告旨在提供信息, 以帮助合格的临床医生制定患者医疗决策。医库云对患者护理行为不承担任何责任。 癌症治疗医师全权负责所有患者护理决策, 使用“支持系统”和此报告不会减轻癌症治疗医师对患者护理的责任。

Page 4

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-06-22 18:18:11

肝功能评估

基础性肝脏疾病: 乙肝 有无肝性脑病: 无
有无腹水: 无 乙肝两对半结果: HBsAg (表面抗原): 阳性 (+), HBsAb (表面抗体): 阴性 (-), HBeAg (e 抗原): 阴性 (-), HBeAb (e 抗体): 阳性 (+), HBcAb (核心抗体): 阳性 (+)
肝功能Child-Pugh评分: 5
Fib-4指数: 2.0
Meld评分: 3.6

既往病史

心脏病史: 无 糖尿病史: 无 呼吸系统疾病史: 无
肺结核史: 无 高血压病史: 无

生化检查结果

甲胎蛋白/AFP: 28.00 ng/mL NLR (Neu%/Lym%): 2.08
癌胚蛋白/CEA: 3.00 ng/mL 单核细胞比/Mono%: 13.00%
冬氨酸氨基转移酶/AST: 23 U/L 嗜酸性粒细胞比/Eos%: 6.00%
谷氨酸转氨酶/ALT: — 嗜碱性粒细胞比/Baso%: 1.00%
直接胆红素/DB: 5.00 μmol/L 尿素/UREA: 4.00 mmol/L
总胆红素/TB: 16.00 μmol/L 肌酐/CREA: 68.00 μmol/L
血红蛋白/HGB: 135 g/L 胱抑素C/CysC: 1.00 ng/L
血小板/PLT: 126×10⁹/L 凝血酶原时间/PT: 11 s
白细胞/WBC: 6.00×10⁹/L 活化部分凝血酶时间/APTT: 26 s
中性粒细胞比/Neu%: 54.00% 国际标准化比值/INR: 1.00
淋巴细胞比/Lym%: 26.00% 纤维蛋白原/FIB: 2.00 g/L

综合性指标

肝癌分期 (中国标准): Ia 肝癌分期 (TNM分期): T1aN0M0

* 此报告仅供有权访问“医库云AI肝癌临床决策支持系统”(“支持系统”)的癌症治疗医师使用。“支持系统”以及此报告旨在提供信息, 以帮助合格的临床医生制定患者医疗决策。医库云对患者护理行为不承担任何责任。 癌症治疗医师全权负责所有患者护理决策, 使用“支持系统”和此报告不会减轻癌症治疗医师对患者护理的责任。

Page 3

AI辅助诊断结果

治疗方案智能推荐

* 基于四川大学华西医院提供的临床数据进行训练

手术切除	射频消融	肝移植	介入
推荐系数 46.46%	推荐系数 33.27%	推荐系数 18.45%	推荐系数 1.82%

生存和复发状况智能预测

		各方案下的生存和复发状况智能预测			
		估计范围/值			
		手术切除	射频消融	介入	肝移植
生存概率 (%)	1年	92.2	91.1	79.5	90
	3年	79	68.5	48.2	81.7
	5年	71.5	56.4	34.6	76.8
复发概率 (%)	1年	39.8	43.7	——	19.8
	3年	51.9	56.8	——	30.5
	5年	65.4	72.3	——	35.8

* 此报告仅供有权访问“医库云AI肝癌临床决策支持系统”(“支持系统”)的癌症治疗医师使用。“支持系统”以及此报告旨在提供信息, 以帮助合格的临床医生制定患者医疗决策。医库云对患者护理行为不承担任何责任。 癌症治疗医师全权负责所有患者护理决策, 使用“支持系统”和此报告不会减轻癌症治疗医师对患者护理的责任。

Page 5

图 2 示典型病例 1 AI 报告中的患者信息 (a、b)、指南方案推荐结果 (c) 及 AI 辅助诊断结果 (d)

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:00:18

诊断治疗疾病: 原发性肝癌
患者ID: 1277084947621982209
患者类型: 初诊患者

患者信息

患者特征

疾病基本情况

肝癌既往治疗史

影像学

性别: 女
年龄: 52.00岁
体能状态: ECOG1 能自由走动及从事轻体力活动, 包括一般家务或办公室工作, 但不能从事较重的体力活动
体重: 48.50 kg
身高: 155.00 cm

是否复发: 否
是否转移: 否
是否淋巴结转移: 否
是否血管侵犯: 否
是否周围器官: 否
是否淋巴结转移: 否
是否器官肿大或静脉曲张: 无

入院疾病诊断: 肝细胞肝癌
肝外转移: 否
淋巴结转移: 否
大血管侵犯: 否

次数: 1
治疗方案

病灶数: 5个
肿瘤总大小: 13.00 cm
门静脉累及或癌栓形成: 否
距各肝管最近距离大于 5 mm: 否
最大病变的大小: 9.00 cm
累及肝段: 左外叶下段, 右前叶上段
门静脉高压: 否
术后残肝体积大于 40%: 是

Page 2

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:00:18

a

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:00:18

肝功能评估

既往病史

生化检查结果

综合性指标

基础性肝脏疾病: 无
有无腹水: 无
肝功能Child-Pugh评分: 5
Fib-4指数: 2.2
Meld评分: 1.1

有无肝性脑病: 无
乙肝两对半结果: HBsAg (表面抗原): 阴性 (-), HBeAg (表面抗体): 阴性 (-), HBeAb (e抗体): 阴性 (-), HBeAb (核心抗体): 阴性 (-)

心脏病史: 无
糖尿病史: 无
呼吸系统疾病史: 无
肺结核史: 无
高血压病史: 无

甲胎蛋白/AFP: 7.98 ng/mL
癌胚蛋白/CEA: 0.58 ng/mL
冬氨酸氨基转移酶/AST: 34 U/L
谷氨酸转氨酶/ALT: 11
直接胆红素/DB: 2.60 μmol/L
总胆红素/TB: 11.50 μmol/L
血红蛋白/HGB: 131 g/L
血小板/PLT: 209×10⁹/L
白细胞/WBC: 10.01×10⁹/L
中性粒细胞比/Neu%: 72.10%
淋巴细胞比/Lym%: 20.30%

NLR (Neu%/Lym%): 3.55
单核细胞比/Mono%: 6.30%
嗜酸性粒细胞比/Eos%: 0.80%
嗜碱性粒细胞比/Baso%: 0.50%
尿素/UREA: 4.70 mmol/L
肌酐/CREA: 58.00 μmol/L
胱抑素C/CysC: 0.73 ng/L
凝血酶原时间/PT: 11 s
活化部分凝血酶时间/APTT: 28 s
国际标准化比值/INR: 1.02
纤维蛋白原/FIB: 3.93 g/L

肝癌分期 (中国标准): IIb
肝癌分期 (TNM分期): T3N0M0

Page 3

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:00:18

b

指南方案推荐结果

手术切除

推荐

理由: 患者为 CNLC IIb期肝癌, 肿瘤数目为5, 且位于同侧半肝, 手术切除有可能获得比其他治疗方式更好的效果, 但建议采取更为谨慎的术前评估。

介入

推荐

理由: 患者为 CNLC IIb期肝癌, Child-Pugh A 级, ECOG 评分 1, 属于介入治疗的适应证。

中医中药治疗

推荐

理由: 中医中药能够改善患者的临床症状, 提高集体的抵抗力, 提高生活质量。

Page 4

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:00:18

c

AI辅助诊断结果

治疗方案智能推荐

生存和复发状况智能预测

* 基于四川大学华西医院提供的临床数据进行训练

手术切除

推荐系数 50.96%

介入

推荐系数 44.75%

射频消融

推荐系数 2.6%

肝移植

推荐系数 1.69%

		各方案下的生存和复发状况智能预测			
		估计范围/值			
生存概率 (%)	1年	52.6	56	50	51.6
	3年	37.9	32.4	20	33.8
	5年	24.6	20.1	11.7	24.3
复发概率 (%)	1年	63.1	66.3	----	57.3
	3年	76.9	84.8	----	73.4
	5年	89.6	91.8	----	85.9

Page 5

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:00:18

d

图3 示典型病例2 AI 报告中的患者信息 (a、b)、指南方案推荐结果 (c) 及 AI 辅助诊断结果 (d)

http://www.gensurg.cn
(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:41:59

诊断治疗疾病: 原发性肝癌
患者ID: 1277084947613593601
患者类型: 复诊患者

患者信息

患者特征

疾病基本情况

肝癌既往治疗史

影像学

性别: 女 年龄: 44.00岁
体能状态: ECOG1 能自由走动及从事轻体力活动, 包括一般家务或办公室工作, 但不能从事较重的体力活动
身高: 158.00 cm
体重: 63.00 kg

入院疾病诊断: 肝细胞肝癌 是否复发: 是
肝外转移: 是 侵犯周围器官: 是
淋巴结转移: 否 淋巴转移位置: 无
大血管侵犯: 否 器官肿大或静脉曲张: 有

肝癌既往治疗史

影像学

次数 1 2 3 4 5 6 7 8 9
治疗方案 介入 介入 介入 介入 介入 介入 介入 手术切除

影像学

病灶数: 7个 最大病变的大小: 5.00 cm
肿瘤总大小: 20.00 cm
门静脉累及或癌栓形成: 否
距各肝管最近距离大于 5 mm: 否
累及肝段: 左外叶上段, 左外叶下段, 左外叶下段, 左外叶下段, 右前叶上段
门静脉高压: 是
术后残肝体积大于 40% : 否

Page 2

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:41:59

指南方案推荐结果

放射治疗 推荐

理由: 患者为 CNLC IIIb期肝癌, 发生了远处转移, 对于一部分寡转移灶者, 可行SBRT放疗, 延长生存; 同时外放疗也可减轻部分转移灶的疼痛、梗阻或出血等症状。在放疗中需注意放射剂量的控制。

系统治疗 推荐

理由: 患者为 CNLC IIIb期肝癌, 且发生肝外转移, 为系统治疗的适应证。

中医中药治疗 推荐

理由: 中医中药能够改善患者的临床症状, 提高集体的抵抗力, 减轻放疗不良反应, 提高生活质量。

生存和复发状况智能预测

各方案下的生存和复发状况智能预测

估计范围/值

手术切除 射频消融 介入 肝移植

生存概率(%) 1年 21.1 21.2 16.7 20.6
3年 9.3 9.7 8.9 12.8
5年 3.2 2.3 2.2 6.5
复发概率(%) 1年 83.4 85.6 ---- 81.9
3年 91.6 93.1 ---- 90.3
5年 95.1 98.4 ---- 96.7

Page 4

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:41:59

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:41:59

肝功能评估

既往病史

生化检查结果

综合性指标

基础性肝脏疾病: 乙肝 有无肝性脑病: 无
有无腹水: 无 乙肝两对半结果: HBsAg (表面抗原): 阳性 (+), HBsAb (表面抗体): 阴性 (-), HBeAg (e抗原): 阴性 (-), HBeAb (e抗体): 阳性 (+), HBcAb (核心抗体): 阳性 (+)
肝功能Child-Pugh评分: 5
Fib-4指数: 11.8
Meld评分: 8.8

既往病史

生化检查结果

综合性指标

心脏病史: 无 糖尿病史: 无 呼吸系统疾病史: 无
肺结核史: 无 高血压病史: 无

生化检查结果

综合性指标

甲胎蛋白/AFP: 1210.00 ng/mL NLR (Neu%/Lym%): 10.47
癌胚蛋白/CEA: 2.89 ng/mL 单核细胞比/Mono%: 5.80%
冬氨酸氨基转移酶/AST: 74 U/L 嗜酸性粒细胞比/Eos%: 1.30%
谷氨酸转氨酶/ALT: -- 嗜碱性粒细胞比/Baso%: 0.30%
直接胆红素/DB: 12.20 μmol/L 尿素/UREA: 1.40 mmol/L
总胆红素/TB: 32.60 μmol/L 肌酐/CREA: 69.00 μmol/L
血红蛋白/HGB: 114 g/L 胱抑素C/CysC: 0.72 ng/L
血小板/PLT: 65×10⁹/L 凝血酶原时间/PT: 14 s
白细胞/WBC: 3.08×10⁹/L 活化部分凝血活酶时间/APTT: 28 s
中性粒细胞比/Neu%: 75.40% 国际标准化比值/INR: 1.23
淋巴细胞比/Lym%: 7.20% 纤维蛋白原/FIB: 1.09 g/L

综合性指标

肝癌分期 (中国标准): IIIb 肝癌分期 (TNM分期): TNM1

Page 3

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:41:59

AI辅助诊断结果

治疗方案智能推荐

* 基于四川大学华西医院提供的临床数据进行训练

介入 肝移植 射频消融 手术切除

推荐系数 26.25% 2.64% 2.4% 2.05%

生存和复发状况智能预测

各方案下的生存和复发状况智能预测

估计范围/值

手术切除 射频消融 介入 肝移植

生存概率(%) 1年 21.1 21.2 16.7 20.6
3年 9.3 9.7 8.9 12.8
5年 3.2 2.3 2.2 6.5
复发概率(%) 1年 83.4 85.6 ---- 81.9
3年 91.6 93.1 ---- 90.3
5年 95.1 98.4 ---- 96.7

Page 5

打印者: YIKUMED 打印时间: 2020-07-01 19:41:59

图 4 示典型病例 3 AI 报告中的患者信息 (a、b)、指南方案推荐结果 (c) 及 AI 辅助诊断结果 (d)

准为 I a、TNM 分期标准为 T1aN0M0, AI 肝癌系统推荐的治疗方案首选手术切除、次选射频消融; 病例 2 (图 3), 中国标准肝癌分期为 II b、TNM 分期标准为 T3N0M0, AI 肝癌系统推荐的治疗方案首选手术切除、次选介入治疗; 病例 3 (图 4), 中国标准肝癌分期为 III b、TNM 分期标准为 TNM1, AI 肝癌系统推荐的治疗方案首选介入治疗、次选肝移植。综合推荐方案并结合各种方案下的生存和复发状况预测, 病例 1 选择了射频消融, 病例 2 选择了右半肝切除, 病例 3 选择了肝动脉化疗栓塞术, 此 3 例患者治疗后均顺利出院。可见, 参照 AI 肝癌系统生成的 AI 报告更有利医生及患者家属对治疗的选择。目前正在将 AI 肝癌系统在四川、广东、山东的部分三甲医院进行进一步验证。

4 小结

本研究中的 AI 肝癌系统是基于我院提供的 2006–2016 年期间具有完整随访资料的 5 008 例肝癌患者的数据, 通过 AI 思维、机器学习以及神经网络方法建立的肝病实际诊疗病例的预测模型, 然后采用我院 2019 年 11 月至 2020 年 2 月期间的病例对该系统进行了验证, 结果证明了临床应用准确率为 90% 左右, 效果较为满意。总结本 AI 肝癌系统具有如下优点: ① 提高年轻医生和基层医院的诊疗水平, 帮助他们根据患者的临床检查结果及影像学资料来准确分析患者应采用的最佳治疗方案, 同时提高了其自身的诊疗水平, 避免了病情的耽误。② 提高医生向患者解释的可信度, 在通常情况下, 医生向患者及家属建议肝癌需行手术或介入治疗时, 患者及家属最希望了解的是手术风险有多大、术后复发概率多大、还能存活多久等问题, 但是医生往往只能提供不确定的主观回答, 然而有了本系统后就可以用 5 000 多例患者并通过 AI 精准计算出来的客观预测结果给患者以充满信心的回答。

③ 增加患者对医生的信任, 在术前能给予患者智能的预测结果, 患者会更加满意和信任。④ 是走向智能科室的初步体验, 是医学的创新和进步。

参考文献

- 1 严律南. 人工智能在医学领域应用的现状与展望. 中国普外基础与临床杂志, 2018, 25(5): 513-514.
- 2 赵永恒, 吴尚蔚. 人工智能在肝胆外科中的应用. 中国普外基础与临床杂志, 2018, 25(5): 519-522.
- 3 Shen D, Wu G, Suk HI. Deep learning in medical image analysis. *Annu Rev Biomed Eng*, 2017, 19: 221-248.
- 4 Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Med Image Anal*, 2017, 42: 60-88.
- 5 宋彬, 黄子星. 人工智能在影像学的发展、现状及展望. 中国普外基础与临床杂志, 2018, 25(5): 523-527.
- 6 Byrne MF, Chapados N, Soudan F, et al. Real-time differentiation of adenomatous and hyperplastic diminutive colorectal polyps during analysis of unaltered videos of standard colonoscopy using a deep learning model. *Gut*, 2019, 68(1): 94-100.
- 7 Mori Y, Kudo SE, Misawa M, et al. Real-time use of artificial intelligence in identification of diminutive polyps during colonoscopy: a prospective study. *Ann Intern Med*, 2018, 169(6): 357-366.
- 8 Vinsard DG, Mori Y, Misawa M, et al. Quality assurance of computer-aided detection and diagnosis in colonoscopy. *Gastrointest Endosc*, 2019, 90(1): 55-63.
- 9 Ahmad OF, Soares AS, Mazomenos E, et al. Artificial intelligence and computer-aided diagnosis in colonoscopy: current evidence and future directions. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2019, 4(1): 71-80.
- 10 He J, Baxter SL, Xu J, et al. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nat Med*, 2019, 25(1): 30-36.
- 11 Cabitza F, Rasoini R, Gensini GF. Unintended consequences of machine learning in medicine. *JAMA*, 2017, 318(6): 517-518.
- 12 Gordon L, Grantcharov T, Rudzicz F. Explainable artificial intelligence for safe intraoperative decision support. *JAMA Surg*, 2019, 154(11): 1064-1065.

收稿日期: 2020-07-20 修回日期: 2020-07-29

本文编辑: 李纓来/蒲素清