



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.01.011
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.01.011
China Journal of General Surgery, 2024, 33(1):100-107.

· 文献综述 ·

肝切除术后肝功能衰竭风险预测模型研究进展

许淙溪^{1,3}, 王继涛^{2,3}, 刘登湘^{1,3}, 郭军¹, 魏家豪⁴

(河北省邢台市人民医院 1. 肿瘤内科 2. 肝胆外科, 河北 邢台 054000; 3. 河北省肝硬化与门静脉高压重点实验室, 河北 邢台 054000; 4. 承德医学院 研究生学院, 河北 承德 067000)

摘要

肝细胞癌 (HCC) 是最常见的原发性肝癌, 是全球范围内最常见和高致死率的癌症之一。目前, 根治性肝切除术依然是早期和部分中晚期 HCC 最有效的治疗手段之一。肝切除围手术期并发症是影响 HCC 患者长短期预后的关键影响因素, 其中肝切除术后肝功能衰竭 (PHLF) 是肝切除术后常见的并发症之一。PHLF 是肝切除患者围手术期死亡的主要病因, 术前及时发现高危 PHLF 患者是亟待解决的临床实际问题和研究热点。传统肝功能评估方法应用广泛, 能够区分出 PHLF 高危患者, 但其预测准确性相对不高。近些年以来, 随着人工智能技术的发展, 越来越多的高级算法纳入更全面危险因素模型被应用于 PHLF 预测领域。国内外学者通过各类统计学方法构建了新式 PHLF 相关预测模型, 并证实了模型的准确性得到明显提升。经过前期大量文献检索, 笔者通过归纳总结 PHLF 风险预测模型的相关文献, 对其研究进展进行综述, 以方便临床医生和研究者更全面地了解各类型的 PHLF 预测模型。

关键词

癌, 肝细胞; 肝切除术; 肝功能衰竭; 综述

中图分类号: R735.7

Research progress of risk prediction models for post-hepatectomy liver failure

XU Congxi^{1,3}, WANG Jitao^{2,3}, LIU Dengxiang^{1,3}, GUO Jun¹, WEI Jiahao⁴

(1. Department of Medical Oncology 2. Department of Hepatobiliary Surgery, Xingtai People's Hospital, Xingtai, Hebei 054000, China; 3. Hebei Key Laboratory of Liver Cirrhosis and Portal Hypertension, Xingtai, Hebei 054000, China; 4. Graduate School of Chengde Medical College, Chengde, Hebei 067000, China)

Abstract

Hepatocellular carcinoma (HCC) is the most common primary liver cancer and ranks among the most prevalent and highly lethal cancers worldwide. Radical hepatectomy remains one of the most effective treatment methods for early and some intermediate to advanced stages of HCC. Complications during the perioperative period of liver resection are critical factors affecting the long-term and short-term prognosis of HCC patients, with post-hepatectomy liver failure (PHLF) being a common complication after liver resection. PHLF is a major cause of perioperative death in liver resection patients, and the timely identification of patients with high-risk PHLF before surgery is a pressing clinical issue and research focus. Traditional methods of liver function assessment are widely used and can distinguish high-risk PHLF patients, but their predictive accuracy is relatively low. In recent years, with the

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目 (H2022108003)。

收稿日期: 2023-07-05; 修订日期: 2023-09-25。

作者简介: 许淙溪, 河北省邢台市人民医院硕士研究生, 主要从事肝胆恶性肿瘤基础与临床方面的研究。

通信作者: 刘登湘, Email: rmyy666@163.com

development of artificial intelligence technology, an increasing number of advanced algorithms and models incorporating more comprehensive risk factors have been applied in the field of PHLF prediction. Scholars both in China and abroad have constructed new PHLF-related prediction models through various statistical methods, confirming a significant improvement in the accuracy of these models. After an extensive literature review, the authors summarize the relevant literature on PHLF risk prediction models, providing a comprehensive overview of the research progress, so as to facilitate clinicians and researchers in gaining a more comprehensive understanding of various types of PHLF prediction models.

Key words Carcinoma, Hepatocellular; Hepatectomy; Liver Failure; Review

CLC number: R735.7

肝细胞癌 (hepatocellular carcinoma, HCC) 是世界范围内最常见和高致死率的癌症之一, 也是我国四大常见恶性肿瘤之一^[1]。肝切除术依然是目前 HCC 最重要的根治性治疗手段之一^[2-4]。近些年以来, 伴随术者技术水平的提高, 断肝器械、手术设备及围术期管理策略的不断进步, 肝切除术的适应证范围明显扩大、例数明显增多, 术后病死率也逐渐下降^[5]。然而, 肝切除术后并发症的发生率仍然较高^[6]。肝切除术后肝功能衰竭 (post-hepatectomy liver failure, PHLF) 是肝切除术后最严重的并发症之一, 也是患者术后死亡的主要诱因, 严重威胁着患者的生命安全^[7-8]。国际肝脏外科研究小组 (International Study Group of Liver Surgery, ISGLS) 将 PHLF 定义为肝脏维持其合成、排泄和解毒功能的能力受损, 其特征是术后第 5 天或之后国际标准化比率 (international normalized ratio, INR) 增加, 并伴有高胆红素血症^[9]。在临床实践中, 及时、准确地预测 PHLF 发生, 尽早筛选 PHLF 高危患者, 并提前对高危患者采取治疗可能会带来更高的临床获益^[10]。国内外很多学者构建了基于 Logistic 回归等传统统计学方法的模型来预测 PHLF, 但仍存在着纳入危险因素不全面、预测效能相对不足等缺点, 至今仍未有被广泛接受的 PHLF 预测方法。

临床诊疗过程中产生的高通量信息数据越来越庞大, 使用传统统计学方法难以精准、快速地进行数据处理并挖掘内在规律。人工智能可以通过强大的数据处理能力, 使用多种高级算法分析并归纳大量嘈杂数据集, 并从中发现复杂的关系, 便于指导临床决策^[11]。人工智能的发展为解决 PHLF 早期预测问题带来了新的可能性。本文综述

了 PHLF 风险预测模型的研究现状及进展, 以期为更好地构建和应用 PHLF 风险预测模型提供参考。

1 常见 PHLF 评估方法

1.1 Child-Turcotte-Pugh 评分

Child-Turcotte-Pugh (CTP) 评分是评估肝功能的传统评分标准, 最初由 Child 和 Turcotte 于 1964 年提出, 随后由 Pugh 等^[12]修改, 包含腹水、肝性脑病、总胆红素、白蛋白 (albumin, ALB) 和凝血酶原时间 (prothrombin time, PT) 或 INR 等五个指标。该方法易于计算, 能够区分出肝功能不良的患者。但是其有一定的局限性: 首先, CTP 评分没有考虑肾功能的影响; 其次, CTP 评分包含的腹水和肝性脑病严重等级的判断主观性强; 再次, 同属 CTP 评分 A 级的患者肝功能储备仍然存在差异; 最后, CTP 评分的开发基于临床经验^[13], 且包含的 5 项指标权重相等, 因此在评估肝功能方面逊色于基于回归方法开发的评估方法^[14-16]。

1.2 终末期肝病模型 (model of end-stage liver disease, MELD) 评分

2000 年 Malinchoc 等^[17]研究了美国 4 个医疗中心的 231 例经颈静脉肝内门体分流术 (transjugular intrahepatic portosystemic shunts, TIPS) 患者数据, 进一步开发了基于血清肌酐和胆红素、INR 及肝病病因 MELD 评分。该模型最早用于评估 TIPS 术后患者的生存率, 并被广泛应用于评估肝硬化、肝移植、肝切除手术等预后风险。2001 年, Kamath 等^[18]验证了 MELD 评分在多种病因患者中的有效性。MELD 评分考虑了肾功能影响因素, 更适用于合并肝硬化的患者^[19], 但未考虑门静脉高压因素,

并且仍然包含主观因素。相较于CTP评分，它的一大优势在于根据变量对预后的影响分配了不同的权重，但也因此需要更复杂的计算，导致其在床旁的实用性不如CTP评分^[16]。

1.3 吲哚菁绿 15 min 滞留率 (indocyanine green retention rate at 15 min, ICG-R15)

ICG-R15反映肝细胞摄取与排泄能力，可以用于动态监测肝脏储备功能，优于血清生化指标^[20]。有研究^[21]显示，术中动态ICG比术前指标更能反映术后残余肝脏的功能。Wang等^[22]比较了ICG-R15、CTP和MELD评分对PHLF的预测价值，发现ICG-R15的曲线下面积 (area under the curve, AUC) 值最高。然而ICG-R15易受混杂因素影响^[23]，比如口服抗凝药物或患有严重心脏病会增加ICG-R15，胆汁排泄障碍、肝血流量减少也可影响ICG-R15^[24]，因此以ICG-R15为基础构建模型有一定的局限性。

1.4 ALB-胆红素 (ALB-bilirubin, ALBI) 评分、血小板-白蛋白-胆红素 (platelet-ALB-bilirubin, PALBI) 评分

2015年Johnson等^[25]开发了ALBI评分模型，此模型仅包括血清ALB和胆红素两个简单客观的指标。由于大部分接受肝切除手术的HCC患者的肝功能分级为CTP A/B级，该评分将此类患者进一步

细分为不同肝功能分级，更精细地评估肝功能。2020年，Fagenson等^[26]通过分析13 783例患者数据发现ALBI评分预测PHLF的能力优于MELD评分 (AUC: 0.67 vs. 0.60)。尹子霄等^[15]比较了CTP评分、MELD评分和ALBI评分，也得出ALBI评分预测效能最优的结论。Zou等^[27]统计了473例患者数据，进一步比较了ALBI评分与CTP评分、MELD评分和ICG-R15的预测能力，证实了ALBI评分预测能力最好。

PALBI评分在ALBI评分的基础上纳入血小板计数 (platelet count, PLT)，能够更好地反映患者综合情况。Lu等^[28]通过2 038例患者数据证实了PALBI评分可以预测接受肝切除术的肝功能分级CTP A级HCC患者发生PHLF的概率，AUC值为0.69。

传统肝功能评估方法构建时间较早，可用于预测PHLF的发生，但诊断效能相对不高^[7] (表1)。随着时代发展，越来越多的研究发现了多种术前和术中临床参数均影响PHLF发生。如何利用人工智能方法，将肝脏功能 (合成、代谢和排泄)、未来残肝体积 (future liver remnant, FLR)、存在肝硬化和门静脉高压、手术相关因素等临床参数统筹分析，构建更全面的PHLF预测模型，从而提高模型预测能力成为研究者们密切关注的问题。

表1 传统评估方法

Table 1 Traditional evaluation methods

评分模型	发表年份	入组例数	外部验证	纳入模型的危险因素	预测能力
CTP评分	2017	275	无	胆红素、ALB、PT、腹腔积液、肝性脑病	AUC=0.83
ICG-R15、MELD评分	2018	185	无	ICG-R15 MELD评分;胆红素、肌酐、INR、肝病病因	ICG-R15:AUC=0.72 MELD:AUC=0.64;CTP:AUC=0.55
ALBI评分	2020	13 783	无	胆红素、ALB	ALBI:AUC=0.67;MELD:AUC=0.60
PALBI评分	2019	2 038	无	胆红素、ALB、PLT	PALBI:AUC=0.69;ALBI:AUC=0.68;CTP:AUC=0.53

2 Logistic 回归模型

2.1 手术相关模型

Wang等^[29]基于总胆红素、ALB、 γ -谷氨酰转肽酶 (γ -glutamyl transpeptidase, GGT)、PT、临床显著门静脉高压 (clinically significant portal hypertension, CSPH) 和大范围肝切除术构建 Logistic 回归模型，该模型C指数为0.88，预测性能优于传统的CTP、MELD、ALBI评分。Xu等^[30]结合三个术前变量 (总胆红素、INR、PLT) 和两个术中变量 (切除范围、出血量) 建立 Logistic 回归模

型。该模型的AUC为0.84，同样优于传统的MELD和ALBI评分。近期另一项回顾性临床队列研究^[31]构建了基于CSPH、肝切除范围、ALT、总胆红素和PLT的Logistic回归模型，预测PHLF的AUC为0.86。

2.2 影像相关模型

2.2.1 ALPlat 标准 Yamamoto等^[32]回顾性分析了来自8个中心的876例接受肝切除的HCC患者的数据，纳入PLT、PT、ALB和肝残余 (liver remnant, Rem) 建立了Logistic回归模型——ALPlat标准。此标准预测PHLF的AUC为0.75。

2.2.2 天门冬氨酸氨基转移酶与血小板计数比值指数-标准未来残肝体积(aspartate aminotransferase to platelet ratio index-standardized future liver remnant, APRI-sFLR)模型 2021年, Mai等^[33]在一项纳入637例患者的单中心研究中,通过多因素Logistic回归分析发现,前白蛋白、肝硬化、APRI评分、sFLR和大范围肝切除术与PHLF显著相关。该研究对比了CTP评分、MELD评分、APRI评分、sFLR和APRI联合sFLR(APRI-sFLR)预测PHLF的能力,发现APRI-sFLR的预测能力最好(AUC=0.82)。该模型纳入了与肝体积相关的变量,获得了更好的预测效果。在一项回顾性研究中,Orimo等^[34]发现标准化残余肝细胞摄取指数是PHLF的独立危险因素,其预测PHLF的AUC为0.87。APRI-sFLR模型如果能结合SrHUI或其他能够代表残肝质量的指标,或许能提高模型的预测能力。

对有实质性肝病的患者来说,具备正常功能的肝细胞并不是均匀分布的,用CT测量的FLR不能准确评估残余肝功能^[35]。通过核成像直接测量肝脏代谢能力,如得-99m半乳糖人白蛋白显像(technetium-99m galactosyl human albumin scintigraphy, ^{99m}Tc GSA)^[36-37],能更准确地评估功能性残肝体积。有研究者^[38]构建了基于^{99m}Tc GSA的预后模型,预测PHLF的AUC为0.78。不过与CT相比,^{99m}Tc GSA在预测门静脉栓塞后大范围肝切除患者的PHLF方面不占优势^[39]。

2.3 联合模型

单个评分模型难以涵盖影响PHLF的所有有效因素。因此,一些学者联合多角度指标建模。瞬时弹性成像测量的肝硬度(liver stiffness, LS)可以反映肝纤维化严重程度,已被证实是PHLF的独立预测因素^[40]。LS在识别肝衰竭方面比CTP评分更敏感^[41-43]。将LS与其他指标结合,可以对CTP评分相同的人群进行进一步细分,达到更精准的预测效果。有学者^[44]纳入FLR指标和LS构建Logistic回归模型,模型的AUC为0.76。

将残肝体积及质量与手术相关因素联合考虑的模型也取得了不错的预测效果。Morino等^[45]纳入Rem-ALPlat指数和两个术中变量(肝蒂阻断次数和失血量)构建Logistic回归模型。该模型预测PHLF的AUC为0.88,预测能力高于仅使用Rem-ALPlat指数的模型。此外,还有学者^[46]联合放射组学特征、ALBI评分和ICG-R15建模,AUC为0.84。

联合多方面指标在提高模型预测能力的同时也会带来不方便应用的弊端。有研究者^[47]创建了包含11个变量的Logistic回归模型,AUC为0.83。但是当去除4个术中变量后,AUC下降为0.74。相比之下,有研究者^[48]纳入20个变量建模,AUC为0.80,但是只给出术前变量时AUC仅下降为0.78。该模型虽然由于纳入变量多而略为繁琐,但无论用于术前还是术后均能保持稳定的性能(表2)。

表2 基于Logistic回归方法构建的预测模型
Table 2 Prediction models based on Logistic regression

评分模型或第一作者	出版年份	入组例数	外部验证	纳入模型的PHLF危险因素	预测能力
Wang等 ^[29]	2021	开发队列:1 036;内部验证:1 035;外部验证:590	有	总胆红素、ALB、GGT、PT、CSPH、大切除术	C指数=0.88
Xu等 ^[30]	2021	开发队列:344;内部验证:148;外部验证:167	有	术前:总胆红素、INR、PLT;术中:切除范围和失血量	AUC=0.84
Wang等 ^[31]	2022	训练集:416;验证集:179	无	门静脉高压、切除范围、ALT、总胆红素和PLT	AUC=0.86
ALPlat标准	2020	训练集:876;验证集:250	有	PT-INR、Rem、PLT、ALB	AUC=0.75
APRI-sFLR	2021	637	无	APRI、sFLR	AUC=0.82
^{99m} Tc GSA	2023	102	无	全肝最大 ^{99m} Tc GSA去除率、肝脏计数比	AUC=0.78
Huang等 ^[44]	2023	训练集:97;验证集:49	无	LS最小值、FLR/估计肝脏总体积	AUC=0.76
Morino等 ^[45]	2023	597	无	Rem-ALPlat指数、PM数量、失血量	AUC=0.88
Liu等 ^[47]	2020	15 636	无	术前:男性、腹水、美国麻醉医师评分、总胆红素、AST、组织学、新辅助治疗;术中:切除程度、入路、肝脏质地、胆道重建	AUC=0.83
Wang等 ^[48]	2023	2 192	无	术前:年龄、性别、体质量指数(BMI)、美国麻醉医师评分、Charlson合并症指数、既往肝损害、既往腹部手术、既往肝切除术、手术指征、病变数量、病变大小、术前静脉曲张、PLT、血红蛋白、INR、总胆红素;术中:手术入路、切除节段数、同期手术和血管重建	AUC=0.80

3 机器学习模型

3.1 人工神经网络模型 (artificial neural network model, ANN)

Mai 等^[49]结合 PLT、PT、总胆红素、AST 和 sFLR 建立并验证了预测 PHLF 的 ANN，该模型的 AUC 值为 0.88。该模型同时考虑了肝切除术后残余肝细胞的体积和肝功能情况，并且所用到的指标易于获取，适合应用于临床。但是由于缺乏数据，该模型没有纳入 ICG-R15 预测因子。因此未来应该结合更有效的风险因素构建更全面的模型。并且该研究为单中心回顾性研究，未来需要全面的多中心前瞻性研究进一步验证该模型的可靠性和实用性。

Lu 等^[50]回顾性研究了 871 例乙型肝炎病毒相关 HCC 患者，采用随机森林算法和 Logistic 回归法确定乙型肝炎病毒相关 HCC 患者发生 PHLF 的独立危险因素为：术前 ALB、PT、总胆红素、AST、ICG-R15、sFLR 和 CSPH，并基于这些危险因素建立 ANN 来预测 PHLF 的风险，该模型在训练集、内部验证和外部验证集的 AUC 分别为 0.85、0.86 和 0.87。相较于

Mai 等^[49]的模型，该模型考虑了 ICG-R15 预测因子，并且在外部验证集中 AUC 同样较高。

3.2 LightGBM 模型

Wang 等^[51]纳入 875 例多中心患者数据进行回顾性研究，筛选出 PLT、年龄、肌酐 (Cr)、INR 和甲胎蛋白 (AFP) 为 PHLF 的独立危险因素，结合这些因素构建了采用 LightGBM 算法的机器学习预测模型 (ML PHLF) 并进行验证。该模型在训练队列、验证队列和测试队列中的 AUC 分别为 0.94、0.87 和 0.82。研究者还将该模型与传统的 ALBI 评分、FIB-4、APRI、MELD 评分和 CTP 评分进行比较，结果表明 ML PHLF 的预测能力最好。该模型采用的临床参数采集简便且客观性强，适用于大多数临床情景。基于机器学习构建预测模型不仅可以纳入更多临床参数，而且可以发现藏匿于复杂数据集中的规律，从而提高模型的预测能力。该研究采用 ISGLS 标准定义 PHLF，且 94.5% 的患者 CTP 评分为 A 级，因此未来有待于进行前瞻性的多中心研究来确定 ML PHLF 模型在 CTP 评分 B、C 级和其他标准定义的 PHLF 中的预测价值 (表 3)。

表 3 基于机器学习方法构建的预测模型

Table 3 Prediction model based on machine learning

评分模型或第一作者	出版年份	入组例数	外部验证	纳入模型的 PHLF 危险因素	建模方法及预测能力
Mai 等 ^[49]	2020	训练集:265;验证集:88	无	PLT、PT、总胆红素、AST、sFLR	ANN, AUC=0.88
Lu 等 ^[50]	2022	871	无	术前 ALB、PT、总胆红素、AST、ICG-R15、sFLR、CSPH	ANN, AUC=0.87
ML PHLF	2022	875	无	PLT、年龄、Cr、INR、AFP	LightGBM 算法建模, AUC=0.94

4 总结与展望

笔者在 PubMed、谷歌学术、Web of Science 和 CNKI 数据库检索筛选了包含 PHLF 预测模型的文献。传统评估方法的 AUC 在 0.64~0.83 之间，中位 AUC 为 0.69；基于 Logistic 回归的模型 AUC 在 0.75~0.88 之间，中位 AUC 为 0.83；而基于机器学习方法建立的预测模型 AUC 在 0.85~0.94 之间，中位 AUC 为 0.88。这提示基于机器学习方法构建的预测模型具有更好的预测能力。然而，目前应用机器学习方法建模的研究仍然较少。因此，未来可以基于机器学习方法构建更多具有较好预测能力的预测模型。当然，我们也要考虑到机器学习模型现在

仍然是一个“黑匣子”，可解释性还不高。今后可以进一步开发解释性更高的机器学习模型，在提高模型预测能力的同时，使医护人员更清楚地理解模型的预测原理，这也有助于医护人员及时进行医疗干预和促进开发更加优秀的模型。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明：许淙溪负责文献检索与撰写初稿；王继涛负责选题与修改文章；刘登湘负责设计指导研究，对整体写作过程中的问题进行指导；郭军负责文章知识指导、校对文章；魏家豪负责检索文献与筛选文献、校对文章。

参考文献

- [1] Feng RM, Zong YN, Cao SM, et al. Current cancer situation in China: good or bad news from the 2018 Global Cancer Statistics? [J]. *Cancer Commun (Lond)*, 2019, 39(1): 22. doi: 10.1186/s40880-019-0368-6.
- [2] Khatri VP, Petrelli NJ, Belghiti J. Extending the frontiers of surgical therapy for hepatic colorectal metastases: is there a limit? [J]. *J Clin Oncol*, 2005, 23(33): 8490-8499. doi: 10.1200/JCO.2004.00.6155.
- [3] Weitz J, Blumgart LH, Fong Y, et al. Partial hepatectomy for metastases from noncolorectal, nonneuroendocrine carcinoma[J]. *Ann Surg*, 2005, 241(2): 269-276. doi: 10.1097/01.sla.0000150244.72285.ad.
- [4] Vogel A, Meyer T, Sapisochin G, et al. Hepatocellular Carcinoma[J]. *Lancet*, 2022, 400(10360):1345-1362. doi: 10.1016/S0140-6736(22)01200-4.
- [5] 邱洁净,莫新少,滕艳娟,等.肝细胞癌患者肝切除术后严重并发症列线图风险预测模型的建立与评价[J].*中国普通外科杂志*, 2021, 30(1):24-31. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2021.01.004.
- Qiu JJ, Mo XS, Teng YJ, et al. Establishment and evaluation of a nomogram risk prediction model for severe complications in patients after hepatectomy for hepatocellular carcinoma[J]. *China Journal of General Surgery*, 2021, 30(1): 24-31. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2021.01.004.
- [6] Berardi G, Ratti F, Sposito C, et al. Model to predict major complications following liver resection for HCC in patients with metabolic syndrome[J]. *Hepatology*, 2023, 77(5): 1527-1539. doi: 10.1097/HEP.0000000000000027.
- [7] Morandi A, Risaliti M, Montori M, et al. Predicting post-hepatectomy liver failure in HCC patients: a review of liver function assessment based on laboratory tests scores[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2023, 59(6):1099. doi: 10.3390/medicina59061099.
- [8] Søreide JA, Deshpande R. Post hepatectomy liver failure (PHLF) - Recent advances in prevention and clinical management[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2021, 47(2):216-224. doi: 10.1016/j.ejso.2020.09.001.
- [9] Rahbari NN, Garden OJ, Padbury R, et al. Posthepatectomy liver failure: a definition and grading by the International Study Group of Liver Surgery (ISGLS)[J]. *Surgery*, 2011, 149(5): 713-724. doi: 10.1016/j.surg.2010.10.001.
- [10] Alba AC, Agoritsas T, Walsh M, et al. Discrimination and calibration of clinical prediction models: users' guides to the medical literature[J]. *JAMA*, 2017, 318(14): 1377-1384. doi: 10.1001/jama.2017.12126.
- [11] Haug CJ, Drazen JM. Artificial intelligence and machine learning in clinical medicine, 2023[J]. *N Engl J Med*, 2023, 388(13):1201-1208. doi: 10.1056/NEJMra2302038.
- [12] Pugh RN, Murray-Lyon IM, Dawson JL, et al. Transection of the oesophagus for bleeding oesophageal varices[J]. *Br J Surg.*, 1973, 60(8):646-649. doi: 10.1002/bjs.1800600817.
- [13] Kok B, Abraldes JG. Child-pugh classification: time to abandon?[J]. *Semin Liver Dis*, 2019, 39(1):96-103. doi: 10.1055/s-0038-1676805.
- [14] Durand F, Valla D. Assessment of the prognosis of cirrhosis: child-Pugh versus MELD[J]. *J Hepatol*, 2005, 42(1): S100-107. doi: 10.1016/j.jhep.2004.11.015.
- [15] 尹子霄,曹源,单人锋,等. Child-Pugh、MELD、ALBI评分预测肝癌R0切除术后肝衰竭风险的比较[J].*中国普通外科杂志*, 2017, 26(7):847-854. doi: 10.3978/j.issn.1005-6947.2017.07.006.
- Yin ZX, Cao Y, Shan RF, et al. Comparison of Child-Pugh, MELD and ALBI scoring systems in predicting postoperative liver failure after liver cancer R0 resection[J]. *China Journal of General Surgery*, 2017, 26(7): 847-854. doi: 10.3978/j.issn.1005-6947.2017.07.006.
- [16] Ruf A, Dirchwolf M, Freeman RB. From Child-Pugh to MELD score and beyond: taking a walk down memory lane[J]. *Ann Hepatol*, 2022, 27(1):100535. doi: 10.1016/j.aohep.2021.100535.
- [17] Malinchoc M, Kamath PS, Gordon FD, et al. A model to predict poor survival in patients undergoing transjugular intrahepatic portosystemic shunts[J]. *Hepatology*, 2000, 31(4): 864-871. doi: 10.1053/he.2000.5852.
- [18] Kamath PS, Wiesner RH, Malinchoc M, et al. A model to predict survival in patients with end-stage liver disease[J]. *Hepatology*, 2001, 33(2):464-470. doi: 10.1053/jhep.2001.22172.
- [19] Seyama Y, Kokudo N. Assessment of liver function for safe hepatic resection[J]. *Hepatol Res*, 2009, 39(2): 107-116. doi: 10.1111/j.1872-034x.2008.00441.x.
- [20] 薄飞,王燕,杜建文.白蛋白-胆红素评分、吲哚菁绿15min清除率与肝癌肝切除后发生肝衰的关系[J].*中国普通外科杂志*, 2020, 29(1):115-119. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2020.01.014.
- Bo F, Wang Y, Du JW. Relationship between albumin-bilirubin score, indocyanine green clearance rate for 15min and liver failure after hepatectomy for hepatocellular carcinoma[J]. *China Journal of General Surgery*, 2020, 29(1): 115-119. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2020.01.014.
- [21] Horisberger K, Rössler F, Oberkofler CE, et al. The value of intraoperative dynamic liver function test ICG in predicting postoperative complications in patients undergoing staged hepatectomy: a pilot study[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2023, 408(1):264. doi: 10.1007/s00423-023-02983-5.
- [22] Wang YY, Zhao XH, Ma L, et al. Comparison of the ability of Child-Pugh score, MELD score, and ICG-R15 to assess

- preoperative hepatic functional reserve in patients with hepatocellular carcinoma[J]. *J Surg Oncol*, 2018, 118(3):440-445. doi: [10.1002/jso.25184](https://doi.org/10.1002/jso.25184).
- [23] 余伟, 黄长山, 王谦, 等. 术前改善ICGR15对肝癌术后并发症及近期肝功能的影响[J]. *中国普通外科杂志*, 2021, 30(8):949-954. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2021.08.010](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2021.08.010).
- Yu W, Huang CS, Wang Q, et al. Influence of preoperative improvement of ICGR15 on postoperative complications and short-term liver function in patients after hepatectomy for liver cancer[J]. *China Journal of General Surgery*, 2021, 30(8): 949-954. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2021.08.010](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2021.08.010).
- [24] 栗雪峰, 李建生, 马金良, 等. 肝癌肝切除手术后肝功能恢复的影响因素分析及风险预测模型建立[J]. *中国普通外科杂志*, 2017, 26(7):825-830. doi: [10.3978/j.issn.1005-6947.2017.07.003](https://doi.org/10.3978/j.issn.1005-6947.2017.07.003).
- Li XF, Li JS, Ma JL, et al. Influential factors for liver function recovery from hepatectomy for liver cancer and risk prediction model establishment[J]. *China Journal of General Surgery*, 2017, 26(7):825-830. doi: [10.3978/j.issn.1005-6947.2017.07.003](https://doi.org/10.3978/j.issn.1005-6947.2017.07.003).
- [25] Johnson PJ, Berhane S, Kagebayashi C, et al. Assessment of liver function in patients with hepatocellular carcinoma: a new evidence-based approach-the ALBI grade[J]. *J Clin Oncol*, 2015, 33(6):550-558. doi: [10.1200/JCO.2014.57.9151](https://doi.org/10.1200/JCO.2014.57.9151).
- [26] Fagenson AM, Gleeson EM, Pitt HA, et al. Albumin-bilirubin score vs model for end-stage liver disease in predicting post-hepatectomy outcomes[J]. *J Am Coll Surg*, 2020, 230(4):637-645. doi: [10.1016/j.jamcollsurg.2019.12.007](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2019.12.007).
- [27] Zou H, Yang X, Li QL, et al. A comparative study of albumin-bilirubin score with child-pugh score, model for end-stage liver disease score and indocyanine green R15 in predicting posthepatectomy liver failure for hepatocellular carcinoma patients[J]. *Dig Dis*, 2018, 36(3):236-243. doi: [10.1159/000486590](https://doi.org/10.1159/000486590).
- [28] Lu LH, Zhang YF, Mu-Yan C, et al. Platelet-albumin-bilirubin grade: risk stratification of liver failure, prognosis after resection for hepatocellular carcinoma[J]. *Dig Liver Dis*, 2019, 51(10):1430-1437. doi: [10.1016/j.dld.2019.04.006](https://doi.org/10.1016/j.dld.2019.04.006).
- [29] Wang YY, Xiang BD, Ma L, et al. Development and validation of a nomogram to preoperatively estimate post-hepatectomy liver dysfunction risk and long-term survival in patients with hepatocellular carcinoma[J]. *Ann Surg*, 2021, 274(6):e1209-1217. doi: [10.1097/SLA.0000000000003803](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003803).
- [30] Xu B, Li XL, Ye F, et al. Development and validation of a nomogram based on perioperative factors to predict post-hepatectomy liver failure[J]. *J Clin Transl Hepatol*, 2021, 9(3):291-300. doi: [10.14218/JCTH.2021.00013](https://doi.org/10.14218/JCTH.2021.00013).
- [31] Wang JT, Zhang ZG, Shang D, et al. A novel nomogram for prediction of post-hepatectomy liver failure in patients with resectable hepatocellular carcinoma: a multicenter study[J]. *J Hepatocell Carcinoma*, 2022, 9: 901-912. doi: [10.2147/JHC.S366937](https://doi.org/10.2147/JHC.S366937).
- [32] Yamamoto G, Taura K, Ikai I, et al. ALPlat criterion for the resection of hepatocellular carcinoma based on a predictive model of posthepatectomy liver failure[J]. *Surgery*, 2020, 167(2):410-416. doi: [10.1016/j.surg.2019.09.021](https://doi.org/10.1016/j.surg.2019.09.021).
- [33] Mai RY, Zeng J, Lu HZ, et al. Combining aspartate aminotransferase-to-platelet ratio index with future liver remnant to assess preoperative hepatic functional reserve in patients with hepatocellular carcinoma[J]. *J Gastrointest Surg*, 2021, 25(3):688-697. doi: [10.1007/s11605-020-04575-w](https://doi.org/10.1007/s11605-020-04575-w).
- [34] Orimo T, Kamiyama T, Kamachi H, et al. Predictive value of gadoteric acid enhanced magnetic resonance imaging for posthepatectomy liver failure after a major hepatectomy[J]. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*, 2020, 27(8): 531-540. doi: [10.1002/jhbp.769](https://doi.org/10.1002/jhbp.769).
- [35] Espersen C, Borgwardt L, Larsen PN, et al. Comparison of nuclear imaging techniques and volumetric imaging for the prediction of postoperative mortality and liver failure in patients undergoing localized liver-directed treatments: a systematic review[J]. *EJNMMI Res*, 2021, 11(1):80. doi: [10.1186/s13550-021-00816-4](https://doi.org/10.1186/s13550-021-00816-4).
- [36] Miki A, Sakuma Y, Watanabe J, et al. Remnant liver function is associated with long-term survival in patients with hepatocellular carcinoma undergoing hepatectomy[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):15637. doi: [10.1038/s41598-023-42929-x](https://doi.org/10.1038/s41598-023-42929-x).
- [37] Cusumano C, Deshayes E, Guiu B, et al. Prevention of post-hepatectomy liver failure after major resection of colorectal liver metastases: is hepato-biliary scintigraphy the optimal tool?[J]. *Ann Transl Med*, 2023, 11(5):202. doi: [10.21037/atm-22-3665](https://doi.org/10.21037/atm-22-3665).
- [38] Kasai M, Ha-Kawa S, Aihara T, et al. Establishment and internal validation of a prognostic score for post-hepatectomy liver failure based on functional liver parameters estimated via TC-99m GSA[J]. *Cureus*, 2023, 15(7):e42297. doi: [10.7759/cureus.42297](https://doi.org/10.7759/cureus.42297).
- [39] Yao S, Taura K, Yoh T, et al. Nonsuperiority of technetium-99m-galactosyl human serum albumin scintigraphy over conventional volumetry for assessing the future liver remnant in patients undergoing hepatectomy after portal vein embolization[J]. *Surgery*, 2023, 173(2):435-441. doi: [10.1016/j.surg.2022.10.005](https://doi.org/10.1016/j.surg.2022.10.005).
- [40] Long H, Zhong X, Su L, et al. Liver stiffness measured by two-dimensional shear wave elastography for predicting symptomatic post-hepatectomy liver failure in patients with hepatocellular carcinoma[J]. *Ann Surg Oncol*, 2022, 29(1):327-336. doi: [10.1245/s10434-021-10563-4](https://doi.org/10.1245/s10434-021-10563-4).
- [41] Fang C, Sidhu PS. Ultrasound-based liver elastography: current results and future perspectives[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2020, 45

- (11):3463–3472. doi: [10.1007/s00261-020-02717-x](https://doi.org/10.1007/s00261-020-02717-x).
- [42] Han H, Hu H, Xu YD, et al. Liver failure after hepatectomy: a risk assessment using the pre-hepatectomy shear wave elastography technique[J]. Eur J Radiol, 2017, 86: 234–240. doi: [10.1016/j.ejrad.2016.11.006](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.11.006).
- [43] Shen Y, Zhou C, Zhu G, et al. Liver stiffness assessed by shear wave elastography predicts postoperative liver failure in patients with hepatocellular carcinoma[J]. J Gastrointest Surg, 2017, 21(9): 1471–1479. doi: [10.1007/s11605-017-3443-9](https://doi.org/10.1007/s11605-017-3443-9).
- [44] Huang J, Long H, Peng J, et al. Predicting post-hepatectomy liver failure preoperatively for child-pugh A5 hepatocellular carcinoma patients by liver stiffness[J]. J Gastrointest Surg, 2023, 27(6):1177–1187. doi: [10.1007/s11605-023-05635-7](https://doi.org/10.1007/s11605-023-05635-7).
- [45] Morino K, Seo S, Yoh T, et al. Impact of the intermittent pringle maneuver for predicting post-hepatectomy liver failure: a cohort study of 597 consecutive patients[J]. World J Surg, 2023, 47(4): 1058–1067. doi: [10.1007/s00268-023-06904-x](https://doi.org/10.1007/s00268-023-06904-x).
- [46] Li C, Wang Q, Zou M, et al. A radiomics model based on preoperative gadoteric acid-enhanced magnetic resonance imaging for predicting post-hepatectomy liver failure in patients with hepatocellular carcinoma[J]. Front Oncol, 2023, 13: 1164739. doi: [10.3389/fonc.2023.1164739](https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1164739).
- [47] Liu JY, Ellis RJ, Hu QL, et al. Post hepatectomy liver failure risk calculator for preoperative and early postoperative period following major hepatectomy[J]. Ann Surg Oncol, 2020, 27(8): 2868–2876. doi: [10.1245/s10434-020-08239-6](https://doi.org/10.1245/s10434-020-08239-6).
- [48] Wang JJ, Feng J, Gomes C, et al. Development and validation of prediction models and risk calculators for post-hepatectomy liver failure and postoperative complications using a diverse international cohort of major hepatectomies[J]. Ann Surg, 2023. doi: [10.1097/SLA.0000000000005916](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000005916). [Online ahead of print]
- [49] Mai RY, Lu HZ, Bai T, et al. Artificial neural network model for preoperative prediction of severe liver failure after hemihepatectomy in patients with hepatocellular carcinoma[J]. Surgery, 2020, 168(4):643–652. doi: [10.1016/j.surg.2020.06.031](https://doi.org/10.1016/j.surg.2020.06.031).
- [50] Lu HZ, Mai RY, Wang XB, et al. Developmental artificial neural network model to evaluate the preoperative safe limit of future liver remnant volume for HCC combined with clinically significant portal hypertension[J]. Future Oncol, 2022, 18(21):2683–2694. doi: [10.2217/fon-2021-1297](https://doi.org/10.2217/fon-2021-1297).
- [51] Wang JT, Zheng TL, Liao Y, et al. Machine learning prediction model for post-hepatectomy liver failure in hepatocellular carcinoma: a multicenter study[J]. Front Oncol, 2022, 12:986867. doi: [10.3389/fonc.2022.986867](https://doi.org/10.3389/fonc.2022.986867).

(本文编辑 熊杨)

本文引用格式:许淙溪,王继涛,刘登湘,等.肝切除术后肝功能衰竭风险预测模型研究进展[J].中国普通外科杂志,2024,33(1):100–107. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2024.01.011](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.01.011)

Cite this article as: Xu CX, Wang JT, Liu DX, et al. Research progress of risk prediction models for post-hepatectomy liver failure[J]. Chin J Gen Surg, 2024, 33(1): 100–107. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2024.01.011](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.01.011)



微信扫一扫
关注该公众号

敬请关注《中国普通外科杂志》官方微信平台

《中国普通外科杂志》官方公众微信正式上线启动(订阅号:ZGPTWKZZ),我们将通过微信平台定期或不定期推送本刊的优秀文章、工作信息、活动通知以及国内外最新研究成果与进展等。同时,您也可在微信上留言,向我们咨询相关问题,并对我们的工作提出意见和建议。《中国普通外科杂志》公众微信号的开通是在移动互联网时代背景下的创新求变之举,希望能为广大读者与作者带来更多的温馨和便利。

欢迎扫描二维码,关注《中国普通外科杂志》杂志社官方微信服务平台。

中国普通外科杂志编辑部