（基于床旁超声的ICU患者压力性损伤多模态风险预测模型构建）建设方案

一、研究背景及立项依据

**1.1 研究背景与实践意义**

随着危重症医学的发展，重症医学科（Intensive Care Unit, ICU）患者数量逐年上升。该类患者由于病情危重、活动受限、长期卧床、组织灌注不足、营养缺乏以及使用镇静剂等多种因素，导致发生压力性损伤（Pressure Injury, PI）的风险极高。有研究表明，ICU患者PI的发生率远高于普通病房患者，可占院内获得性压力性损伤的30%～50%。一项关于ICU压力性损伤患病率的研究指出其范围在16.6%至20.7%之间。PI不仅显著延长患者的住院时间及机械通气时长，更增加了医院感染和死亡风险。因此，对ICU患者PI风险进行早期、准确的预测，并据此采取针对性的预防措施，对于提升护理质量、改善患者结局、减轻医疗负担具有重大的临床价值和社会经济意义。

目前临床广泛应用的Braden评分量表虽操作简便，但主要依赖主观判断。其在评估ICU这一特殊人群时，存在缺乏组织血流灌注状态、皮肤微循环改变等关键生理学参数支撑的局限，导致预测准确性不足[1]。研究表明，皮下软组织在持续受压后，其微血管结构的变化会先于皮肤表层损伤出现[2,3]，这为早期干预提供了关键窗口期。利用超声技术定量检测这些变化，有望显著提升PI风险的预警能力。随着便携式超声设备在临床的普及，尤其是床旁超声（Point-of-Care Ultrasound, POCUS）技术的日益成熟，这种基于客观影像指标的早期PI风险评估方法正逐渐受到重视。

**1.2 国内外研究现状与发展动态分析**

**1.2.1 Braden评分在ICU患者压力性损伤预测中的局限性**

Braden量表作为全球最常用的PI风险评估工具，在ICU患者中表现出显著的预测效能局限：

（1）敏感性与特异性失衡：

多项研究证实，Braden量表对ICU患者的PI风险敏感性较高（0.87–0.95），但特异性极低（0.06–0.28），导致假阳性率过高[4,5]。

（2）预测精度不足：

一项meta分析（10,044例患者）表明，Braden量表在ICU人群中的汇总AUC（Area Under the Curve）为0.78（95%CI: 0.72–0.85），属中等预测效能，且存在显著异质性（I²>94%）[5]。另一项多中心研究（49,326例）报告AUC为0.82，但亚组分析揭示其在ICU环境的表现明显弱于普通病房[6]。

（3）量表的可靠性问题：

2022年一项巴西研究通过双盲评估发现，Braden量表在神经、脓毒症、老年和创伤四类ICU患者中评估者间信度（ICC=0.48–0.75）和测量误差（SEM>1.5）均不理想，证实其不适合ICU复杂病理生理特征[7]。

（4）核心因素缺失：

随机森林模型显示，Braden量表中“营养”、“潮湿”子项对PI预测贡献微弱，而“感知觉”、“活动能力”虽较重要，但无法覆盖ICU患者压力性损伤特有的风险因素（如机械通气时长、血管活性药物使用）[8,9]。

**1.2.2 超声技术在皮肤组织评估中的应用与标准化瓶颈**

（1）技术优势明确：

分辨率与无创性：20–100MHz探头可分层显示表皮、真皮及皮下结构，测量厚度误差<0.1mm，与组织学相关性达r=0.90–0.99[10]。

（2）PI评估的探索进展：

体表超声通过检测组织水肿、血流异常，能够早期提示PI风险，联合Braden量表使用可使AUC从0.60升至0.93（灵敏度97.5%，特异度81.9%）[11]。

（3）标准化核心障碍：

设备参数差异：探头频率（20MHzvs100MHz）直接影响穿透深度（1.5–4mm）与分辨率，尚无统一选择标准[10]。

操作者依赖性：皮肤分层识别需专业培训，且缺乏PI特征图像的共识定义[12]。

临床应用局限：现有资料集中于肿瘤和炎症评估，PI相关研究样本量小且未建立量化阈值[11,13]。

**1.2.3 多模态联合评估：PI预测的新趋势**

随着大数据和人工智能技术的发展，为弥补单一工具缺陷，基于临床数据构建压力性损伤预测模型成为研究热点。

（1）“传统量表+生物标志物”模式：

肢体肌力联合经皮氧分压（TcPO₂）构建的随机森林模型AUC达0.912，显著优于单一Braden评分（AUC=0.845）[8]。乳酸、血清白蛋白等实验室指标整合入列线图模型，使预测AUC提升至0.886[14,15]。

（2）“量表+影像技术”实时监测：

超声评分与Braden量表的联合应用将PI预测特异度从18.4%提升至81.9%，实现“功能评估+结构观察”互补[11]。

（3）机器学习驱动的多源数据融合：

电子病历（EMR）数据与Braden融合后，模型AUC提高至0.87[16]。

深度学习通过加权特征融合将PI分类准确率提升至81.5%，III期PI预测率提高16%[17]。

时序数据分析利用ICU住院动态数据，AUC达0.81（F1=0.24），优于静态评估[18]。

**1.3 存在的问题与挑战**

当前ICU患者PI风险评估主要面临以下挑战：

评估手段主观性强，缺乏早期客观指标：传统依赖的Braden等量表受评估者经验影响，且往往在组织已发生一定程度损伤后才能发现异常。

现有预测模型对ICU患者特异性不足：ICU患者病情复杂多变，许多现有模型未能充分考虑其特殊病理生理状态及动态变化，导致预测准确性受限。

床旁超声价值未被充分挖掘与整合：尽管床旁超声在组织评估中显示出潜力，但其在PI风险预测中的标准化应用方案尚未建立，特别是如何从超声图像中提取有效的量化指标，并将其与临床数据有效融合构建多维度预测模型，是亟待解决的关键问题。

**1.4 本项目的立项依据和必要性**

基于上述背景，本项目提出“基于床旁超声的ICU患者压力性损伤风险多维度预测模型构建与应用”。立项依据如下：

（1）临床需求迫切：ICU压力性损伤高发且危害严重，亟需更早期、更精准的风险预测工具指导临床预防。

（2）技术手段创新：床旁超声作为一种无创、客观、可重复的检查方法，有望提供早期组织损伤的影像学证据，弥补传统评估方法的不足。

（3）多维度整合优势：将床旁超声的客观指标与Braden评分的主观经验总结以及患者的临床数据相结合，利用机器学习等先进算法构建多维度预测模型，有望克服单一信息来源的局限性，提升预测效能。

（4）研究基础支持：国内外已有初步研究证实床旁超声在软组织评估中的价值以及机器学习在医学预测模型中的潜力。

因此，本研究旨在通过系统性地探索POCUS在ICU患者PI风险评估中的应用价值，并结合患者Braden评分及临床多维度信息构建一个基于床旁超声的ICU患者压力性损伤风险多维度预测模型。通过前瞻性临床研究验证其有效性，为ICU临床护理决策提供量化依据，改善危重患者的护理质量和临床结局。

**1.4 主要参考文献**

[1] WONG E, VISPERAS S, CHOI S Y, et al. Tissue Perfusion and the Braden Scale as Predictors of Pressure Injury Risk in the Intensive Care Unit Patient [J]. Journal of Acute Care Surgery, 2023, 13(3): 112-7.

[2] POSNETT J W, MOSS J W E, MICHAELWAITE L I. Modelling the cost-effectiveness of subepidermal moisture measurement as part of a process of assessment and intervention to prevent hospital-acquired pressure ulcers [J]. International wound journal, 2023, 20(7): 2688-99.

[3] CHIEN W C, TSAI T F. Pressure and Skin: A Review of Disease Entities Driven or Influenced by Mechanical Pressure [J]. American journal of clinical dermatology, 2024, 25(2): 261-80.

[4] HYUN S, VERMILLION B, NEWTON C, et al. Predictive validity of the Braden scale for patients in intensive care units [J]. American journal of critical care : an official publication, American Association of Critical-Care Nurses, 2013, 22(6): 514-20.

[5] WEI M, WU L, CHEN Y, et al. Predictive Validity of the Braden Scale for Pressure Ulcer Risk in Critical Care: A Meta-Analysis [J]. Nursing in critical care, 2020, 25(3): 165-70.

[6] HUANG C, MA Y, WANG C, et al. Predictive validity of the braden scale for pressure injury risk assessment in adults: A systematic review and meta-analysis [J]. Nursing open, 2021, 8(5): 2194-207.

[7] VEIGA T P, RêGO A S, MONTENEGRO W S, et al. Braden scale has low reliability in different patients under care in intensive care unit [J]. Revista da Associacao Medica Brasileira (1992), 2022, 68(9): 1221-7.

[8] 王雅萍, 王晨, 李莉, et al. 基于肢体肌力及TcPO2构建ICU病人压力性损伤预测模型 [J]. 护理研究, 2024, 38(09): 1544-9.

[9] ARGENTI G, ISHIKAWA G, FADEL C B. Capacidade discriminativa da escala de Braden na predição de Lesão por Pressão em Unidade de Terapia Intensiva [J]. Research, Society and Development, 2020, 9(11): e4929119836-e.

[10] JASAITIENE D, VALIUKEVICIENE S, LINKEVICIUTE G, et al. Principles of high-frequency ultrasonography for investigation of skin pathology [J]. Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV, 2011, 25(4): 375-82.

[11] 罗渊, 周敏, 杨德淑. 超声技术联合Braden量表预测严重多发伤患者压力性损伤发生风险的价值 [J]. 现代医药卫生, 2024, 40(19): 3291-4,8.

[12] GRAJDEANU I A, VATA D, STATESCU L, et al. Use of imaging techniques for melanocytic naevi and basal cell carcinoma in integrative analysis (Review) [J]. Experimental and therapeutic medicine, 2020, 20(1): 78-86.

[13] SERPA L F, SANTOS V L C D G, CAMPANILI T C G F, et al. Predictive validity of the Braden scale for pressure ulcer risk in critical care patients [J]. Revista latino-americana de enfermagem, 2011, 19(50-7.

[14] 姚秀英, 耿丽, 张理想, et al. ICU患者压力性损伤预测风险列线图模型的建立 [J]. 护理学报, 2019, 26(11): 55-9.

[15] 康百慧, 颜美琼, 高键, et al. 基于LASSO-Cox回归构建列线图模型预测机械通气患者的压力性损伤风险 [J]. 中国临床医学, 2024, 31(4): 593-602.

[16] XU J, CHEN D, DENG X, et al. Development and validation of a machine learning algorithm-based risk prediction model of pressure injury in the intensive care unit [J]. International wound journal, 2022, 19(7): 1637-49.

[17] WANG D, GUO L, ZHONG J, et al. A novel deep-learning based weighted feature fusion architecture for precise classification of pressure injury [J]. Frontiers in physiology, 2024, 15(1304829.

[18] CUI L, JIN L. Predicting ICU Pressure Injuries with Historical Data: A Multivariate Time Series Approach; proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Knowledge Graph (ICKG), F, 2023 [C]. IEEE.