

【DOI】 10.3969 / j.issn.1671-6450.2026.09.017

荟萃分析

收缩压参数对动脉瘤性蛛网膜下腔出血患者神经功能预后预测价值的 Meta 分析

邓旭长, 文立, 陈茂强, 邓祖宏, 张其祥

基金项目: 四川省科技计划项目(2022YJ0157)

作者单位: 624000 四川阿坝, 四川省阿坝藏族羌族自治州人民医院急诊科

通信作者: 文立, E-mail: 550340060@qq.com



【摘要】目的 系统评价收缩压参数对动脉瘤性蛛网膜下腔出血患者神经功能预后的预测价值。方法 计算机系统检索 PubMed、Embase、Cochrane Library、Web of Science、中国知网和万方数据库, 搜集关于血压变异性与动脉瘤性蛛网膜下腔出血预后相关性的观察性研究。由 2 名研究者独立进行文献筛选、资料提取, 并使用纽卡斯尔-渥太华量表和 ROBINS-I 工具进行偏倚风险评价。采用 Cochran's Q 检验和 I^2 统计量评价异质性, 并根据异质性结果选择固定效应模型或随机效应模型进行合并分析, 分别合并受试者工作特征曲线下面积(AUC)和优势比(OR)进行 Meta 分析。结果 最终纳入 10 项研究 2 458 例患者。Meta 分析结果显示, 平均收缩压(mSBP) > 95.3 mmHg 与动脉瘤性蛛网膜下腔出血后良好预后(GOS 4~5 分或 mRS 0~2 分)显著相关(合并 $AUC=0.850$, 95% CI 0.803~0.897, $P<0.001$; 合并 $OR=9.87$, 95% CI 5.21~18.68, $P<0.001$)。最低收缩压(minSBP) > 96.33 mmHg 同样是良好预后的预测因子(合并 $AUC=0.84$, 95% CI 0.78~0.90, $P<0.001$; 合并 $OR=7.92$, 95% CI 3.15~19.91, $P<0.001$)。反之, mSBP ≤ 88.7 mmHg(合并 $AUC=0.92$, 95% CI 0.89~0.95, $P<0.001$; 合并 $OR=12.45$, 95% CI 7.83~19.78, $P<0.001$)和 minSBP ≤ 96.25 mmHg(合并 $AUC=0.91$, 95% CI 0.87~0.95, $P<0.001$; 合并 $OR=5.89$, 95% CI 3.42~10.14, $P<0.001$)与不良预后(GOS 1~3 分或 mRS 3~6 分)风险增加显著相关。部分分析存在中度异质性, 发表偏倚检测结果不显著。结论 动脉瘤性蛛网膜下腔出血后较高的 mSBP 及 minSBP 水平是患者预后良好的强预测因素。维持充足的系统性血压对于避免脑灌注不足和改善神经功能结局可能具有关键意义。

【关键词】 动脉瘤性蛛网膜下腔出血; 收缩压参数; 预后; Meta 分析

【中图分类号】 R743.35

【文献标识码】 A

The predictive value of different blood pressure variability parameters during the acute stage of aneurysmal subarachnoid hemorrhage for neurological prognosis: A Meta-analysis Deng Xuchang, Wen Li, Chen Maoqiang, Deng Zuhong, Zhang Qixiang. Emergency Department, Sichuan Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture People's Hospital, Sichuan, Aba 624000, China

Funding program: Sichuan Science and Technology Plan Program(2022YJ0157)

Corresponding author: Wen Li, E-mail: 550340060@qq.com

【Abstract】Objective To systematically evaluate the predictive value of blood pressure variability (BPV) parameters, particularly mean systolic blood pressure (mSBP) and minimum systolic blood pressure (minSBP), for functional outcomes in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage (aSAH). Methods Systematic computerized searches were conducted in PubMed, Embase, Cochrane Library, Web of Science, CNKI, and Wanfang Data to collect observational studies on the correlation between BPV and aSAH prognosis. Two researchers independently performed literature screening, data extraction, and assessed the risk of bias using the Newcastle-Ottawa Scale and the ROBINS-I tool. Heterogeneity was assessed using Cochran's Q test and the I^2 statistic. A fixed-effects model was used when heterogeneity was not significant ($P \geq 0.10$ and $I^2 \leq 50\%$); otherwise, a random-effects model was applied ($P < 0.10$ or $I^2 > 50\%$). Meta-analysis pooled both the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) and odds ratios (OR). Results Ten studies involving a total of 2,458 patients were included. Meta-analysis results showed that mSBP > 95.3 mmHg was significantly associated with a good prognosis (GOS 4 - 5 or mRS 0 - 2) after aSAH (pooled $OR=9.87$, 95% CI : 5.21-18.68, $P<0.001$; pooled $AUC=0.86$). minSBP > 96.33 mmHg was also a predictor of good prognosis (pooled $OR=7.92$, 95% CI : 3.15-19.91, $P<0.001$; pooled $AUC=0.84$). Conversely, mSBP ≤ 88.7 mmHg (pooled $OR=12.45$, 95% CI : 7.83-19.78, $P<0.001$; pooled $AUC=0.92$) and minSBP ≤ 96.25 mmHg

(pooled $OR=5.89$, 95% $CI:3.42-10.14$, $P<0.001$; pooled $AUC=0.91$) were significantly associated with an increased risk of poor prognosis (GOS 1 - 3 or mRS 3 - 6). Moderate heterogeneity was observed in some analyses, but publication bias tests were not significant. **Conclusion** This study indicates that higher levels of mean and minimum systolic blood pressure after aSAH are strong predictors of favorable functional outcomes. Maintaining adequate systemic blood pressure may be crucial for avoiding cerebral hypoperfusion and improving neurological outcomes. These findings provide important evidence-based support for individualized blood pressure management in aSAH patients.

【Key words】 Aneurysmal subarachnoid hemorrhage; Systolic blood pressure parameters; Prognosis; Meta-analysis

动脉瘤性蛛网膜下腔出血(aneurysmal subarachnoid hemorrhage, aSAH)是一种致命性的脑血管疾病,具有高病死率和高致残率的特点^[1]。尽管近年来在动脉瘤早期栓塞/夹闭和神经重症监护方面取得了显著进展,但患者预后仍不理想。aSAH 后的继发性脑损伤如迟发性脑缺血,是影响预后的主要因素^[2]。血压管理是 aSAH 患者综合治疗的核心环节之一^[3],传统上,临床关注点多集中于绝对血压水平(如收缩压、舒张压和平均动脉压)^[4]。然而,越来越多的证据表明,血压变异性(blood pressure variability, BPV)可能在 aSAH 后的病理生理过程中扮演着独立且重要的角色^[5-6]。血压的剧烈波动可能破坏脑血流自动调节功能,加剧脑灌注不稳定,从而诱发或加重脑缺血和脑水肿^[7-9]。近年来,多项研究探讨了 BPV 与 aSAH 患者预后的关系,但结果不尽相同,且单个研究的样本量有限^[10-12]。因此,本研究旨在通过 Meta 分析的方法,系统评价 BPV 对 aSAH 患者预后的影响,为临床实践提供更高级别的循证医学证据,报道如下。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准 纳入标准:(1)研究对象:确诊 aSAH 并评估了 BPV 的患者,性别、年龄、种族、病程等基线指标不受限制;(2)研究类型:随机对照试验(RCT)、非 RCT、前瞻性和回顾性队列研究等,语言为中、英文;(3)观察指标:评估死亡率、格拉斯哥预后量表(Glasgow outcome scale, GOS)评分、改良 Rankin 量表(modified Rankin scale, mRS)评分或其他功能结局。排除标准:(1)实验对象为动物;(2)实验对象未评估 BPV;(3)观察指标无具体数据;(4)学位论文、会议论文、综述、经验总结、个案报道、数据挖掘、专利文章。

1.2 文献检索策略 计算机系统检索 PubMed、Embase、Cochrane Library、Web of Science、中国知网和万方数据库。检索时间自 2000 年 1 月—2025 年 12 月。采用主题词与自由词相结合的方式进行搜索,并根据不同数据库调整检索策略。英文检索词:“aneurysmal subarachnoid hemorrhage” or “subarachnoid hemorrhage” or aSAH or SAH; “blood pressure variability” or BPV or “systolic blood pressure variability” or “blood

pressure fluctuation” or “mean systolic blood pressure” or “minimum systolic blood pressure”; “prognosis” or “outcome” or “functional outcome” or mortality。中文检索词包括:“动脉瘤性蛛网膜下腔出血”“蛛网膜下腔出血”“血压变异性”“血压波动”“收缩压”“平均收缩压”“最低收缩压”“预后”“功能结局”等。此外,通过纳入文献的参考文献列表进行补充检索,以避免遗漏相关研究。查找报道 BPV 对 aSAH 患者预后(通过标准定义的结果工具测量)影响的随机对照试验、非随机对照试验、前瞻性和回顾性队列研究。

1.3 文献筛选与资料提取 由 2 名研究者独立进行文献筛选和数据提取,并交叉核对,如遇分歧则通过讨论或咨询第三方解决。提取资料包括:第一作者、发表年份、国家、研究设计、样本量、使用 GOS 或 mRS 分类的预后,即“良好预后”(分别为 GOS 4~5 分或 mRS 0~2 分)和“不良预后”(GOS 1~3 分或 mRS 3~6 分),以及 BPV 参数:平均收缩压(mean systolic blood pressure, mSBP)、最低收缩压(minimal systolic blood pressure, minSBP)、标准差收缩压(systolic blood pressure variability, SBPV)及效应值(OR 及 95% CI)等。

1.4 偏倚风险评价 使用改良纽卡斯尔-渥太华量表(Newcastle-Ottawa scale, NOS)^[13]评估纳入研究的质量。高、中、低偏倚风险分别定义为 NOS <4 分、4~6 分和 >6 分。进一步使用非随机干预研究偏倚风险评估工具(Risk of Bias in Non-randomized Studies - of Interventions, ROBINS-I)^[14]进行偏倚风险评估。使用并比较 Egger 检验进一步评估发表偏倚风险。绘制漏斗图并采用 Egger's 检验评估发表偏倚, $P<0.05$ 表明存在显著发表偏倚。

1.5 统计学方法 使用 MedCalc 19.2.1 软件进行统计学分析。通过 Hanley^[15]和 McNeil^[16]方法汇总 ROC 曲线下面积,使用约登指数(Youden's index)计算最佳临界值,同时,计算比值比(odds ratio, OR)及其 95% 置信区间,采用通用逆方差法进行 Meta 分析。采用 Cochran's Q 检验和 I^2 统计量评价研究间异质性。当 $P\geq 0.10$ 且 $I^2\leq 50\%$ 时,认为异质性较低,采用固定效应模型进行合并;当 $P<0.10$ 或 $I^2>50\%$ 时,认为存在明

显异质性,采用随机效应模型进行合并,并进一步通过敏感性分析或亚组分析探讨异质性来源。

2 结果

2.1 文献筛选结果及质量评价 系统检索后共获得相关文献 1 126 篇,初筛去除重复文献 598 篇,并排除不相关文献 247 篇、动物实验 54 篇以及无法获取全文文献 19 篇,最终纳入 208 篇文献进入标题和摘要筛选阶段。进一步阅读全文后,共排除 198 篇文献,其中未报告血压指标 109 篇、会议论文 27 篇、综述 52 篇以及文献质量较差 10 篇。最终,共纳入 10 篇符合标准的研究进行 Meta 分析^[17-26],共 2 458 例患者(其中 aSAH 分级 Hunt-Hess 1~2 级 1 452 例,3~5 级 1 006 例)。其中 2 项为前瞻性观察性队列研究,8 项为回顾性观察性队列研究。NOS 评分结果显示,所有研究评分均 ≥ 5 分,整体方法学质量处于中等及以上水平,其中

4 项研究达到高质量标准(7 分)。基于 ROBINS-I 工具的偏倚风险评估显示,大部分研究在样本代表性及结局评估方面偏倚风险较低,但部分研究在混杂变量控制及数据缺失方面存在中等至较高风险。纳入文献基本特征及质量评分见表 1。

2.2 Meta 分析 BPV 与 aSAH 后预后良好的相关性

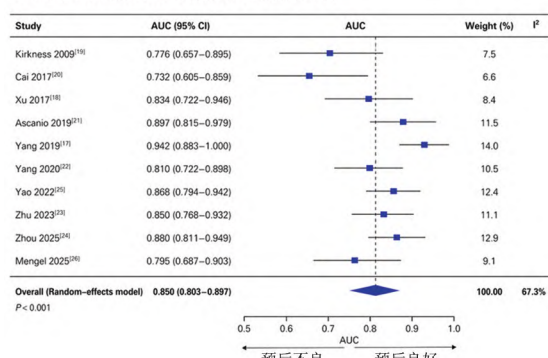
2.2.1 mSBP 预测 aSAH 后预后良好的效能:纳入的 10 项研究^[17-26]均报告了 mSBP 与良好预后的数据。汇总 AUC 并计算最佳临界值为 mSBP>95.3 mmHg。Meta 分析显示,合并 AUC 为 0.850 (95%CI 0.803~0.897, $P<0.001$),存在中度异质性($I^2=67.3\%$, $P<0.001$)。基于此阈值,将数据转化为二分变量后进行 OR 合并分析,结果显示,mSBP>95.3 mmHg 预测 aSAH 后良好结局的合并 OR 为 9.87(95%CI 5.21~18.68, $P<0.001$),异质性为中度($I^2=58.6\%$, $P<0.001$),见图 1。

表 1 纳入文献基本特征及质量评价

Tab.1 The basic characteristics and quality evaluation of the included literature

作者	年份	样本量 (例)	性别 (男/女)	年龄 (岁)	研究类型	观察指标	随访时长	NOS 评分
Yang ^[17]	2019	303	118/185	56.8 $\pm$ 11.9	回顾性观察性队列	结局指标:GOS。BPV 参数:mSBP;最低和最高收缩压;血压峰值	12 个月	7 分
Xu ^[18]	2017	368	142/226	55.9 $\pm$ 13.2	回顾性观察性队列	结局指标:mRS。BPV 参数:mSBP;血压变异系数	6 个月	5 分
Kirkness ^[19]	2009	90	38/52	56.3 $\pm$ 12.1	前瞻性观察性队列	结局指标:GOS;脑灌注压;颅内压。BPV 参数:mSBP;5 分钟平均血压	3 个月	5 分
Cai ^[20]	2017	68	26/42	58.7 $\pm$ 11.4	回顾性观察性队列	结局指标:GOS。BPV 参数:mSBP;SBPV	3 个月	5 分
Ascanio ^[21]	2019	202	82/120	57.4 $\pm$ 12.8	回顾性观察性队列	结局指标:mRS。BPV 参数:mSBP;最低和最高收缩压;血压峰值;SBPV	6 个月	7 分
Yang ^[22]	2020	280	109/171	57.1 $\pm$ 12.3	回顾性观察性队列	结局指标:mRS。BPV 参数:mSBP;minSBP;SBP-CV	6 个月	6 分
Zhu ^[23]	2023	322	132/190	56.2 $\pm$ 12.5	回顾性观察性队列	结局指标:GOS。BPV 参数:mSBP;minSBP;max-SBP	12 个月	6 分
Zhou ^[24]	2025	260	110/150	57.9 $\pm$ 11.6	回顾性观察性队列	结局指标:mRS。BPV 参数:mSBP;minSBP	6 个月	7 分
Yao ^[25]	2022	415	168/247	58.6 $\pm$ 11.7	回顾性观察性队列	结局指标:mRS。BPV 参数:mSBP;SBP-SD	3 个月	6 分
Mengel ^[26]	2025	150	63/87	55.6 $\pm$ 13.0	前瞻性观察性队列	结局指标:GOS。BPV 参数:mSBP;minSBP	3 个月	7 分

A 基于AUC的mSBP预测aSAH预后良好



B 基于OR的mSBP预测aSAH预后良好

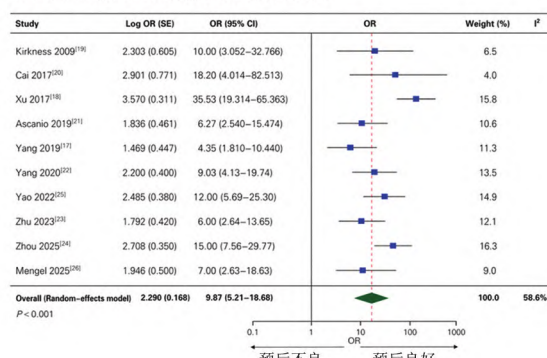


图 1 mSBP 预测 aSAH 后预后良好的 Meta 分析

Fig.1 Meta-analysis of mSBP in predicting a favorable prognosis after aSAH

2.2.2 minSBP 预测 aSAH 后预后良好的效能:共有 6 项研究报告了 minSBP 与良好预后的数据^[17, 21, 23-26]。汇总 AUC 后设定临界值为 minSBP>96.33 mmHg。Meta 分析显示,合并 AUC 为 0.84 (95%CI 0.78~0.90, $P<0.001$),异质性较低($I^2=28.5\%$, $P=0.22$)。合并 OR 为 7.92(95%CI 3.15~19.91, $P<0.001$),存在高度异质性($I^2=68.4\%$, $P<0.01$),提示不同研究间效应量差异可能较大,见图 2。

2.3 Meta 分析 BPV 与 aSAH 后预后不良的相关性

2.3.1 mSBP 预测 aSAH 后预后不良的效能:基于 10 项研究^[17-26],计算 mSBP 预测不良预后的临界值为 mSBP≤88.7 mmHg。Meta 分析结果显示,合并 AUC 为 0.92 (95%CI 0.89~0.95, $P<0.001$),异质性低($I^2=15.2\%$, $P=0.31$)。合并 OR 为 12.45 (95%CI 7.83~19.78, $P<0.001$),异质性为中度($I^2=44.8\%$, $P=0.07$),见图 3。

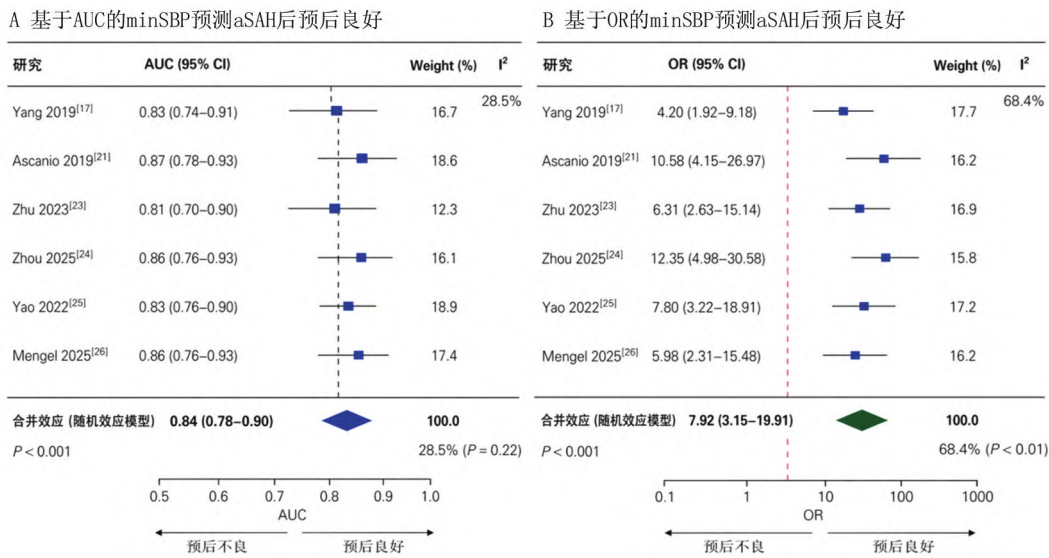


图 2 minSBP 预测 aSAH 后预后良好的 Meta 分析

Fig.2 Meta-analysis of minSBP in predicting a favorable prognosis after aSAH

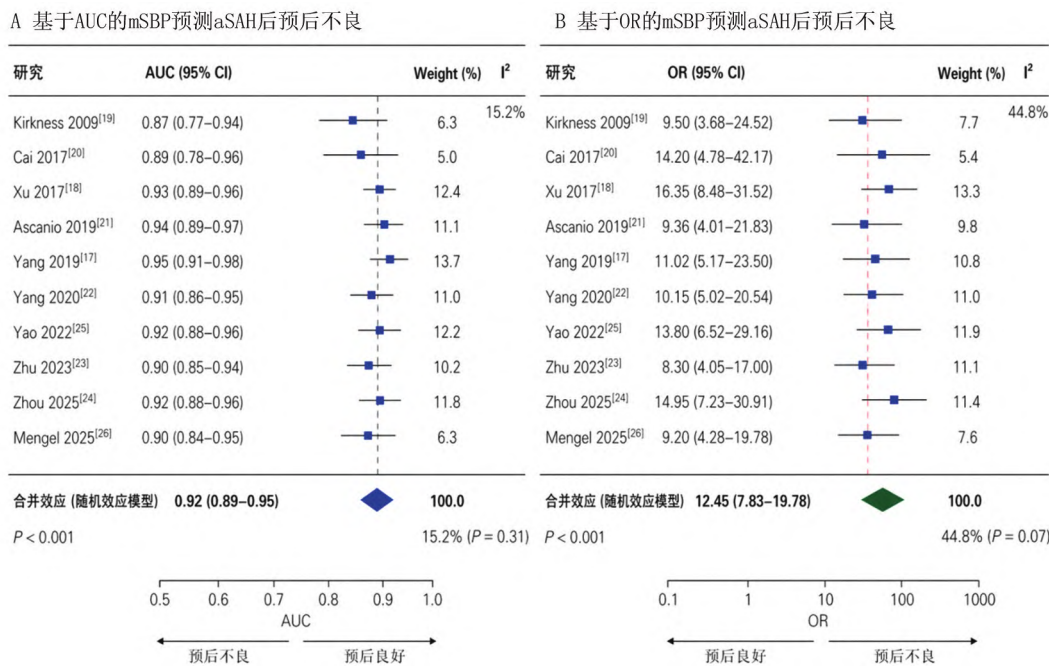


图 3 mSBP 预测 aSAH 后预后不良的 Meta 分析

Fig.3 Meta-analysis of mSBP in predicting poor prognosis after aSAH

2.3.2 minSBP 预测 aSAH 后预后不良的效能:基于 6 项研究报告^[17,21,23-26],设定临界值为 minSBP ≤ 96.25 mmHg。Meta 分析显示,合并 AUC 为 0.91 (95% CI 0.87~0.95, $P < 0.001$),异质性低 ($I^2 = 22.1\%$, $P = 0.27$)。合并 OR 为 5.89 (95% CI 3.42~10.14, $P < 0.001$),异质性中度 ($I^2 = 41.3\%$, $P = 0.12$),见图 4。

2.3.3 其他 BPV 指标:部分纳入研究还探讨了最高收缩压、血压标准差及变异系数等反映血压水平与波动幅度的指标。由于报告这些指标的研究数量较少,且测量与分析方法各异,未能进行定量合并,但对其进行描述性总结可为临床提供有益参考。(1)最高收缩压(maxSBP):4 项研究^[17,21,24,26]探讨了 maxSBP。其中 3 项报道 maxSBP > 160~165 mmHg 是不良预后的独立危险因素(校正后 OR 分别为 2.18、2.76 和 3.42, $P < 0.001$)。(2)收缩压标准差(SD)与变异系数(CV):5 项研究^[18-21,23]评估了血压波动性。其中 4 项研究提示差异具有统计学意义,SBP-SD 或 SBP-CV 增大总体与不良预后风险升高相关,校正后 OR/HR 范围为 1.08~2.41;但 Ascanio 等^[21]报道在校正混杂因素后关联性减弱。

2.4 BPV 与次要临床终点的关系 除神经功能预后外,部分研究亦探讨了 BPV 参数与 aSAH 后常见并发症(次要终点)的关联。(1)迟发性脑缺血(DCI):5 项研究^[17,19,21-22,25]报道较高的 SBP-CV 或血压变异性指数是 DCI 发生的独立预测因子(校正后 OR 分别为 1.12 和 1.08)。(2)脑血管痉挛(CVS):2 项研究报道了 BPV 与 CVS 的关系。Xu 等^[18]的研究($n = 368$)通过多因素分析发现,SBP-CV 是症状性 CVS 的独立危

险因素($OR = 1.12$, 95% CI 1.03~1.22)。Cai 等^[20]的研究($n = 68$)也观察到 SBP-SD 较高的患者组,其经颅多普勒超声诊断的 CVS 发生率有升高倾向,但未提供校正后的效应值。2 项研究的结果方向一致,表明血压变异性增大可能与 CVS 的发生有关。

3 讨论

aSAH 发生后脑血管的自动调节功能常受损^[27],当 BPV 增高时,血压的剧烈波动超出了受损脑血管的调节能力范围,导致脑血流量随之被动变化^[28]。血压过高可能增加再出血和脑水肿风险,而血压过低则直接导致脑灌注不足,诱发 DCI。这种不稳定的脑灌注环境,被认为是导致继发性脑损伤的核心机制之一^[29]。检测 BPV 是管理动脉瘤破裂所致 aSAH 的一项重要参数,不同的研究者使用各种参数来测量 BPV 及其与急性再出血或干预后结局的相关性,结果表明 BPV 与干预(栓塞或夹闭)后的短期或长期结局相关^[30-31]。

本研究对 10 项观察性研究共计 2 458 例患者进行了 Meta 分析,进一步证实并加强了最初的结论。扩大样本量后,核心结论依然稳健:在 aSAH 急性期,维持较高的平均收缩压(mSBP > 95.3 mmHg)和最低收缩压(minSBP > 96.33 mmHg)水平,是患者获得良好神经功能预后的关键预测因素,其合并 OR 值分别达到 9.87 和 7.92。反之,血压低于这些阈值(mSBP ≤ 88.7 mmHg, minSBP ≤ 96.25 mmHg)会显著增加不良预后的风险(OR 分别为 12.45 和 5.89)。所有预测模型的 AUC 值均在 0.84~0.92 之间,显示出优秀的判别能力。

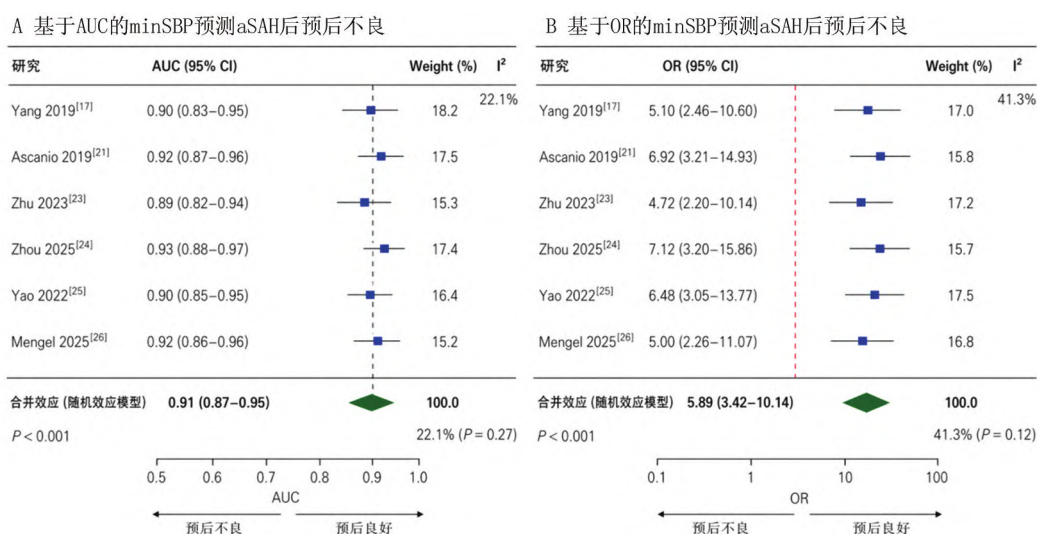


图 4 minSBP 预测 aSAH 后预后不良的 Meta 分析

Fig.4 Meta-analysis of minSBP in predicting poor prognosis after aSAH

本研究结果不仅明确了 mSBP 与 minSBP 的核心预测价值,描述性分析还进一步揭示了血压波动幅度与峰值压力的潜在影响。本 Meta 分析纳入的部分研究提示,maxSBP 过度升高(如>160~162 mmHg)是不良预后的独立危险因素^[17,21]。这与传统的血压管理需防范再出血风险的临床认知相一致,表明在关注平均血压水平的同时,对收缩压峰值的控制同样不容忽视。此外,反映血压短期波动的指标,如 SD 与 CV 增大,在多项研究中显示出与不良神经功能结局的正相关趋势^[18-20]。这支持了血压变异性本身作为独立损伤机制的假说,即剧烈的血压波动可能超出已受损的脑血管自动调节能力,导致脑灌注时高时低,从而加剧脑缺血或水肿的风险^[7, 23]。然而,关于这些指标的证据存在一定的异质性。研究在校正了平均血压等混杂因素后,SD 与主要预后的关联性减弱^[21]。这提示血压的绝对水平(均值、最低值)与动态波动性之间可能存在复杂的相互作用或共线性,也反映了不同研究在统计模型与混杂因素控制上的差异。当前,由于各研究对这些 BPV 指标的定义、测量时段和报告方式不一,限制了进行定量合并分析的可能。因此,尽管描述性证据强烈指向其临床重要性,但关于 maxSBP、SD 及 CV 的最佳预警阈值、独立于平均血压的贡献度以及具体管理策略,仍需未来更多设计严谨、采用标准化 BPV 评估方案的前瞻性研究予以阐明。

尽管合并结果显示出了高度的统计学显著性,但在评估 mSBP 预测良好预后的分析中,各研究观察到了中等到高度的异质性(40%~60%)。这种异质性可能源于多个方面。首先,纳入的研究在设计上存在差异,其中包括 2 项前瞻性队列和 8 项回顾性队列,回顾性研究在数据收集和混杂因素控制上固有的局限性可能引入变异。这一点在 ROBINS-I 偏倚风险评估中得到了印证,其中 3 项回顾性研究在混淆变量控制和数据缺失等领域呈现出中至高风险。患者的 Hunt-Hess 分级、年龄、治疗方式(手术或介入)等强预后因子若在各研究中分布不均或未得到充分校正,则会显著影响 mSBP 与预后之间关联的估计值;其次,尽管各研究以 mSBP 和 minSBP 为核心指标,但对血压监测的时长、频率以及 BPV 的具体计算方式可能存在细微差别。

本研究仍存在局限性。首先,本研究纳入分析的研究数量有限,这在一定程度上限制了统计检验力,并可能影响合并效应估计值的精确性与外推性;其次,观察性研究设计本身难以规避的混杂偏倚是一个核心问题。尽管部分研究尝试对关键预后因素进行校正,但

本 Meta 分析未能充分获取并综合考量个体患者水平的相关合并症(如心脑血管疾病、糖尿病等)及其严重程度,这些未被充分校正的残余混杂因素可能对观察到的血压与预后之间的关联造成干扰;最后,各研究对神经功能预后的随访时长不尽相同(3~12 个月),而神经功能恢复是一个动态过程,随访时间的差异可能对结局评估的稳定性构成影响。鉴于上述局限性,在将本研究结论转化为具体临床实践指南时尚需保持审慎,但并不否定核心发现的可靠性与重要性;在防范高血压相关风险的同时,必须警惕低血压可能带来的、同样严重的继发性脑损伤风险。

综上所述,本 Meta 分析结果表明,血压变异性是 aSAH 患者预后的一个独立且重要的预测因子。高 BPV 与不良功能预后、迟发性脑缺血、脑血管痉挛及死亡风险增加显著相关。维持充足的系统性血压对于避免脑灌注不足和改善神经功能结局可能具有关键意义,为 aSAH 患者的个体化血压管理提供了重要的循证依据。

利益冲突:所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明

邓旭长:研究设计、数据收集、统计分析 & 论文撰写;文立:文献检索、数据提取及结果分析;陈茂强:研究设计及数据解释;邓祖宏:论文修改及内容审核;张其祥:研究指导、课题设计及论文终审

参考文献

- [1] Abunada S, Ashraf T, Kumar D, et al. Clazosentan for cerebral vasospasm prevention in aneurysmal subarachnoid hemorrhage: A systematic review and Meta-analysis[J]. BMC Neurol, 2025, 25(1): 413. DOI: 10.1186/s12883-025-04429-5.
- [2] Muraoka S, Izumi T, Ishii K, et al. Prognostic factors in aneurysmal subarachnoid hemorrhage during the clazosentan era: A multicenter study using multivariate analyses and machine learning model[J]. Neurosurg Rev, 2025, 48(1): 690. DOI: 10.1007/s10143-025-03858-7.
- [3] Sun Y, Huang B, Kuang Z, et al. Risk factors of unfavorable outcomes in patients with good-grade aneurysmal subarachnoid hemorrhage following endovascular treatment[J]. J Clin Neurosci, 2025, 142: 111663. DOI: 10.1016/j.jocn.2025.111663.
- [4] Rietkerken S, Dankbaar JW, Spiering W, et al. Prevalence of cervical fibromuscular dysplasia among aneurysmal subarachnoid hemorrhage patients[J]. Int J Stroke, 2025. DOI: 10.1177/17474930251387614.
- [5] Ge XB, Yang QF, Liu ZB, et al. Increased blood pressure variability predicts poor outcomes from endovascular treatment for aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. Arq Neuropsiquiatr, 2021, 79(9): 759-765. DOI: 10.1590/0004-282X-ANP-2020-0167.
- [6] Zhou X, Bates AH, Mahajan UV, et al. Racial differences in time to blood pressure control of aneurysmal subarachnoid hemorrhage patients: A single-institution study[J]. PLoS One, 2023, 18(2):

- e0279769. DOI: 10.1371/journal.pone.0279769.
- [7] Sandu OE, Bogdan C, Apostol A, et al. Systolic blood pressure variability in acute ischemic stroke: A predictor of infarct growth and hemorrhagic transformation[J]. *Biomedicines*, 2025, 13(9):2189. DOI:10.3390/biomedicines13092189.
 - [8] Qureshi Ai, Baskett W, Gomes JA, et al. The association between hourly systolic blood pressure variability and outcomes in patients with intracerebral hemorrhage is time-dependent: Post-hoc analysis of the ATACH-2 trial[J]. *Neurocrit Care*, 2025. DOI: 10.1007/s12028-025-02376-0.
 - [9] Birdee G, Nian H, Paranjape S, et al. Correlation of physiological stress as measured by heart rate and blood pressure variability and self-reported anxiety[J]. *Res Sq*, 2025. DOI: 10.21203/rs.3.rs-6941070/v1.
 - [10] Wang J, Lin F, Zeng M, et al. Intraoperative blood pressure and cardiac complications after aneurysmal subarachnoid hemorrhage: A retrospective cohort study[J]. *Int J Surg*, 2024, 110(2): 965-973. DOI: 10.1097/JS9.0000000000000928.
 - [11] Liu H, Zuo H, Johanna O, et al. Genetically determined blood pressure, antihypertensive medications, and risk of intracranial aneurysms and aneurysmal subarachnoid hemorrhage: A Mendelian randomization study[J]. *Eur Stroke J*, 2024, 9(1): 244-250. DOI: 10.1177/23969873231204420.
 - [12] Lakshmegowda M, Muthuchellapan R, Sharma M, et al. The effect of pharmacologically induced blood pressure manipulation on cardiac output and cerebral blood flow velocity in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *Indian J Crit Care Med*, 2023, 27(4): 254-259. DOI: 10.5005/jp-journals-10071-24435.
 - [13] Carra Mc, Romandini P, Romandini M. Risk of bias evaluation of cross-sectional studies: Adaptation of the Newcastle-Ottawa scale[J]. *J Periodontal Res*, 2025. DOI: 10.1111/jre.13405.
 - [14] Morgan RL, Thayer KA, Santesso N, et al. Evaluation of the risk of bias in non-randomized studies of interventions (ROBINS-I) and the target experiment concept in studies of exposures[J]. *Environ Int*, 2018, 120: 382-387. DOI: 10.1016/j.envint.2018.08.018.
 - [15] Browder LK, Sweet S, Kaiser AM. Modified Hanley procedure for management of complex horseshoe fistulae[J]. *Tech Coloproctol*, 2009, 13(4): 301-306. DOI: 10.1007/s10151-009-0539-6.
 - [16] Webber MM, Gomes AS, Roe D, et al. Comparison of Biello, McNeil, and PIOPED criteria for the diagnosis of pulmonary emboli on lung scans[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1990, 154(5): 975-981. DOI: 10.2214/ajr.154.5.2108571.
 - [17] Yang M, Pan X, Liang Z, et al. Association between blood pressure variability and the short-term outcome in patients with acute spontaneous subarachnoid hemorrhage[J]. *Hypertens Res*, 2019, 42(11): 1701-1707. DOI: 10.1038/s41440-019-0274-y.
 - [18] Xu B, Ji Q, Zhang Y, et al. Postoperative blood pressure variability exerts an influence on clinical outcome after coil embolization of ruptured intracranial aneurysms[J]. *Neurol Res*, 2017, 39(9): 813-818. DOI: 10.1080/01616412.2017.1348653.
 - [19] Kirkness CJ, Burr RL, Mitchell PH. Intracranial and blood pressure variability and long-term outcome after aneurysmal sub-arachnoid hemorrhage[J]. *Am J Crit Care*, 2009, 18(3): 241-251. DOI: 10.4037/ajcc2009743.
 - [20] Cai K, Zhang Y, Shen L, et al. Characteristics of blood pressure profiles after endovascular coiling as predictors of clinical outcome in poor-grade aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *World Neurosurg*, 2017, 104: 459-466. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.05.027.
 - [21] Ascanio LC, Enriquez-Marulanda A, Maragos GA, et al. Effect of blood pressure variability during the acute period of subarachnoid hemorrhage on functional outcomes[J]. *Neurosurgery*, 2020, 87(4): 779-787. DOI: 10.1093/neuros/nyaa019.
 - [22] Yang C, Liu K, Song Y, et al. Day-by-day blood pressure variability is associated with neurological functional outcome after acute ischemic stroke[J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 566825. DOI: 10.3389/fneur.2020.566825.
 - [23] Zhu Y, Wu M, Wang H, et al. Daily blood pressure variability in relation to neurological functional outcomes after acute ischemic stroke[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 958166. DOI: 10.3389/fneur.2022.958166.
 - [24] Zhou Y, Li S, Hu H, et al. Blood pressure variability and 90-day functional outcome in branch atheromatous disease-related stroke: A multicenter prospective study[J]. *J Clin Hypertens*, 2025, 27: e70187. DOI: 10.1111/jch.70187.
 - [25] Yao MX, Qiu DH, Zheng WC, et al. Effects of early-stage blood pressure variability on the functional outcome in acute ischemic stroke patients with symptomatic intracranial artery stenosis or occlusion receiving intravenous thrombolysis[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 823494. DOI: 10.3389/fneur.2022.823494.
 - [26] Mengel A, Siokas V, Buesink R, et al. Continuous blood pressure indices during the first 72 hours and functional outcome in patients with spontaneous intracerebral hemorrhage[J]. *Neurocrit Care*, 2025, 42(3): 839-856. DOI: 10.1007/s12028-024-02146-4.
 - [27] Konar S, Florez-Perdomo W, Garcia-Ballesteras E, et al. Blood pressure variability and prognosis in aneurysmal subarachnoid hemorrhage: A systematic review and Meta-analysis[J]. *J Neurosurg Sci*, 2023, 67(1): 10-17. DOI: 10.23736/S0390-5616.21.05477-1.
 - [28] Haripottawekul A, Persad-Paisley EM, Paracha S, et al. Comparison of the effects of blood pressure parameters on rebleeding and outcomes in unsecured aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *World Neurosurg*, 2024, 185: e582-e590. DOI: 10.1016/j.wneu.2024.02.078.
 - [29] Betteridge T, Finnis M, Cohen J, et al. Blood pressure management goals in critically ill aneurysmal subarachnoid hemorrhage patients in Australia and New Zealand[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2024, 36(3): 237-243. DOI: 10.1097/ANA.0000000000000926.
 - [30] Athiraman U, Norris AJ, Jayaraman K, et al. Intraoperative blood pressure and carbon dioxide values during aneurysmal repair and the outcomes after aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(17):5488. DOI: 10.3390/jcm12175488.
 - [31] Ader J. Guidelines in action: Volume and blood pressure management after aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *Stroke*, 2024, 55(2): e39-e41. DOI: 10.1161/STROKEAHA.123.044957.

(收稿日期:2026-02-05)