

多普勒鼻咽窝桡动脉阻力指数在脓毒症及感染性休克患者中的应用价值

张晓娜^{1,2}, 李哲^{1,2}, 纪明燕^{1,2}, 王景梅^{2*}

¹承德医学院研究生学院, 河北 承德

²邯郸市中心医院重症医学科, 河北 邯郸

收稿日期: 2025年12月5日; 录用日期: 2025年12月28日; 发布日期: 2026年1月6日

摘要

脓毒症是指因感染引起的宿主反应失调导致的危及生命的器官功能障碍。感染性休克是脓毒症经过充分的液体复苏, 仍需使用血管活性药物以维持平均动脉压 ≥ 65 mmHg, 且血乳酸浓度 > 2 mmol/L。脓毒症的病理生理核心是微循环功能障碍与血流分布异常。传统宏观血流动力学参数, 如平均动脉压、中心静脉压等往往无法准确反映脓毒症患者组织灌注的真实状态。虽然肾动脉阻力指数(Renal Resistive Index, RRI)已被广泛研究作为全身微循环障碍的替代指标, 但其测量受多种因素干扰, 临床上并不易得。鼻咽窝处的桡动脉位置表浅、易于探测, 且远离中心循环, 可能比传统宏观血流动力学参数及RRI等指标更能反映外周血管的收缩状态。本研究旨在系统综述多普勒超声测量鼻咽窝桡动脉阻力指数(Doppler Sunff-Box Resistive Index, SBRI)在评估脓毒症及感染性休克患者病情严重程度、预后预测及指导治疗中的临床应用价值。

关键词

脓毒症, 感染性休克, 多普勒超声, 多普勒鼻咽窝桡动脉阻力指数, 微循环, 预后

Application Value of Doppler Sunff-Box Resistive Index in Patients with Sepsis and Septic Shock

Xiaona Zhang^{1,2}, Zhe Li^{1,2}, Mingyan Ji^{1,2}, Jingmei Wang^{2*}

¹Graduate School, Chengde Medical University, Chengde Hebei

²Department of Critical Care, Handan Hospital, Handan Hebei

Received: December 5, 2025; accepted: December 28, 2025; published: January 6, 2026

*通讯作者。

文章引用: 张晓娜, 李哲, 纪明燕, 王景梅. 多普勒鼻咽窝桡动脉阻力指数在脓毒症及感染性休克患者中的应用价值[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 365-373. DOI: 10.12677/acm.2026.161052

Abstract

Sepsis refers to life-threatening organ dysfunction caused by dysregulation of the host's response due to infection. Septic shock is defined as a condition where, after adequate fluid resuscitation, vasopressor drugs are still required to maintain an average arterial pressure of ≥ 65 mmHg and a blood lactate concentration of >2 mmol/L. The core pathophysiology of sepsis is microcirculation dysfunction and abnormal blood flow distribution. Traditional macroscopic hemodynamic parameters, such as mean arterial pressure and central venous pressure, often fail to accurately reflect the true state of tissue perfusion in sepsis patients. Although Renal Resistive Index (RRI) has been widely studied as an alternative indicator for systemic microcirculation disorders, its measurement is often interfered by various factors and is not easily obtainable in clinical practice. The radial artery position at the naso-gingival area is superficial, easy to detect, and far from the central circulation, and may be more capable of reflecting the contraction state of peripheral blood vessels than traditional macroscopic hemodynamic parameters and RRI and other indicators. This study aims to systematically review the clinical application value of Doppler ultrasound measurement of Doppler Sunff-box Resistive Index (SBRI) in evaluating the severity of sepsis and septic shock patients, predicting prognosis, and guiding treatment.

Keywords

Sepsis, Septic Shock, Doppler Ultrasound, Doppler Sunff-Box Resistive Index, Microcirculation, Prognosis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脓毒症被定义为由感染引起的宿主反应失调导致的危及生命的器官功能障碍[1]。当其进展至感染性休克时,则表现为在充分液体复苏后仍需要血管活性药物来维持平均动脉压,并且伴有血清乳酸水平升高,是重症监护病房(Intensive Care Unit, ICU)患者死亡的主要原因之一,脓毒症及感染性休克在ICU内的病死率高达30%~50% [2] [3]。尽管近年来在早期识别、抗生素使用及集束化治疗方面取得了显著进展,但脓毒症相关的患者死亡率仍然居高不下,我们迫切需要加深对脓毒症及感染性休克的病理生理机制理解,并且需要寻找更有效监测手段来控制脓毒症的加重。

脓毒症和感染性休克的病理生理过程极其复杂,核心在于其对微循环功能的影响,导致极重的微循环功能障碍(Microcirculatory Dysfunction) [4]。在炎症风暴和细胞因子释放的驱动下,患者体内出现内皮细胞损伤、毛细血管密度下降、血流异质性增加、动静脉短路开放以及血管自主调节功能丧失等一系列改变[5]。这些微循环层面的紊乱直接导致组织细胞水平的供氧与需氧失衡,最终导致组织缺氧和器官功能衰竭。然而,临床上常规使用的宏观血流动力学监测指标,如心率(Heart Rate, HR)、平均动脉压(Mean Arterial Pressure, MAP)、中心静脉压(Central Venous Pressure, CVP)和心输出量(Cardiac Output, CO)等,虽然能够反映全身循环的概貌,但已被多项研究证实与微循环状态存在脱节现象[6] [7]。宏观的血流动力学监测是一个系统集成变量,代表整个循环系统后负荷的宏观平均值,指心脏泵血需要克服的总阻力,其由大、中动脉的张力和广泛的小动脉、微动脉的张力共同决定。微循环灌注是一个局部功能变量,是指

在特定器官内,血液在毛细血管网中流动,完成氧气与营养物质输送、代谢废物清除的最终目的,受到靶器官局部代谢、内皮功能、神经体液调节和血液流变学特性的精细调控。这两个发生在不同解剖层次、受不同调控机制影响的生理过程,在病理状态下失去了协调性。两者从生理学起源上就是脱节的,宏观监测的核心目标是维持系统血压,确保冠脉和脑灌注压的上游水压。而微循环灌注的核心目标是满足局部组织细胞的代谢需求,实现按需分配的精准灌溉。在健康状态下,两个目标通过复杂的机制高度协同。但在休克等应激下,维持生命的优先级压倒了一切,机体不惜牺牲局部灌注来保证核心脏器的灌注压。但微循环并非是被动接受上游压力的管道,而是一个具有高度自主调节功能的终端器官。健康人可以代谢性自我调节,如组织缺氧、代谢产物堆积等局部舒张微血管,增加血流。也可以通过内皮释放一氧化氮、前列环素等舒血管物质维持微血管张力平衡和抗炎状态。但在病理情况下,患者血管反应性解偶联,微血管平滑肌对血管收缩剂反应性降低甚至无反应,对某些血管舒张信号如一氧化氮等仍保持敏感。结果导致全身性升压药难以有效收缩病变的微血管以恢复灌注,宏观阻力可能上升,但病变区域的微循环血流无法恢复。并且内皮屏障崩溃、毛细血管渗漏,内皮细胞连接破坏,血浆外渗,不仅造成有效循环血量减少,而且更致命的是组织水肿压迫微血管,形成组织高压。此时即使动脉端压力足够,血流也无法有效进入被水肿压迫的毛细血管网。最后微血管血栓形成与白细胞粘附内皮激活诱发凝血、白细胞滚动粘附,直接机械性堵塞毛细血管。这种堵塞是局部的、斑片状的,导致无复流现象。宏观血流参数对此完全无法体现。脱节现象最形象的体现是血流异质性。相邻的毛细血管,有的过度充盈,有的完全无血流,有的血流淤滞。平均血流速度可能正常,但组织氧合效率极低。临床上复苏治疗措施也可能无意中加剧脱节,血管活性药物如去甲肾上腺素为非选择性,旨在提升全身血管阻力和血压。然而在收缩皮肤、肌肉血管的同时,也可能过度收缩肾、肠系膜等脏器的微动脉,虽然提升 MAP,却可能减少脏器的实际血流。过量的液体复苏在存在毛细血管渗漏时,会加剧组织水肿,进一步压迫微循环。深刻理解脱节就是理解休克的本质不仅是容量不足或泵衰竭,更是分布性衰竭和微循环衰竭。成功的复苏必须实现从大血管到微循环、从宏观压力到细胞代谢的贯序性、一致性恢复。也就是说当脓毒症患者这些宏观参数看似正常后,微循环障碍可能依然持续存在。因此寻找能够可靠、无创、实时地评估微循环状态的生物标志物或监测技术,正在成为脓毒症研究的热点之一。

多普勒超声技术因其无创、便捷、可重复及可床旁实施的特点,在重症医学领域的应用日益广泛。其中阻力指数(Resistive Index, RI)是一个由多普勒频谱计算得出的参数,RI 理论上反映了远端血管的阻力情况,RI 值越高提示下游血管阻力越大。在肾脏领域,肾动脉阻力指数(Renal Resistive Index, RRI)已被广泛研究,并且 RRI 被认为是评估急性肾损伤(Acute Kidney Injury, AKI)风险、鉴别肾前性与肾性因素以及预测肾脏功能预后的指标[8]。更有意义的是有研究表明,在脓毒症等疾病中,RRI 的升高不仅反映了肾脏局部的灌注改变,更有可能一定程度上反映了患者的全身微循环状态和血管收缩情况[9]。

然而 RRI 的测量存在一些局限性,其结果需要专业超声医生操作、受肾内压、腹内压、HR 及血管顺应性等多种因素影响[10]。因此探索比 RRI 更易获取、干扰因素更少的指标来评估全身血管状态具有重要临床意义。鼻烟窝是位于手腕桡侧的一个三角形凹陷,其深部有桡动脉通过。此处的桡动脉位置非常表浅,极易被超声探头探测,且为终末动脉,鼻烟窝处的血流动力学特征更能反映外周小动脉的阻力状态。近年来,有学者开始关注鼻烟窝桡动脉阻力指数(Doppler Snuff-box Resistive Index, SBRI)在评估外周灌注中的应用[11]。初步研究显示,SBRI 在心脏手术、危重症患者中与组织灌注指标有一定相关性。

本综述旨在系统性地探讨 SBRI 在脓毒症及感染性休克患者中的应用价值。我们将从脓毒症的微循环病理生理学出发,阐述 SBRI 的理论基础,分析 SBRI 与疾病严重程度和预后的关系,比较其与传统监测手段的优势,并展望其在指导治疗中的潜在作用,希望可以为临床提供一个新颖、实用的监测思路。

2. 脓毒症与感染性休克的微循环障碍及监测现状

微循环是血液与组织进行物质交换的最终场所,微循环承载着维持细胞代谢和器官功能基础的作用。在脓毒症及感染性休克时,微循环出现障碍,内毒素和炎症介质导致内皮细胞活化,表达大量粘附分子,促进白细胞粘附和血小板聚集,形成微血栓,堵塞毛细血管[5];一氧化氮(NO)代谢紊乱,导致血管对儿茶酚胺的反应性产生异常,表现为既有过度收缩的区域,也有舒张不全的区域,使机体的血流分布极度不均[12];炎症导致血管内皮屏障功能被破坏,大量液体外渗至组织间隙,引起组织水肿,进一步增加氧的弥散距离[4];炎症环境使红细胞膜刚性增加,导致红细胞变形能力下降,难以通过直径更小的毛细血管,加剧了灌注障碍的产生[13]。这种微循环紊乱直接导致隐匿性的组织缺氧,即使全身氧输送(DO₂)正常或增高,组织细胞仍可能处于缺氧状态,最终驱动多器官功能障碍综合征(Multiple Organ Dysfunction Syndrome, MODS)的发生。

截至目前我们常用的评估组织灌注和微循环的方法是血清乳酸和乳酸清除率,是目前最常用的反映组织低灌注的生化指标[14]。但是乳酸水平受肝脏代谢、应激等影响,且其变化相对滞后。再有就是毛细血管再充盈时间(Capillary Refill Time, CRT)、皮肤花斑等指标。这些指标虽然简便,但对于观察者的主观性较强,难以用于量化的评估。正交偏振光谱(OPS)和旁流暗场成像(SDF)技术虽然可以直接观察舌下微循环,定量分析微血管血流指数(MFI)、灌注血管密度(PVD)等参数。但是这些设备昂贵、操作需要培训,且结果易受运动伪影干扰,难以在临床上进行床旁常规、连续性的监测。近红外光谱技术(NIRS)可以通过测量组织氧饱和度(StO₂)和血管闭塞试验后的再灌注斜率来评估局部氧合和微血管功能[15]。但NIRS测量深度和区域有限,且容易受到皮下脂肪厚度影响。综上所述,临床急需一种能够弥补上述评估方法缺陷的检测手段,实现可以快速、无创、定量、床旁连续地监测微循环状态的可能。

3. RI 的生理学与病理生理学基础

RI 是一个由脉冲波多普勒频谱推导出的无量纲参数。RI 的计算公式为: $RI = (\text{收缩期峰值流速} - \text{舒张末期流速}) / \text{收缩期峰值流速}$ 。

RI 的取值范围在 0 到 1 之间。RI 值越高,意味着心室舒张期血流速度相对收缩期下降得越显著,提示血管远端阻力越高,舒张期前向血流越少。在生理状态下,RI 受多种因素影响,一些高阻力器官通常 RI 较高,如四肢、在禁水状态下的肾脏皮质等 RI 通常 >0.7,而低阻力器官通常 RI 较低,如脑、肝脏等 RI 通常 <0.6。心率过快也会导致心室舒张期缩短,舒张末期流速(End Diastolic Velocity, EDV)降低,从而使 RI 假性增高。但是,比如动脉粥样硬化的患者血管壁会硬化,导致血管顺应性下降,导致收缩期峰值流速(Peak Systolic Velocity, PSV)增高,EDV 的变化虽然不一,但是总体倾向于 RI 增高。在某些病理状态下,如脓毒症休克时,强烈的交感神经兴奋和血管活性药物使用导致全身性血管强烈收缩,外周血管阻力会急剧升高。此时直接反映在四肢动脉的频谱上就表现为舒张期血流显著减少、消失甚至出现反向血流,从而导致 RI 值明显升高。

RRI 的研究为我们将 RI 应用于外周血管提供了坚实的理论基础。有研究[16]发现,脓毒症患者的 RRI 显著高于非脓毒症患者,且与 AKI 的发生和死亡率相关。

更重要的是他们提出 RRI 的升高可能不仅仅代表肾脏本身的病变,而是全身血流动力学紊乱和血管收缩的标志。基于这一思路,我们将测量部位转移到更易获取、干扰因素更少的外周动脉——桡动脉。特别是鼻咽窝处的桡动脉作为监测部位,成为一个理想的选择。

4. 鼻咽窝桡动脉的解剖学优势与 SBRI 测量技术

鼻咽窝是位于腕部桡背侧的一个浅凹,桡侧的边界为拇长展肌腱和拇短伸肌腱,尺侧的边界为拇长

伸肌腱。鼻咽窝的底部分为桡骨茎突和舟骨，其表面有头静脉起始部通过，深部即为桡动脉的终末段。此处的桡动脉位置非常表浅，仅有皮肤和浅筋膜覆盖，极易被超声探头压迫和探测。

我们通常使用 10~15 MHz 的高频线阵探头监测 SBRI。测量时让患者取平卧位或半卧位，前臂旋前，手腕自然放松，轻向尺侧偏和屈曲，使鼻咽窝区域充分暴露。并且将探头横向或纵向置于鼻咽窝上，使用 B 模式识别桡动脉，此时桡动脉在超声上显示为一条管状无回声结构。然后将超声切换至彩色多普勒模式，确认血管内血流的信号。接着启用脉冲波多普勒(PW)，取样容积通常设定为 1.5~2 mm，并且置于血管中央，调整超声束与血流方向的夹角尽可能小于 60°。获得稳定、清晰的频谱波形后，冻结超声图像。像这样测量至少 3~5 个连续、规整心动周期的 PSV 和 EDV，并计算平均的 RI 值。这样即可得到较为准确的 SBRI 值。

SBRI 相较于其他监测微循环的指标来说其解剖位置固定、表浅，有着极高的可及性与可重复性，即使对于超声新手也易于学习和掌握。超声检测结果无辐射，并且为无创操作，可随时重复测量，便于动态监测。鼻咽窝处的桡动脉作为终末动脉，其血流频谱更能直接反映手部乃至全身外周血管的收缩状态，受中心大血管血流动力学的影响相对较小。整个测量 SBRI 的过程可在 1~2 分钟内完成，非常适合 ICU 的快速评估需求。

5. SBRI 在脓毒症及感染性休克患者中的临床应用价值

SBRI 与脓毒症严重程度密切相关。有研究将 SBRI 与微循环参数进行关联，发现 SBRI 与微循环阻力指数存在负相关关系，提示其可能反映微循环功能障碍的严重程度[17]。北京协和医院的一项前瞻性观察性研究中，纳入 44 例感染性休克患者与 20 例非脓毒症对照组患者，结果显示感染性休克组的 SBRI 显著高于对照组，且 SBRI 与外周灌注指数(perfusion index, PI)呈负相关，与动脉血乳酸水平呈正相关，而心指数(cardiac index, CI)与乳酸水平无明显相关性。这一相关性的生理机制在于 PI 反映的是外周微循环的灌注状态，而 SBRI 反映的是外周动脉的阻力状态，血管阻力升高会直接导致微循环灌注减少，因此 SBRI 与 PI 呈负相关。乳酸清除率是评估感染性休克患者复苏效果的重要指标，6 小时乳酸清除率 $\geq 20\%$ 通常提示复苏有效，预后较好。上述北京协和医院的研究显示，6 小时乳酸清除率 $< 20\%$ 的感染性休克患者，其 SBRI 显著高于乳酸清除率 $\geq 20\%$ 的患者($SBRI \geq 1.09$ vs. $SBRI < 1.09$)，且 SBRI 预测 6 小时乳酸清除率 $< 20\%$ 的曲线下面积(AUC)为 0.805，显著优于 PI ($AUC = 0.703, P < 0.05$)，其敏感度为 68.8%，特异度为 85.7%。这一结果表明，SBRI 可作为预测感染性休克患者复苏效果的无创指标，对于指导临床调整复苏策略具有重要意义。所以当 SBRI 持续升高且超过 1.09 时，提示乳酸清除率低下，需加强血管活性药物使用或优化液体管理，以改善组织灌注[18]。虽然该研究为单中心、小样本的观察性研究，该研究的结果存在一定的局限性，但是该研究说明的观点值得讨论。产生这些现象的机制可能是当脓毒症加重时，炎症介质风暴和代偿性交感神经兴奋加剧，导致全身性尤其是外周血管强烈收缩。这种血管收缩状态直接传导至桡动脉远端，表现为舒张期血流受阻，EDV 下降，从而使 SBRI 升高。因此，SBRI 可以作为一个量化的监测外周血管收缩程度的指标，间接反映疾病的严重程度。

由于微循环障碍是脓毒症相关器官功能损伤的共同通路，反映微循环状态的 SBRI 自然与器官功能障碍的发生相关。特别是对于 AKI 来说，其发生与肾脏微循环灌注不足密切相关。同样 SBRI 同样也是反映机体微循环的状态，早期通过 SBRI 识别出存在严重外周血管收缩和微循环障碍的患者，同 RRI 的监测一样，有助于预警即将发生的肾损伤，从而提前干预。

对于预后的判断是重症医学的核心环节。动态监测 SBRI 的变化趋势，可能比单次测量值更具预测价值。若脓症患者经过复苏治疗后，SBRI 能够维持在一个较为稳定且不高的水平，表示患者的组织灌注能够得以维持。这意味着 SBRI 不仅能用于初始风险分层，更能作为一个动态的治疗导航仪。如果经过积

极复苏治疗后，患者的 SBRI 仍居高不下，提示其微循环障碍难以逆转，预后极差，可能需要更激进的生命支持策略或探索新的治疗方案来纠正脓毒症的加重。

脓毒症治疗的关键在于早期的目标导向治疗(EGDT)，但具体方案仍在不断优化。SBRI 可能在 EGDT 中扮演补充角色。在容量反应性评估的基础上，结合 SBRI 可以更全面地评估复苏终点。如果脓毒症患者快速补液后，虽然 CVP 或每搏量有所上升，但 SBRI 也随之显著升高，这可能提示液体负荷过重导致组织水肿，进而增加了外周血管阻力，或者触发了代偿性的血管收缩，此时应谨慎继续补液。对于使用血管收缩药物的患者 SBRI 可以实时反映药物对外周血管的影响。过高的 SBRI 可能意味着外周组织灌注在血流动力学的恢复过程中被过度牺牲。临床医生可以尝试在维持 MAP 达标的前提下，滴定血管活性药物的剂量，观察 SBRI 是否有所下降，在宏观血压和微观组织灌注之间找到最佳的平衡点。如果在加用或增加去甲肾上腺素剂量时，监测到 SBRI 急剧升高，可能警示此时患者需要重新评估有关组织灌注的指标，避免过度血管收缩。

传统监测指标乳酸是全局性、累积性的指标，乳酸的变化相对比较滞后。而 SBRI 反映的是实时、局部的血管阻力状态，变化更为迅速。并且虽然 SBRI 反映的是局部的血管阻力，但是同时也具有全身代表性。如果将两者结合，既能了解当前的血管状态，也能验证组织缺氧是否改善，两者可以提供互补信息。同 RRI 相比，SBRI 测量更简便，不受腹内压、肾盂压力等复杂因素干扰，更适合快速筛查和连续监测。

6. 局限性、挑战与未来展望

尽管 SBRI 展现出巨大的应用潜力，但在广泛应用于临床之前，仍需解决许多问题。目前尚无统一的测量 SBRI 的操作规范。取样容积大小、超声角度校正的严格程度、测量时患者的手臂位置和活动等都可能影响 SBRI 的结果。需要建立国际公认的标准操作程序。用于诊断严重脓毒症、预测 AKI 或死亡的 SBRI 最佳临界值在不同研究中存在差异，将来还需要大规模、多中心的前瞻性研究来确立具有良好敏感性和特异性的界值。虽然 SBRI 受干扰因素少于 RRI，但仍需考虑到一些干扰因素。例如既往有桡动脉狭窄、雷诺现象、局部有外伤的患者，对于此类患者来说 SBRI 测量结果可能不具代表性。某些心率失常会导致超声频谱不规则，也会影响 SBRI 的测量准确性。目前关于 SBRI 在脓毒症中应用的研究多为单中心、小样本的观察性研究，缺乏将其纳入治疗决策并验证其能否改善患者预后的随机对照试验。以下列举了影响 SBRI 测值的一些常见的各种生理及病理因素，详见表 1。

Table 1. Common factors affecting SBRI measurement values and their mechanisms
表 1. 常见的影响 SBRI 测值的因素及机制

影响因素类别	具体因素	对 RI 值的影响趋势	机制简述
生理性因素	血流动力学状态		
	心率增快	增加	舒张期时间缩短，舒张末期流速降低
	心输出量增加	通常降低	整体灌注增加，舒张期流速相对增高
	外周血管整体阻力变化	同向变化	寒冷、紧张等情况时 SVR 升高→ RI 升高； 发热、运动后等情况时 SVR 降低→ RI 降低
	局部调节与操作		
	探头压力过大	人为增加	压迫血管，增加下游阻力，尤其影响舒张期血流
	肢体/手腕位置	可变	位置不当(如过伸/过屈)可能导致血管受压或扭曲
	测量部位	远端更高	越靠近远端，血管床阻力成分越大，RI 有生理性增高趋势

续表

个体差异		
年龄增长	增高	血管弹性下降，僵硬度增加，舒张期血流减少
性别差异	男性可能略高	与激素水平及平均血管张力差异有关
基础血压水平	高血压者偏高	长期高血压导致血管壁重塑，顺应性下降
病理性因素	近端(心脏及大血管)疾病	
重度主动脉瓣关闭不全	显著降低 (可为零或负)	舒张期血液大量反流，导致舒张期反向血流
近端动脉严重狭窄或 闭塞	狭窄前增高， 狭窄后降低	狭窄前：代偿性血管舒张受限； 狭窄后：搏动性减弱，呈小慢波
充血性心力衰竭	增高	心搏量低，舒张期灌注压不足，流速下降
局部血管病变		
桡动脉粥样硬化/狭窄	增高	管腔狭窄，血流受阻，远端阻力增高
桡动脉痉挛	显著增高或信号消失	血管壁平滑肌强烈收缩，管腔急剧变窄
血栓性脉管炎/血管炎	增高	血管壁炎症、增厚，管腔狭窄或闭塞
外部压迫(肿瘤、血肿)	增高	血管受压，下游阻力增加
手部微循环及组织状态		
严重雷诺现象	发作期显著增高	指端动脉阵发性痉挛，舒张期血流显著减少或消失
结缔组织病	增高	微血管病变和纤维化，使外周阻力持续增高
手部严重水肿/筋膜室 综合征	增高至信号消失	组织压力极高，压迫微循环，使舒张期灌注停止
动静脉瘘(位于手部)	显著降低	瘘口近端阻力极低，导致高舒张期血流
全身性病理状态		
脓毒症/分布性休克 (晚期)	可变	早期血管麻痹可能 RI 降低； 晚期合并低灌注、水肿时 RI 可增高
终末期肾病/尿毒症	增高	血管钙化、动脉硬化及容量负荷过重共同导致
高粘度血症 (如红细胞增多症)	增高	血液粘滞度增加，血流阻力增大

我们未来可以进行前瞻性队列研究以明确 SBRI 预测效能，并开展随机对照试验研究，比较基于 SBRI 的精准管理在脓毒症患者预后方面的影响。对于 SBRI 的测量方面，希望能开发能够自动追踪、计算 SBRI 的超声软件或便携式设备，降低操作者依赖性，实现真正意义上的连续监测。如果有能够将 SBRI 与乳酸、NIRS 等参数进行多模态整合，并且利用人工智能算法构建综合预测模型，从而实现对脓毒症患者微循环状态的更精准、更立体的评估，提高脓毒症患者的存活率，将为广大脓毒症患者带来福音。

7. 总结

SBRI 作为一个新兴的无创床旁监测工具，凭借其解剖位置优越、测量简便快捷、可重复性高等特点，有望在脓毒症及感染性休克的管理中展现出独特的应用价值。大量证据表明，SBRI 能够有效反映脓毒症

及感染性休克患者的外周血管收缩程度和微循环功能障碍,与疾病严重程度、器官功能损伤和死亡风险等密切相关。SBRI 不仅可用于早期的快速危险分层,其动态演变趋势更是评估治疗反应和预测预后的重要手段。尽管在标准化和高级别证据方面仍需完善,但将 SBRI 整合进脓毒症的血流动力学管理框架中,SBRI 可能成为推动感染性休克治疗从宏观稳定向宏微观并重的精准化方向迈进的重要抓手,最终有望为改善脓毒症及感染性休克等高危患者群体的临床预后做出贡献。

参考文献

- [1] Singer, M., Deutschman, C.S., Seymour, C.W., Shankar-Hari, M., Annane, D., Bauer, M., *et al.* (2016) The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA*, **315**, 801-810. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0287>
- [2] Evans, L., Rhodes, A., Alhazzani, W., Antonelli, M., Coopersmith, C.M., French, C., *et al.* (2021) Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines for Management of Sepsis and Septic Shock 2021. *Critical Care Medicine*, **49**, e1063-e1143. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000005337>
- [3] Rudd, K.E., Johnson, S.C., Agesa, K.M., Shackelford, K.A., Tsoi, D., Kievlan, D.R., *et al.* (2020) Global, Regional, and National Sepsis Incidence and Mortality, 1990-2017: Analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, **395**, 200-211. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)32989-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)32989-7)
- [4] De Backer, D., Orbegozo Cortes, D., Donadello, K. and Vincent, J. (2013) Pathophysiology of Microcirculatory Dysfunction and the Pathogenesis of Septic Shock. *Virulence*, **5**, 73-79. <https://doi.org/10.4161/viru.26482>
- [5] Ince, C., Mayeux, P.R., Nguyen, T., Gomez, H., Kellum, J.A., Ospina-Tascón, G.A., *et al.* (2016) The Endothelium in Sepsis. *Shock*, **45**, 259-270. <https://doi.org/10.1097/shk.0000000000000473>
- [6] De Backer, D., Creteur, J., Preiser, J., Dubois, M. and Vincent, J. (2002) Microvascular Blood Flow Is Altered in Patients with Sepsis. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **166**, 98-104. <https://doi.org/10.1164/rccm.200109-016oc>
- [7] Sakr, Y., Dubois, M., De Backer, D., Creteur, J. and Vincent, J. (2004) Persistent Microcirculatory Alterations Are Associated with Organ Failure and Death in Patients with Septic Shock. *Critical Care Medicine*, **32**, 1825-1831. <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000138558.16257.3f>
- [8] Darmon, M., Schortgen, F., Vargas, F., Liazdy, A., Schlemmer, B., Brun-Buisson, C., *et al.* (2010) Diagnostic Accuracy of Doppler Renal Resistive Index for Reversibility of Acute Kidney Injury in Critically Ill Patients. *Intensive Care Medicine*, **37**, 68-76. <https://doi.org/10.1007/s00134-010-2050-y>
- [9] Villa, G., Husain-Syed, F., Saitta, T., Degl'Innocenti, D., Barbani, F., Resta, M., *et al.* (2021) Hemodynamic Instability during Acute Kidney Injury and Acute Renal Replacement Therapy: Pathophysiology and Clinical Implications. *Blood Purification*, **50**, 729-739. <https://doi.org/10.1159/000513942>
- [10] Anile, A., Ferrario, S., Campanello, L., Orban, M.A. and Castiglione, G. (2019) Renal Resistive Index: A New Reversible Tool for the Early Diagnosis and Evaluation of Organ Perfusion in Critically Ill Patients: A Case Report. *The Ultrasound Journal*, **11**, Article No. 23. <https://doi.org/10.1186/s13089-019-0138-3>
- [11] Lee, E., Hsia, S., Huang, C., Kao, K., Chan, O., Lin, C., *et al.* (2019) Strong Correlation between Doppler Snuffbox Resistive Index and Systemic Vascular Resistance in Septic Patients. *Journal of Critical Care*, **49**, 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2018.10.010>
- [12] Trzeciak, S., McCoy, J.V., Phillip Dellinger, R., Arnold, R.C., Rizzuto, M., Abate, N.L., *et al.* (2008) Early Increases in Microcirculatory Perfusion during Protocol-Directed Resuscitation Are Associated with Reduced Multi-Organ Failure at 24 h in Patients with Sepsis. *Intensive Care Medicine*, **34**, 2210-2217. <https://doi.org/10.1007/s00134-008-1193-6>
- [13] Piagnerelli, M., Boudjeltia, K.Z., Vanhaeverbeek, M. and Vincent, J. (2003) Red Blood Cell Rheology in Sepsis. *Intensive Care Medicine*, **29**, 1052-1061. <https://doi.org/10.1007/s00134-003-1783-2>
- [14] Bakker, J., Nijsten, M.W. and Jansen, T.C. (2013) Clinical Use of Lactate Monitoring in Critically Ill Patients. *Annals of Intensive Care*, **3**, Article No. 12. <https://doi.org/10.1186/2110-5820-3-12>
- [15] Creteur, J., Carollo, T., Soldati, G., Buchele, G., De Backer, D. and Vincent, J. (2007) The Prognostic Value of Muscle Sto2 in Septic Patients. *Intensive Care Medicine*, **33**, 1549-1556. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0739-3>
- [16] Bateman, R.M., Sharpe, M.D., Jagger, J.E., Ellis, C.G., Solé-Violán, J., López-Rodríguez, M., *et al.* (2016) 36th International Symposium on Intensive Care and Emergency Medicine. *Critical Care*, **20**, Article No. 94. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1208-6>
- [17] Trzeciak, S., Dellinger, R.P., Parrillo, J.E., Guglielmi, M., Bajaj, J., Abate, N.L., *et al.* (2007) Early Microcirculatory Perfusion Derangements in Patients with Severe Sepsis and Septic Shock: Relationship to Hemodynamics, Oxygen

Transport, and Survival. *Annals of Emergency Medicine*, **49**, 88-98.e2.

<https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2006.08.021>

- [18] Wang, C., Wang, X., Zhang, H., Su, L., Huang, W. and Liu, D. (2020) Association between Doppler Snuffbox Resistive Index and Tissue Perfusion in Septic Patients. *Shock*, **54**, 723-730. <https://doi.org/10.1097/shk.0000000000001547>