

经皮肾镜取石术后并发尿源性脓毒血症的影响因素研究进展

陈 涛¹, 陈丽萍², 陈 戡^{1*}, 崔茂璨¹, 杨轶哲¹, 徐铭鸿¹

¹昆明医科大学第二附属医院泌尿外科, 云南 昆明

²昆明医科大学第二附属医院手术室, 云南 昆明

收稿日期: 2025年6月9日; 录用日期: 2025年7月2日; 发布日期: 2025年7月9日

摘 要

泌尿系结石是泌尿外科常见病、多发病之一。经皮肾镜取石术(Percutaneous nephrolithotomy, PCNL)是治疗泌尿系结石常用的手术方式。感染是PCNL术后最严重的并发症之一, 其包括发热、全身炎症反应综合征(SIRS)、尿源性脓毒血症及感染性休克。尿源性脓毒血症是一种严重的全身反应综合征, 其预后极差, 如果处理不当, 可能会对患者的生命构成严重威胁, 因此预防PCNL后尿源性脓毒血症的发生至关重要。本文将对PCNL后并发尿源性脓毒血症的影响因素进行综述。

关键词

泌尿系结石, 经皮肾镜取石术, 尿源性脓毒血症, 并发症, 危险因素

Research Progress on Influencing Factors of Urinary Sepsis after Percutaneous Nephrolithotomy

Tao Chen¹, Liping Chen², Jian Chen^{1*}, Maocan Cui¹, Yizhe Yang¹, Minghong Xu¹

¹Department of Urology, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

²Operating Room, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: Jun. 9th, 2025; accepted: Jul. 2nd, 2025; published: Jul. 9th, 2025

Abstract

Urolithiasis is one of the common and frequently occurring diseases in urology. Percutaneous

*通讯作者。

文章引用: 陈涛, 陈丽萍, 陈戡, 崔茂璨, 杨轶哲, 徐铭鸿. 经皮肾镜取石术后并发尿源性脓毒血症的影响因素研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(7): 480-486. DOI: 10.12677/acm.2025.1572013

nephrolithotomy (PCNL) is a common surgical method for the treatment of urolithiasis. Infection is one of the most serious complications after PCNL, including fever, systemic inflammatory response syndrome (SIRS), urinary sepsis and septic shock. Urinary sepsis is a serious systemic response syndrome with a very poor prognosis. If not treated properly, it may pose a serious threat to the patient's life. Therefore, it is very important to prevent the occurrence of urinary sepsis after PCNL. This article will review the influencing factors of urinary sepsis after PCNL.

Keywords

Urolithiasis, Percutaneous Nephrolithotomy, Urinary Sepsis, Complications, Risk Factors

Copyright © 2025 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

泌尿系结石是泌尿外科常见病、多发病之一，无论是在发展中国家还是在发达国家，其患病率都呈持续上升趋势。有研究显示我国泌尿系结石的患病率为 8.1% [1]。经皮肾镜取石术(Percutaneous nephrolithotomy, PCNL)自 1976 年问世以来，经过不断的发展与完善，已经成为治疗直径 ≥ 2 cm 的肾结石的一线治疗方法[2]，是治疗复杂性肾结石的“金标准”[3]。PCNL 可以将结石碎块通过工作通道直接取出，具有手术创伤小、结石清除率高、手术时间短、住院时间短等优势。尽管经过几十年的不断发展与完善，PCNL 的手术成功率和安全性已经得到了显著提高，但是其手术并发症依然常见，如出血、感染、肾功能恶化、组织损伤等。有研究显示，全球 PCNL 的手术并发症发生率达 20.5% [4]，术后感染导致的尿源性脓毒血症是 PCNL 后最常见的死亡原因[5]。相关研究报道，PCNL 后尿源性脓毒血症发生在 0.3%~1.1% 的患者中，报告的死亡率范围为 50%~66% [6]。尿源性脓毒血症是 PCNL 后最严重的并发症之一，是一种严重的全身反应综合征，其预后极差，如果处理不当，可能会对患者生命构成严重威胁。因此，如果能够早期识别与 PCNL 后感染相关的危险因素，就可以及早对高危患者进行干预，以减少术后严重感染并发症的发生。目前，国内外已有不少研究报道了 PCNL 后尿源性脓毒血症发生的相关危险因素，本文将围绕 PCNL 后尿源性脓毒血症的影响因素研究进展作一综述。

2. 术前相关因素

2.1. 患者因素

2.1.1. 性别

有研究表明女性是 PCNL 后并发尿源性脓毒血症的独立危险因素。Zhou 等[7]通过一项纳入了 18 个研究的系统评价和 meta 分析表明女性是 PCNL 后并发尿源性脓毒血症的独立危险因素。这可能是由于女性独特的解剖结构，其尿道短而直，且毗邻阴道及直肠，容易发生逆行性尿路感染。此外，还有研究认为，老年女性是 PCNL 后并发尿源性脓毒血症的独立危险因素。Yoshimura 等人[8]通过对 424 名患者的临床资料进行回顾性分析后认为年龄 ≥ 75 岁、女性是尿源性脓毒血症的高危因素。这可能是由于老年女性雌激素水平减退、泌尿生殖道萎缩、尿道闭合功能减弱等易导致尿路感染，加之其免疫力水平降低，尿路感染后病原菌更容易侵入血液系统导致严重感染。由此可见，女性尤其老年女性是 PCNL 后并发尿源性脓毒血症的一大危险因素。

2.1.2. BMI

肥胖通常使用 BMI (Body Mass Index) 来作为评估标准。研究发现肥胖患者 PCNL 后并发重症感染的风险更高。Chugh 等人[9]研究发现高 BMI 患者发生尿源性脓毒血症的风险更高。Alhabeeb 等人[10]通过一项观察性队列研究的系统评价和 Meta 分析发现, 肥胖会增加女性和 60 岁以下受试者患尿路感染的风险。

2.1.3. 糖尿病

既往多项研究显示, 糖尿病是 PCNL 后并发尿源性脓毒血症的危险因素。Gutierrez 等人[11]的研究发现糖尿病能导致 PCNL 后感染风险增加。在 Rashid 等人[12]的研究中同样得到了这一结论。Zhu 等[13]的研究纳入了 546 例成年 PCNL 患者作为研究对象, 进行回顾性分析, 研究发现糖尿病是 PCNL 后感染相关的独立危险因素。考虑其机制为: 糖尿病患者的血糖环境会直接损伤机体的免疫细胞功能, 诱导机体的慢性炎症, 破坏免疫稳态, 导致机体免疫功能降低, 加之葡萄糖是细菌的理想能量物质, 尿糖阳性有助于其在泌尿系统繁殖和生长, 导致患者感染风险增大而免疫功能降低, 容易诱发感染; 糖尿病患者微血管功能障碍, 影响微循环功能, 细菌容易进入血液循环系统, 从而增加感染发生率。因此, 合并糖尿病的泌尿系结石患者, 在围术期应严格控制血糖, 加强管理和监测, 降低术后尿源性脓毒血症的发生率。

2.2. 结石因素

2.2.1. 鹿角形结石

鹿角形结石是 PCNL 后感染的重要危险因素。Rivera 等人[14]进行的研究发现鹿角形结石的存在与 PCNL 后发热/SIRS/败血症风险增加($p=0.02$)和总感染并发症($p=0.02$)保持独立相关, 鹿角形结石的存在使 PCNL 后感染的风险增加三倍以上。Shin 等人[15]回顾性分析了 698 例 PCNL 患者的并发症发生率, 根据改良的 Clavien 分级系统分类, 发现所有 IVb 级和 V 级并发症均发生在鹿角形结石患者中, 鹿角形结石是导致术后发热的重要危险因素。流行病学研究显示, 鹿角形结石约 1/4~1/3 为感染性结石, 其约占所有结石的 5%~15%, 其结石成分主要为磷酸铵镁和碳酸磷灰石[16]。在处理鹿角形结石时, 由于其结石负荷大、手术难度高, 通常需要进入多个肾盏进行碎石取石, 有时甚至需要建立多个手术通道才能达到满意的效果, 这可能会延长手术时间和导致更多血管的损伤, 加之鹿角形结石可能携带更多的细菌及内毒素, 因此更需警惕严重感染并发症的发生, 做好围术期的管理。

2.2.2. 结石负荷

文献报道结石负荷是 PCNL 后感染的危险因素。其主要原因可能是较大的结石容易引起尿路梗阻, 导致细菌繁殖引发尿路感染, 当细菌及其分泌的毒素进入循环系统, 从而引起尿源性脓毒血症的发生; 结石负荷越大, 其可能含有更多的细菌和内毒素, 手术操作更容易引发感染; 较大的结石可能需要更长的手术操作时间, 更大的术中灌注压力, 从而导致细菌及内毒素入血的机会增加。一项针对 34 例肾结石患者(16 例感染和 18 例非感染)的研究发现, 所有肾结石中均含有大量的内毒素, 且感染性结石中的内毒素含量比非感染性结石高得多[17]。Shin 等人[15]的研究发现, 泌尿系结石越大, 尤其是鹿角形结石, PCNL 后感染的可能性更大。

2.3. 尿路感染

术前尿路感染是 PCNL 后尿源性脓毒血症的一个重要危险因素。目前临床上主要依靠尿常规和尿培养来判断是否存在尿路感染, 尿培养阳性是尿路感染最直接的证据。当存在尿路感染时, 尿液中的细菌

和毒素含量会明显升高,当进行泌尿系统腔内操作干扰后,尿液中的细菌和毒素极易进入血液系统导致尿源性脓毒血症。有研究证明术前尿培养阳性是 PCNL 后严重感染的重要危险因素[7] [18] [21],尿路感染的患者即使术前使用抗生素抗感染治疗,其泌尿系统中的细菌仍然很难被彻底清除;另外,引起尿路感染的细菌大多是革兰阴性杆菌,其产生的内毒素不能被抗生素清除。有研究通过回顾性比较 256 例 PCNL 后无发热患者和 82 例发热患者,发现后者术前尿培养的阳性率明显高于前者[19]。Yang 等[20]的一项研究发现,术前尿培养阳性是 PCNL 后感染的独立危险因素,在 29 例脓毒性休克患者中,18 例患者(62.1%)术前尿培养阳性。Qiu 等[21]对 946 例接受 PCNL 的患者进行了术后尿源性脓毒血症危险因素的研究,结果显示术前尿培养阳性是 PCNL 后尿源性脓毒血症的独立危险因素。因此,应将尿常规和尿培养作为术前常规检查,存在尿路感染的患者应做好围术期管理,及早进行干预,减少术后严重感染的发生。

3. 术中相关因素

3.1. 手术时间

多篇文献报道手术时间与 PCNL 后尿源性脓毒血症相关[21] [22]。手术时间与结石负荷、结石密度、结石位置、术者熟练程度等因素相关。Qiu 等[21]研究得出,手术时间 ≥ 120 分钟是 PCNL 后尿源性脓毒血症的独立危险因素($OR = 20.93, p = 0.0052$)。Zhou 等[7]通过一项纳入了 18 个研究的系统评价和 meta 分析表明手术时间延长是 PCNL 后并发尿源性脓毒血症的独立危险因素。手术时间延长会导致细菌和内毒素更容易进入循环系统,从而引起尿源性脓毒血症。因此,在保证手术安全和有效率的前提下,应尽可能缩短手术时间,在处理负荷较大结石或复杂结石时,可采取多次手术的方式来降低术后严重感染的风险。

3.2. 灌注压力

在进行 PCNL 时,为了保持手术视野清晰、扩张肾盂肾盏、冲洗结石碎片,必须维持冲洗状态。生理状况下,结构正常的肾盂内压力很低,当肾盂内压力增大时容易引起反流,当冲洗液温度较高或者存在尿路感染时,因毛细血管扩张和黏膜损伤,较低的灌注压力便可引起反流,细菌及内毒素进入循环系统导致严重感染的发生。Zhou 等[22]的研究发现,在 PCNL 手术期间,当肾盂内压力超过 34 mmHg 时,开始出现反流。Guo 等[23]研究得出,定义高压为肾盂内压力超过 30 mmHg 的时间不少于 10 分钟,高压组的术后发热率明显高于低压组。Flannigan 等人[24]研究发现,持续肾盂内压力 > 20 mmHg 与术后发热有关,当肾盂内压力 > 30 mmHg 超过 30 秒容易出现全身炎症综合征(SIRS)。因此,在进行 PCNL 手术时,应尽量缩短高灌注压力的时间,以减少术后感染相关并发症的发生率。

3.3. 穿刺通道

穿刺通道的建立是 PCNL 的核心环节,其作为 PCNL 的第一步,也是最为关键的一步,直接影响后续碎石取石的效果及患者的术后恢复情况,PCNL 的成功率和并发症发生率与穿刺通道的建立密切相关,其穿刺点位、通道大小、通道数量等都是影响手术的重要因素。穿刺点位:当选择中盏入路时,其通道较短,通道与肾脏长轴的角度相对较大,对肾脏及周围组织的损伤较小,且可以更好地暴露肾盏和肾盂,提供更清晰的手术视野和更广阔的操作空间;当选择上/下盏入路时,通道相对较长,角度较小,手术操作难度大,手术时间长,易损伤肾脏及周围组织。通道大小:多项研究报道,通道大小对 PCNL 并发症有影响[25] [26]。随着技术的不断进步,通道大小经历了从标准通道到微通道,再到超微通道的演变历程。大小通道各有其优缺点,大通道能提供 clearer 的手术视野和更广阔的操作空间,便于清除复杂结石和负

荷较大的结石，但其会带来更高的肾脏损伤风险；小通道可能对肾脏的损伤会更小，但对于负荷较大的结石其可能需要更长的手术时间，清除效率可能会受到影响。国内有相关研究报道，标准通道和微通道相比较，其术后感染率更低[27][28]。通道数量：对于鹿角形结石和复杂结石，单通道往往不能达到满意的治疗效果，这时可能需要建立多个通道才能达到更好的结石清除率，但通道数量的增加会加重对肾脏的损伤，其术后并发症的风险也会更高。一项纳入了 18 项研究、共 7161 名患者的系统评价和荟萃分析指出，多条穿刺通道是 PCNL 后感染并发症的独立危险因素[7]。

3.4. 医生经验

Ng [29]的一项研究指出泌尿科医生需要进行一定数量的 PCNL 才能获得必要的经验和技能来胜任手术。Allen 等人[30]指出，新手外科医生在完成 60 例手术后可以达到执行 PCNL 的能力，完成 115 例后将在 PCNL 方面表现出色。一项研究表明，与经验丰富的外科医生相比，新手外科医生的中位手术时间和透视时间更长，结石清除率更低，再治疗率更高，住院时间更长[31]。经验丰富的泌尿外科医生能够准确地选择合适的穿刺点位，安全快速地建立合适的手术通道，且能够娴熟地进行手术操作，缩短手术时间，减少不必要的手术创伤和并发症的发生。

4. 术后相关因素

目前，PCNL 后常规留置尿管、肾造瘘管和双 J 管，其主要目的是为了充分引流尿液，有利于术后恢复，但其也有弊端，如果引流管引流不畅会导致肾脏内血块淤积和细菌繁殖，加之尿管、肾造瘘管和双 J 管长时间留置容易产生细菌定植，细菌及其产生的毒素进入循环系统会发生严重的术后感染。有研究指出相较于标准 PCNL (PCNL 后使用肾造瘘管和双 J 管)，完全无管化 PCNL (PCNL 后无肾造瘘管或双 J 管) 的手术时间、镇痛药物的需求量、住院时间、并发症的发生率明显降低[32]。但是，无管化 PCNL 存在残余结石及血块堵塞输尿管导致引流不畅、感染等并发症的风险，其具体应用有待进一步考证。目前，标准 PCNL 仍是主流的手术方式，所以 PCNL 后要加强引流管的管理，规范使用抗生素，降低术后严重感染并发症的风险。

5. 总结

综上所述，PCNL 后并发尿源性脓毒血症的影响因素包括性别、BMI、糖尿病、鹿角形结石、结石负荷、尿路感染、手术时间、灌注压力、穿刺通道、外科医生经验、术后留置引流管等。在临床工作中，我们要及早识别出各种危险因素，并及时采取相应的干预措施，以减少严重感染并发症的发生。对于女性患者尤其是老年女性患者，应加强围术期的监测和管理，谨防术后感染相关并发症的发生。当患者合并糖尿病等基础疾病时，术前应积极治疗其原发疾病，待血糖控制平稳后再接受手术治疗，术后严密监测其血糖变化，及时处理。术前尿路感染是 PCNL 后并发尿源性脓毒血症的一个重要危险因素，因此术前应常规行尿常规、尿培养检查，依据尿培养结果选择敏感的抗生素抗感染治疗，待复查尿常规、尿培养阴性后再行手术治疗，术中和术后需要预防性使用抗生素。临床上经常会遇到鹿角形结石、铸型结石这种负荷大的结石，手术时应选择合适的穿刺通道，术中要控制手术时间，适时中止手术，选择分次手术治疗，切不可为追求碎石率而延长手术时间。同时，术中要控制生理盐水灌注压力，不要为了追求视野的清晰度而盲目增加灌注压力和冲洗液的量，应尽量减少术中高灌注压力时间。当遇到复杂性肾结石且感染风险大时，应由经验丰富的外科医生来进行手术操作或手术指导，尽量减少手术相关并发症的发生。术后应严密监测患者生命体征及感染指标变化，若出现严重感染并发症，应尽早给予高级别广谱抗生素治疗，如果出现血流动力学不稳定的情况，应尽早将患者转移到重症监护室进行监测和治疗。总之，虽

然目前关于 PCNL 后并发尿源性脓毒血症的危险因素的研究比较多, 但是尿源性脓毒血症仍时有发生, 其原因可能是现有的研究大多数都是基于病例的回顾性研究且样本量较小, 目前仍需要大样本量、前瞻性、多中心的研究来挖掘敏感性更高的、特异性更强的危险因素, 为尿源性脓毒血症的防治提供临床指导。

基金项目

云南省“兴滇英才支持计划”(No. XDYC-MY2022-0040)。

参考文献

- [1] Tan, S., Yuan, D., Su, H., Chen, W., Zhu, S., Yan, B., *et al.* (2023) Prevalence of Urolithiasis in China: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BJU International*, **133**, 34-43. <https://doi.org/10.1111/bju.16179>
- [2] 庄浩铨, 徐煜宇, 徐桂彬. 经皮肾精准穿刺技术相关进展[J]. 现代泌尿外科杂志, 2022, 27(2): 168-172.
- [3] Türk, C., Petřík, A., Sarica, K., Seitz, C., Skolarikos, A., Straub, M., *et al.* (2016) EAU Guidelines on Interventional Treatment for Urolithiasis. *European Urology*, **69**, 475-482. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2015.07.041>
- [4] Labate, G., Modi, P., Timoney, A., Cormio, L., Zhang, X., Louie, M., *et al.* (2011) The Percutaneous Nephrolithotomy Global Study: Classification of Complications. *Journal of Endourology*, **25**, 1275-1280. <https://doi.org/10.1089/end.2011.0067>
- [5] Singh, P., Yadav, S., Singh, A., Saini, A.K., Kumar, R., Seth, A., *et al.* (2016) Systemic Inflammatory Response Syndrome Following Percutaneous Nephrolithotomy: Assessment of Risk Factors and Their Impact on Patient Outcomes. *Urologia Internationalis*, **96**, 207-211. <https://doi.org/10.1159/000441954>
- [6] O'keeffe, N.K., Mortimer, A.J., Sambrook, P.A. and Rao, P.N. (1993) Severe Sepsis Following Percutaneous or Endoscopic Procedures for Urinary Tract Stones. *British Journal of Urology*, **72**, 277-283. <https://doi.org/10.1111/j.1464-410x.1993.tb00717.x>
- [7] Zhou, G., Zhou, Y., Chen, R., Wang, D., Zhou, S., Zhong, J., *et al.* (2022) The Influencing Factors of Infectious Complications after Percutaneous Nephrolithotomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Urolithiasis*, **51**, Article No. 17. <https://doi.org/10.1007/s00240-022-01376-5>
- [8] Yoshimura, K., Utsunomiya, N., Ichioka, K., Ueda, N., Matsui, Y. and Terai, A. (2005) Emergency Drainage for Urosepsis Associated with Upper Urinary Tract Calculi. *Journal of Urology*, **173**, 458-462. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0000150512.40102.bb>
- [9] Chugh, S., Pietropaolo, A., Montanari, E., Sarica, K. and Somani, B.K. (2020) Predictors of Urinary Infections and Urosepsis after Ureteroscopy for Stone Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Cohort Studies. *Current Urology Reports*, **21**, Article No. 16. <https://doi.org/10.1007/s11934-020-0969-2>
- [10] Alhabeeb, H., Baradwan, S., Kord-Varkaneh, H., Tan, S.C., Low, T.Y., Alomar, O., *et al.* (2021) Association between Body Mass Index and Urinary Tract Infection: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Cohort Studies. *Eating and Weight Disorders—Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*, **26**, 2117-2125. <https://doi.org/10.1007/s40519-020-01101-4>
- [11] Gutierrez, J., Smith, A., Geavlete, P., Shah, H., Kural, A.R., de Sio, M., *et al.* (2012) Urinary Tract Infections and Post-Operative Fever in Percutaneous Nephrolithotomy. *World Journal of Urology*, **31**, 1135-1140. <https://doi.org/10.1007/s00345-012-0836-y>
- [12] Rashid, A.O. and Fakhraddin, S.S. (2016) Risk Factors for Fever and Sepsis after Percutaneous Nephrolithotomy. *Asian Journal of Urology*, **3**, 82-87. <https://doi.org/10.1016/j.ajur.2016.03.001>
- [13] Zhu, L., Jiang, R., Pei, L., Li, X., Kong, X. and Wang, X. (2020) Risk Factors for the Fever after Percutaneous Nephrolithotomy: A Retrospective Analysis. *Translational Andrology and Urology*, **9**, 1262-1269. <https://doi.org/10.21037/tau.2020.03.37>
- [14] Rivera, M., Viers, B., Cockerill, P., Agarwal, D., Mehta, R. and Krambeck, A. (2016) Pre- and Postoperative Predictors of Infection-Related Complications in Patients Undergoing Percutaneous Nephrolithotomy. *Journal of Endourology*, **30**, 982-986. <https://doi.org/10.1089/end.2016.0191>
- [15] Shin, T.S., Cho, H.J., Hong, S., Lee, J.Y., Kim, S.W. and Hwang, T. (2011) Complications of Percutaneous Nephrolithotomy Classified by the Modified Clavien Grading System: A Single Center's Experience over 16 Years. *Korean Journal of Urology*, **52**, Article No. 769. <https://doi.org/10.4111/kju.2011.52.11.769>
- [16] 孙颖浩. 吴阶平泌尿外科学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2019.

- [17] McAleer, I.M., Kaplan, G.W., Bradley, J.S., Carroll, S.F. and Griffith, D.P. (2003) Endotoxin Content in Renal Calculi. *Journal of Urology*, **169**, 1813-1814. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0000061965.51478.79>
- [18] Wang, L., Li, D., He, W., Shi, G., Zhai, J., Cen, Z., *et al.* (2024) Development and Validation of a Predictive Model for Post-Percutaneous Nephrolithotomy Urinary Sepsis: A Multicenter Retrospective Study. *Minerva Urology and Nephrology*, **76**, 357-366. <https://doi.org/10.23736/s2724-6051.23.05396-x>
- [19] Dogan, H.S., Guliyev, F., Cetinkaya, Y.S., Sofikerim, M., Ozden, E. and Sahin, A. (2007) Importance of Microbiological Evaluation in Management of Infectious Complications Following Percutaneous Nephrolithotomy. *International Urology and Nephrology*, **39**, 737-742. <https://doi.org/10.1007/s11255-006-9147-9>
- [20] Yang, Z., Lin, D., Hong, Y., Hu, M., Cai, W., Pan, H., *et al.* (2022) The Effect of Preoperative Urine Culture and Bacterial Species on Infection after Percutaneous Nephrolithotomy for Patients with Upper Urinary Tract Stones. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 4833. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08913-7>
- [21] Qiu, Z., Zhan, S., Song, Y., Huang, L., Xie, J., Qiu, T., *et al.* (2024) Construction and Validation of the Nomogram Predictive Model for Post-Percutaneous Nephrolithotomy Urinary Sepsis. *World Journal of Urology*, **42**, Article No. 135. <https://doi.org/10.1007/s00345-024-04828-2>
- [22] Zhou, L., Zhang, C., Zhan, X., Li, M., Luo, N., Wu, W., *et al.* (2024) Effect of Intrarenal Pelvic Pressure on Pyelo-Tubular Backflow and Renal Cortical Blood Perfusion during Mini-Percutaneous Nephrolithotomy. *World Journal of Urology*, **42**, Article No. 595. <https://doi.org/10.1007/s00345-024-05313-6>
- [23] Guo, H.Q., Shi, H.L., Li, X.G., Gan, W.D., Zeng, L.Q., *et al.* (2008) Relationship between the Intrapelvic Perfusion Pressure in Minimally Invasive Percutaneous Nephrolithotomy and Postoperative Recovery. *Chinese Journal of Surgery*, **46**, 52-54.
- [24] Flannigan, R., Choy, W.H., Chew, B. and Lange, D. (2014) Renal Struvite Stones—Pathogenesis, Microbiology, and Management Strategies. *Nature Reviews Urology*, **11**, 333-341. <https://doi.org/10.1038/nrurol.2014.99>
- [25] Kukreja, R., Desai, M., Patel, S., Bapat, S. and Desai, M. (2004) First Prize: Factors Affecting Blood Loss during Percutaneous Nephrolithotomy: Prospective Study. *Journal of Endourology*, **18**, 715-722. <https://doi.org/10.1089/end.2004.18.715>
- [26] Guddeti, R.S., Hegde, P., Chawla, A., de la Rosette, J.J.M.C.H., Laguna Pes, M.P. and Kapadia, A. (2020) Super-Mini Percutaneous Nephrolithotomy (PCNL) vs Standard PCNL for the Management of Renal Calculi of < 2 cm: A Randomised Controlled Study. *BJU International*, **126**, 273-279. <https://doi.org/10.1111/bju.15144>
- [27] 洪涛, 柯莽, 俞洪元, 等. 不同口径通道对经皮肾镜取石手术患者术后感染的影响[J]. 中华医院感染学杂志, 2017, 27(7): 1568-1571.
- [28] 潘铁军, 谢旭敏, 李功成. 不同口径通道经皮肾镜取石术与术后感染的相关性研究[J]. 现代泌尿外科杂志, 2015, 20(3): 147-150.
- [29] Ng, C. (2014) Training in Percutaneous Nephrolithotomy: The Learning Curve and Options. *Arab Journal of Urology*, **12**, 54-57. <https://doi.org/10.1016/j.aju.2013.08.002>
- [30] Allen, D., O'Brien, T., Tiptaft, R. and Glass, J. (2005) Defining the Learning Curve for Percutaneous Nephrolithotomy. *Journal of Endourology*, **19**, 279-282. <https://doi.org/10.1089/end.2005.19.279>
- [31] Schilling, D., Gakis, G., Walcher, U., Stenzl, A. and Nagele, U. (2010) The Learning Curve in Minimally Invasive Percutaneous Nephrolitholapaxy: A 1-Year Retrospective Evaluation of a Novice and an Expert. *World Journal of Urology*, **29**, 749-753. <https://doi.org/10.1007/s00345-010-0553-3>
- [32] Moosanejad, N., Firouzian, A., Hashemi, S.A., Bahari, M. and Fazli, M. (2016) Comparison of Totally Tubeless Percutaneous Nephrolithotomy and Standard Percutaneous Nephrolithotomy for Kidney Stones: A Randomized, Clinical Trial. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, **49**. <https://doi.org/10.1590/1414-431x20154878>