

# 挤压伤/挤压综合征的影像学研究进展

王佳一<sup>1</sup>,熊傲<sup>2</sup>(综述),王琦<sup>1</sup>,王光大<sup>1\*</sup>(审校)

(1.河北医科大学第四医院CT/MRI科,河北石家庄050011;2.河北医科大学研究生学院,河北石家庄050017)

**[摘要]** 挤压伤/挤压综合征(crush injury/crush syndrome, CI/CS)是一种由机械性外力导致骨骼肌细胞急性破坏引起的病理状态,常见于自然灾害、战争及交通事故等突发事件。此类创伤性疾病不仅会造成局部组织损伤,还会引发急性肾损伤、筋膜室综合征、全身性衰竭等严重并发症,因其高发生率和不良预后而备受关注。传统上,CI/CS的诊断主要依赖于临床表现和实验室检查。近年来,研究发现影像学在诊断和评估该疾病方面具有重要价值,通过高分辨率的计算机断层成像,多参数特性的磁共振成像以及便捷、实时的超声等影像技术,能够获得更加清晰和详细的组织图像。本文综述了CI/CS的发病机制、临床表现及影像学特征等研究进展,以期为临床诊治提供科学参考。

**[关键词]** 挤压伤;挤压综合征;横纹肌溶解症;影像学 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.03.006

**[中图分类号]** R642 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2025)03-0281-05

挤压伤(crush injury, CI)是指由外部挤压造成身体(躯干、四肢等)组织的直接损伤,这种类型的损伤常见于自然灾害、交通事故和工业事故中<sup>[1]</sup>。挤压综合征(crush syndrome, CS)是CI的系统性表现,也称为“创伤性横纹肌溶解症”(rhabdomyolysis, RM)<sup>[2]</sup>。这种情况导致细胞内成分进入全身循环,如肌红蛋白、电解质和肌酸激酶(creatinine kinase, CK)等,进而引起一系列并发症,包括急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)、急性筋膜室综合征(acute compartment syndrome, ACS)等。CI/CS临床表现差异较大,从局部肌疼痛到全身症状(如肌红蛋白尿等)均可能出现,增加了临床诊断的复杂性<sup>[3-4]</sup>。尽管CK等生物标志物升高有助于识别该疾病<sup>[5]</sup>,但这些标志物无法全面确定组织损伤的程度和具体位置。近年来,医学影像学的进步在提高CI/CS诊断准确性方面发挥了重要作用。先进的影像技术如磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)和超声等已成为评估组织损伤程度的重要工具。这些技术能够更详细地可视化组织的完整性,使临床医生能够量化损伤程度并指导适当的治疗策略<sup>[6]</sup>。本文旨在分析CI/CS的

临床和影像学诊断的进展,通过整合最新研究和临床表现,提供有效的诊断方法和评估见解,从而为创伤性疾病的管理提供帮助。

## 1 CI/CS的发病机制与临床特征

CI外部压迫引起的直接机械损伤将会破坏细胞膜和组织结构,导致组织出血和坏死<sup>[7]</sup>。受压迫区域的血流被阻断会使组织缺血和缺氧,传统观点认为骨骼肌在缺血2~4h具有相对耐受性,但实际上,在1h内可能就会发生不可逆的损伤<sup>[8]</sup>。缺血性损伤会使细胞内代谢产物(如乳酸等)堆积,进一步加重细胞功能障碍和死亡<sup>[9]</sup>。当压迫解除后,受压迫组织重新灌注血液,这一过程被称为再灌注。再灌注损伤是由再灌注过程中产生的自由基和炎症介质所引起的,这些自由基和炎症介质会引发严重的炎症反应,导致细胞膜脂质过氧化和细胞损伤。这种炎症反应不仅限于局部组织,还会扩散至全身,导致系统性炎症反应综合征<sup>[7,10]</sup>。

CS在长时间的压迫和缺血一再灌注损伤后,骨骼肌细胞崩解,释放出大量肌红蛋白、钾离子和CK等细胞内成分,这些物质进入全身循环后,将发生一系列严重并发症<sup>[11]</sup>。肌红蛋白在肾小管中沉积,引发AKI,是CS的主要并发症之一。肌红蛋白的氧化产物和铁超负荷会造成肾小管细胞的氧化应激和铁死亡,将进一步加重肾损伤<sup>[12]</sup>。此外,CS还会导致高钾血症、低血容量性休克、代谢性酸中毒和多器官功能障碍综合征等。高钾血症会引起心律失常,

[收稿日期]2024-06-20

[基金项目]河北省政府资助临床医学优秀人才培养项目(ZF2023058);河北医科大学研究生创新资助项目(XLCZZS202321)

[作者简介]王佳一(2001-),女,河北邯郸人,河北医科大学第四医院技师,理学学士,从事医学影像检查技术研究。

\*通信作者。E-mail: wgd@hebm. edu. cn

严重时可导致死亡;低血容量性休克和代谢性酸中毒则会加重全身循环障碍,进一步影响多个器官系统的功能<sup>[13]</sup>。因此,CS是一种涉及多种生化和病理生理过程的复杂疾病。

CI/CS的典型症状包括肌疼痛、无力和茶色尿(表明肌红蛋白尿)<sup>[14]</sup>,这些症状通常在长时间的肌压迫解除后显现。然而,症状有时在受伤几天后出现,发病可能会延迟,并且由于初期症状易被忽视,特别是在患有AKI或ACS等并发症的患者中<sup>[15]</sup>,这使早期诊断复杂化。此外,肌肿胀和压痛等症状,以及疲劳和不适等全身体征,在强度和持续时间上差异很大。传统上,诊断其疾病依赖于临床评估和实验室检查结果,最显著的实验室指标是CK值的变化。相关研究<sup>[2]</sup>表明,CK值升高表明肌的损伤,用于RM的诊断,同样也是CS的早期敏感指标,CK值升高至正常值的5倍是RM的诊断标准。由于肌红蛋白的半衰期短,这一标志可能是短暂的<sup>[16]</sup>。因此早期、及时和多样化的检测指标至关重要。

电解质失衡,如高钾血症、低钙血症和高磷血症,同样是重要的临床特征<sup>[17]</sup>。肾功能测试,包括肌酐和尿素水平,对于评估AKI的风险也至关重要<sup>[15-18]</sup>。诊断CI/CS的主要挑战在于其临床表现多样,症状范围从轻微到严重不等<sup>[19]</sup>。在肌损伤不明显的情况下,早期症状的非特异性会导致误诊或延迟治疗。这需要临床医生对患者病史和症状进行详细评估,并结合实验室和影像学检查结果,以确保诊断的准确性和治疗的及时性。

## 2 CI/CS的影像学特征

影像学的进步显著提升了CI/CS的诊断能力,能够详细评估组织损伤情况,这对于及时和有效的疾病诊断和治疗至关重要。通过使用先进的影像技术,如MRI、计算机断层成像(computed tomography,CT)和超声,可以获得更清晰和详细的组织图像,从而更准确地评估损伤情况,并制定更有效的治疗方案。整合多种影像学方法和最新研究成果,不仅有助于监测治疗效果和疾病进展,还能提高临床诊断的准确性和效率。

**2.1 X线检查** 虽然传统的X线检查通常不是评估软组织损伤的主要方法,但它在评估与此类创伤相关的骨折和骨化性肌炎方面仍有帮助。直接创伤性可表现为肌挫伤,X线表现为肌肿胀或组织平面不规则。然而,对于肌组织进行详细评估,通常更推荐使用MRI或超声等技术<sup>[20]</sup>。这些技术能够提供

更高分辨率的图像,更准确地显示肌损伤的范围和严重程度。

**2.2 CT检查** CT成像具有高对比度分辨率,在评估CI/CS中表现出多种特征。地震导致的CI在CT图像中显示广泛的第三间隙水肿,可见低密度区,尤其是在髋部、侧腹壁、膀胱周围、后腹膜区域和胸腰筋膜周围,这些水肿是由于挤压导致的液体转移所致<sup>[21-22]</sup>。头部、脊柱、胸部、骨盆区域常见为骨折、挫裂伤和出血。腹部肾脏CT图像显示急性肾小管坏死,表现为“持续肾小管期”和“条纹肾图样”,在增强图像中表现为肾实质减少、增厚,伴显著的肾周脂肪组织条纹状浸润。此外,CT图像还显示肌挫伤、肿胀,可见低密度坏死区、水肿区及片状高密度钙化区。通过调整CT图像的窗口设置,例如调整窗宽/窗位技术(如80/40、120/40和150/50),可以更清晰地检测到肌坏死区域,该区域在增强图像中表现为边缘增强,中央无增强。尽管CI患者较少见肌内血肿,但这种情况可能会导致ACS,需要紧急处理。研究<sup>[23]</sup>表明,随着时间推移,低密度肌水肿区及受压迫的肌体积逐渐减小,表明损伤恢复过程具有动态性。这一现象与CK值的变化相关<sup>[16]</sup>,在损伤后12h内升高,在24~72h达到峰值,并在大约5d内恢复正常,这取决于损伤程度和适当的治疗。尽管CT在评估CI/CS方面提供了重要信息,但其在观察组织细节方面仍具有局限性。

**2.3 MRI检查** MRI是评估软组织多发性创伤的首选方法。在T1WI图像中,正常骨骼肌的信号略高于水但低于脂肪;而在T2WI图像中,骨骼肌的信号低于水和脂肪<sup>[24]</sup>,这些特征使MRI成为评估组织结构和病变的理想工具。

在CI中,MRI可用于评估肌、韧带、脊髓和神经损伤等<sup>[22]</sup>,其中,肌损伤的研究较为广泛。研究<sup>[2,25-26]</sup>表明,受损肌弥漫性水肿与坏死,在T1WI图像中,肌信号呈等信号或低信号,受损肌信号不易与正常肌信号相区分;在T2WI图像中,肌显示不均匀的高信号强度,边界受脂肪信号影响而界定困难,可采用脂肪抑制序列;STIR序列呈不均匀高信号,病变范围最为清晰;在增强图像中,受损肌接受钆对比剂注射后,不同灌注情况显示轻微至显著增强,增强模式的差异反映了肌的不同损伤程度<sup>[20]</sup>。肌边缘增强而中心无增强,即“stipple征”,表明肌坏死。动物实验研究<sup>[27]</sup>显示,T2WI图像显示的不均匀高信号与细胞肿胀和炎症反应相关,随着时间推移,信号强度逐渐恢复正常。在梨泰园踩踏病例中,最大密度投影(maximum intensity projection,MIP)显

示坐骨神经从坐骨孔延伸至大腿近端表现出明显的肿胀,在MIP图像中非常清晰,提示了该神经区域的损伤。通过T1WI、T2WI、对比增强及后处理技术的综合使用,可以全面评估肌损伤、水肿和坏死情况,为临床治疗决策提供支持<sup>[26]</sup>。

近年来,MRI除了T1加权、T2加权以及增强序列外,还发展了多种无创序列,用于分析肌的损伤程度。主要包括,①T2 mapping技术:通过定量测量组织的T2弛豫时间,能够提供关于组织水分含量和病变区域的详细信息,有助于评估水肿、炎症和组织损伤的程度<sup>[28]</sup>。兔肢体挤压伤实验显示<sup>[27]</sup>,T2值在肌损伤后立即增加,并在第7天达到峰值,然后逐渐下降,至第30天时与未受伤肢体差异无统计学意义( $P>0.05$ ),这种变化与病理学检查结果一致,T2 mapping在监测肌损伤及其恢复过程中具有较高的敏感度。②磁共振神经成像(magnetic resonance neurography,MRN):MRN是一种专门用于成像神经系统的MRI技术,能够提供高分辨率的神经图像,详细显示神经的形态、走行及周围组织的变化。在创伤性肌中可以显示显著病变,后处理技术可显示神经受到了压迫损伤和炎症反应,可见明显高信号<sup>[26]</sup>。这些影像学特征为评估神经损伤提供了重要的信息。③弥散加权成像(diffusion weighted imaging,DWI):通过测量水分子在组织中的扩散情况,提供关于组织微结构的信息,能够敏感地检测出肌、骨骼等病变<sup>[29]</sup>。在健康肌中,水分子的扩散是均匀的,而在受损肌中,水分子的扩散受限,导致扩散系数降低,这种扩散受限的现象在DWI图像上表现为高信号区域<sup>[30]</sup>。④弥散张量成像(diffusion tensor imaging,DTI):DTI是DWI的扩展技术,通过测量多个方向上的水分子扩散情况,提供关于组织中纤维结构的信息。DTI可以生成各向异性图像,显示纤维束的方向和完整性。在健康肌中,纤维束的扩散是有序和均匀的,而在受损肌中,各向异性降低,纤维束的扩散变得无序<sup>[30-31]</sup>。DTI可以用于评估肌纤维的完整性和损伤程度,特别适用于复杂肌损伤和修复过程的评估。⑤磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy,MRS):MRS是一种通过检测特定代谢物的浓度变化提供组织代谢状态信息的技术。MRS可以准确分析组织中的化学成分,如CK、磷酸肌酸、乳酸等。在受伤肌中,可以检测到代谢物浓度的变化,例如,CK和磷酸肌酸的减少反映了能量代谢的障碍,而乳酸的增加则提示无氧代谢的增强<sup>[30]</sup>。MRS可以提供肌代谢的详细信息,有助于理解肌损伤的病理生理

过程,并指导临床治疗。

通过总结MRI常规序列与定量技术的影像学表现,可以全面评估肌的结构、功能和代谢状态。DWI、DTI、MRS等无创序列在肌中得到广泛应用,这些技术不仅在基础研究中发挥重要作用,也可以用于CI/CS的肌损伤的研究。综合应用常规MRI序列与定量技术,为CI肌损伤的临床诊断、监测治疗效果及优化治疗方案提供科学依据。

**2.4 超声检查** 超声在评估肌损伤表现出肌水肿、增厚和坏死,肌层纹理不清晰,严重病例显示更广泛的病变范围和血流变化,可见异质性回声和无回声区<sup>[32]</sup>。在兔肢体肌CI实验中<sup>[33]</sup>,超声检查表现出多种影像学特征。B型超声显示,肌在不同时间段内的回声、厚度和面积发生显著变化,早期肌稍增厚、回声稍增强,随着时间推移,损伤变化逐渐加重,最终表现为肌明显增厚、回声增强,肌纹理模糊呈“云雾状”,并且部分肌组织内可见斑点状钙化灶,此变化与其他研究结果一致<sup>[34]</sup>;剪切波弹性成像显示,肌剪切波速度显著增加,呈先增大后减小的趋势,并在中期达到峰值。超声造影(contrast-enhanced ultrasound,CEUS)的研究<sup>[33-34]</sup>表明,受损肌微循环灌注显著增加,其特征表现为灌注速度加快,峰值强度高于正常肌。在特定情况下,如不同程度的CI,严重损伤的肌显示出比轻度损伤更显著的异常灌注特征,且此指标与生化参数高度相关。超声对CI后AKI的评估也具敏感度<sup>[35]</sup>,CEUS显示肾脏微循环受到显著影响,肾脏皮质灌注速率减慢,峰值强度降低,且血流滞留。同时,彩色多普勒超声测量的肾动脉阻力指数在CI后明显增高。不同的超声检查方法为评估组织损伤提供了详细的影像学表现,有助于早期诊断和动态监测恢复情况。

**2.5 核医学** 核医学是一种利用放射性同位素示踪剂进行诊断和治疗的医学技术。通过放射性同位素的摄取和分布情况,提供关于器官和组织功能的详细信息,常用于评估代谢活动、血流变化和细胞活性<sup>[36-37]</sup>。在受损肌中,正电子发射断层成像/计算机断层成像可以检测到肌的代谢活动增加,反映炎症和再生过程<sup>[36]</sup>;铟<sup>99m</sup>Tc亚甲基二膦酸盐摄取也会增加,如果出现肌坏死,组织中的放射性示踪剂摄取会明显减少<sup>[20]</sup>。由于核医学成像的分辨率较低,无法提供与CT或MRI相同精细的解剖细节,且检查时间较长,这些因素限制了其在CI/CS中的应用。尽管如此,核医学与CT、MRI等技术相互补充,可以提高诊断水平。

**2.6 电阻抗肌图(electrical impedance myography,**

EIM) EIM是一种非侵入性诊断技术。通过向肌施加低频交流电,测量电流通过肌时的阻抗值,分析肌中不同组织(如脂肪、水等)对电流的阻碍程度,从而了解肌内部结构和成分的变化<sup>[38]</sup>。

在肌损伤的背景下,EIM在多种情境下展示了其实用性。临床实践中,其应用性得到了进一步验证,例如对肌萎缩侧索硬化症的评估<sup>[39]</sup>,肌少症的诊断<sup>[40]</sup>等,EIM作为评估肌疾病进展的敏感工具,补充了传统的功能评估方法。此外,此技术在ACS检测方面具有高敏感性,能够早期识别肌组织的缺血性损伤,这对于临床上及时干预和治疗具有重要意义<sup>[41]</sup>。与传统影像技术相比,EIM具有非侵入性,对肌组织微小变化的敏感性,并可提供定量分析和客观评估肌状况等优势。因此,使其有望成为早期诊断和监测灾难事故现场肌损伤的有效工具,从而为临床治疗提供更精准的指导。

### 3 总结与展望

不同于传统的CI/CS诊断方法,影像学在评估组织损伤方面具有显著优势。常规影像技术以及无创定量技术能够详细展示组织的结构、功能和代谢情况,从而提供更全面和准确的诊断信息。EIM作为一种非侵入性诊断工具,通过测量肌的电阻抗值变化,可以早期识别肌的病变,特别是在检测早期肌缺血方面具有独特优势。未来,影像学方法有望与EIM技术相结合,提供更加全面和精确的组织评估。通过多模态影像技术的整合应用和EIM等新兴技术的引入,CI/CS的诊断和治疗水平将得到进一步提高,为患者提供更加精准和个性化的治疗方案。总之,随着影像学的不断创新和发展,CI/CS的诊断和治疗将迎来新的发展机遇。

#### [参考文献]

- [1] Kulakoğlu B, Uzunay Z, Pota K, et al. Evaluation of musculoskeletal injuries after the 2023 Kahramanmaraş earthquake: A local hospital experience[J]. *Jt Dis Relat Surg*, 2023,34(2):509-515.
- [2] Luo Y, Liu C, Li D, et al. Progress in the diagnostic and predictive evaluation of crush syndrome [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023,13(19):3034.
- [3] Ramirez-Guerrero G, Reis T, Marcello M, et al. Crush syndrome-related acute kidney injury in earthquake victims, time to consider new therapeutical options? [J]. *Int J Artif Organs*, 2024,47(1):3-7.
- [4] 刘洪霞,唐娜,兰林,等.地震导致挤压伤/挤压综合征的临床诊治进展[J]. *创伤外科杂志*, 2021,23(11):871-874.
- [5] 龚俊,姚宣,马倍,等.创伤性横纹肌溶解综合征诊治研究进展[J]. *创伤外科杂志*, 2022,24(10):791-794.
- [6] Saygin D, Albayda J. Current approach to muscle imaging in myositis[J]. *Curr Opin Rheumatol*, 2024,36(6):445-452.
- [7] Long B, Liang SY, Gottlieb M. Crush injury and syndrome: A review for emergency clinicians[J]. *Am J Emerg Med*, 2023, 69:180-187.
- [8] Usuda D, Shimozawa S, Takami H, et al. Crush syndrome: a review for prehospital providers and emergency clinicians[J]. *J Transl Med*, 2023,21(1):584.
- [9] Zhang M, Liu Q, Meng H, et al. Ischemia-reperfusion injury: molecular mechanisms and therapeutic targets [J]. *Signal Transduct Target Ther*, 2024,9(1):12.
- [10] Abu-Zidan FM, Idris K, Cevik AA. Prehospital management of earthquake crush injuries: A collective review[J]. *Turk J Emerg Med*, 2023,23(4):199-210.
- [11] Aslan M, Bilgi DÖ. Management of kidney injury in critically ill patients with earthquake-induced crush syndrome: A case series of 18 patients[J]. *Ther Apher Dial*, 2024,28(2):314-320.
- [12] 靳衡,刘起辉,孙可可,等.横纹肌溶解症常见并发症及治疗进展[J]. *天津医药*, 2023,51(3):329-332.
- [13] 王蛟.躯体受到打击致挤压综合征死亡分析[J]. *法制博览*, 2023,12(4):108-110.
- [14] Onan E, Torun D, Kozanoğlu R, et al. Mortality factors in crush syndrome[J]. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 2024,30(3):174-184.
- [15] Fernandez JJ, Smith SR. Traumatic rhabdomyolysis: crush syndrome, compartment syndrome, and the 'Found Down' patient[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2024,32(4):e166-e174.
- [16] Kodadek L, Carmichael Ii SP, Seshadri A, et al. Rhabdomyolysis: an american association for the surgery of trauma critical care committee clinical consensus document [J]. *Trauma Surg Acute Care Open*, 2022,7(1):e000836.
- [17] 王辉,陈智会,杨志南,等.挤压综合征的法医学鉴定探讨[J]. *法制博览*, 2024,13(4):96-98.
- [18] Buyurgan ÇS, Bozkurt Babuş S, Yarkaç A, et al. Demographic and clinical characteristics of earthquake victims presented to the emergency department with and without crush injury upon the 2023 Kahramanmaraş (Turkey) earthquake [J]. *Prehosp Disaster Med*, 2023,38(6):707-715.
- [19] Kundakci B, Mirioglu A, Tekin M, et al. 6 February 2023, orthopedic experience in Kahramanmaraş earthquake and surgical decision in patients with crush syndrome [J]. *J Orthop Surg Res*, 2023,18(1):537.
- [20] Rixey AB, Glazebrook KN, Powell GM, et al. Rhabdomyolysis: a review of imaging features across modalities[J]. *Skeletal Radiol*, 2024,53(1):19-27.
- [21] Erdemir AG, Idilman iS, Çifçi GÇ, et al. Imaging in crush injury: a spectrum of findings in survivors of the twin earthquakes on February 6, 2023[J]. *Emerg Radiol*, 2023,30(4):513-523.
- [22] Dalkıran B, Beydoğan B, Erdemir AG, et al. Imaging findings of traumatic injuries in survivors of the 6 February 2023

- earthquake in Turkey[J]. *Clin Radiol*,2024,79(1):19-24.
- [23] Jain V, Ellingson AN, Smoker WR. Lateral pterygoid muscle rhabdomyolysis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*,2007,28(10):1876-1877.
- [24] Zubair AS, Salam S, Dimachkie MM, et al. Imaging biomarkers in the idiopathic inflammatory myopathies[J]. *Front Neurol*,2023,14:1146015.
- [25] 董璞,姜淑梅,付海花,等.磁共振成像对横纹肌溶解症的诊断价值[J].*青岛大学学报(医学版)*,2022,58(5):690-693.
- [26] Kim Y, Min K, Park MW, et al. Injury to the left sciatic and right common peroneal nerves combined with multifocal rhabdomyolysis in a survivor of the itaewon crowd crush: a case report[J]. *J Korean Med Sci*,2023,38(29):e233.
- [27] 丁俊涛.兔后肢挤压伤的磁共振定量评价及缺血后处理效果研究[D].重庆:第三军医大学,2010.
- [28] Forsting J, Rohm M, Froeling M, et al. Quantitative muscle MRI captures early muscle degeneration in calpainopathy[J]. *Sci Rep*,2022,12(1):19676.
- [29] Raya JG, Duarte A, Wang N, et al. Applications of diffusion-weighted mri to the musculoskeletal system [J]. *J Magn Reson Imaging*,2024,59(2):376-396.
- [30] Hooijmans MT, Schlaffke L, Bolsterlee B, et al. Compositional and functional MRI of skeletal muscle: a review[J]. *J Magn Reson Imaging*,2024,60(3):860-877.
- [31] Morin AG, Somme D, Corvol A. Rhabdomyolysis in older adults: outcomes and prognostic factors[J]. *BMC Geriatr*,2024,24(1):46.
- [32] Xu Q, Tian M, Xia J, et al. Application of ultrasonography in the diagnosis of rhabdomyolysis[J]. *Ultrasound Med Biol*,2021,47(12):3349-3355.
- [33] 黄沙沙.多模态超声成像技术在兔肢体肌肉挤压伤中的应用价值[D].南充:川北医学院,2023.
- [34] 于波,罗渝昆,薛少伟,等.肌骨灰阶超声联合超声造影检查辅助诊断横纹肌溶解症的临床价值初探[J].*中国临床医学影像杂志*,2023,34(11):820-824.
- [35] 文嘉宇.多模态超声评价肢体肌肉挤压伤后兔急性肾损伤的应用价值[D].南充:川北医学院,2023.
- [36] Tan AL, Di Matteo A, Wakefield RJ, et al. Update on muscle imaging in myositis[J]. *Curr Opin Rheumatol*,2023,35(6):395-403.
- [37] Bentick G, Fairley J, Nadesapillai S, et al. Defining the clinical utility of PET or PET-CT in idiopathic inflammatory myopathies: A systematic literature review [J]. *Semin Arthritis Rheum*,2022,57:152107.
- [38] Offit MB, Mohammad Khanli H, Wu T, et al. Electrical impedance myography in healthy volunteers [J]. *Muscle Nerve*,2024,69(3):288-294.
- [39] 郭杰承,王翔,李乐.肌肉电阻抗技术应用于神经肌肉疾病评估和机制研究进展[J].*生物医学工程研究*,2024,43(1):16-23.
- [40] 吴丽红,安蔚.生物电阻抗分析法在肌少症诊断中的应用进展[J].*中国现代医生*,2024,62(3):131-134.
- [41] Lechtig A, Hanna P, Nagy JA, et al. Electrical impedance myography for the early detection of muscle ischemia secondary to compartment syndrome: a study in a rat model [J]. *Sci Rep*,2023,13(1):18252.

(本文编辑:何祯)