

论 著

Measurement of Local Bone Mineral Density in the Spine Of Diabetic Patients by QCT*

LIU Jian¹, CAI Qing-rong^{1*}, XU Liang-zhou¹, HUANG Bo¹, ZHANG Xin².

1. Department of Radiology, Wuhan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wuhan 430014, Hubei Province, China

2. Department of Radiology, Wuhan Tianyou Hospital, Wuhan 430064, Hubei Province, China

QCT测量糖尿病患者脊柱局部骨矿物质密度的研究*

刘 坚¹ 蔡青蓉^{1*} 徐良洲¹
黄波¹ 张鑫²

1.武汉市中医医院放射科(湖北武汉430014)

2.武汉市天佑医院放射科(湖北武汉430064)

【摘要】目的 评估定量计算机断层扫描(QCT)测量糖尿病患者脊柱局部骨矿物质密度(vBMD)的价值。

方法 回顾性分析2020至2024年间60例接受腰椎后路融合的糖尿病患者临床和术前CT数据。测量L1-L5、S1椎体和骶骨的QCT-vBMD。以年龄、性别、糖尿病和硬膜外类固醇注射(ESI)等作为因变量, vBMD为响应变量进行多元线性回归分析。结果 多因素分析显示, 肥胖和病态肥胖患者的骶骨骨密度显著高于对照组。糖尿病与L1、L2和骶骨中的vBMD呈独立的正相关。此外, 有ESI病史的患者在骶骨中的vBMD显著降低。结论 肥胖、糖尿病和硬膜外类固醇激素对vBMD有不同程度的影响, 骶骨的vBMD对各种患者因素似乎比其他腰椎区域更敏感。

【关键词】定量计算机断层扫描; 糖尿病; 脊柱局部骨矿物质密度

【中图分类号】R587.1

【文献标识码】A

【基金项目】武汉市卫健委医学

科研项目(WX21Z63)

湖北省卫生健康委员会

科研项目(WJ2021M021)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.045

ABSTRACT

Objective To evaluate the value of quantitative computed tomography (QCT) in measuring local bone mineral density (vBMD) in the spine of diabetic patients. **Methods** Clinical and preoperative CT data of 60 patients with diabetes who underwent posterior lumbar fusion from 2020 to 2024 were retrospectively analyzed. The QCT-vBMD of L1-L5, S1 and sacrum were measured. Multiple linear regression analysis was performed with age, sex, diabetes and epidural steroid injection (ESI) as dependent variables and vBMD as response variables. **Results** Multifactor analysis showed that sacral bone mineral density was significantly higher in obese and morbidly obese patients than in controls. Diabetes mellitus was independently positively associated with L1, L2, and vBMD in the sacral wing. In addition, patients with a history of ESI had significantly lower vBMD in the sacral wing. **Conclusion** Obesity, diabetes, and epidural steroid hormones have varying degrees of influence on vBMD, and vBMD in the sacral wing appears to be more sensitive to various patient factors than other lumbar regions.

Keywords: Quantitative Computed Tomography; Diabetes Mellitus; Local Bone Mineral Density of the Spine

尽管2型糖尿病与骨密度(BMD)增加有关^[1], 但一些研究表明^[2], 较高的BMD可能不会对骨质疏松性骨折产生保护作用, 这可能是由于骨骼质量较差。此外, 骨质疏松症患者的年龄分布与通常有硬膜外类固醇注射病史的退行性脊柱疾病患者的年龄分布重叠, 表明糖皮质激素对骨密度可能有负面影响^[3]。以前的研究也报道了硬膜外类固醇注射(ESI)对骨密度的影响因解剖区域不同而不同^[4]。目前测量骨密度的金标准方法是双X射线吸收法(DXA), DXA-BMD测量受周围软组织厚度的影响^[5]。因此, 使用DXA准确测定肥胖患者的骨密度存在固有的局限性。此外, 脊柱退行性改变和主动脉钙化在肥胖和/或糖尿病患者中更为普遍, 这些变化也影响DXA骨密度测量^[6]。定量计算机断层扫描(QCT)测量的体积骨密度(vBMD)受人体习性和退行性改变的影响比DXA小, 在肥胖患者中更有优势^[3]。这项研究的目的是评估某些患者因素, 如体重指数、糖尿病和ESI对QCT测量的腰椎患者队列中骨密度的地区差异的影响。

1 资料与方法

1.1 研究资料 回顾性分析我院于2020年1月至2024年4月收治的60例接受腰椎后路融合的糖尿病患者临床和术前CT数据。按BMI值分为4组[正常(18.5~24.9 kg/m²), 超重(25.0~29.9 kg/m²), 肥胖组(30.0~34.9 kg/m²), 病态肥胖组(≥35 kg/m²)], 排除体重指数<18.5 kg/m²者。患者包括31例女性, 29例男性, 平均年龄为63.0±13.4岁。所有患者都有2型糖尿病, 超过80%的患者至少有一次ESI的病史。

1.2 研究方法 统计年龄、BMI和vBMD等连续变量的平均值, 以及分类数据的频率。以年龄、性别、糖尿病和硬膜外类固醇注射(ESI)等作为因变量, vBMD为响应变量进行多元线性回归分析。QCT-vBMD测量采用最新的术前CT图像。使用QC以与标准L1/L2椎骨测量相同的方式测量L3、L4和L5椎体。如果在测量的椎体中存在明显的硬化性改变, 则测量在轴向、冠状和矢状面将病变排除在感兴趣区之外。如果椎骨中的硬化性病变太过弥漫, 不能排除在感兴趣的区域之外, 则该椎体将被排除在进一步的分析之外^[4]。从Hounsfield单位(HU)到vBMD(mg/cm³)的转换是用异步方法进行, 转换系数由CT模型特定的气压质量保证(QA)数据确定。所有QA模板数据均由软件自动提供^[5]。

1.3 统计学方法 对数学转换后的vBMD值进行敏感性分析, 利用根据正态分布修改的Box-Cox变换检验计算的Lambda值, 显著性水平设为P<0.05。所有分析均使用R软件3.5.2进行。

2 结果

2.1 QCT测量示例分析 如图1所示, 为左右骶骨感兴趣区(ROI)的轴位和冠状切面。使用QCT对S1椎体和双侧骶骨进行vBMD测量。如果在测量的椎体中存在明显的硬化性改变, 则测量在轴向、冠状和矢状面将病变排除在感兴趣区之外。如果椎骨中的硬化性病变太过弥漫, 不能排除在感兴趣的区域之外, 则该椎体将被排除在进一步的分析之外。

2.2 QCT测量糖尿病患者脊柱局部骨矿物质密度结局分析 具体如图2所示, 平均

【第一作者】刘 坚, 男, 主治医师, 主要研究方向: 腹盆部影像诊断。E-mail: 282689827@qq.com

【通讯作者】蔡青蓉, 女, 主治医师, 主要研究方向: 中枢神经影像诊断。E-mail: 409820852@qq.com

L1vBMD(±SD)为123.5±39.3 mg/cm³, L5和S1vBMD显著高于其他水平, SA显著低于其他椎体测量(图2左)。多变量分析显示, 在SA(图2右上)中, 肥胖和病态肥胖患者的vBMD显著高于对照组(β=19.4, P<0.001, 病态肥胖; β=31.4, P<0.001)。糖尿病与L1、

L2和SA的vBMD呈独立正相关(L1: β=18.2, P=0.022; L2: β=17.8, P=0.036; SA: β=20.7, P=0.010)。此外, 有糖尿病病史的患者在SA中显示出显著较低的vBMD(β=-12.0, P=0.028)(图2右下)。

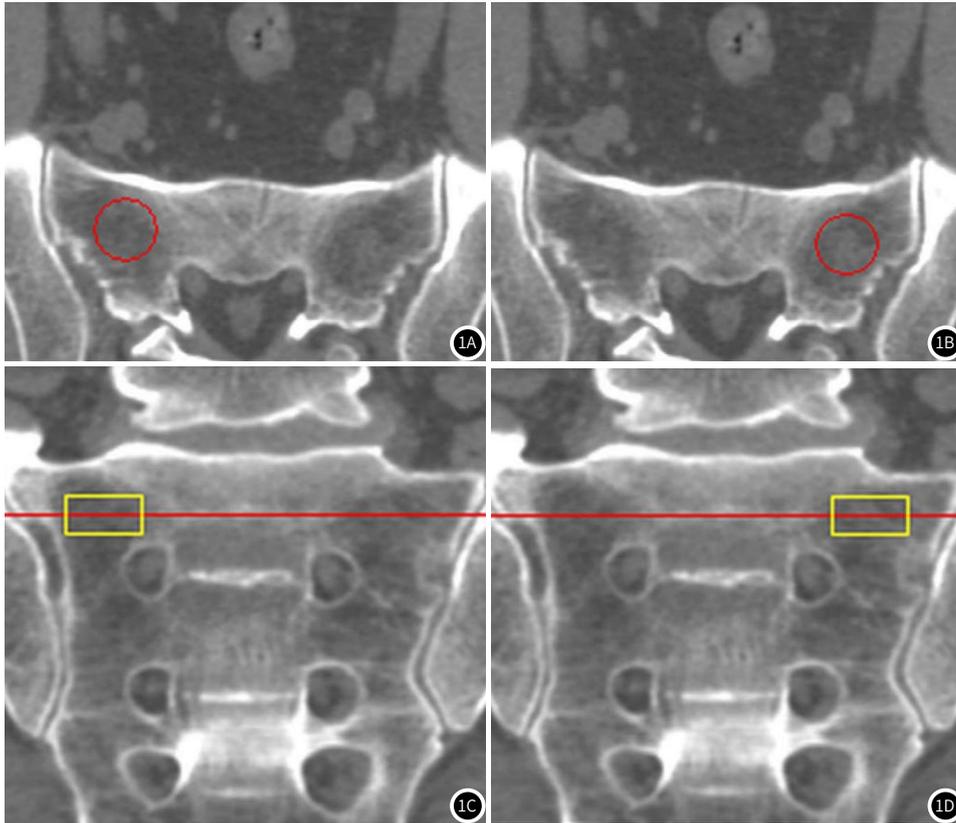


图1 QCT测量示例。

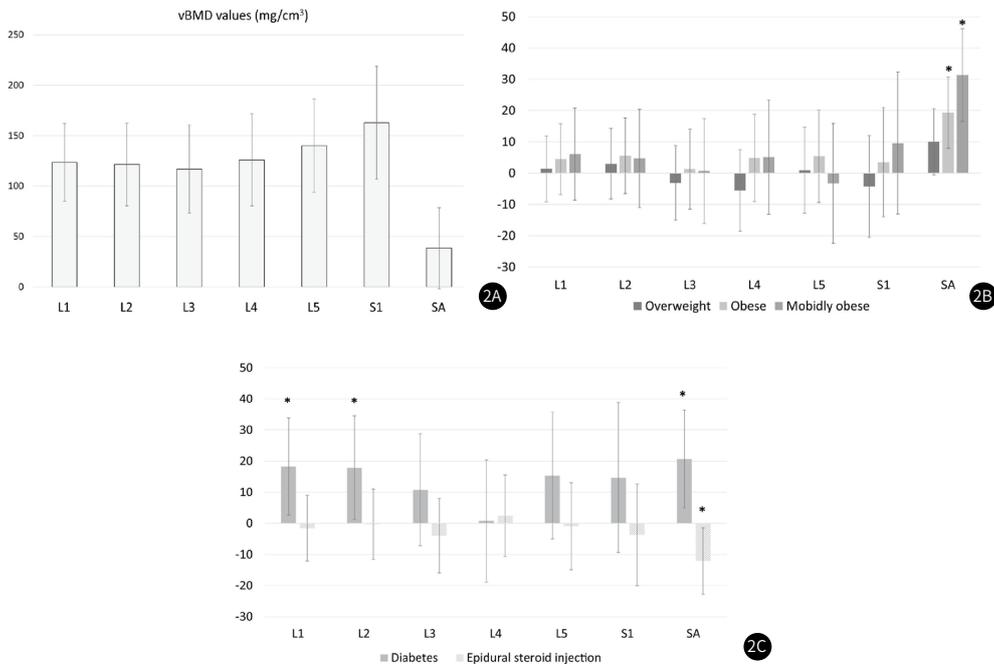


图2 2A: 各水平的平均vBMD值; 2B: 各水平的分类BMI值; 2C: 各水平糖尿病病史和硬膜外注射类固醇激素的相关系数。直线表示标准差vBMD。

3 讨论

我们的结果表明,肥胖、糖尿病和硬膜外类固醇激素对腰椎区域vBMD的影响是不同的。在我们的队列中,vBMD仅受BMI的影响,而糖尿病则影响上腰椎(L1、L2)和SA的vBMD,SA的vBMD对各种患者因素似乎比其他腰椎区域更敏感^[6]。以前的研究表明,用DXA测量的脊柱面积骨密度(ABMD)与BMI呈显著正相关,而我们的结果显示腰椎vBMD与BMI之间没有统计学意义的相关性^[7]。有研究报道^[8],高BMI与不同解剖区域(脊柱、腕关节和桡骨的L1-L4)的aBMD较高相关,腰椎在这些解剖位置中受BMI变化的影响最小。有研究显示^[9],L4-vBMD与BMI之间的关系,QCT测量结果似乎不太受身体习惯或脊柱退行性变化的影响,这可能导致aBMD的高估。在DXA研究中观察到的高BMI对aBMD的影响也可能被高估,因为这种影响可能受到与高BMI相关的身体习惯或退行性变化的影响^[10]。这可能解释了在我们的结果中,QCT显示BMI对腰椎vBMD的贡献不显著^[11]。

有研究报道^[12],骶骨的vBMD低于腰椎和骶体(S1),但没有研究调查骶骨的BMD与全身因素之间的关系。最近,有研究报道了FDG-PET测量的骶骨侧腹比骨盆其他部位的代谢活性更高^[13]。骶骨侧的高代谢活性可能有助于vBMD对各种患者因素的敏感性。此外,这些区域的局部解剖环境也不相同,这也会影响骨密度。例如,骶骨并不直接与椎间盘相连^[4]。最近的一项QCT研究表明^[14],某些类型的退行性椎间盘改变与相邻椎体骨的较高骨小梁vBMD相关,即使在排除了相关区域的硬化病变后也是如此。与腰椎相比,骶椎瓣独特的生物力学环境也可能与SA-vBMD对全身因素的敏感性有关^[15]。关于BMD对糖尿病的反应,我们的研究表明糖尿病是L1、L2和SA vBMD的独立因素^[16]。其他QCT研究也研究了糖尿病与BMD之间的关系,但结果相互矛盾。在BMD对糖尿病反应的区域差异方面,虽然糖尿病对L3、L5和S1的vBMD的影响与L1、L2和SA的vBMD表现出相同的积极趋势,但我们的结果显示L3-S1的相关性不显著^[17]。局部环境因素的差异可能解释了这种区域差异,如退行性椎间盘疾病在L1/2椎间盘中的发病率低于下腰椎间盘^[18]。2型糖尿病与较高的骨折风险存在矛盾关系,血糖控制不良的患者骨折风险高于血糖控制良好的患者。先前的研究表明^[19],糖尿病损害骨质量与骨密度无关。有研究证明,糖尿病小鼠的一生平均血糖水平与骨骼中胶原蛋白成熟度呈正相关,这意味着糖尿病小鼠有更多的老化骨组。目前除了骨密度外,未来的纵向研究还应关注其他骨质量指标,以阐明这些因素对临床结果的影响。我们的研究还表明,ESI仅在SA中与较低的vBMD显著相关。糖皮质激素减少骨形成,增加骨吸收,导致骨质流失。有研究也表明ESI与较低的vBMD有关^[20],ESI的这种负面影响似乎与注射部位的邻近性无关,ESI更可能通过全身吸收影响BMD。也有研究报告了每个腰椎节段(T12-L5)的vBMD值^[21],并显示有ESI病史与除L2外的所有测量椎体的局部vBMD相关。他们的结果似乎与我们的结果不一致,这可能是ESI定义不同的结果^[22]。有研究将ESI的病史定义为至少三次注射^[16],而我们将定义为至少一次注射。因此,ESI的效果可能只在最敏感的区域(SA)观察到。也有研究报告说^[23],肥胖对绝经后女性和老年男性的“骨盆”骨折有保护作用,但没有具体说明这是否包括骶骨骨折或骨盆的确切骨折位置。然而,在接受多节段内固定融合手术的患者中观察到了相反的结果。有研究报道^[24],BMI是术后骶骨骨折的重要危险因素,其影响独立于术前QCT测量的骶骨vBMDs(骶体和骶骨),与多节段手术的长融合结构相关的机械力增加可能超过高BMI的保护作用。这些发现的差异可能部分是由于vBMD对手术的综合反应,因为先

前的研究表明^[25],脊柱手术对邻近水平的vBMD有负面影响。由于腰椎解剖区域对各种因素的敏感性,手术的负面影响可能在骶骨更为明显。因此,在未来的研究中,脊柱手术史应该包括在特定部位骨折风险的评估中。虽然骨强度并不完全由骨密度决定,但当外科医生在术前进行器械评估时,他们应该考虑那些有低BMI和ESI病史的非糖尿病患者可能有较低的局部BMD^[26]。这些患者可能容易发生内固定失败,并可能受益于其他增强方法,如额外的螺钉、椎体间融合和/或骨水泥增强,以减少骶骨螺钉的机械应力,增加拔出强度^[27]。这些信息还可以用于全身疾病患者的骨健康监测以及抗骨质疏松治疗^[28]。需要进一步的研究来阐明SA-vBMD在日常实践中的作用^[29]。

总而言之,肥胖、糖尿病和硬膜外类固醇激素对腰椎区域vBMD的影响是不同的。我们的队列中,vBMD仅受BMI的影响,而糖尿病则影响上腰椎(L1、L2)和SA的vBMD。ESI对vBMD有显著的负面影响,对其他地区的影响不显著。SA的vBMD对各种患者因素似乎比其他腰椎区域更敏感。

参考文献

- [1] 赵亚子,翟建,赵田英,等.术前腹部脂肪含量对胃癌根治术后远处转移的预测价值[J].放射学实践,2023,38(8):1033-1038.
- [2] Park S B, Lim C H, Chun D I, et al. The usefulness of quantitative (99m) Tc-HMPAO WBC SPECT/CT for predicting lower extremity amputation in diabetic foot infection[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 9260.
- [3] Lu F, Fan J, Li F, et al. Abdominal adipose tissue and type 2 diabetic kidney disease: adipose radiology assessment, impact, and mechanisms[J]. Abdom Radiol (NY), 2024, 49(2): 560-574.
- [4] Wang Y, Sun Y, Yang B, et al. The effect and mechanism of liraglutide on the biological functions of BMSCs in diabetic patients[J]. Oral Dis, 2024.
- [5] He Q, Yang J, Chen W, et al. Biochanin A abrogates osteoclastogenesis in type 2 diabetic osteoporosis via regulating ROS/MAPK signaling pathway based on integrating molecular docking and experimental validation[J]. BMC Complement Med Ther, 2024, 24(1): 24.
- [6] 施建锋.达格列净联合依那普利治疗2型糖尿病肾病的临床分析[J].罕少疾病杂志, 2025, 32(10): 146-149.
- [7] Alp E, Doguizi S, Mutlu I F, et al. An analysis of the relationship between ABCC8 and KCNJ11 gene polymorphisms and diabetic retinopathy in Turkish population[J]. Ophthalmic Genet, 2024, 45(2): 126-132.
- [8] Brunelli D T, Bonfante I, Boldrini V O, et al. Combined training improves gene expression related to immunosenescence in obese type 2 diabetic individuals[J]. Res Q Exerc Sport, 2024: 1-10.
- [9] Nielsen S F, Duus C L, Buus N H, et al. Empagliflozin in type 2 diabetes with and without CKD and non-diabetic CKD: protocol for 3 randomized, double-blind, placebo controlled cross-over trials[J]. JMIR Res Protoc, 2024.
- [10] 李芸芳,王莹,尹贝贝.氨氯地平联合二甲双胍对高血压并糖尿病肾病的疗效与安全性研究[J].罕少疾病杂志, 2025, 32(10): 143-145.
- [11] Asadi S, Rahimi Z, Kohsari M, et al. Assessing the possible association between MTHFR (rs1801133) and Gpx-1 (rs1050450) polymorphisms with the risk of type 2 diabetes, diabetic neuropathy, and diabetic retinopathy[J]. Mol Biol Rep, 2024, 51(1): 583.
- [12] Wang X, Xiang C, Huang C, et al. The treatment efficacy of bone tissue engineering strategy for repairing segmental bone defects under diabetic condition[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2024, 12: 1379679.
- [13] Zhang Y, Zhang Y, Lu M, et al. IRE1alpha regulates macrophage polarization in type 2 diabetic periodontitis through promoting endoplasmic reticulum stress[J]. Int Immunopharmacol, 2024, 133: 112056.

参考文献

[1] 王智培, 左炳光, 韩素坤. 超声、CT检查中膝关节骨关节炎影像学表现及其诊断价值对比[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(4): 165-167.

[2] 贾燕梅, 李光宇, 彭汉华. MRI与CT扫描对膝关节软骨及半月板损伤的诊断价值分析[J]. 黑龙江医药, 2020, 33(3): 709-710.

[3] 占颖莺, 张怡, 秦培鑫, 等. 应用3D-DESS序列评估膝关节骨性关节炎软骨损伤的可行性及可重复性[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(3): 124-127.

[4] 杨广杰. 膝骨性关节炎患者超声及MRI征象分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(5): 126-128.

[5] Yu J, Zanotti S, Schilling L, et al. Nuclear factor of activated T cells 2 is required for osteoclast differentiation and function in vitro but not in vivo[J]. J Cell Biochem, 2018, 119(11): 9334-9345.

[6] Igalouzene R, Hernandez-Vargas H, Benech N, et al. SMAD4 TGF- β -independent function preconditions naive CD8+ T cells to prevent severe chronic intestinal inflammation[J]. Clin Invest, 2022, 132(8): 1020-1026.

[7] 朱乐发, 肖叶玉, 夏学文, 等. 不同翻转角双回波稳态序列MRI评价膝关节骨性关节炎软骨损伤[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(11): 1697-1701.

[8] 琚献礼. 研究膝半月板和关节软骨损伤应用CT与MRI诊断的临床效果[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(15): 124-125.

[9] Tenberg S, Kalo K, Niederer D, et al. Effect of warm-up and muscle fatiguing exercise on knee joint sounds in motion by vibroarthrography: a randomized crossover trial[J]. PLoS One, 2021, 16(9): e0257652.

[10] 王锋. MRI与CT在膝关节退行性骨关节炎软骨损伤分级诊断中的应用价值[J]. 现代医药卫生, 2020, 36(9): 1372-1374.

[11] 陆志锋, 张立, 邱子维, 等. CT和MRI在135例膝关节软骨和半月板损伤患者的检出率情况比较[J]. 现代医用影像学, 2020(5): 861-863.

[12] 陆永春, 毕波, 项永胜, 等. 关节镜下病灶清理治疗老年膝关节退行性骨关节炎的有效性及安全性: 非随机对照临床试验方案[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(7): 1084-1089.

[13] 陈钜深, 罗建彬. MRI、超声及X线诊断退行性膝关节炎临床价值比较[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(10): 153-154, 186.

[14] 朱陈, 邓琪, 温乔, 等. 肌骨超声及MRI对膝关节退行性骨关节炎的诊断价值[J]. 分子影像学杂志, 2023, 46(2): 311-315.

[15] 李光武, 韩经定, 林启艳, 等. 牙周炎下龈沟液中SLIT3和HMGB1的表达与胃Hp感染的相关性[J]. 中华医院感染学杂志, 2022, 32(17): 2679-2683.

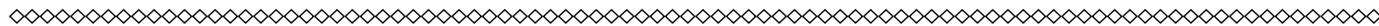
[16] Xu R, Yallowitz A, Qin A, et al. Targeting skeletal endothelium to ameliorate bone loss[J]. Nat Med, 2018, 24(6): 823-833.

[17] Kim BJ, Lee YS, Lee SY, et al. Osteoclast-secreted SLIT3 coordinates bone resorption and formation[J]. J Clin Invest, 2018, 128(4): 1429-1441.

[18] Alexander BE, Zhao H, Astrof S. SMAD4: a critical regulator of cardiac neural crest cell fate and vascular smooth muscle differentiation[J]. bioRxiv, 2023, 15(1): 532676.

[19] Pakravan K, Razmara E, Mahmud Hussen B, et al. SMAD4 contributes to chondrocyte and osteocyte development[J]. Cell Mol Med, 2022, 26(1): 1-15.

(收稿日期: 2024-05-22) (校对编辑: 韩敏求)



(上接第161页)

[14] Wu K, Wang P, Deng L, et al. Analysis of bone metabolic alterations linked with osteoporosis progression in type 2 diabetic db/db mice[J]. Exp Gerontol, 2024, 185: 112347.

[15] 陈志彬, 胡梦思, 汤佳珍. 2型糖尿病合并动脉粥样硬化患者内脏脂肪与骨代谢指标的关系[J]. 南昌大学学报(医学版), 2023, 63(04): 65-68.

[16] Kong J, Ma S, Chu R, et al. Photothermal and photocatalytic glycol chitosan and polydopamine-grafted oxygen vacancy bismuth oxyiodide (BiO(1-x)I) nanoparticles for the diagnosis and targeted therapy of diabetic wounds[J]. Adv Mater, 2024, 36(11): e2307695.

[17] Sumpio B J, Dallas A, Berger A G, et al. Use of therapeutic rnas to accelerate wound healing in diabetic rabbit wounds[J]. Adv Wound Care (New Rochelle), 2024.

[18] Ai Y, Peng K, Li C, et al. Assessment of reference genes stability in cortical bone of obese and diabetic mice[J]. Diabetes Metab Syndr Obes, 2024, 17: 1081-1091.

[19] Boccalini S, Teulade M, Paquet E, et al. Silent myocardial infarction fatty scars detected by coronary calcium score CT scan in diabetic patients without history of coronary heart disease[J]. Eur Radiol, 2024, 34(1): 214-225.

[20] Kawasaki Y, Tsuchiya J, Tasaki A, et al. [(18)F]FDG PET/CT findings of mass-forming actinomycosis in an uncontrolled diabetic patient[J]. Nucl Med Mol Imaging, 2024, 58(1): 40-41.

[21] Huo Y, Zhang X, Su L, et al. Association of VEGF+936 C/T polymorphism with susceptibility to type 2 diabetic retinopathy: a meta-analysis[J]. Horm Metab Res, 2024.

[22] Zhou J, Xu B, He F, et al. Association of RASGRP1 polymorphism with vascular complications in Chinese diabetic patients with glycemic control and antihypertensive treatment[J]. Cardiovasc Diabetol, 2024, 23(1): 166.

[23] Dai X, Liu Y, Liu T, et al. SiJunZi decoction ameliorates bone quality and redox homeostasis and regulates advanced glycation end products/receptor for advanced glycation end products and WNT/beta-catenin signaling pathways in diabetic mice[J]. J Ethnopharmacol, 2024, 319(Pt 2): 117167.

[24] Middleton B, Albany Z, Kamer A, et al. Hemichorea-hemiballismus due to diabetic striatopathy a serious complication of uncontrolled diabetes[J]. BMJ Case Rep, 2024, 17(5).

[25] Fejfarova V, Jarosikova R, Antalova S, et al. Does PAD and microcirculation status impact the tissue availability of intravenously administered antibiotics in patients with infected diabetic foot? Results of the DFATIM substudy[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2024, 15: 1326179.

[26] Cheneler M L, Qureshi K, Bahrami C. A case of diabetic striatopathy due to uncontrolled type 2 diabetes[J]. Endocrinol Diabetes Metab Case Rep, 2024, 2024(2).

[27] Sadikan M Z, Abdul N N, Ibahim M J, et al. Identifying the stability of housekeeping genes to be used for the quantitative real-time PCR normalization in retinal tissue of streptozotocin-induced diabetic rats[J]. Int J Ophthalmol, 2024, 17(5): 794-805.

[28] 马培旗, 张小艳, 朱文姬, 等. 定量CT分析绝经后女性2型糖尿病患者椎体骨密度与骨标志物的关系[J]. 皖南医学院学报, 2023, 42(3): 270-273.

[29] 梁玉龙, 郭翔宇, 陈涛, 等. 基于定量CT分析肝脂肪变性与中医体质及代谢指标的相关性[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(7): 112-114.

(收稿日期: 2024-07-08) (校对编辑: 韩敏求)