

· 骨骼肌肉影像学 ·

代谢综合征患者体质指数(BMI)与能谱 CT 骨质改变的关系研究

张春燕,李玲,孙莹,王梦君,王仁贵,岳云龙

【摘要】 目的:探讨代谢综合征患者体质指数(BMI)与能谱 CT 测量的脊柱松质骨骨钙(Ca)和羟基磷灰石(HAP)浓度的关联。**方法:**选取 2021 年 6—11 月间 116 例肥胖或超重代谢综合征患者,进行能谱 CT 检查,测量胸 10—12 及腰 1—3 椎体松质骨的骨 Ca(水)浓度和骨 HAP(水)浓度;记录身高、体重计算 BMI,并搜集血清学指标。按肥胖分级分为 3 组,采用单因素方差分析及 Kruskal-Wallis 检验分析各组年龄、骨 Ca、骨 HAP 及实验室指标差异,运用 Spearman 相关性分析和偏相关分析评估 BMI 与骨质变化关系,并通过多元线性回归模型分析骨 Ca 和骨 HAP 浓度的影响因素。**结果:**患者分为轻度($n=36$)、中度($n=46$)和重度($n=34$)肥胖组。平均年龄为 38.4 ± 8.9 岁,BMI 平均 (34.9 ± 4.5) kg/m^2 。重度肥胖组的胸 10—12 椎体及腰 1—3 椎体的骨 Ca 和 HAP 浓度显著低于轻度和中度肥胖组($P<0.05$)。轻度肥胖组的糖代谢指标(HbA1c、餐后 2h 血糖)高于中度和重度肥胖组,而重度肥胖组的空腹胰岛素和 C 肽水平显著较高($P<0.01$)。Spearman 相关分析显示 BMI 与骨 Ca 和 HAP 浓度呈负相关,校正年龄后相关性增强($P<0.01$)。多元线性回归分析确认,较高 BMI 和年龄增长是骨 Ca 和 HAP 浓度降低的主要预测因素($P<0.001$)。结论 研究表明代谢综合征患者中较高的 BMI 与骨密度降低相关,且年龄是重要影响因素。

【关键词】 代谢综合征;体层摄影术,X 线计算机;肥胖症

【中图分类号】 R742.89;R589;R814.4;R589.25 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2026)02-0206-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2026.02.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Association between BMI and bone changes assessed by spectral CT in patients with metabolic syndrome**

ZHANG Chun-yan, LI Ling, SUN Yin, et al. Department of Medical Imaging, Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038

【Abstract】 Objective: To investigate the association between body mass index (BMI) and the concentrations of bone calcium (Ca) and hydroxyapatite (HAP) in the cancellous bone of the spine, as measured by spectral computed tomography (CT), in patients with metabolic syndrome. **Methods:** A total of 116 obese or overweight patients with metabolic syndrome were enrolled from June 2021 to November 2021. Spectral CT was used to measure bone Ca (water) and bone HAP (water) concentrations in the cancellous bone of T10—12 and L1—3 vertebrae. Height and weight were recorded to calculate BMI, and serological markers were collected. Patients were divided into three groups based on obesity levels. One-way ANOVA and Kruskal-Wallis tests were used to analyze differences in age, bone Ca, bone HAP, and laboratory markers among groups. Spearman correlation and partial correlation analyses were employed to evaluate the relationship between BMI and bone changes, and multiple linear regression models were used to identify factors influencing bone Ca and HAP concentrations. **Results:** Patients were categorized into mild ($n=36$), moderate ($n=46$), and severe ($n=34$) obesity groups. The mean age was 38.4 ± 8.9 years, and the mean BMI was (34.9 ± 4.5) kg/m^2 . The concentrations of bone Ca and HAP in T10—12 and L1—3 vertebrae in the severe obesity group were significantly lower than those in the mild and moderate groups ($P<0.05$). The glucose metabolism markers (HbA1c, 2-hour postprandial glucose) were higher in the mild obesity group, while fasting insulin and C-peptide

作者单位:100038 北京,首都医科大学附属北京世纪坛医院医学影像科

作者简介:张春燕(1977—),女,山东武城人,博士研究生,主任医师,主要从事医学影像学研究和诊断工作。

通讯作者:岳云龙, E-mail: yueyunlong@bjsjth.cn

基金项目:北京世纪坛医院青年基金资助项目(2018-q23;2024-q18)

levels were significantly elevated in the severe obesity group ($P < 0.01$). Spearman correlation analysis showed a negative correlation between BMI and bone Ca and HAP concentrations, which was enhanced after adjusting for age ($P < 0.01$). Multiple linear regression confirmed that higher BMI and older age were significant predictors of reduced bone Ca and HAP concentrations ($P < 0.001$). **Conclusion:** This study indicates that higher BMI in patients with metabolic syndrome is associated with reduced bone density, and age being a significant contributing factor.

【Key words】 Metabolic syndrome; Tomography, X-ray computed; Obesity

代谢综合征 (metabolic syndrome, MetS) 是一组以肥胖 (尤其是腹型肥胖)、高血糖、血脂异常以及高血压为特征, 严重影响机体健康的临床症候群^[1]。以往研究提示 MetS 对骨质有不良影响, 合并 MetS 的老年人骨密度低于非 MetS 组^[1]。而肥胖对骨骼有保护作用^[2], 这导致肥胖合并 MetS 时对骨密度的影响更加错综复杂。目前, 临床常用双能 X 线吸收法 (dual-energy x-ray absorptiometry, DXA) 监测骨密度, 可以测量皮质骨和小梁骨的整体骨密度即面积骨密度^[3]。而定量 CT (quantitative computed tomography, QCT) 是一种三维成像测量技术, 所测得的结果是真正意义上的体积骨密度, 不受检测骨体积、形态的影响^[4]。近来, 应用单光子计数 X 线探测器、基于能量依赖 X 线衰减的能谱 CT 也逐渐用于骨密度的研究, 其基于单球管在低能量 (80 kV) 和高能量 (140 kV) 数据之间的快速切换, 从采集的数据重建出两种类型的图像进行分析, 如评价骨钙 (calcium, Ca) 浓度可以用钙基和水基^[5]、评价骨羟基磷灰石 (hydroxyapatite, HAP) 浓度可以用 HAP 和水基, 因此其对物质成分的评估更加准确。Wang 等^[6] 研究显示能谱 CT 中骨羟基磷灰石及水基可以有效反应骨密度的改变。因此, 本研究拟通过能谱 CT 的方法测量肥胖或超重代谢综合征患者的骨 Ca 和骨 HAP 浓度, 进一步分析患者体质量指数与骨质改变的关系, 以期了解代谢综合征患者的骨代谢情况, 为患者提供预防骨质减少及骨质疏松的指导性意见。

材料与方法

1. 一般资料

搜集 2021 年 6—11 月因代谢综合征就诊的患者。纳入标准: ① 确诊代谢综合征; ② 就诊时行腹部能谱 CT 扫描; ③ 年龄 > 18 岁。排除标准: ① 确诊垂体功能减退症, 垂体瘤; ② 自身免疫性疾病; ③ 长期服用激素或影响骨代谢的药物; ④ 严重的肝、肾功能不全; ⑤ 糖尿病酮症酸中毒、应激状态等患者; ⑥ 临床甲亢及甲减患者; ⑦ 血液病及骨髓瘤等患者; ⑧ 极重度肥胖症患者。最终纳入患者共 116 例, 其中男 29 例, 女 87 例, 年龄 23~64 岁, 平均 (38.39 ± 8.89) 岁。本研究为回

顾性研究, 患者免除知情同意。

2. 能谱 CT 检查及测量

采用 GE Revolution CT 扫描仪, 探测器宽度 8 mm, 低能和高能电压 (80 kV 和 140 kV) 之间的切换时间为 0.5 ms, 自动管电流调节模式 (200~485 mA), 螺距 0.992:1; 旋转时间为 0.8 s/r, 前置 ASIR 为 40%。

将能谱 CT 的图像数据传输到工作站 (Advantage Windows 4.7, GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA), 对胸、腰椎椎体骨松质 (T10-12、L1-3) 进行以钙和水为基物质, 以及 HAP 和水为基物质的定量分析。同时, 在 70 keV 单能量条件下图像重建厚度 1.25 mm, 间隔 1.25 mm。

对于每个病例, 在正中矢状面找到椎体的中央层面, 在距椎体边缘 > 5 mm 的轴面椎体中央层面放置 $100 \sim 120 \text{ mm}^2$ 的感兴趣区, 避开椎体静脉丛和骨岛 (图 1)。每个椎体测定感兴趣区并连续测定 2 次取平均值, 最终分别获得胸 10-12、腰 1-3 椎体的 Ca(水) 浓度和 HAP(水) 浓度, 记录为胸 10-12 椎体及腰 1-3 椎体的骨 Ca、骨 HAP; 此外, 计算胸 10-12、腰 1-3 椎体 Ca(水) 浓度和 HAP(水) 浓度的平均值, 并分别记录为平均骨 Ca、平均骨 HAP。

3. 临床资料

记录患者年龄、性别、身高及体重, 并计算其体质量指数 (body mass index, BMI), $\text{BMI} (\text{kg}/\text{m}^2) = \text{体重} (\text{kg}) / \text{身高}^2 (\text{m}^2)$ 。患者均行糖化血红蛋白 (hemoglobin, HbA1c)、空腹血糖 (fasting plasma glucose, FPG)、餐后 2 h 葡萄糖 (2-hour postprandial glucose, Glu-2h)、空腹胰岛素 C 肽、空腹胰岛素、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、总甘油三酯 (total triglycerides, TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、总钙的测定, 以上检测结果与腹部能谱 CT 的检查时间间隔均不超过 3 d。

4. 统计学分析

统计分析通过 Spss 及 PsychPen v2.8.0 AI 平台获得。通过 Shapiro-Wilk 检验分析计量资料的正态



图1 基于能谱CT测定骨钙(Ca)及骨羟基磷灰石(HAP)浓度示意图。
a) 正中矢状面单能量图像,标识腰1椎体的中央层面;b) 对应矢状面腰1椎体的横断面图像,选取椭圆形感兴趣区进行浓度测定;c) 对应矢状面腰1椎体的骨HAP(水)基图;d) 对应矢状面腰1椎体的骨Ca(水)基图。

性,符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间总体差异比较采用单因素方差分析;非正态分布者以 $M(Q1, Q3)$ 表示;组间总体差异比较采用 Kruskal-Wallis 检验。通过 Spearman 相关分析用于评价骨 Ca、骨 HAP 浓度与年龄、BMI 及各类血清标记物之间的相关性,并行校正年龄的 BMI 与骨 Ca、骨 HAP 的偏相关分析。分别以骨 Ca 浓度和骨 HAP 浓度为因变量,以上述相关分析中达到显著性的指标为自变量,进行多元线性回归分析,筛选骨 Ca 和骨 HAP 浓度的影响因素。 $P < 0.05$ 时认为结果有统计学意义。

结果

1. 基线数据特征

所有患者的临床及实验室检查结果见表1。本研究纳入116例肥胖患者,其中轻度肥胖36例,中度肥胖46例,重度肥胖34例。男29例,女87例,年龄23~64岁,平均(38.4±8.9)岁。患者BMI分布于26.6~48.1 kg/m²,平均(34.9±4.5) kg/m²,根据肥胖分级分为轻度肥胖(<32.5 kg/m²)、中度肥胖(32.5~37.5 kg/m²)及重度肥胖(37.5~50.0 kg/m²),其中轻度肥胖组BMI中位数30.5 kg/m²,中度肥胖组

34.6 kg/m²,重度肥胖组40.1 kg/m²,3组间差异显著($F = 101.51, P < 0.001$)。

2. 代谢综合征患者BMI的临床指标及骨质改变

不同分组患者的胸10-12椎体及腰1-3椎体的钙(Ca)浓度和羟基磷灰石(HAP)浓度见表1、图2。重度肥胖组的T10-12平均Ca(59.06±9.58) mg/cm³和L1-3平均Ca(53.42±9.47) mg/cm³显著低于轻度肥胖组[分别为(65.66±12.35) mg/cm³和(59.78±11.55) mg/cm³]及中度肥胖组[分别为(65.23±10.13) mg/cm³和(60.08±10.20) mg/cm³, $P < 0.05$]。同样,T10-12平均HAP(126.16±20.43) mg/cm³和L1-3平均HAP(116.16±20.14) mg/cm³在重度肥胖组中显著低于其他两组($P < 0.05$,表1)。

血糖代谢指标方面,轻度肥胖组HbA1C(7.7%,6.7~8.9)和2h血糖(16.5 mmol/L,14.3~19.7)高于中度肥胖组(分别为6.9%,6.1~8.4;13.3 mmol/L,9.9~17.1)和重度肥胖组(分别为6.4%,5.8~7.7;11.6 mmol/L,7.4~14.9, $P < 0.01$)。重度肥胖组空腹胰岛素(26.4 uIU/mL,18.1~34.1)和C肽(3.7 ng/mL,3.2~4.6)显著高于轻度肥胖组(分别为14.3 uIU/mL,10.0~21.0;2.6 ng/mL,2.2~3.8, $P < 0.01$)。总钙水

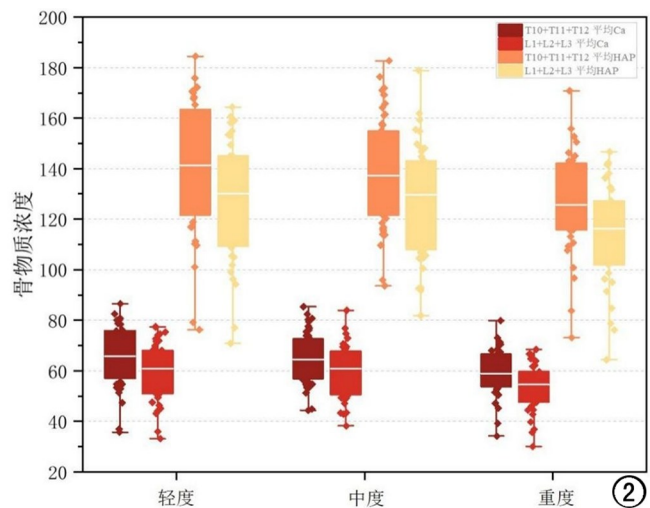


图2 轻度、中度和重度肥胖下T10-12及L1-3平均Ca和HAP值的箱线图比较。

表1 不同分组代谢综合征患者的基线数据

组别	轻度肥胖 (n=36)	中度肥胖 (n=46)	重度肥胖 (n=34)	F/H 值	P
性别(女)	27(75.0%)	39(84.8%)	21(61.8%)	5.524	0.063
年龄(年)	39.0(33.0,46.8)	39.0(33.0,44.3)	35.5(28.8,41.3)	3.5	0.174
BMI(kg/m ²)	30.5(28.7,31.6)	34.6(33.3,35.4)	40.1(38.3,41.8)	101.51	<0.001 ^{abc}
T10-12 平均 Ca(mg/cm ³)	65.66±12.35	65.23±10.13	59.06±9.58	4.236	0.017 ^{bc}
L1-3 平均 Ca(mg/cm ³)	59.78±11.55	60.08±10.20	53.42±9.47	4.708	0.011 ^{bc}
T10-12 平均 HAP(mg/cm ³)	140.09±26.52	139.37±21.59	126.16±20.43	4.198	0.017 ^{bc}
L1-3 平均 HAP(mg/cm ³)	128.12±24.02	127.37±21.61	116.16±20.14	4.569	0.012 ^{bc}
HbA1C(%)	7.7(6.7,8.9)	6.9(6.1,8.4)	6.4(5.8,7.7)	9.328	0.009 ^b
FPG(mmol/L)	8.75±3.00	8.11±3.20	7.10±2.36	2.856	0.062 ^b
Glu-2h(mmol/L)	16.5(14.3,19.7)	13.3(9.9,17.1)	11.6(7.4,14.9)	16.512	<0.001 ^{abc}
空腹胰岛素 C 肽(ng/mL)	2.6(2.2,3.8)	3.6(2.7,4.2)	3.7(3.2,4.6)	11.815	0.003 ^{ab}
空腹胰岛素(uIU/mL)	14.3(10.0,21.0)	22.1(15.0,31.6)	26.4(18.1,34.1)	18.469	<0.001 ^{ab}
TC(mmol/L)	5.01±1.09	4.87±0.97	4.93±0.92	0.189	0.828
TG(mmol/L)	2.2(1.3,3.2)	1.9(1.3,2.8)	1.8(1.3,2.6)	1.14	0.566
HDL-C(mmol/L)	1.0(0.9,1.2)	1.0(0.9,1.1)	1.0(0.9,1.1)	0.513	0.774
LDL-C(mmol/L)	3.37±0.92	3.42±0.92	3.52±0.76	0.285	0.752
总钙(mmol/L)	2.40±0.10	2.34±0.09	2.35±0.10	4.027	0.020 ^{ab}
T10 Ca(mg/cm ³)	67.13±12.95	67.28±11.39	60.58±11.21	3.773	0.026 ^{bc}
T11 Ca(mg/cm ³)	65.94±12.86	65.39±10.37	60.36±9.83	2.758	0.068
T12 Ca(mg/cm ³)	63.91±13.37	63.01±10.45	56.26±10.01	4.85	0.010 ^{bc}
L1 Ca(mg/cm ³)	62.09±11.76	61.57±11.16	56.35±9.40	3.035	0.052
L2 Ca(mg/cm ³)	60.61±12.30	60.97±10.91	54.10±10.08	4.383	0.015 ^{bc}
L3 Ca(mg/cm ³)	56.64±12.50	57.70±10.24	49.82±11.11	5.335	0.006 ^{bc}
T10 HAP(mg/cm ³)	143.20±27.69	143.78±24.24	129.38±23.90	3.773	0.026 ^{bc}
T11 HAP(mg/cm ³)	140.43±27.62	139.74±21.99	128.91±20.95	2.685	0.073
T12 HAP(mg/cm ³)	136.64±28.72	134.59±22.43	120.18±21.36	4.851	0.010 ^{bc}
L1 HAP(mg/cm ³)	132.48±25.07	131.62±23.83	120.39±20.05	3.021	0.053
L2 HAP(mg/cm ³)	129.31±26.20	127.29±28.35	115.60±21.44	2.915	0.058
L3 HAP(mg/cm ³)	122.57±23.35	123.21±21.57	106.50±23.61	6.279	0.003 ^{bc}

注: HbA1c, 糖化血红蛋白; FPG, 空腹血糖; Glu-2h, 餐后 2h 葡萄糖; TC, 总胆固醇; TG, 总甘油三酯; HDL-C, 高密度脂蛋白胆固醇; LDL-C, 低密度脂蛋白胆固醇; Ca, 骨钙浓度; HAP, 骨羟基磷灰石浓度。事后分析^a, 轻度肥胖与中度肥胖组存在统计学差异($P<0.05$); ^b, 轻度肥胖与重度肥胖组存在统计学差异($P<0.05$); ^c, 中度肥胖与重度肥胖组存在统计学差异($P<0.05$)。

表2 代谢综合征患者 BMI、年龄与骨 Ca、骨 HAP 之间的相关关系

变量	BMI(kg/m ²)	年龄	BMI(校正年龄后 偏相关分析)(kg/m ²)
BMI(kg/m ²)	—	-0.191*(0.040)	—
年龄	-0.191*(0.040)	—	—
T10-12 平均 Ca(mg/cm ³)	-0.184*(0.048)	-0.279** (0.002)	-0.286** (0.002)
L1-3 平均 Ca(mg/cm ³)	-0.164(0.079)	-0.433** (<0.001)	-0.319** (0.001)
T10-12 平均 HAP(mg/cm ³)	-0.181(0.052)	-0.282** (0.002)	-0.285** (0.002)
L1-3 平均 HAP(mg/cm ³)	-0.184*(0.048)	-0.471** (<0.001)	-0.354** (<0.001)

注: * 在 0.05 级别(双尾)显著, ** 在 0.01 级别(双尾)显著。

平在轻度肥胖组(2.40 ± 0.10) mmol/L 高于中度(2.34 ± 0.09) mmol/L 和重度肥胖组[(2.35 ± 0.10) mmol/L, $P=0.020$]。血脂指标(TC、TG、HDL-C、LDL-C)3 组间差异无统计学意义($P>0.05$)。

3. 代谢综合征患者 BMI 与骨 Ca、骨 HAP 关系

表 2 显示了 Spearman 相关分析结果。年龄与 T10-12 平均 Ca($r=-0.279$, $P=0.002$)、L1-3 平均 Ca($r=-0.433$, $P<0.001$)、T10-12 平均 HAP($r=-0.282$, $P=0.002$)及 L1-3 平均 HAP($r=-0.471$, $P<0.001$)呈负相关; BMI 与 T10-12 平均 Ca($r=-0.184$, $P=0.048$)、L1-3 平均 HAP($r=-0.184$, $P=0.048$)呈负相关, 但与 L1-3 平均 Ca($r=-0.164$, $P=0.079$)及 T10-12 平均 HAP($r=-$

-0.181 , $P=0.052$)相关性未达显著水平。偏相关分析校正年龄后, BMI 与 T10-12 平均 Ca($r=-0.286$, $P=0.002$)、L1-3 平均 Ca($r=-0.319$, $P=0.001$)、T10-12 平均 HAP($r=-0.285$, $P=0.002$)及 L1-3 平均 HAP($r=-0.354$, $P<0.001$)均呈显著负相关。这些结果表明, BMI 与骨密度指标呈负相关, 年龄校正后相关性增强。

多元线性回归分析结果显示对于本研究中代谢综合征患者, 年龄和 BMI 是引起骨 Ca 和骨 HAP 浓度下降的主要因素。随着年龄增大 T10-12Ca ($B=-0.47$, 95%CI: $-0.69 \sim -0.26$, $P<0.001$)、L1-3 Ca ($B=-0.63$, 95%CI: $-0.82 \sim -0.44$, $P<0.001$)、T10-12 HAP ($B=-1.02$, 95%CI: $-1.47 \sim -0.57$,

$P < 0.001$) 及 L1-3 HAP ($B = -1.43, 95\% \text{ CI}: -1.82 \sim -1.04, P < 0.001$) 浓度显著减低; 随着 BMI 升高, T10-12 Ca ($B = -0.68, 95\% \text{ CI}: -1.11 \sim -0.26, P = 0.002$)、L1-3 Ca ($B = -0.70, 95\% \text{ CI}: -1.08 \sim -0.32, P < 0.001$)、T10-12 HAP ($B = -1.45, 95\% \text{ CI}: -2.36 \sim -0.55, P = 0.002$) 及 L1-3 HAP ($B = -1.60, 95\% \text{ CI}: -2.38 \sim -0.82, P < 0.001$) 浓度显著减低(表 3)。

表 3 代谢综合征患者 BMI、年龄与骨 Ca、骨 HAP 之间的多元回归分析

骨浓度/变量	β	β 95% CI	标准误	P
T10-12 平均 Ca (mg/cm^3)				
年龄	-0.47	-0.69 ~ -0.26	0.11	<0.001
BMI (kg/m^2)	-0.68	-1.11 ~ -0.26	0.22	0.002
L1-3 平均 Ca (mg/cm^3)				
年龄	-0.63	-0.82 ~ -0.44	0.1	<0.001
BMI (kg/m^2)	-0.70	-1.08 ~ -0.32	0.20	<0.001
T10-12 平均 HAP (mg/cm^3)				
年龄	-1.02	-1.47 ~ -0.57	0.23	<0.001
BMI (kg/m^2)	-1.45	-2.36 ~ -0.55	0.46	0.002
L1-3 平均 HAP (mg/cm^3)				
年龄	-1.43	-1.82 ~ -1.04	0.20	<0.001
BMI (kg/m^2)	-1.6	-2.38 ~ -0.82	0.40	<0.001

讨论

MetS 是由多种疾病组成的疾病群, 其与骨质疏松症之间的关系被广泛研究, 随着肥胖人群的日益增加, 代谢性疾病已成为影响公共健康的重要问题。然而 MetS 对骨密度的影响机制非常复杂, 肥胖与骨骼之间的研究结果存在较大的争议。既往研究多通过 DXA 或定量 CT 评价骨密度, 以反映骨质改变情况。目前, 随着能谱 CT 技术的推广, 其在骨质定量方面有了进一步的广泛应用, 研究显示^[6,7] 基于能谱 CT 的物质对可以有效反应骨密度的改变。能谱 CT 测量骨密度的技术原理是基于物质成分的能量依赖性衰减特性进行的。能谱 CT 通过快速切换管电压, 可以同步采集同一解剖部位的高、低能图像, 并且通过物质分离等算法将高、低能图像分解为代表骨矿物质(钙)和软组织(水)的密度图。通过能谱 CT 扫描既保证了 CT 的高空间分辨率又实现了物质分析功能, 可同时显示骨骼的结构与密度。因此, 本研究通过能谱 CT 的骨 Ca(水)及骨 HAP(水)浓度定量了代谢综合征患者的骨质情况, 发现不同 BMI 组患者的骨 Ca、骨 HAP 及总钙浓度存在差异; 且控制年龄后, BMI 与骨 Ca、骨 HAP 之间仍存在负相关, 提示代谢综合征患者的 BMI 与骨骼之间存在定量关系。

肥胖与骨骼之间存在双重关联机制即机械和代谢机制。传统意义上肥胖对骨骼有保护作用。既往有研究表明肥胖患者的面积骨矿物质浓度较高^[8], 在一项对于儿童和青少年的骨矿物质密度的研究中, 发现肥

胖个体的全身骨密度比正常体重的个体高^[9], 其主要原因可能为体重赋予的机械负荷可以促进骨细胞的形成^[8,10]。尽管传统观点认为肥胖可通过增加机械负荷对骨密度起到保护作用, 但近年来研究显示肥胖对骨代谢的影响呈现出复杂的双向性。一方面, 皮下脂肪可能通过增加骨骼承载应力以及分泌对骨代谢有利的激素(如 Leptin 和 Adiponectin)促进骨形成, 从而与骨密度呈正相关^[11,12]。另一方面, 内脏脂肪(代谢活性强, 富含促炎细胞因子(如 TNF- α 、IL-6), 可通过 RANKL 通路激活破骨细胞, 诱导骨吸收, 使骨密度降低^[13-15]。最新研究进一步表明内脏脂肪指数(VFI)与骨密度呈负相关, 而皮下脂肪指数(SFI)则与骨密度呈正相关, 提示脂肪的类型与分布对骨代谢具有异质性影响^[16,17]。此外, 性别因素也显著影响该关联, 绝经后女性因雌激素水平下降, 对内脏脂肪引发的骨质流失更为敏感^[18]。骨-脂肪-免疫网络的最新模型显示内脏脂肪诱导的慢性炎症状态是破骨活动增强和骨量丢失的重要机制基础^[15]。因此, 应在肥胖评估中不仅关注总脂肪量, 更需结合脂肪分布特征, 以全面理解其对骨健康的影响。

本研究采用 BMI 评价患者的肥胖情况, 即个体体重(千克)除以其身高(米)的平方。目前, 关于肥胖或超重的中青年代谢综合征人群的骨密度研究鲜有报道。本研究入组的为肥胖或超重的代谢综合征患者, 平均 BMI 高于普通人群, 本研究显示患者的骨 Ca 及骨 HAP 浓度和 BMI 呈负相关。一项使用 CT 扫描和经髂骨活检对不同 BMI 的绝经前女性进行的研究表明在组织学水平上, 中央肥胖型女性的骨小梁数量较少且较薄^[19]。在一项对不同肥胖程度的青少年骨密度及几何形状的研究中发现, 腰椎的骨小梁评分(纹理指数, 与骨小梁微结构高度相关)在极度肥胖的患者显著降低^[20]。与皮质骨相比, 松质骨对骨代谢障碍有更高的敏感性。在中青年代谢综合征人群, 减轻体重, 预防脊柱骨质疏松性骨折变得尤为重要。

以往应用能谱 CT 对成年女性的腰椎骨钙浓度进行分析, 发现骨钙浓度和年龄呈负相关^[21]。本研究采用多元线性回归分析表明在超重和肥胖的代谢综合征人群中, 随着年龄、BMI 逐渐升高, 患者平均骨 Ca 及骨 HAP 浓度减低。年龄是影响骨密度的一个重要因素^[22-24]。随着年龄增长, 骨吸收加速, 骨的重建功能下降, 以及肠道对维生素 D 和钙的摄取能力减低等因素共同导致骨量减少, 骨密度减低。本研究通过偏相关分析校正年龄因素后, 发现患者 BMI 与骨 Ca、骨 HAP 仍呈明显负相关, 说明 BMI 是影响患者骨质改变的重要危险因素之一。

本研究存在一定的局限性, 样本量较少且为单中

心研究,同时研究中男性患者较少,下一步将继续扩大样本进行研究。

总之,在肥胖和超重的中青年代谢综合征人群,影响骨密度的因素复杂,年龄和 BMI 是影响脊柱骨 Ca 浓度和骨 HAP 的主要因素。随着年龄增长,脊柱松质骨骨 Ca 和骨 HAP 浓度下降;而 BMI 越小的代谢综合征患者其脊柱松质骨骨密度可能相对更大,尚需扩大样本量进一步研究证实。

参考文献:

- [1] 王紫晨,马丽娜,张仲迎,等.老年代谢综合征与骨质疏松的相关性研究[J].中华老年心脑血管病杂志,2020,22(9):904-907.
- [2] Qiao D, Li Y, Liu X, et al. Association of obesity with bone mineral density and osteoporosis in adults: a systematic review and meta-analysis[J]. Public Health, 2020, 180: 22-28.
- [3] 徐黎,王玲,张勇,等.定量 CT 和双能 X 线吸收评价北京地区老年人股骨近端骨结构的比较[J].中国医学影像技术,2015,31(10):1492-1496.
- [4] 闫东,程晓光.体质成分的研究现状和影像学评估[J].放射学实践,2022,37(10):1197-1199.
- [5] Ma Q, Yang Z, Han X, et al. Influence of parathyroidectomy on bone calcium concentration: evaluation with spectral CT in patients with secondary hyperparathyroidism undergoing hemodialysis—a prospective feasibility study[J]. Radiology, 2017, 284(1): 143-152.
- [6] Wang X, Li B, Tong X, et al. Diagnostic accuracy of dual-energy CT material decomposition technique for assessing bone status compared with quantitative computed tomography[J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(10): 1751.
- [7] Wang M, Wu Y, Zhou Y, et al. Application of dual-energy spectral computed tomography in bone mineral density measurement: phantom and clinical research[J]. Int J Gen Med, 2022, 15: 6887-6896.
- [8] Walsh JS, Vilaca T. Obesity, type 2 diabetes and bone in adults[J]. Calcif Tissue Int, 2017, 100(5): 528-535.
- [9] Jeddi M, Dabbaghmanesh MH, Ranjbar Omrani G, et al. Relative importance of lean and fat mass on bone mineral density in Iranian children and adolescents[J]. Int J Endocrinol Metab, 2015, 13(3): e25542.
- [10] Johansson H, Kanis JA, Odén A, et al. A meta-analysis of the association of fracture risk and body mass index in women[J]. J Bone Miner Res, 2014, 29(1): 223-233.
- [11] Moradi S, Mirzaei K, Abdurahman AA, et al. Adipokines may mediate the relationship between resting metabolic rates and bone mineral densities in obese women[J]. Osteoporos Int, 2017, 28(5): 1619-1629.
- [12] Guimaraes GC, Coelho JBC, Silva JGO, et al. Obesity, diabetes and risk of bone fragility: how BMAT behavior is affected by metabolic disturbances and its influence on bone health[J]. Osteoporos Int, 2024, 35(4): 575-588.
- [13] Zhou R, Guo Q, Xiao Y, et al. Endocrine role of bone in the regulation of energy metabolism[J]. Bone Res, 2021, 9(1): 25.
- [14] Stroe-Ionescu AS, Tănase AD, Rotaru I, et al. Adipose tissue-derived mediators in multiple myeloma: linking obesity to bone disease via inflammatory pathways[J]. Int J Mol Sci, 2025, 26(12): 5618.
- [15] He T, Qin L, Chen S, et al. Bone-derived factors mediate crosstalk between skeletal and extra-skeletal organs[J]. Bone Res, 2025, 13(1): 49.
- [16] Choi HS, Kim KJ, Kim KM, et al. Relationship between visceral adiposity and bone mineral density in Korean adults[J]. Calcif Tissue Int, 2010, 87(3): 218-225.
- [17] Tao J, Li H, Wang H, et al. Metabolic dysfunction-associated fatty liver disease and osteoporosis: the mechanisms and roles of adiposity[J]. Osteoporos Int, 2024, 35(12): 2087-2098.
- [18] Savvidis C, Tournis S, Dede AD. Obesity and bone metabolism[J]. Hormones (Athens), 2018, 17(2): 205-217.
- [19] Cohen A, Dempster DW, Recker RR, et al. Abdominal fat is associated with lower bone formation and inferior bone quality in healthy premenopausal women: a transiliac bone biopsy study[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2013, 98(6): 2562-2572.
- [20] Julian V, O'Malley G, Metz L, et al. Does the severity of obesity influence bone density, geometry and strength in adolescents[J]. Pediatr Obes, 2021, 16(12): e12826.
- [21] Yue D, Li Fei S, Jing C, et al. The relationship between calcium (water) density and age distribution in adult women with spectral CT: initial result compared to bone mineral density by dual-energy X-ray absorptiometry[J]. Acta Radiol, 2019, 60(6): 762-768.
- [22] 朱传明,李燕,杨淑贞,等.腹部脂肪和肝脏脂肪含量与骨密度相关性的定量 CT 分析[J].放射学实践,2022,37(10):1200-1204.
- [23] Shao WG, Liu DM. Gemstone spectral imaging for measuring adult bone mineral density[J]. Exp Ther Med, 2016, 12(4): 2773-2777.
- [24] 仲玉侨,王植,孟祥虹,等.应用定量 CT 探讨绝经后女性股骨近端骨折的危险因素[J].放射学实践,2022,37(12):1568-1572.

(收稿日期:2025-04-23 修回日期:2025-07-30)