

【DOI】 10.3969 / j.issn.1671-6450.2026.02.013

论著 · 临床

骨质疏松性骨折患者骨转换标志物与术后骨骼肌状态的相关性分析

韩娟 赵沛沛 魏乐 季俊敏 史新春



基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2022D01C376)

作者单位: 830001 乌鲁木齐 新疆维吾尔自治区人民医院骨科中心脊柱一病区

通信作者: 魏乐 E-mail: zhuy8586@ 163.com

【摘要】 目的 探讨骨质疏松性骨折患者骨转换标志物水平及其与术后骨骼肌状态的关系。方法 选取 2023 年 1 月—2025 年 1 月新疆维吾尔自治区人民医院骨科中心脊柱一病区收治的骨质疏松性股骨颈骨折患者 98 例为研究对象 根据术后 1 个月骨骼肌质量指数(SMI) 评估患者骨骼肌状态 将其分为肌少症组 54 例和非肌少症组 44 例。采用 Pearson 相关性分析骨转换标志物水平与 SMI 的相关性; 多因素 Logistic 回归分析骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的影响因素; 受试者工作特征(ROC) 曲线分析骨转换标志物水平对骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的预测价值。结果 肌少症组双手握力、6 m 步速、术后 SMI 水平低于非肌少症组($t/P=6.138/<0.001$ 、 $8.584/<0.001$ 、 $7.610/<0.001$); 肌少症组甲状旁腺激素(PTH)、I 型前胶原氨基末端肽(P I NP)、I 型胶原羧基末端肽 β 特殊序列(β -CTX) 水平高于非肌少症组($t/P=4.425/<0.001$ 、 $3.924/<0.001$ 、 $4.982/<0.001$), 骨钙素(OC)、血磷、血钙、25-羟基维生素 D 低于非肌少症组($t/P=7.788/<0.001$ 、 $6.899/<0.001$ 、 $6.400/<0.001$ 、 $3.568/<0.001$); Pearson 相关性分析显示 骨质疏松性股骨颈骨折患者 OC、血磷、血钙、25-羟基维生素 D 水平与术后 SMI 呈正相关($r/P=0.574/<0.001$ 、 $0.523/<0.001$ 、 $0.659/<0.001$ 、 $0.653/<0.001$), PTH、P I NP、 β -CTX 水平与术后 SMI 呈负相关($r/P=-0.786/<0.001$ 、 $-0.670/<0.001$ 、 $-0.637/<0.001$); P I NP 高、 β -CTX 高为影响骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的独立危险因素[$OR(95\%CI)=1.152(1.001\sim 1.325)$ 、 $17.282(2.333\sim 128.011)$], OC 高、25-羟基维生素 D 高为独立保护因素[$OR(95\%CI)=0.196(0.062\sim 0.622)$ 、 $0.314(0.099\sim 0.997)$]; OC、25-羟基维生素 D、P I NP、 β -CTX 水平单独及四者联合预测骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的 AUC 分别为 0.844、0.689、0.716、0.822、0.956, 四者联合预测优于 OC、25-羟基维生素 D、P I NP、 β -CTX 的单独预测价值($Z/P=2.362/0.018$ 、 $4.637/<0.001$ 、 $2.721/0.006$ 、 $4.381/<0.001$)。结论 OC、25-羟基维生素 D、P I NP、 β -CTX 水平与骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态密切相关, 四者联合预测患者术后骨骼肌减少的价值较高。

【关键词】 骨质疏松性骨折; 骨转换标志物; 骨骼肌状态; 相关性; 影响因素

【中图分类号】 R683; R685.4

【文献标识码】 A

The levels of bone turnover markers in patients with osteoporotic fractures and their correlation with postoperative skeletal muscle status

Han Juan, Zhao Peipei, Wei Le, Ji Junmin, Shi Xinchun. Spine Ward, Orthopedic Center, Xinjiang Uygur Autonomous Region People's Hospital, Xinjiang Urumqi 830001, China

Funding program: Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2022D01C376)

Corresponding author: Wei Le, E-mail: zhuy8586@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the levels of bone turnover markers in patients with osteoporotic fractures and their correlation with postoperative skeletal muscle status. **Methods** A total of 98 patients with osteoporotic femoral neck fractures who were treated at the Orthopedic Center of Xinjiang Uygur Autonomous Region People's Hospital from January 2023 to January 2025 were selected as the research subjects. According to the skeletal muscle status of the patients one month after the operation, they were divided into a sarcopenia group (54 cases) and a non-sarcopenia group (44 cases). Pearson correlation analysis was used to investigate the correlation between bone turnover marker levels and postoperative skeletal muscle status. Multiple logistic regression analysis was applied to investigate the influencing factors of postoperative skeletal muscle status in patients with osteoporotic fractures. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was applied to evaluate the predictive value of bone turnover marker levels for the postoperative skeletal muscle status of patients with osteoporotic femoral neck fractures. **Results** The grip strength of both hands, 6-meter walking speed, and postoperative skeletal muscle index

(SMI) level in the sarcopenia group were lower than those in the non-sarcopenia group ($t/P = 6.138 / < 0.001, 8.584 / < 0.001, 7.610 / < 0.001$). The levels of parathyroid hormone (PTH), type I procollagen amino-terminal peptide (P I NP), and type I collagen carboxyl-terminal peptide β special sequence (β -CTX) in the sarcopenia group were higher than those in the non-sarcopenia group ($t/P = 4.425 / < 0.001, 3.924 / < 0.001, 4.982 / < 0.001$). Osteocalcin (OC), blood phosphorus, blood calcium, and 25-hydroxyvitamin D were lower than those in the non-sarcopenia group ($t/P = 7.788 / < 0.001, 6.899 / < 0.001, 6.400 / < 0.001, 3.568 / < 0.001$). Pearson correlation analysis showed that the levels of OC, blood phosphorus, blood calcium, and 25-hydroxyvitamin D in patients with osteoporotic femoral neck fractures were positively correlated with postoperative SMI ($r/P = 0.574 / < 0.001, 0.523 / < 0.001, 0.659 / < 0.001, 0.653 / < 0.001$). The levels of PTH, P I NP and β -CTX were negatively correlated with postoperative SMI ($r/P = -0.786 / < 0.001, -0.670 / < 0.001, -0.637 / < 0.001$). High P I NP and high β -CTX were independent risk factors affecting the postoperative skeletal muscle status of patients with osteoporotic femoral neck fractures [OR (95%CI) = 1.152 (1.001-1.325), 17.282 (2.333-128.011)]. High OC and high 25-hydroxyvitamin D were independent protective factors [OR (95%CI) = 0.196 (0.062-0.622), 0.314 (0.099-0.997)]. The AUCs of OC, 25-hydroxyvitamin D, P I NP, and β -CTX levels alone and in combination for predicting the postoperative skeletal muscle status of patients with osteoporotic femoral neck fractures were 0.844, 0.689, 0.716, 0.822, and 0.956, respectively. The combined prediction of the four was superior to the individual predictive values of OC, 25-hydroxyvitamin D, P I NP, and β -CTX ($Z/P = 2.362 / 0.018, 4.637 / < 0.001, 2.721 / 0.006, 4.381 / < 0.001$). **Conclusion** The levels of OC, 25-hydroxyvitamin D, P I NP, and β -CTX are closely related to the postoperative skeletal muscle status of patients with osteoporotic femoral neck fractures. The combined prediction of the four has a relatively high value in predicting postoperative skeletal muscle reduction in patients.

【Key words】 Osteoporotic fracture; Bone turnover markers; Skeletal muscle status; Correlation; Influencing factors

骨质疏松症是一种以骨密度降低和骨组织微结构退化为特征的代谢性骨病,已成为重大的公共卫生问题^[1]。流行病学调查结果显示,全球超过 2 亿人患骨质疏松症,其中每年约有 890 万例骨质疏松症患者发生骨折^[2]。目前,临床上主要使用药物联合手术等治疗方法控制病情,但仍有 40% 的骨质疏松症患者终生骨折^[3]。病理生理学证据表明肌肉和骨骼组织分别分泌肌因子和骨因子,它们相互作用影响骨折的愈合过程^[4]。既往研究证实,骨转换标志物能够反映骨形成细胞(成骨细胞)和骨降解细胞(破骨细胞)的活性,其在体液中相对稳定,且具有较高的敏感度和特异度,可预测骨质疏松症患者骨折风险^[5-6]。既往研究发现,肌肉减少与骨质疏松症密切相关,但其与骨质疏松症骨折患者预后的具体关系尚不清楚^[7]。基于此,本研究分析骨质疏松性骨折患者骨转换标志物水平及其与术后骨骼肌状态的相关性,报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料 选取 2023 年 1 月—2025 年 1 月新疆维吾尔自治区人民医院骨科中心脊柱一病区收治的骨质疏松性股骨颈骨折患者 98 例为研究对象,患者均行髋关节置换术。根据骨骼肌质量指数(skeletal muscle index, SMI)评估患者术后 1 个月骨骼肌状态^[8],将骨质疏松性股骨颈骨折患者分为肌少症组(男 SMI $\leq 7.00 \text{ kg/m}^2$,女 SMI $\leq 5.70 \text{ kg/m}^2$) 54 例和非肌少症组(男 SMI $> 7.00 \text{ kg/m}^2$,女 SMI $> 5.70 \text{ kg/m}^2$) 44 例。与

非肌少症组比较,肌少症组女性比例高、年龄大、体质指数(BMI)低($P < 0.05$)。2 组其他临床资料比较差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。本研究已获得医院伦理委员会批准(KY20220614229),患者和/或家属知情同意并签署知情同意书。

1.2 病例选择标准 (1) 纳入标准: ①临床症状和影像学检查符合骨质疏松性骨折诊断标准^[9],双能 X 线密度仪测量 T 值 ≤ -2.5 ,影像学检查为新发骨折(骨折至入组时间 $\leq 72 \text{ h}$); ②年龄 ≥ 60 岁; ③依从性好者。(2) 排除标准: ①病理性骨折者; ②合并甲状腺或甲状旁腺疾病、库欣综合征、风湿病等内分泌或代谢类疾病者; ③肾性骨营养不良者; ④合并神经肌肉疾病或运动功能障碍等直接影响骨骼肌状态者; ⑤严重营养不良或低蛋白血症者; ⑥过去 6 个月内使用双膦酸盐、特立帕肽等抗骨质疏松药物; ⑦持续用药 ≥ 3 个月; ⑧使用雌激素或雄激素等影响骨代谢药物治疗者; ⑨合并心、肺、肝、肾等严重脏器功能障碍者。

1.3 观测指标及方法

1.3.1 骨骼肌状态指标检测: 术后 1 个月通过 Jamar 握力计(Jamar 公司,美国)测量双手握力最大值,取 3 次测量平均值;通过 6 m 步行法测量步速,取最快步速;术前、术后 1 个月使用 InBody 720 生物电阻抗分析评估躯干和四肢骨骼肌质量,SMI = 四肢骨骼肌质量/身高²(kg/m^2)。

1.3.2 骨转换标志物水平检测: 术后 1 个月采集患者空腹肘静脉血 6 ml,离心留取上层血清,应用罗氏电化

表 1 非肌少症组与肌少症组骨质疏松性股骨颈骨折患者临床资料比较

Tab.1 Comparison of clinical data of patients with osteoporotic femoral neck fractures between the non-sarcopenia group and the sarcopenia group

项 目	非肌少症组 (n=44)	肌少症组 (n=54)	t/χ^2 值	P 值
性别[例(%)]	男 26(59.09) 女 18(40.91)	19(35.19) 35(64.81)	5.579	0.018
年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	70.78 \pm 8.11	74.62 \pm 7.09	2.500	0.014
BMI($\bar{x}\pm s$ kg/m ²)	21.75 \pm 1.67	20.82 \pm 1.56	2.844	0.005
血压($\bar{x}\pm s$ mmHg)	收缩压 138.95 \pm 19.27 舒张压 78.69 \pm 9.07	144.56 \pm 18.79 81.24 \pm 9.38	1.453 1.359	0.149 0.177
吸烟史[例(%)]	28(63.64)	34(62.96)	0.005	0.945
饮酒史[例(%)]	29(65.91)	35(64.81)	0.013	0.910
病程($\bar{x}\pm s$ d)	6.30 \pm 1.17	6.41 \pm 1.32	0.432	0.667
基础疾病 [例(%)]	糖尿病 22(50.00) 高血压 25(56.82) 冠心病 24(54.55)	28(51.85) 32(59.26) 37(68.52)	0.033 0.059 2.014	0.855 0.807 0.156
骨折原因[例(%)]	摔伤 26(59.09) 车祸 18(40.91)	29(53.70) 25(46.30)	0.286	0.593
骨折类型[例(%)]	I 型 7(15.91) II 型 10(22.73) III 型 13(29.54) IV 型 14(31.82)	8(14.81) 14(25.93) 16(29.63) 16(29.63)	0.158	0.984

学发光系统(瑞士罗氏诊断 ,E602 型) 测定甲状旁腺激素(PTH)、骨钙素(OC)、血磷、血钙、25-羟基维生素 D、I 型前胶原氨基末端肽(P I NP)、I 型胶原羧基末端肽 β 特殊序列(β -CTX)、性激素结合球蛋白(SHBG) 水平,试剂盒均购自德国罗氏诊断有限公司。应用双能 X 射线骨密度仪(北京谷山丰生物医学技术有限公司 ,Medix90 型) 测定患侧股骨颈骨密度。应用全自动生化分析仪(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司 ,迈瑞 BS-350s) 检测白蛋白(Alb)。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计分析。计数资料以频数或构成比(%) 表示,组间比较采用 χ^2 检验;符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示 2 组间比较采用独立样本 t 检验;采用 Pearson 相关性分析骨转换标志物水平与 SMI 的相关性;多因素 Logistic 回归分析骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的影响因素;受试者工作特征(ROC) 曲线分析骨转换标志物水平对骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的预测价值。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 2 组患者骨骼肌状态指标比较 肌少症组术后双手握力、6 m 步速、SMI 水平低于非肌少症组,差异均有统计学意义($P<0.01$) ,见表 2。

表 2 非肌少症组与肌少症组骨质疏松性股骨颈骨折患者骨骼肌状态指标比较 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of skeletal muscle status indicators between non-sarcopenia group and sarcopenia group

组 别	例数	双手握力 (kg)	6 m 步速 (m/s)	SMI(kg/m ²)	
				术前	术后
非肌少症组	44	29.14 \pm 6.87	1.22 \pm 0.18	13.98 \pm 2.84	8.96 \pm 1.17
肌少症组	54	22.15 \pm 4.32	0.71 \pm 0.15	13.37 \pm 2.26	6.92 \pm 1.43
t 值		6.138	8.584	1.184	7.610
P 值		<0.001	<0.001	0.239	<0.001

2.2 2 组骨转换标志物水平比较 肌少症组 PTH、P I NP、 β -CTX 水平高于非肌少症组,OC、血磷、血钙、25-羟基维生素 D 低于非肌少症组($P<0.01$) ,见表 3。

表 3 非肌少症组与肌少症组骨质疏松性股骨颈骨折患者骨转化指标比较 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Comparison of bone transformation indicators between the non-sarcopenia group and the sarcopenia group

指 标	非肌少症组 (n=44)	肌少症组 (n=54)	t 值	P 值
骨密度(mg/cm ³)	57.58 \pm 6.42	55.43 \pm 5.45	1.793	0.076
Alb(g/L)	41.48 \pm 5.12	39.49 \pm 4.89	1.962	0.053
PTH(ng/L)	54.85 \pm 8.19	62.27 \pm 8.31	4.425	<0.001
OC(μ g/L)	13.69 \pm 1.38	11.59 \pm 0.97	7.788	<0.001
血磷(mmol/L)	1.19 \pm 0.06	1.12 \pm 0.04	6.899	<0.001
血钙(mmol/L)	2.27 \pm 0.18	2.05 \pm 0.16	6.400	<0.001
25-羟基维生素 D(μ g/L)	12.28 \pm 1.77	10.96 \pm 1.63	3.568	0.001
P I NP(μ g/L)	45.62 \pm 12.64	54.59 \pm 10.73	3.924	<0.001
β -CTX(μ g/L)	0.79 \pm 0.23	0.97 \pm 0.12	4.982	<0.001
SHBG(nmol/L)	30.96 \pm 8.13	29.18 \pm 8.08	1.082	0.282

2.3 骨转换标志物水平与术后 SMI 的相关性分析 Pearson 相关性分析结果显示,骨质疏松性股骨颈骨折患者 OC、血磷、血钙、25-羟基维生素 D 水平与术后 SMI 呈正相关($r/P = 0.574/<0.001$ 、 $0.523/<0.001$ 、 $0.659/<0.001$ 、 $0.653/<0.001$) ,PTH、P I NP、 β -CTX 水平与术后 SMI 呈负相关($r/P = -0.786/<0.001$ 、 $-0.670/<0.001$ 、 $-0.637/<0.001$) ,骨密度、SHBG 与术后 SMI 无相关性($r/P = 0.072/0.622$ 、 $0.092/0.368$)。

2.4 多因素 Logistic 回归分析骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的影响因素 以骨质疏松性骨折患者术后骨骼肌减少为因变量(赋值: 是为“1”,否为“0”) ,以上述结果中 $P<0.05$ 项目(连续变量,原值代入) 为自变量,进行多因素 Logistic 回归分析,结果显示: PINP 高、 β -CTX 高为影响骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的独立危险因素,OC 高、25-羟基维生素 D 高为独立保护因素($P<0.05$ 或 $P<0.01$) ,见表 4。

表 4 多因素 Logistic 回归分析骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的影响因素

Tab.4 Multivariate Logistic regression analysis of the influencing factors of postoperative skeletal muscle status in patients with osteoporotic fractures

自变量	β 值	SE 值	Wald 值	P 值	OR 值	95%CI
女性	0.033	1.123	0.001	0.976	1.034	0.114~9.348
年龄大	0.051	0.097	0.271	0.603	1.052	0.870~1.273
BMI 低	1.377	0.844	2.662	0.103	3.963	0.758~20.723
PTH 高	0.231	0.179	1.668	0.197	1.260	0.887~1.789
OC 高	-1.631	0.590	7.648	0.006	0.196	0.062~0.622
血磷高	-2.754	0.671	16.865	0.000	0.064	0.017~0.237
血钙高	-4.223	2.314	3.331	0.068	0.015	0.000~1.366
25-羟基维生素 D 高	-1.159	0.589	3.865	0.049	0.314	0.099~0.997
P I NP 高	0.141	0.072	3.889	0.049	1.152	1.001~1.325
β -CTX 高	2.850	1.022	7.780	0.005	17.282	2.333~128.011

2.5 骨转换标志物水平对骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的预测价值 将多因素 Logistic 回归分析中的独立影响因子纳入,绘制骨转换标志物水平预测骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的 ROC 曲线,并计算曲线下面积(AUC),结果显示:OC、25-羟基维生素 D、P I NP、 β -CTX 水平单独及四者联合预测骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的 AUC 分别为 0.844、0.689、0.716、0.822、0.956,四者联合预测优于 OC、25-羟基维生素 D、P I NP、 β -CTX 的单独预测价值($Z/P = 2.362/0.018, 4.637/<0.001, 2.721/0.006, 4.381/<0.001$) ,见表 5、图 1。

3 讨论

骨质疏松症是一种以骨密度和骨量下降、骨骼微结构破坏为特征的全身性疾病,易导致骨折,是中老年人群致残和死亡的主要原因之一^[10]。尽管临床医生对骨质疏松症骨折患者进行了强化管理,但骨质疏松症患者的终生骨折风险仍较高^[11]。因此,及早识别骨质疏松症骨折的危险因素有助于改善患者的预后。既往研究发现,成骨细胞和破骨细胞可以通过产生 P I NP、 β -CTX 等骨转换指标参与骨质疏松症的发生和进展^[12]。与此同时,相关研究发现骨骼肌减少症可

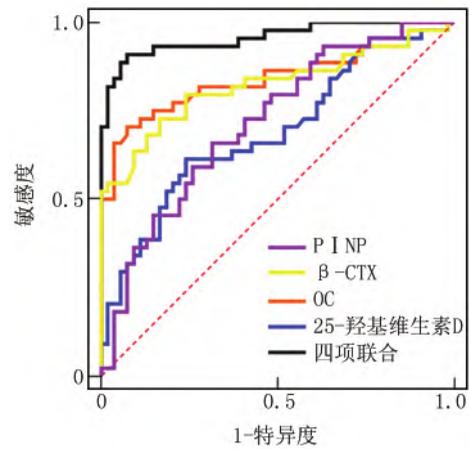


图 1 骨转换标志物水平预测骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的 ROC 曲线

Fig.1 ROC curve of bone turnover markers for postoperative skeletal muscle status in patients with osteoporotic femoral neck fractures

降低骨骼的机械负荷,抑制适应性骨重塑,进而增加骨折风险^[13]。但骨转化指标与术后骨骼肌状态是否具有相关性,能否客观、准确地反映术后骨骼肌状态仍未明确,故本研究选择分析骨质疏松症骨折患者骨转换指标水平与术后骨骼肌状态的相关性,以期临床提供理论指导。

骨和骨骼肌协同工作可维持肌肉骨骼系统的功能,其中骨骼肌收缩是驱动骨杠杆运动的主要动力来源^[14]。最新研究发现,骨骼肌可分泌胰岛素样生长因子-1、碱性成纤维细胞生长因子、白介素-6 等影响骨骼的肌因子,而骨骼可分泌转化生长因子- β (TGF- β)、前列腺素 E2、Wnt3a 等作用于肌肉的骨因子,并通过复杂的相互作用共同维持骨骼健康和肌肉功能^[15-16]。相关研究发现,骨破坏后骨组织释放 TGF- β ,激活 TGF- β -Nox4-RyR1 信号通路,引起肌肉蛋白和 Ca^{2+} 受体氧化,最终导致肌肉无力^[17]。本研究与其研究结果相似,发现 OC、血磷、血钙、25-羟基维生素 D 水平与术后 SMI 呈正相关,P I NP、 β -CTX 水平与术后

表 5 骨转换标志物水平对骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的预测价值

Tab.5 Predictive value of bone turnover markers for postoperative skeletal muscle status in patients with osteoporotic femoral neck fractures

指标	最佳截断值($\mu\text{g/L}$)	AUC	95%CI	SE 值	敏感度	特异度	Youden 指数
OC	≤ 12.912	0.844	0.761~0.929	0.043	0.925	0.704	0.630
25-羟基维生素 D	≤ 11.750	0.689	0.582~0.795	0.054	0.759	0.613	0.372
P I NP	≥ 50.781	0.716	0.615~0.817	0.051	0.659	0.691	0.350
β -CTX	≥ 0.881	0.822	0.732~0.911	0.045	0.833	0.727	0.561
四项联合		0.956	0.916~0.996	0.020	0.909	0.909	0.818

SMI 呈负相关,表明骨质疏松性骨折患者骨转换标志物与术后骨骼肌状态密切相关。由于手术后骨损伤面积扩大,血液供应中断,骨截断面出现 1~2 mm 的坏死,使破骨细胞附着于骨表面,形成皱褶缘和密闭区,分泌酸溶解矿物质和酶溶解有机基质,产生的骨分解代谢物释放入血液,从而影响骨骼肌状态^[18]。既往研究表明,低生理浓度的 25-羟基维生素 D 可促进 PTH 分泌,诱导肌肉细胞转分化为脂肪细胞,而较高的浓度可抑制 PTH 分泌,并通过激活肌管系统中 AMPK/SIRT1 通路来改善脂肪组织堆积,促进肌源性细胞分化^[19]。Yang 等^[20]发现 25-羟基维生素 D 还可通过调节钙和磷的代谢,抑制肌肉的负调节因子肌肉生长抑制素的表达,防止肌肉退行性改变,改善肌纤维的收缩和肌肉力量。与此同时,先前的实验研究表明,PTH 通过刺激骨骼肌释放丙氨酸和谷氨酰胺,降低肌细胞内线粒体和肌纤维肌酸磷酸激酶的活性,进而抑制三磷酸腺苷的产生,从而增加肌肉静息能量的消耗,并通过脂肪组织褐化诱导肌肉萎缩^[21]。另外,Battafarano 等^[22]发现 OC 是成骨细胞骨形成释放的一种肽,其可通过 GPRC6A/AMPK/m-TOR/S6 等已知的激酶途径或者能量代谢途径来调节骨骼肌功能,本研究结果与其一致。除此之外,本研究还发现骨形成标志物 P I NP 和骨吸收标志物 β -CTX 与骨骼肌损失呈正相关。既往研究发现,Wnt/ β -catenin 信号通路和 RANK/RANKL/OPG 信号通路在骨吸收和骨形成过程中起到关键作用,且在肌肉和骨骼之间发挥双向调节的作用^[23]。体外研究表明,流体应激诱导 MLO-Y4 骨细胞 Wnt3a mRNA 表达上调,使得 β -catenin 稳定积累,并转移到细胞核,促进诱导 C2C12 细胞向成熟肌细胞分化,然而骨损伤时硬化蛋白抑制 Wnt3a 对 C2C12 成肌分化的作用^[24]。Rintas 等^[25]发现骨损伤后机体通过激活 RANK/RANKL/OPG 信号通路活化破骨细胞,诱导 SLC7A11 的表达上调,使肌动蛋白细胞骨架蛋白内形成异常的二硫键,导致骨骼肌细胞死亡。由此,进一步说明骨转换标志物与术后骨骼肌状态密切相关。

多因素 Logistic 回归分析显示,P I NP、 β -CTX 为影响骨质疏松性骨折患者术后骨骼肌减少的独立危险因素,而 OC、25-羟基维生素 D 为影响骨质疏松性骨折患者术后骨骼肌减少的保护性因素,可能由于骨转换指标间存在相互抵消的复杂关系,导致血钙、血磷、PTH 相互抵消成为非独立影响因素^[26-30]。为进一步明确 OC、25-羟基维生素 D、P I NP、 β -CTX 与骨质疏松性骨折患者术后骨骼肌状态的相关性。本研究绘制

ROC 曲线发现,OC、 β -CTX 预测骨质疏松性骨折患者术后骨骼肌状态的 AUC 显著高于 P I NP、25-羟基维生素 D 的 AUC,证明 OC、 β -CTX 对骨质疏松性骨折患者术后骨骼肌状态具有更好的预测价值,可为骨质疏松性骨折患者术后管理提供更精确的指导。本研究仍存在一些局限性。首先,本研究的样本量相对较小,可能会影响骨转换标志物与骨骼肌质量之间关联的强度和意义;其次,本研究仅纳入依从性好的患者,可能会存在选择性偏倚;第三,骨细胞与肌细胞之间的串扰机制未进行深入研究,对后续康复和药物治疗的影响也未进行深入探讨。

4 结 论

综上所述,本研究发现 OC、血磷、血钙、25-羟基维生素 D 水平与术后 SMI 呈正相关,PTH、P I NP、 β -CTX 水平与术后 SMI 呈负相关。多因素 Logistic 回归分析发现 P I NP、 β -CTX 升高为影响骨质疏松性骨折患者术后骨骼肌减少的独立危险因素,OC、25-羟基维生素 D 升高为独立保护因素。ROC 曲线分析发现,OC、25-羟基维生素 D、P I NP、 β -CTX 四者联合预测骨质疏松性股骨颈骨折患者术后骨骼肌状态的价值较高。

利益冲突:所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明

韩娟:实施研究过程,论文撰写;赵沛沛:实施研究过程,数据收集;魏乐:设计研究方案,论文审核;季俊敏:文献调研与整理;史新春:进行统计学分析

参考文献

- [1] Wei YK, Chen PB, Ju LL, et al. Causal association of metformin and osteoporosis: A 2-sample Mendelian randomization study [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(43): e35191. DOI: 10.1097/MD.00000000000035191.
- [2] Long G, Liu C, Liang T, et al. Predictors of osteoporotic fracture in postmenopausal women: A meta-analysis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18(1): 574. DOI: 10.1186/s13018-023-04051-6.
- [3] Spiegl U, Bork H, Grüninger S, et al. Osteoporotic fractures of the thoracic and lumbar vertebrae: Diagnosis and conservative treatment [J]. *Dtsch Arztebl Int*, 2021, 118(40): 670-677. DOI: 10.3238/arztebl.m2021.0295.
- [4] Tong JJ, Xu SQ, Wang JX, et al. Interactive effect of sarcopenia and falls on vertebral osteoporotic fracture in patients with rheumatoid arthritis [J]. *Arch Osteoporos*, 2021, 16(1): 145. DOI: 10.1007/s11657-021-01017-1.
- [5] 甘坤宁, 张波, 贺辉, 等. 绝经后骨折患者血清骨碱性磷酸酶、I 型前胶原和骨形态发生蛋白 2 水平与骨质疏松程度的相关性 [J]. *疑难病杂志*, 2022, 21(8): 845-849, 855. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6450.2022.08.013.
- [6] 张弛, 吴海龙, 张帅, 等. 后凸 Cobb's 角、BMD、P I NP 对骨质疏松性椎体压缩性骨折患者 PKP 术后再发骨折风险的预测价值分

- 析[J].疑难病杂志,2024,23(4):457-461.DOI: 10.3969/j.issn.1671-6450.2024.04.014.
- [7] Petermann-Rocha F,Ferguson LD,Gray SR,et al.Association of sarcopenia with incident osteoporosis: A prospective study of 168 682 UK biobank participants[J].J Cachexia Sarcopenia Muscle,2021,12(5):1179-1188.DOI: 10.1002/jcsm.12757.
- [8] 李茜,朱红,叶梦,等.相位角与中老年 2 型糖尿病患者肌少症的相关性研究[J].首都医科大学学报,2025,46(2):340-347.DOI: 10.3969/j.issn.1006-7795.2025.02.021.
- [9] 邱贵兴,裴福兴,胡侦明,等.中国骨质疏松性骨折诊疗指南—骨质疏松性骨折诊断及治疗原则[J].黑龙江科学,2018,9(2):85-88,95.DOI: 10.3969/j.issn.1674-8646.2018.02.028.
- [10] Gao S,Zhao Y.Quality of life in postmenopausal women with osteoporosis: A systematic review and meta-analysis[J].Qual Life Res,2023,32(6):1551-1565. DOI: 10.1007/s11136-022-03281-1.
- [11] Khatri K,Kaur M,Dhir T,et al.Role of calcium &/or vitamin D supplementation in preventing osteoporotic fracture in the elderly: A systematic review & meta-analysis[J].Indian J Med Res,2023,158(1):5-16.DOI: 10.4103/ijmr.ijmr_1946_21.
- [12] Xu J,Guo SH,Xu MZ,et al.The association between the triglyceride-glucose index and bone turnover markers in osteoporotic fractures patients aged 50 and above who are hospitalized for surgical intervention: A retrospective cross-sectional study[J].Front Endocrinol (Lausanne),2024,15:1418271. DOI: 10.3389/fendo.2024.1418271.
- [13] Bo J,Zhao X,Hua Z,et al.Impact of sarcopenia and sagittal parameters on the residual back pain after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fracture[J].J Orthop Surg Res,2022,17(1):111.DOI: 10.1186/s13018-022-03009-4.
- [14] Li Z,Zhao W,Lin X,et al.AI algorithms for accurate prediction of osteoporotic fractures in patients with diabetes: An up-to-date review[J].J Orthop Surg Res,2023,18(1):956. DOI: 10.1186/s13018-023-04446-5.
- [15] Wang J,Zhang Y,Cao J,et al.The role of autophagy in bone metabolism and clinical significance[J].Autophagy,2023,19(9):2409-2427. DOI: 10.1080/15548627.2023.2186112.
- [16] Wang J,Xu C,Zhang J,et al.RhoA promotes osteoclastogenesis and regulates bone remodeling through mTOR-NFATc1 signaling[J].Mol Med,2023,29(1):49. DOI: 10.1186/s10020-023-00638-1.
- [17] Jaquenod de giusti C,Palomeque J,Mattiazzi A.Ca²⁺ mishandling and mitochondrial dysfunction: A converging road to prediabetic and diabetic cardiomyopathy[J].Pflugers Arch,2022,474(1):33-61. DOI: 10.1007/s00424-021-02650-y.
- [18] Lin S,Cai X,Cheng Q,et al.Association between bone turnover markers,BMD and height loss of cemented vertebrae after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fractures[J].J Orthop Surg Res,2022,17(1):202. DOI: 10.1186/s13018-022-03087-4.
- [19] Chang E, Kim Y. Vitamin D ameliorates fat accumulation with AMPK/SIRT1 activity in C2C12 skeletal muscle cells[J].Nutrients,2019,11(11):2806. DOI: 10.3390/nu11112806.
- [20] Yang A,Lv Q,Chen F,et al.The effect of vitamin D on sarcopenia depends on the level of physical activity in older adults[J].J Cachexia Sarcopenia Muscle,2020,11(3):678-689. DOI: 10.1002/jcsm.12545.
- [21] Hsu BG,Wang CH,Tsai JP,et al.Association of serum intact parathyroid hormone levels with sarcopenia in patients undergoing peritoneal dialysis[J].Front Med (Lausanne),2024,11:1487449. DOI: 10.3389/fmed.2024.1487449.
- [22] Battafarano G,Rossi M,Marampon F,et al.Bone control of muscle function[J].Int J Mol Sci,2020,21(4):1178. DOI: 10.3390/ijms21041178.
- [23] Lin W,Chow SKH,Cui C,et al.Wnt/beta-catenin signaling pathway as an important mediator in muscle and bone crosstalk: A systematic review[J].J Orthop Translat,2024,47:63-73. DOI: 10.1016/j.jot.2024.06.003.
- [24] Cai Y,Sun H,Song X,et al.The Wnt/beta-catenin signaling pathway inhibits osteoporosis by regulating the expression of TERT: An in vivo and in vitro study[J].Aging (Albany NY),2023,15(20):11471-11488. DOI: 10.18632/aging.205136.
- [25] Rinotas V,Gkikopoulou E,Tzortzis E,et al.Interplay between bone marrow adiposity and bone resorption in RANKL-mediated modelled osteoporosis[J].J Cell Physiol,2024,239(12):e31434. DOI: 10.1002/jcp.31434.
- [26] 张仁权,刘桂勇,吴灿,等.补肾活血方联合碳酸钙 D3 片、阿仑膦酸钠片治疗骨质疏松性髋部骨折全髋关节置换术后临床研究[J].河北中医,2021,43(2):288-290,295. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2619.2021.02.025.
- [27] 刘倩倩,李春霖,龚燕平.老年男性骨质疏松症综合防治策略及指南解读[J].中国医药科学,2021,11(19):23-28. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0616.2021.19.008.
- [28] 张弛,吴海龙,张帅,等.后凸 Cobb's 角、BMD、P1NP 对骨质疏松性椎体压缩性骨折患者 PKP 术后再发骨折风险的预测价值分析[J].疑难病杂志,2024,23(4):457-461. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6450.2024.04.014.
- [29] 霍青,乔梁,李华,等.老年患者脊柱骨质疏松性压缩骨折的骨代谢相关危险因素分析[J].中国当代医药,2023,30(28):125-128,134. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4721.2023.28.029.
- [30] 张赫,刘曼,倪嘉鸿,等.老年人髋部骨折与骨密度相关性研究[J].临床军医杂志,2024,52(2):153-155. DOI: 10.16680/j.1671-3826.2024.02.10.

(收稿日期:2025-07-15)