

# 股骨头力学承载三柱结构的划分及测量

张振南<sup>1</sup> 谢利民<sup>2△</sup> 于潼<sup>2</sup> 李玉彬<sup>2</sup> 白杨<sup>2</sup>

**[摘要]** **目的:**构建以生物力学理论为基础的股骨头三柱结构的划分方法及依据。**方法:**收集拍摄双髋关节正位 X 线片的正常股骨头志愿者 50 例(100 髋),在双髋关节 X 线片图像上过股骨头圆心做一水平线(股骨头最大横径),以水平线与主压力骨小梁为外侧缘、内侧缘的交点为标准,将股骨头分为三柱,分别测算外侧柱、中间柱及内侧柱的均值,并根据均值测算结果计算得到比例。**结果:**共纳入 100 髋拍摄双髋正位片志愿者,测定结果为:外侧柱所占比例为 0.31,中间柱所占比例为 0.39,内侧柱所占比例为 0.30,三者比例为 3.1:3.9:3.0。**结论:**为方便临床应用,按照 3:4:3 的比例在股骨头最大横径上划分股骨头的外侧柱、中间柱及内侧柱三柱,该方法使得股骨头三柱结构的划分有据可循。

**[关键词]** 股骨头坏死;骨小梁;应力分布;三柱理论

**[中图分类号]** R681.8 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2023)01-0051-05

## Demarcation and Measurement Method for the Three Pillars of the Femoral Head

ZHANG Zhennan<sup>1</sup> XIE Limin<sup>2△</sup> YU Tong<sup>2</sup> LI Yubin<sup>2</sup> BAI Yang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Medical Department, Guang'anmen Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100053, China;

<sup>2</sup> Department of Orthopedics, Guang'anmen Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100053, China.

**Abstract Objective:** To establish basic principles for three-pillar structure demarcation bones based on biomechanical theory. **Methods:** Fifty healthy volunteers (100 hips) were enrolled. Frontal X-ray pictures of the bilateral hip joints were taken. A horizontal line was made(the maximum transverse diameter of the femoral head) through the center of the femoral head on the X-ray image of both hip joints. The intersection of the horizontal line and the lateral and medial margins of the main pressure bone trabecula was taken as the standard so that the femoral head was divided into three columns. The mean values of the lateral column, the middle column and the medial column were calculated respectively, and the proportion was calculated according to the calculated results of the mean values. **Results:** A total of 100 volunteers to whom frontal X-ray pictures of the bilateral hip joints were taken were included in the study. The results showed that the proportion of the outer column was 0.31, the proportion of the middle column was 0.39, and the proportion of the inner column was 0.30. The proportion of the three columns was 3.1:3.9:3.0. **Conclusion:** For clinical convenience, the three pillars can be demarcated at 3:4:3 along the maximum transverse diameter of the femur head. The study results provide an exact basis for the demarcation of the three pillars.

**Keywords:** osteonecrosis of the femoral head (ONFH); bone trabeculae; stress distribution; three-pillar theory

坏死部位力学强度下降和应力集中是股骨头坏死发生塌陷的关键。中日友好医院(CJFH)分型综合考

虑坏死范围和部位,对坏死区域直接划分,受解剖结构及拍摄体位影响较小,而临床应用中发现,该方法对三柱结构的划分方法未明确阐述,使得划分三柱结构时存在一定随意性,增加了股骨头坏死预测结果的不确定性。据此,本研究以生物力学理论为基础,根据股骨头骨小梁的分布特点确立股骨头三柱结构的划分方法,以提高股骨头坏死塌陷预测的科学性及准确度。

基金项目:中国中医科学院科技创新工程项目(C12021A03320)

中国中医科学院广安门医院科研基金课题(2018S413)

<sup>1</sup> 中国中医科学院广安门医院医务处(北京 100053)

<sup>2</sup> 中国中医科学院广安门医院骨科

△通信作者 E-mail: drxlm@126.com

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

收集 100 髋拍摄双髋关节正位片的正常股骨头志愿者 X 线片,所有光片均由本院放射科高年资的临床放射技师拍摄。

1.2 正常股骨头定义

既往体健未出现过髋关节疼痛的症状及既往髋关节相关疾病的病史。体格检查见髋关节活动度正常:屈曲 0°~120°,后伸 0°~20°,内收 0°~30°,外展 0°~50°,内旋 0°~40°,外旋 0°~40°。髋关节体格检查结果为阴性:如腹股沟压痛(一),大粗隆叩痛(一),4 字试验(一),Tomas 征(一),骨盆分离挤压试验(一)等。未因任何原因使用过激素,无长期慢性病服药史。生活习惯健康良好,不吸烟、不嗜酒等。X 线检查报告为:双髋关节 X 线片未见异常。上述所有条件均满足者,则可被定义为正常股骨头。

1.3 纳入标准

满足上述正常股骨头定义中的所有条目;年龄≥18 岁;完成了双髋关节 X 线片的拍摄;自愿参加本研究。获得每位志愿者的知情同意,经中国中医科学院广安门医院伦理委员会批准(伦理批准号为 11-2010)。

1.4 方法

双髋关节 X 线片投照方法:病人仰卧,双足内旋 15°,代偿股骨颈前倾角(见图 1)。

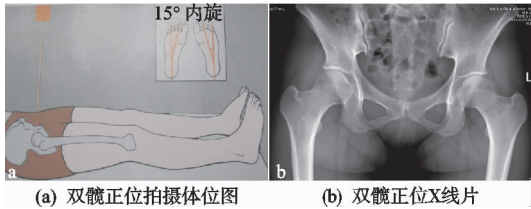


图 1 双髋正位拍摄体位图及 X 线片

计算 100 髋线段  $\overline{AC}$ 、 $\overline{CD}$  及  $\overline{DB}$  的测量均值,并根据均值测量结果得到外侧柱:中间柱:内侧柱的比例。

1)将 X 线片导入至 CAD(美国 Autodesk 公司)软件中;2)沿股骨头边界花圆形,圆心  $O$  点则对应股骨头中心处,过  $O$  点作为一水平线(股骨头的最大横径),与圆交于  $A$ 、 $B$  两点,得到线段  $\overline{AB}$ ;3)在线段  $\overline{AB}$  上根据主压力骨小梁外侧缘、内侧缘确定  $C$ 、 $D$  两点,  $\overline{AC}$ 、 $\overline{CD}$ 、 $\overline{DB}$  对应股骨头的外侧柱、中间柱及内侧柱三柱(见图 2);4)分别测量线段  $\overline{AC}$ 、线段  $\overline{CD}$  及线段  $\overline{DB}$  的长度。

1.5 统计学方法

采用 SPSS18.0 软件对数据进行统计分析,描述统计得到线段  $\overline{AC}$ 、 $\overline{CD}$  及  $\overline{DB}$  均值,组间比较首先检验数据是否符合正态分布,若符合正态分布不同性别和

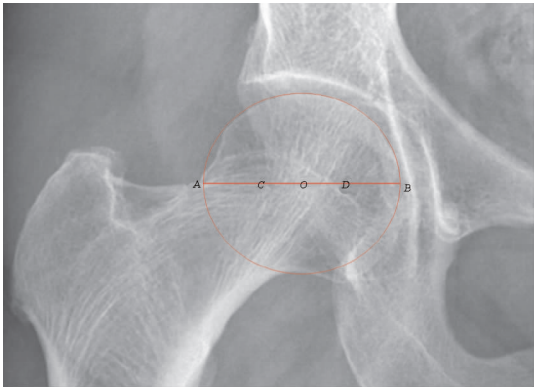


图 2 外侧柱( $\overline{AC}$ )、中间柱( $\overline{CD}$ )及内侧柱( $\overline{DB}$ )

侧别间差异采用  $t$  检验,不符合正态分布则采用非参数检验,所有的统计检验均采用双侧检验,  $P<0.05$  差异有统计学意义。

2 结果

共 100 髋(50 例)正常股骨头髋关节正位片纳入到本研究分析中。志愿者平均年龄为 45 岁(22~65 岁);共纳入男 22 例,女 28 例。

2.1 股骨头三柱长度测量结果

正态分布性检验结果为:股骨头最大横径、外侧柱、中间柱及内侧柱的长度值均符合正态分布( $P>0.05$ ),具体测量结果见表 1。

表 1 三柱测量结果正态分布性检验( $\bar{x}\pm s$ )

部位	长度值/mm	$Z$	$P$
内侧柱	16.60±1.08	0.84	0.49
中间柱	20.94±1.22	1.45	0.15
外侧柱	15.96±1.20	0.63	0.83
最大横径	53.50±3.12	0.95	0.32

2.2 股骨头三柱各柱所占比例的测量结果

内侧柱比例为 0.30,中间柱比例为 0.39,外侧柱比例为 0.31,三者比例为 3.0:3.9:3.1(见表 2)。

表 2 正常股骨头三柱测量比例( $\bar{x}\pm s$ )

部位	比例值	$Z$	$P$
内侧柱	0.30±0.01	0.92	0.36
中间柱	0.39±0.01	0.65	0.79
外侧柱	0.31±0.01	0.74	0.64

2.3 男女组间股骨头三柱差异比较结果

女性与男性组间股骨头三柱长度及比例差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 3。

2.4 左右侧别间股骨头三柱差异比较结果

左右侧别组间股骨头三柱长度及比例差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 4。

3 讨论

股骨头坏死(Osteonecrosis of the Femoral Head, ONFH)是指各种原因破坏了股骨头的血供,如果血供恢复不及时,骨细胞将进行性死亡,随后发生骨坏死,

表 3 男女组间股骨头三柱差异比较结果( $\bar{x}\pm s$ )

部位	女	男	F	P
内侧柱/mm	16.37±0.99	17.78±0.67	1.45	0.23
中间柱/mm	20.69±1.05	22.26±1.21	0.39	0.54
外侧柱/mm	15.68±1.06	17.40±0.90	0.53	0.47
内侧柱比例	0.30±0.01	0.30±0.01	0.06	0.80
中侧柱比例	0.39±0.01	0.39±0.01	0.02	0.90
外侧柱比例	0.31±0.01	0.31±0.01	0.11	0.74

表 4 左右侧别间股骨头三柱差异比较结果( $\bar{x}\pm s$ )

部位	右侧	左侧	F	P
外侧柱/mm	15.95±1.22	15.97±1.21	0.12	0.73
中间柱/mm	20.97±1.28	20.91±1.16	0.37	0.55
内侧柱/mm	16.67±1.12	16.53±1.04	0.30	0.59
外侧柱比例	0.31±0.01	0.31±0.01	1.55	0.22
中侧柱比例	0.39±0.01	0.39±0.01	1.42	0.24
内侧柱比例	0.30±0.01	0.30±0.01	0.91	0.34

股骨头塌陷,最终继发髋关节骨关节炎<sup>[1-4]</sup>。股骨头坏死多发于青壮年<sup>[5]</sup>,是骨科的常见病和难治性疾病,仅在美国每年就有大约 1 万至 2 万例新增病例<sup>[6]</sup>,严重影响人类健康<sup>[7-9]</sup>。股骨头坏死早期如果未采取积极、有效的治疗措施干预,多数患者股骨头将在 2~3 年内发生塌陷,从而严重影响髋关节功能,最终可能需要面临全髋关节置换的结局<sup>[10-13]</sup>。因此,塌陷与否是影响股骨头坏死预后的决定性因素<sup>[14]</sup>。在股骨头坏死早期阶段应用精准的分期分型方法预测塌陷风险,从而指导正确治疗方案的原则是本病治疗的热点和关键点<sup>[12,15]</sup>。

目前临床上常用的分期方法包括 Ficat 分期、国际骨循环学会的 ARCO 分期,以及由宾夕法尼亚大学提出的 Sternberg 分期等,分型方法主要有日本调查委员会(Japanese Investigation Committee,JIC)分型和中日友好医院(China-Japan Friendship Hospital,CJFH)分型等。以上各方法中有根据坏死部位进行分型,也有根据坏死范围进行分型,还有以三柱理论的力学原理为依据划分确定分型,在临床应用中往往有局限性<sup>[16-17]</sup>。如 Ficat 分期、国际骨循环学会的 ARCO 分期和 Sternberg 分期等单纯关注坏死范围这一影响因素,而未考虑坏死部位;JIC 分型则是根据股骨头发生坏死区域的部位结合其与负重区的结构关系分型<sup>[18]</sup>,Min 等<sup>[19]</sup>的研究报道股骨头坏死范围超过髋臼缘的 C<sub>2</sub> 型最易发生塌陷。李子荣等<sup>[20]</sup>用该方法预测塌陷结果为股骨头坏死范围超过髋臼缘的 C<sub>2</sub> 型塌陷率达 72.3%,该方法虽考虑了坏死部位这一塌陷重要影响因素,但忽略了坏死范围对预后的影响,且该方法可能会受到投照角度位置和髋臼解剖结构的影响;CJFH 分型<sup>[21]</sup>是以三柱理论为指导思想,综合考虑坏死部位和范围,且在股骨头上根据坏死区的边界直接

划定,该方法不容易受到拍摄体位及髋关节是否存在解剖变异的影响,李子荣等<sup>[20]</sup>用该方法预测股骨头坏死塌陷发现累及外侧柱的 L<sub>2</sub> 和 L<sub>3</sub> 型塌陷率高达 95.3%。然而,三柱如何划分未见文中明确定义,那么在临床应用中可能出现相同病例因不同划分者在划柱线过程中,由于采用不同倾斜角度划线而使三柱结构的划分结果不一致,致使预测结果存在偏颇而影响准确性。据此,本研究共纳入 100 髋正常股骨头志愿者的双髋关节正位 X 线片,根据正常股骨头骨小梁的分布区域特点,确定三柱边界的具体划线标准,以提高塌陷预测的准确性。

三柱结构的概念由 Herring 提出,主要思想是对儿童股骨头坏死(Perthes 病)患者的股骨头分型,根据外侧柱的存在情况以预测塌陷,完整的外侧柱可承载有效的力学支撑,预防股骨头塌陷。而本次研究的目的是针对成人股骨头的三柱结构进行划分,其意义在于为根据股骨头的力学承重和应力分布特点以建立分型体系,用于预判塌陷风险,从而指导临床治疗,既可避免一些不必要的治疗,也可对力学支撑能力不足的股骨头坏死患者尽早判断,在力学支撑薄弱处给予有效支撑,防止股骨头塌陷,改善股骨头坏死预后,为患者、家庭和社会减轻负担。因此,笔者在对三柱结构划分时,将股骨头内压力骨小梁分布特点这一影响股骨头生物力学承载的重要解剖结构作为划分依据。Wolff 定律提出,骨小梁会因外界的力学刺激而不断调整自身结构变化。在股骨近端,分为主压力和次压力骨小梁、主张力和次张力骨小梁以及大转子骨小梁,而在股骨头内部是以主压力骨小梁及主张力骨小梁为主要分布。关于股骨近端应力试验的结果为:生理载荷下,主要应力集中在压力骨小梁分布区域,而应力在张力骨小梁处则明显减少,说明股骨头主要力学承载

区域位于压力骨小梁处,此处为股骨头力学支撑重要结构区域,而有限元模拟分析提示正常股骨头应力在股骨头表面呈现均匀分布并沿压力骨小梁传导于股骨头内部<sup>[22]</sup>,因此,本研究确定三柱结构划分依据时依据主压力骨小梁分布特点是符合生物力学原理的。而在临床观察中可发现位于股骨头近端的前外侧为股骨头塌陷的好发部位,观察此处解剖结构特点可以发现,此处分布的主压力骨小梁较为稀疏,说明主压力骨小梁在承受股骨头力学载荷中发挥的重要作用<sup>[23-24]</sup>。因此,本研究对股骨头三柱结构划分时,首先确定股骨头的最大横径,观察最大横径水平上主要压力骨小梁的分布特点,发现此处压力骨小梁以“垂直分布”为主。故本研究在划分三柱结构中,首先画出股骨头最大横径,并分别确定主要压力骨小梁的内外侧缘与最大横径的交点,通过两交点做两条垂线,将股骨头划分为外侧柱、中间柱、内侧柱三柱。通过测量外侧柱、中间柱及内侧柱的宽度得到三者所占比例,并最终确定三柱结构的划分方法。

本研究得到的结果为:股骨头最大横径的长度为 $(53.50 \pm 3.12)$  mm,外侧柱的长度为 $(15.96 \pm 1.20)$  mm,中间柱的长度为 $(20.94 \pm 1.22)$  mm,内侧柱的长度为 $(16.60 \pm 1.08)$  mm,所占比例分别为 0.31, 0.39 和 0.30,与中日友好医院的 CJFH 分型中的三柱划分标准(内侧柱 30%、中间柱 40%、外侧柱 30%)极为相似,但本研究在结合三柱理念的同时,明确建立了三柱界限划分标准,为根据三柱理论建立股骨头坏死分型方法,预测塌陷风险结果的准确性和科学性提供了保证。而本研究比较分析男性女性及左右侧别对股骨头三柱的影响,结果为差异均无统计学意义,提示本研究确立的三柱结构划分方法具备良好的准确性和可重复性。为方便在临床中使用,可按内侧柱、中间柱、外侧柱 3:4:3 的比例划分。然而,三柱结构划分方法的建立是基于生物力学基础上,结合正常股骨头正位 X 线片测量所得,股骨头真实的受力情况还有赖于进一步实体标本的力学测量及有限元力学模拟分析测试,以进一步认证。综上所述,本研究结果可为预测股骨头坏死塌陷的科学性及准确度提供参考。

## 参考文献

- [1] NARAYANAN A, KHANCHANDANI P, BORKAR R M, et al. Avascular necrosis of femoral head: a metabolic, biophysical, biochemical, electron microscopic and histopathological characterization [J]. *Sci Rep*, 2017, 7 (1): 10721.
- [2] BAIG S A, BAIG M N. Osteonecrosis of the femoral head: etiology, investigations, and management [J]. *Cureus*, 2018, 10(8): e3171.
- [3] MONT M A, SALEM H S, PIUZZI N S, et al. Nontrau-

- matic osteonecrosis of the femoral head: where do we stand today: a 5-year update [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2020, 102(12): 1084-1099.
- [4] AN J X, WU G P, NIU K, et al. Treatment of femoral head osteonecrosis with ozone therapy: pilot trial of a new therapeutic approach [J]. *Pain Physician*, 2022, 25 (1): E43-E54.
- [5] CHEN W, LI J, GUO W, et al. Outcomes of surgical hip dislocation combined with bone graft for adolescents and younger adults with osteonecrosis of the femoral head: a case series and literature review [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 499.
- [6] PETEK D, HANNOUCHE D, SUVA D. Osteonecrosis of the femoral head: pathophysiology and current concepts of treatment [J]. *EFORT Open Rev*, 2019, 4(3): 85-97.
- [7] 中国医师协会骨科医师分会骨循环与骨坏死专业委员会 中华医学会骨科分会骨显微修复学组国际骨循环学会中国区. 中国成人股骨头坏死临床诊疗指南(2020) [J]. *中华骨科杂志*, 2020, 40(20): 1365-1376.
- [8] 郭发启, 高彦军, 邓敏, 等. 2008—2018 年中国股骨头缺血性坏死及其保髋治疗研究现状刊文分析 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2021, 36(12): 1342-1344.
- [9] KAUSHIK A P, DAS A, CUI Q. Osteonecrosis of the femoral head: an update in year 2012 [J]. *World J Orthop*, 2012, 3(5): 49-57.
- [10] ASADA R, ABE H, HAMADA H, et al. Femoral head collapse rate among Japanese patients with pre-collapse osteonecrosis of the femoral head [J]. *J Int Med Res*, 2021, 49(6): 675883032.
- [11] WANG P, WANG C, MENG H, et al. The role of structural deterioration and biomechanical changes of the necrotic lesion in collapse mechanism of osteonecrosis of the femoral head [J]. *Orthop Surg*, 2022, 14(5): 831-839.
- [12] ZHENG G S, QIU X, WANG B J, et al. Relationship between blood flow and collapse of nontraumatic osteonecrosis of the femoral head [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2022, 104(Suppl 2): 13-18.
- [13] GEORGE G, LANE J M. Osteonecrosis of the femoral head [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2022, 6 (5): E21. 00176.
- [14] OSAWA Y, SEKI T, TAKEGAMI Y, et al. Do femoral head collapse and the contralateral condition affect patient-reported quality of life and referral pain in patients with osteonecrosis of the femoral head? [J]. *Int Orthop*, 2018, 42(7): 1463-1468.
- [15] CHEN Y, MIAO Y, LIU K, et al. Evolutionary course of the femoral head osteonecrosis: Histopathological-radiologic characteristics and clinical staging systems [J]. *J Orthop Translat*, 2022, 32: 28-40.
- [16] LARSON E, JONES L C, GOODMAN S B, et al. Early-stage osteonecrosis of the femoral head: where are we and

- where are we going in year 2018? [J]. *Int Orthop*,2018, 42(7):1723-1728.
- [17] 王宏润,李宏宇,韦明照. 基于三柱结构分型股骨头坏死的有限元研究[J]. *中国矫形外科杂志*,2020,28(9):832-836.
- [18] SUGANO N,TAKAOKA K,OHZONO K,et al. Prognostication of nontraumatic avascular necrosis of the femoral head. Significance of location and size of the necrotic lesion[J]. *Clin Orthop Relat Res*,1994(303):155-164.
- [19] MIN B W,SONG K S,CHO C H,et al. Untreated asymptomatic hips in patients with osteonecrosis of the femoral head[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2008, 466 ( 5 ): 1087-1092.
- [20] GRAF J,MORENO B,WALLWIENER M,et al. Comparative evaluation of osteonecrosis of the femoral head classification:CJFH classification versus JIC classification[J]. *Journal of Hip Surgery*,2017,1(1):44-49.
- [21] LIU L H,LI Z R,SUN W,et al. Reliability and repeatability of the China-Japan friendship hospital typing classification for nontraumatic osteonecrosis of the femoral head[J]. *J Bone Joint Surg Am*,2022,104(Suppl 2):40-46.
- [22] 薛志鹏,李泰贤,李葵,等. 基于 CT 灰度值赋值的股骨头坏死有限元模型对比[J]. *中国组织工程研究*,2020,24(3):395-400.
- [23] 付鑫,马信龙,马剑雄,等. 应用三维有限元分析正常站立位股骨近端结构生物力学特性[J]. *中国组织工程研究与临床康复*,2009,13(52):10241-10246.
- [24] 马信龙,付鑫,马剑雄,等. 人股骨近端空间结构重建新方法及有限元模型的建立[J]. *生物医学工程学杂志*,2011,28(1):71-75.
- [8] 王保法,傅莉萍,洪郁芝. 50 岁以上 2 型糖尿病患者尿酸排泄分数和预估肾小球滤过率相关性分析[J]. *浙江临床医学*,2018,20(3):1091-1093.
- [9] IDELEVICH A,STATO K,NAGANO K,et al. Neuro-nalhypothalamic regulation of body metabolism and bone-density is galanin-dependent[J]. *J Clin Invest*,2018,128(6):2626-2641.
- [10] ALMEIDA M,HAN L,MARTIN-MILLAN M,et al. Skeletal involution by age-associated oxidative stress and its acceleration by loss of sex steroids[J]. *J Biol Chem*, 2007,282(37):27285-27297.
- [11] REN Y,GAO L,GUO X,et al. Interactive effect of serumuric acid and total bilirubin for micro-vascular diseaseof type 2 diabetes in China[J]. *J Diabetes*,2018,32(11):1000-1005.
- [12] KEIZMAN D,ISH-SHALOM M,BERLINER S,et al. Low uric acid levels in serum of patients with ALS:further evidence for oxidative stress[J]. *J Neurol Sci*,2009,285(1):95-99.
- [13] KIM E S,LEE S W,MO E Y,et al. Inverse association between serum total bilirubin levels and diabetic peripheral-neuropathy in patients with type 2 diabetes[J]. *Endocr*, 2015,50(2):405-412.
- [14] 吴钊,李志钢,熊昌源,等. 补肾健骨汤治疗肝肾阴虚型骨质疏松症的临床对照研究[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2021,29(4):39-42.
- [15] 徐铮青,姚新苗,何帮剑,等. 益骨汤加减治疗老年骨质疏松症的多中心随机对照临床研究[J]. *浙江中医药大学学报*,2016,40(4):256-257.
- [16] 井源,孙健斌,张晓梅. 老年 2 型糖尿病患者血尿酸水平与骨代谢,骨密度及骨质疏松的关系[J]. *中国骨质疏松杂志*,2021,27(1):114-118.
- [17] 刘勇,何华英. 血钙浓度与骨质疏松的相关性研究[J]. *现代医学*,2011,39(2):216-217.

(收稿日期:2022-07-03)

(收稿日期:2022-03-17)

(上接第 50 页)