

平均坏死面积指数和平均稳定指数与 坏死股骨头塌陷进展的相关性分析

袁强^{1,2} 林继红¹ 董一平^{1,2} 张宁¹ 李无阴¹ 张颖^{1△}

[摘要] **目的:**评估平均坏死面积指数(MNAI)和平均稳定指数(ASI)与坏死股骨头塌陷进展的相关性。**方法:**回顾性分析 2013 年 8 月至 2020 年 10 月接受非手术保髋治疗的 148 例(220 髋)股骨头坏死塌陷前患者的病例资料,根据末次随访时股骨头塌陷情况分为塌陷组和非塌陷组,其中塌陷组 83 例 124 髋,非塌陷组 65 例 96 髋。根据所有纳入病例初次就诊时的磁共振成像(MRI)资料计算出坏死股骨头的平均坏死面积指数和平均稳定指数,利用非参数检验评估该指数在两组之间的差异性,利用受试者工作特征(ROC)曲线评价该指数预测塌陷进展的特异性与敏感性。**结果:**非参数检验结果表明,塌陷组平均坏死面积指数(5.63 ± 2.18)高于非塌陷组(2.82 ± 1.34),差异有统计学意义($Z = -9.112, P < 0.001$);塌陷组平均稳定指数(2.20 ± 1.72)低于非塌陷组(6.88 ± 2.53),差异有统计学意义($Z = -10.703, P < 0.001$)。平均坏死面积指数的受试者工作特征曲线下面积为 0.920,临界值为 5.595,灵敏度为 76.0%,特异度为 96.8%;平均稳定指数的受试者工作特征曲线下面积为 0.858,临界值为 4.300,灵敏度为 72.6%,特异度为 85.4%。**结论:**平均坏死面积指数和平均稳定指数与股骨头塌陷进展之间有相关性,可以作为评估股骨头坏死塌陷的重要参考指标。

[关键词] 股骨头坏死;分型;平均坏死面积指数;平均稳定指数;塌陷预测;硬化带

[中图分类号] R681.8 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2022)10-0023-05

Correlation between MNAI and ASI of New Types of Femoral Head Necrosis and the Progression of Femoral Head Collapse

YUAN Qiang^{1,2} LIN Jihong¹ DONG Yiping^{1,2} ZHANG Ning¹ LI Wuyin¹ ZHANG Ying^{1△}

¹ Luoyang Orthopedic-Traumatological Hospital of Henan Province (Henan Province Orthopedics Hospital), Luoyang 471002, Henan China;

² Graduate Training Department of Luoyang, Henan University of Chinese Medicine, Luoyang 471000, Henan China.

Abstract Objective: To evaluate the correlation between mean necrotic area index (MNAI), average stability index (ASI) and the progression of necrotic femoral head collapse. **Methods:** The medical records of 148 patients (220 hips) who received non-surgical hip preservation treatment from August 2013 to October 2020 were retrospectively analyzed. According to the situation of femoral head collapse during the last follow-up, the patients were divided into collapse group (124 hips) and non-collapse group (96 hips). The MNAI and ASI of necrotic femoral head were calculated according to the MRI data of all cases at the first visit. Nonparametric test was used to evaluate the difference of the index between the two groups, and receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the specificity and sensitivity of the index in predicting collapse progress. **Results:** The results of nonparametric test showed that the MNAI of collapse group

(5.63 ± 2.18) was significantly higher than that of non-collapse group (2.82 ± 1.34) ($P < 0.001$). The ASI in the collapse group (2.20 ± 1.72) was significantly lower than that in the non-collapse group (6.88 ± 2.53) ($P < 0.001$). The area under ROC curve of MNAI is 0.920, the critical value is 5.595, the sensitivity is 76.0%, and the specificity is 96.8%. The area under the ROC curve of ASI is 0.858, the critical value is 4.300, the sensitivity is 72.6%, and the specificity is 85.4%. **Conclusion:** There is a correlation between MNAI, ASI and the progression of femoral head collapse,

基金项目:国家自然科学基金面上项目(81774348,81874477)
河南省重点研发与推广专项(科技攻关)
(212102310365)

河南省中医药科学研究专项课题(20—21ZY2247)

¹ 河南省洛阳正骨医院(河南省骨科医院)髋关节外五科(河南洛阳,471000)

² 河南中医药大学洛阳研究生培养工作部

△通信作者 E-mail: hhexi2021@163. com

which can be used as an important reference index to evaluate the collapse of femoral head necrosis.

Keywords: osteonecrosis of the femoral head; tping; mean necrotic area index (MNAI); average stability index (ASI); collapse prediction; sclerotic band

股骨头坏死 (Osteonecrosis of Femoral Head, ONFH) 是一种好发于中青年的难治性骨科疾病, 如果没有及时进行正确干预, 约 80% 的患者会在 2 年内出现股骨头塌陷, 进而可能需要进行关节置换^[1-4], 因此对于塌陷前股骨头坏死患者, 其治疗目标应该是尽最大可能保留股骨头。目前, 临床上保髋治疗主要分为手术保髋和非手术保髋, 而股骨头塌陷预测作为保髋治疗方案选择的重要参考依据一直是一个热门但有争议的研究课题^[5-6]。既往研究指出, 可以通过坏死区位置、范围、形态以及股骨颈强度等指标来预测塌陷, 但均存在一定的争议^[7-8], 而张颖等^[9]提出的股骨头坏死“面积与稳定”分型中所包含的平均坏死面积指数 (MNAI) 和平均稳定指数 (ASI) 可能与塌陷进展之间存在相关性, 现报告如下。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

选取 2013 年 8 月至 2020 年 10 月在河南省洛阳正骨医院接受非手术保髋治疗的股骨头坏死患者 148 例 (220 髋), 按照塌陷进展情况分为塌陷组和非塌陷组。

1.2 诊断标准

诊断标准参考《股骨头坏死临床诊疗规范》^[10]。

1.3 纳入标准

1) 符合股骨头坏死诊断标准; 2) 诊断为股骨头坏死时年龄 ≥ 18 岁; 3) 处于股骨头坏死塌陷前阶段; 4) 自愿接受保守治疗。

1.4 排除标准

1) 伴有其他疾病, 如髋关节发育不良或类风湿性关节炎; 2) 缺少临床或影像学资料; 3) 曾在其他医院接受过保髋治疗。

1.5 观察指标及方法

1.5.1 平均坏死面积指数 从横断位磁共振成像 (MRI) 的 T_1 加权图像中筛选出能够完全显露股骨头的图像进行评估, 根据股骨头的中心和股骨颈的中心轴将股骨头分为 4 个部分, 其中每个区域占总面积的 25% (2.5 分), 当坏死达到相应区域时, 占总面积百分比增加, 得分也增加。若坏死范围达到 2 个区域, 则得分是 5 分; 若达到 4 个区域, 则得分为 10 分; 若在这一层面上没有坏死, 则得分是 0 分。所有层面平均分数定义为“平均坏死面积指数”, 即所有层面的分数之和除以层数, 见图 1。

1.5.2 平均稳定指数 从冠状位 MRI 的 T_1 加权图像中筛选出能够显露出完整股骨头的图像, 根据每一

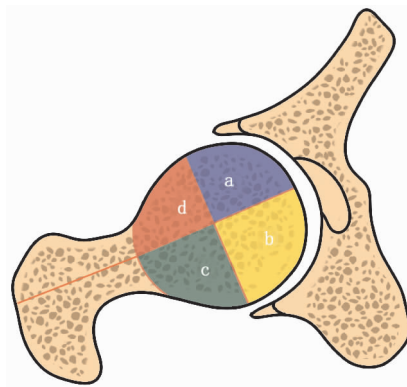


图 1 平均坏死面积指数评估示意图^[9]

层坏死股骨头的硬化带形状进行评估, 常见的硬化带形状有 U 型、N 型、S 型、X 型等。其中根据 U 型硬化带外侧弓与髋臼的相对位置分为三个亚型, 分别为 UA1 型 (髋臼内侧)、UA2 型 (髋臼边缘)、UA3 型 (髋臼外侧), 各类型硬化带的分值分别为 UA1 型 10 分、UA2 型 6 分、UA3 型 0 分、N 型 0 分、S 型 0 分、X 型 0 分 (同一层若出现多种类型硬化带, 则按照最低分值原则进行统计)。所有层面平均分数定义为“平均稳定指数”, 即所有层面的分数之和除以层数, 见图 2。

1.5.3 股骨头塌陷评估 股骨头塌陷通过正位及蛙位 X 线片上的同心圆来评估。根据双髋正位或蛙位 X 线片确定股骨头中心点, 使用 0.5 mm 间距的同心圆模板测得股骨头半径, 在股骨头中心点垂直线, 测得股骨头中心点到股骨头顶距离。股骨头塌陷程度 = 股骨头半径 - 中心点到股骨头顶距离, 以 ≥ 2 mm 定义为塌陷进展。

1.6 统计学方法

使用 R_{x64} 4.0.5 软件进行统计学分析及画图。计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 形式表示, 符合正态分布用独立样本 t 检验进行比较, 不符合正态分布用非参数检验进行比较; 计数资料分析采用卡方检验; 受试者工作特征 (ROC) 曲线分析平均坏死面积指数与平均稳定指数的最佳临界点, 以确定其敏感性及其特异性。 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

股骨头坏死患者 148 例 (220 髋), 按照塌陷进展情况分为塌陷组和非塌陷组, 塌陷组 83 例 124 髋, 男 58 例 86 髋, 女 25 例 38 髋; 年龄为 23~67 岁, 平均为 (42.77 \pm 11.07) 岁; 随访时间为 4~72 个月, 平均为

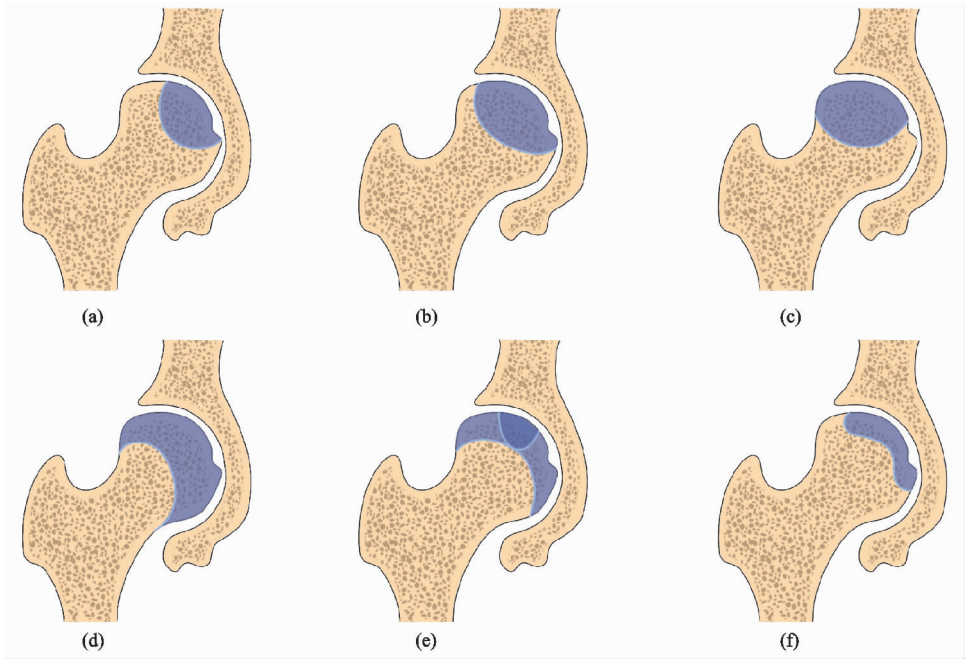


图 2 平均稳定指数评估示意图^[9]

(20.63±11.32)个月;其中酒精性 17 例 26 髋,激素性 30 例 45 髋,特发性 36 例 53 髋。非塌陷组 65 例 96 髋,男 51 例 77 髋,女 14 例 19 髋;年龄为 18~62 岁,平均为 (38.54±9.34) 岁;随访时间为 4~35 个月,平均为 (20.23±7.97) 个月;其中酒精性 15 例 25 髋,激素性

24 例 33 髋,特发性 26 例 38 髋。
2.2 基线资料比较
两组患者基线资料比较差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表 1。
2.3 平均坏死面积指数与股骨头塌陷进展之间的关系

表 1 两组患者基线资料比较

项目	塌陷组(83 例)	非塌陷组(65 例)	<i>P</i>
年龄/岁($\bar{x}\pm s$)	42.77±11.07	38.53±9.34	0.015
性别(男/女)/例	58/25	51/14	0.240
患侧(左/右/双侧)/例	22/20/41	22/12/31	0.544
病因(酒精/激素/特发)/例	17/30/36	15/24/26	0.896
随访时间/月($\bar{x}\pm s$)	20.63±11.32	20.23±7.97	0.811

非参数检验结果显示塌陷组与非塌陷组之间的平均坏死面积指数差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2 及图 3。

表 2 股骨头坏死平均坏死面积指数和平均稳定指数与股骨头塌陷的关系

组别	髋数/髋	平均坏死面积指数	平均稳定指数
塌陷组	134	5.34(4.06~7.24)	2.23(0.75~3.25)
非塌陷组	86	2.50(1.87~3.75)	7.38(5.62~8.75)
<i>Z</i>		-9.112	-0.703
<i>P</i>		0.00	0.00

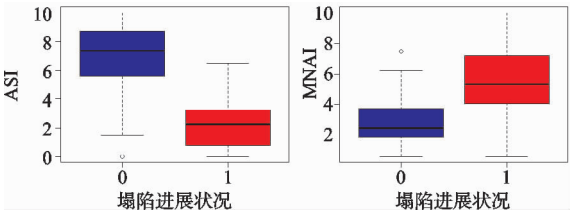


图 3 平均坏死面积指数和平均稳定指数的箱式图($P<0.001$)

受试者工作特征曲线分析结果显示平均坏死面积指数的临界值为 4.30,即平均坏死面积指数 ≥ 4.30 时与塌陷显著相关(敏感性为 72.6%,特异性为 85.4%, $P<0.001$),见表 3 及图 4。

2.4 平均稳定指数与股骨头塌陷进展之间的关系

非参数检验结果显示塌陷组与非塌陷组之间的平均稳定指数差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2 及图 3。受试者工作特征曲线分析结果显示平均稳定指数的临界值为 5.60,即平均稳定指数 ≤ 5.60 时与塌陷显著相关(敏感性为 76.0%,特异性为 96.8%, $P<0.001$),见表 3 及图 4。

3 讨论

股骨头坏死塌陷预测最初由 Kerbul 等^[11] 首次提出,后来又有许多外科医生设计了不同的方法来对股骨头坏死早期诊断进行分类和量化,以期达到预测塌陷、指导治疗的目的。目前关于股骨头塌陷预测和预防的研究多是基于影像学检查展开的,特别是X线和

表 3 塌陷组与非塌陷组平均坏死面积指数和平均稳定指数临界值比较的受试者工作特征分析

指标	塌陷组($\bar{x}\pm s$)	非塌陷组($\bar{x}\pm s$)	曲线下面积	95%CI 值	P
平均坏死面积指数	5.63±2.18	2.82±1.34	0.858	0.809~0.907	<0.001
平均稳定指数	2.20±1.72	6.88±2.53	0.920	0.882~0.959	<0.001

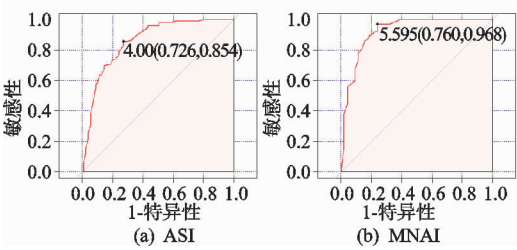


图 4 平均坏死面积指数和平均稳定指数预测股骨头塌陷的受试者工作特征曲线

磁共振成像在预测股骨头坏死塌陷方面具有很高的价值^[12-13]。

坏死面积百分比法被广泛用于患者初次检查时评估股骨头塌陷的可能性,因为在忽略其他特定因素后,坏死区域在一定程度上能够反映出坏死的严重程度,一般坏死面积百分比越高,股骨头的内部结构受到的影响就越严重。Suagno 等^[14]使用坏死区域百分比公式来对坏死区域和正常区域的范围进行量化分析,坏死面积百分比=[SN/(SN+SI)]×100%,结果显示塌陷组的坏死面积百分比明显大于非塌陷组。Koo 等^[15]则提出了坏死指数的概念,根据 MRI 中冠状位和矢状位 T₁ 加权图像的异常信号确定股骨头坏死角,分别为 A、B,坏死指数 Z=[(A/180)×(B/180)]×100%,结果表明该指数高于 40% 时股骨头更容易塌陷。而本研究采用的“四分位数”法则是通过对不同坏死范围赋值的方式来对坏死面积进行定量评估,降低了测量的难度,同时又是对多个 MRI 图层进行分析,这在一定程度上可以反映出病灶在三维空间的状况,具有较高的测量精度。本研究的重点之一就是分析基于该方法得到的平均坏死面积指数与塌陷进展的相关性,以期得到预测塌陷的量化指标。通过非参数检验,结果显示塌陷组与非塌陷组间的平均坏死面积指数有显著差异,受试者工作特征曲线显示平均坏死面积指数最佳临界值为 4.300,即平均坏死面积指数≥4.300 时股骨头更可能出现塌陷进展,在平均坏死面积指数≥4.300 的 104 髋中 90 髋(86.5%)发生塌陷,平均坏死面积指数<4.300 的 116 髋中有 83 髋(71.6%)未发生塌陷,可见平均坏死面积指数可以作为预测股骨头塌陷的指标之一。

除此之外,既往研究指出坏死股骨头稳定性除了和坏死大小有关以外,还和生物力学因素息息相关,硬化带作为坏死修复中生物力学传导诱导下的产物,也是阻止塌陷产生的重要因素^[16]。虽然硬化带在股骨

头坏死患者中很常见,但是其生物力学效应却很少受到关注,对硬化带的自然形成过程的研究也较少。

硬化带常出现在坏死组织与正常组织交界处,在股骨头坏死患者 MRI 及 CT 上表现为不规则带状密度增高影。Yu 等^[17-18]通过对硬化带的比例和塌陷结果进行相关性分析,认为硬化带比例可以作为预测股骨头坏死塌陷的指标之一,特别是当硬化带比例高于 30% 时,塌陷的风险较低,反之则较高。Chen 等^[19]则通过分析股骨头负重区软骨下最大等效应力,发现硬化带在坏死区域较小时可以发挥类似于代偿性承重加固物的作用。但是 Gao 等^[20]则认为股骨头受力通常是从较硬的硬化带传导的,若出现在坏死股骨头的囊性改变和硬化带之间的距离比较近,则很可能造成股骨头内不稳定,加速股骨头坏死的塌陷。其原因很可能是由于硬化带自身不具备稳定性,难以对股骨头起到有效的支撑作用所致。

Yang 等^[21]利用三维有限元模型分析股骨头不同坏死区病灶的应力指数,发现硬化带的形状在很大程度上会影响股骨头塌陷。而笔者的前期研究^[9,22]结果也表明,如果硬化带不具备稳定的形态(例如 X 型、S 型等硬化带:X 型硬化带在力传导中类似于折叠凳子,顶部有很大的向外张力,股骨头受压时趋于扁平,因此不具有稳定性;S 型硬化带在力传导中类似于弹簧,具有可压缩性和弹性,因此也不具有稳定性),就很难在受力时对股骨头起到有效支撑作用,甚至还有可能出现断裂,导致股骨头进一步塌陷。基于以上发现,笔者对冠状位 MRI 的 T₁ 加权图像中所显示的不同形状硬化带的生物力学特性进行了分析,并提出了平均稳定指数的概念,以期通过该指数对股骨头稳定性做出定量评估。通过非参数检验,结果显示塌陷组与非塌陷组平均稳定指数有显著差异。对平均稳定指数进行受试者工作特征曲线分析,结果表明平均稳定指数最佳临界值为 5.595,即平均稳定指数≤5.595 时股骨头更可能出现塌陷进展,本研究中平均稳定指数≤5.595 的 143 髋中有 120 髋发生塌陷,预测塌陷比率为 83.9%;同时满足平均坏死面积指数≥4.300、平均稳定指数≤5.595 的 92 髋中有 86 髋出现塌陷进展,预测塌陷发生比率为 93.5%。平均稳定指数>6.157 的 77 髋中 73 髋(94.8%)未发生塌陷,同时满足平均坏死面积指数<4.300、平均稳定指数>5.595 的 66 髋中有 65 髋(98.4%)未出现塌陷进展。可见综合运用平均坏死面积指数和平均稳定指数预测塌陷的准确率

明显高于单独使用平均坏死面积指数或平均稳定指数进行评估,能够提高预测塌陷的精准性。

不可否认,在这项回顾性研究中还存在一定的局限性。首先,该研究使用的计算平均坏死面积指数和平均稳定指数的方法需要对每一位患者 MRI 的图像多个层面进行分析,其目的是为了通过几个一维的图像来反映三维空间,提高评估坏死、预测塌陷转归的精准度,但也在一定程度上增加了使用的复杂度;其次,该研究仅是一个单中心的回顾性研究,可能存在选择性偏倚。

综上所述,本研究发现通过平均坏死面积指数和平均稳定指数来评估股骨头坏死面积以及稳定情况的方法可以提高预测股骨头塌陷的精准性,认为股骨头坏死患者的平均坏死面积指数和平均稳定指数在评估股骨头坏死塌陷方面具有重要参考价值。

参考文献

- [1] WEI Q S,LI Z Q,HONG Z N,et al. Predicting collapse in osteonecrosis of the femoral head using a new method: preserved angles of anterior and lateral femoral head[J]. J Bone Joint Surg Am,2022,104(Suppl 2):47-53.
- [2] ZHAO D,ZHANG F,WANG B,et al. Guidelines for clinical diagnosis and treatment of osteonecrosis of the femoral head in adults (2019 version)[J]. J Orthop Translat, 2020,21:100-110.
- [3] CHEN G,ZHONG L,WANG Q,et al. The expression of chondrogenesis-related and arthritis-related genes in human ONFH cartilage with different Ficat stages[J]. Peer J, 2019,7:e6306.
- [4] ZHANG X,YOU J M,DONG X J,et al. Administration of mircoRNA-135b-reinforced exosomes derived from MSCs ameliorates glucocorticoid-induced osteonecrosis of femoral head (ONFH) in rats[J]. J Cell Mol Med,2020, 24(23):13973-13983.
- [5] LI T X,HUANG Z Q,LI Y,et al. Prediction of collapse using patient-specific finite element analysis of osteonecrosis of the femoral head[J]. Orthop Surg,2019,11(5): 794-800.
- [6] HATANAKA H,MOTOMURA G,IKEMURA S,et al. Differences in magnetic resonance findings between symptomatic and asymptomatic pre-collapse osteonecrosis of the femoral head[J]. Eur J Radiol,2019,112:1-6.
- [7] CHENG W,XIAN H,WANG L,et al. Frog leg lateral view is a reliable predictor of the prognosis in osteonecrosis of the femoral head[J]. J Orthop Res,2021,39(5): 950-958.
- [8] 林天烨,杨鹏,蔡开沈,等. 股骨颈骨强度综合指数对非创伤性坏死的股骨头塌陷预测作用[J]. 中国修复重建外科杂志,2021,35(8):967-972.
- [9] ZHANG Y,LIU Y W,SUN R B,et al. “Sclerotic Band”

type of classification system and measurement of necrotic area for osteonecrosis of the femoral head[J]. Medicine (Baltimore),2020,99(36):e22106.

- [10] 李子荣. 股骨头坏死临床诊疗规范[J]. 中国矫形外科杂志,2016,8(1):49-54.
- [11] KERBOUL M,THOMINE J,POSTEL M,et al. The conservative surgical treatment of idiopathic aseptic necrosis of the femoral head[J]. J Bone Joint Surg Br,1974,56(2):291-296.
- [12] SHANG Y,XU J,ZHANG T,et al. Prediction of the collapse of necrotic femoral head by CT and X-ray examinations before hip replacement based on intelligent medical big data[J]. J Healthc Eng,2021,2021:9971236.
- [13] ZENG J,ZENG Y,WU Y,et al. Acetabular anatomical parameters in patients with idiopathic osteonecrosis of the femoral head[J]. J Arthroplasty,2020,35(2):331-334.
- [14] SUGANO N,TAKAOKAK,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.
- [15] KOO K H,KIM R,KO G H,et al. Preventing collapse in early osteonecrosis of the femoral head. A randomised clinical trial of core decompression[J]. J Bone Joint Surg Br,1995,77(6):870-874.
- [16] BABA S,MOTOMURA G,IKEMURA S,et al. Is bone mineral density lower in the necrotic lesion in pre-collapse osteonecrosis of the femoral head? [J]. J Orthop Res, 2020,38(11):2434-2442.
- [17] YU T,XIE L,ZHANG Z,et al. Prediction of osteonecrosis collapse of the femoral head based on the proportion of the proximal sclerotic rim[J]. Int Orthop, 2015, 39(6): 1045-1050.
- [18] YUT,XIE L,CHU F. A sclerotic rim provides mechanical support for the femoral head in osteonecrosis[J]. Orthopedics,2015,38(5):e374-e379.
- [19] CHEN Z,XU Y,QI Z,et al. The formation and function of the sclerosis rim in the femoral head:a biomechanical point of view[J]. Med Eng Phys,2015,37(12):1125-1132.
- [20] GAO F,HAN J,HE Z,et al. Radiological analysis of cystic lesion in osteonecrosis of the femoral head[J]. Int Orthop,2018,42(7):1615-1621.
- [21] YANG J W,KOO K H,LEE M C,et al. Mechanics of femoral head osteonecrosis using three-dimensional finite element method[J]. Arch Orthop Trauma Surg,2002,122(2):88-92.
- [22] 袁强,董一平,张宁,等. 不同 SBTOCS 分型的股骨头坏死患者保髋治疗后股骨头塌陷、头臼匹配度、髋关节稳定度对比观察[J]. 山东医药,2022,62(15):61-64.

(收稿日期:2022-05-16)