

股骨头坏死保髋治疗：从病理机制到临床决策的综合进展

徐 斌

德阳第五医院骨科，四川 德阳

收稿日期：2026年5月12日；录用日期：2026年6月6日；发布日期：2026年6月17日

摘 要

股骨头坏死(ONFH)是一种因血供中断导致骨细胞死亡及关节塌陷的致残性疾病,对年轻及活动量大患者的关节功能和生活质量构成严重威胁。保髋治疗旨在延缓疾病进展、避免或推迟全髋关节置换,具有极其重要的临床价值。本文旨在系统梳理保髋治疗的最新进展与挑战。综述首先深入探讨ONFH的病理生理学机制,特别是与治疗决策相关的关键生物学基础。其次,全面评述当前主流的保髋治疗策略,涵盖非手术治疗、髓芯减压术及其增强技术、各类植骨术以及生物物理疗法。接着,重点分析影响保髋疗效的核心预后因素,如坏死分期、范围、位置及患者个体特征。然后,审视生物制剂与新兴技术在保髋领域的应用前景。最后,讨论当前临床实践中的争议与未来研究方向,以期为推动个体化、精准化的保髋治疗决策提供循证依据。

关键词

股骨头坏死, 保髋治疗, 髓芯减压, 植骨术, 预后因素, 生物治疗

Hip-Preserving Treatment for Avascular Necrosis of the Femoral Head: Comprehensive Progress from Pathological Mechanisms to Clinical Decision-Making

Bin Xu

Department of Orthopedics, Deyang Fifth Hospital, Deyang Sichuan

Received: May 12, 2026; accepted: June 6, 2026; published: June 17, 2026

Abstract

Osteonecrosis of the femoral head (ONFH) is a disabling disease that causes bone cell death and joint collapse due to interruption of blood supply, posing a serious threat to the joint function and quality of life of young and active patients. Hip preservation therapy aims to delay disease progression, avoid or postpone total hip arthroplasty, and has extremely important clinical value. This article aims to systematically summarize the latest progress and challenges in hip preservation therapy. The review first delves into the pathophysiological mechanisms of ONFH, especially the key biological underpinnings relevant to treatment decision-making. Second, it comprehensively evaluates current mainstream hip preservation treatment strategies, including non-surgical treatment, core decompression and its enhanced techniques, various bone grafting procedures, and biophysical therapies. Next, it focuses on analyzing the core prognostic factors affecting the efficacy of hip preservation, such as necrosis stage, extent, location, and patient individual characteristics. Then, it examines the application prospects of biological agents and emerging technologies in the field of hip preservation. Finally, it discusses the current controversies in clinical practice and future research directions, with the aim of providing evidence-based support for promoting individualized and precision hip preservation treatment decision-making.

Keywords

Osteonecrosis of the Femoral Head, Hip-Preserving Treatment, Core Decompression, Bone Grafting, Prognostic Factors, Biological Therapy

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

股骨头坏死(ONFH)是骨科领域常见的难治性疾病,其病理核心是股骨头血供中断导致的骨细胞缺血性坏死,最终常进展为股骨头塌陷和继发性骨关节炎,严重影响患者生活质量[1]。对于年轻患者而言,过早进行全髋关节置换术面临假体寿命、翻修风险及活动限制等诸多问题。因此,保髋治疗成为早期和中期 ONFH 患者管理策略的核心,其目标是在股骨头塌陷前通过干预恢复或重建血运、提供力学支撑,从而保留自身关节功能[1]。尽管保髋技术不断发展,但治疗成功率仍受多种因素影响,且最佳治疗方案的选择仍存在争议。本综述将围绕保髋治疗这一主题,从疾病本质出发,系统阐述现有治疗手段的原理、适应症与疗效,并深入探讨决定治疗成败的关键,展望未来发展趋势。

股骨头坏死的发生与进展涉及复杂的病理生理机制,其中血供障碍被认为是关键环节。激素(如糖皮质激素)的长期使用是导致非创伤性股骨头坏死最常见和重要的原因之一。其发病机制与局部血液循环障碍、凝血功能异常和骨组织再生受损有关,具体可能包括脂肪细胞肥大、脂肪栓塞和血管内凝血等。深入理解这些机制,特别是基于微血管血流的研究,为探索新的治疗靶点提供了思路[2]。早期诊断和干预是保髋治疗成功的关键,磁共振成像(MRI)是早期检测骨坏死的主要诊断方法。然而,目前尚无诊断 ONFH 的特异性生物标志物,也缺乏治疗的“金标准”,因此常需多学科协作。

在临床实践中,准确评估病情是制定个体化保髋方案的基础。现有的疾病分期系统,如国际骨循环研究协会(ARCO)分期和 Ficat 分期,为界定保髋治疗的窗口期提供了重要依据。研究表明,ARCO III 期

是患者进行关节保留的最后机会，但此阶段股骨头已发生塌陷，现有保髋手术的成功率有限[3]。因此，识别影响预后的关键影像学参数，如坏死部位、范围与形态，对于筛选合适的保髋治疗候选者至关重要。例如，一项研究提出了基于“硬化带”类型的分类系统和“四分法”测量坏死面积的新方法，以更准确地评估股骨头坏死的稳定性[4]。这些评估工具的发展有助于更精准地指导临床决策。

2. 股骨头坏死的病理生理与保髋治疗决策基础

2.1. 骨坏死发生与进展的病理机制

股骨头坏死(ONFH)是一种多因素疾病，其核心病理机制是股骨头血供中断，导致骨细胞缺血、坏死，最终引发骨小梁骨折和股骨头结构塌陷。血流中断被认为是疾病发生的始动因素，其具体机制复杂，涉及局部血液循环障碍、凝血功能异常和骨组织再生受损。在非创伤性坏死中，长期使用糖皮质激素是最常见且重要的病因之一。激素诱导的股骨头坏死(SONFH)的发病机制包括脂肪细胞肥大、脂肪栓塞和血管内凝血。深入研究显示，糖皮质激素可能通过影响 HIF-1 α 、PDGF-BB、VEGF 等因子的表达，抑制 H 型血管的形成，从而破坏“血管生成 - 成骨”耦联，降低股骨头的坏死重建与修复能力[2]。此外，骨微环境的动态平衡改变也扮演了关键角色，激素使用可导致骨脂代谢失衡、微循环障碍和免疫调节紊乱，通过调控 PI3K/AKT、OPG/RANKL/RANK、MAPK 等信号通路，最终促使骨细胞凋亡和骨微血管破裂[5]。因此，股骨头坏死是一个涉及血管、代谢、细胞凋亡和骨微环境失衡的复杂病理过程。

2.2. 疾病分期系统(如 ARCO、Ficat 分期)与保髋治疗窗口

准确的分期系统对于评估股骨头坏死预后和选择保髋治疗方案至关重要。目前临床广泛应用的分期系统包括 Ficat 分期和骨循环研究协会(ARCO)分期。这些分期系统主要基于影像学表现，将疾病从早期(无塌陷)进展到晚期(塌陷伴骨关节炎)进行划分。早期诊断和在股骨头塌陷前进行干预是保髋手术成功的关键。研究表明，ARCO III 期是患者进行关节保留的最后机会，因为此阶段股骨头已发生塌陷，现有的保髋手术治疗成功率有限[3]。对于处于塌陷前阶段(Ficat I、II 期)的坏死，核心减压术可以提供疼痛缓解并保留股骨头[6]。然而，治疗成功与否高度依赖于分期。一项回顾性研究显示，在接受核心减压术的患者中，较高的 Kerboul、Ficat、ARCO 分级与较高的失败率显著相关[6]。因此，疾病分期不仅定义了疾病的严重程度，也清晰地划定了保髋治疗的有效窗口期，指导临床医生在合适的时机(通常是塌陷前)采取干预措施，以最大可能地保留患者自身髋关节。

2.3. 影响预后的关键影像学参数：坏死部位、范围与形态

除了分期，具体的影像学参数对股骨头坏死的预后和保髋治疗决策具有决定性影响。坏死的部位、范围(体积)和形态是评估股骨头力学稳定性和预测塌陷风险的关键。传统的骨坏死研究会(JIC)分类等系统已被广泛应用，而新的评估方法如“硬化带”分型系统和“四分位”测量法，被认为能更准确地评估股骨头坏死的稳定性，便于临床应用[4]。坏死范围是核心的预后指标。一项研究通过 MRI 测量坏死体积与股骨头体积的比值，发现该比值在疾病进展中发生显著变化，并与保髋治疗的成功率相关[7]。此外，坏死部位也至关重要，例如多灶性股骨头坏死被确定为核心减压术失败的独立预测因素[6]。在评估塌陷风险时，除了二维影像，三维位移的定量测量也显示出价值。一项研究通过 CT 三维重建技术测量股骨颈骨折部位的垂直、水平和分离位移，发现分离位移和综合位移是股骨头缺血性坏死的独立危险因素，且三维测量比传统二维测量具有更高的可靠性和预测潜力[8]。这些精细的影像学参数共同构成了评估股骨头生物力学完整性、制定个体化保髋策略的重要依据。

3. 主流保髋治疗策略：原理、技术与适应症

3.1. 非手术治疗：药物干预与保护性负重

非手术治疗是股骨头坏死(ONFH)早期阶段的重要干预手段,旨在延缓疾病进展、缓解症状并推迟或避免关节置换。其核心策略包括药物干预与保护性负重。药物干预主要针对 ONFH 的潜在病理机制,如使用双膦酸盐类药物抑制破骨细胞活性以延缓股骨头塌陷,或应用抗凝、降脂及血管扩张药物以改善局部微循环[1]。然而,非手术治疗的机制尚不完全明确,且对于坏死面积较大(通常>10%)的病例,其阻止疾病进展的效果有限[1]。保护性负重旨在通过减少股骨头承重来降低塌陷风险,但长期效果存在争议。一项针对印度人群的研究表明,对于无症状的 ONFH 髋关节,非手术治疗(包括观察和保护性负重)并不可取,因为疾病进展迅速,临床失败率和影像学失败率分别高达 53%和 77% [9]。因此,非手术治疗通常适用于坏死面积小、症状轻微的早期(如 ARCO I 期)患者,或作为手术治疗的辅助手段,其目标更多是延缓病程而非根治。

3.2. 髓芯减压术：经典技术与疗效争议

3.2.1. 单纯髓芯减压术

单纯髓芯减压术(CD)是治疗塌陷前 ONFH 的经典术式,其原理是通过在股骨颈和头部钻取通道,降低骨内高压,改善静脉回流,从而缓解疼痛并可能促进坏死区修复。然而,其疗效存在显著争议,成功率差异较大。一项回顾性研究对 207 例塌陷前(Ficat I、II 期) ONFH 髋关节行 CD 治疗,平均随访 57 个月,总体成功率仅为 58% [6]。该研究通过多因素分析发现, Kerboul 和 Ficat 分期较高、多灶性坏死以及饮酒是 CD 失败的独立预测因素。这表明 CD 的疗效高度依赖于病例选择,对于坏死范围大、多灶性或伴有特定危险因素(如酒精滥用)的患者,失败风险显著增高。因此,术前详细的影像学评估和基于分期的预后判断对于提高 CD 成功率至关重要[6]。

3.2.2. 增强型髓芯减压术(联合植骨或细胞治疗)

为了克服单纯 CD 的局限性,增强型髓芯减压术应运而生,即在减压通道内联合植入骨移植材料或细胞治疗,以提供结构性支撑和/或生物学刺激。联合自体骨髓间充质干细胞(BMAC)植入是其中一种有前景的策略。一项比较研究显示,对于 Steinberg 1~2 期的 ONFH 患者,接受 CD 联合 BMAC 植入的患者,在术后 6 个月、1 年和 2 年的随访中,疼痛(VAS 评分)较单纯 CD 组有更显著的减轻,且在 24 个月时 Harris 髋关节评分(HHS)改善更优[10]。这表明 BMAC 的加入可能通过其成骨和血管生成潜能,增强了减压区域的修复能力,但由于 BMAC 制备复杂,设计资质、伦理、制备成本等多方面因素限制,无法作为一种常规治疗的技术推广应用。另一种增强方式是联合非血管化植骨,例如在减压后植入打压的松质骨或特定骨基质材料,以填充坏死区并提供支撑。这些增强技术旨在为坏死区域创造一个更有利的生物学和力学环境,从而提高保髋成功率,尤其适用于坏死体积中等、但尚未塌陷的病例。

3.3. 结构性植骨术

3.3.1. 非血管化植骨术(如打压植骨、Lightbulb 技术)

非血管化植骨术通过清除坏死骨并植入自体或异体骨来提供结构性支撑,促进新骨形成。打压植骨和“灯泡”(lightbulb)技术是代表性术式。“灯泡”技术通过股骨颈基底部开窗,直接刮除坏死骨并植入松质骨或复合骨材料。有学者提出改良的“灯泡”技术,使用骨髓抽吸浓缩物(BMAC)和开放基质骨移植(如 MagnetOs Flex Matrix)作为辅助移植,旨在提供骨诱导和结构支持,为骨形成和愈合创造有利环境[11]。该技术优点在于能直接处理病灶,但可能对关节软骨造成潜在损伤。另一项研究强调了在治疗股

骨头坏死时,广泛清除坏死骨的重要性,这是“灯泡”等技术的关键步骤[12]。非血管化植骨适用于 ARCO II 期及部分早期 III 期、坏死区有明确边界的患者,其成功依赖于彻底的坏死骨清除和稳定的植骨填充。

3.3.2. 血管化植骨术(如带血管腓骨移植)

血管化植骨术,如带血管蒂的腓骨移植(FVFG),不仅提供结构性支撑,还通过吻合血管为缺血股骨头引入新的血供,理论上具有更强的骨修复和再血管化能力。一项针对印度人群的长期随访研究显示,在 ONFH 的 2a 和 2b 期,腓骨移植显示出最高的疾病逆转率[9]。此外,也有采用带旋股外侧动脉升支的肌骨膜髂骨瓣移植治疗非创伤性 ONFH 的报道,术后 12 个月患者 HHS 和 VAS 评分均显著改善,影像学显示股骨头形态良好且未塌陷[13]。血管化植骨术手术相对复杂,技术要求高,但为年轻、活动量大的中期(ARCO II~III 期)ONFH 患者,尤其是坏死范围大、单纯减压或非血管化植骨效果可能不佳的病例,提供了强有力的保髋选择。其长期效果优于许多其他保髋术式,但需权衡手术创伤和供区并发症。

3.4. 生物物理疗法:体外冲击波与高压氧治疗

生物物理疗法,主要包括体外冲击波治疗(ESWT)和高压氧治疗(HBOT),是 ONFH 非手术治疗领域的重要补充。ESWT 通过高能声波产生的机械应力,刺激坏死区域血管生成、成骨细胞活化和疼痛缓解。一项关于保守治疗 ONFH 的系统评价综述指出,ESWT 作为生物物理疗法之一,可用于早期 ONFH 的辅助治疗[14]。高压氧治疗(HBOT)则通过提高血氧分压,改善组织缺氧,减轻水肿并促进成骨。同一篇系统评价综述也肯定了 HBOT 在 ONFH 治疗中的应用[14]。这些疗法通常适用于 ARCO I~II 期的早期患者,尤其是那些不适合或不愿接受手术干预者。它们的目标是缓解疼痛、延缓塌陷进程。然而,其确切机制和长期疗效仍需更多高质量研究证实,且通常作为综合治疗策略的一部分,与药物或保护性负重联合使用。

4. 影响保髋治疗成功的关键预后因素分析

4.1. 患者相关因素:年龄、病因、基础疾病

患者相关因素是决定股骨头坏死(ONFH)保髋治疗预后的重要基石。年龄是核心考量因素,年轻、活跃的患者是保髋治疗的主要目标人群,因为其骨骼愈合潜力更大,且对保留自身关节功能的需求更为迫切[1]。病因对预后有显著影响,特别是糖皮质激素的使用,这是非创伤性 ONFH 最常见且重要的病因之一,其病理机制涉及脂肪细胞肥大、脂肪栓塞和血管内凝血,可能导致更广泛的坏死和更差的预后。一项针对非创伤性 ONFH 患者的研究发现,最常见的病因是糖皮质激素摄入[9]。此外,患者的基础疾病和共病状态也深刻影响治疗决策和结果。例如,吸烟、饮酒等不良生活习惯与保髋手术失败率增加相关[6]。在评估保髋治疗可行性时,必须综合考虑患者的整体健康状况,因为伴随的全身性疾病可能影响骨骼愈合能力和对手术的耐受性。

4.2. 疾病相关因素:分期、坏死体积、关节面是否完整

疾病本身的特点,特别是分期、坏死体积和关节面完整性,是预测保髋治疗能否成功的最关键因素。早期诊断和在股骨头塌陷前进行干预是保髋手术获得良好结果的关键。国际骨循环研究协会(ARCO)分期系统被广泛使用,其中 ARCO III 期被认为是保髋治疗的最后机会,因为此时股骨头已发生塌陷,现有保髋手术的成功率有限[3]。影像学评估和基于影像学的分类(如 Ficat、Kerboul 分类)是预测髓芯减压术等保髋手术成功率最有价值的因素[6]。坏死体积同样至关重要,研究表明,坏死面积小于 10%的病例可能通过非手术治疗有效延缓疾病进展[1]。关节面是否完整,即股骨头是否塌陷,是决定治疗策略的分水岭。

塌陷前的阶段(Ficat I、II 期)是进行髓芯减压等保髓手术的理想时机[6]。一旦发生塌陷,治疗将变得异常困难,通常需要进行髋关节置换[1]。因此,精确评估坏死分期、体积和关节面状态,对于选择合适的患者和手术时机至关重要。

4.3. 治疗相关因素:手术时机、技术选择与术后康复

治疗相关因素,包括手术时机、技术选择和术后康复,直接决定了保髓治疗的最终效果。手术时机强调“早”,早期干预旨在防止股骨头塌陷、保留关节功能并延迟或避免髋关节置换的需要[15]。对于创伤后病例,如儿童股骨颈骨折后,保髓是首要目标,但尚无标准治疗方案[16]。技术选择需个体化,并不断革新。传统的髓芯减压术在塌陷前阶段可提供疼痛缓解和股骨头保留,但其成功率差异很大[6]。为了提高疗效,出现了许多改良技术,如髓芯减压联合自体骨髓间充质干细胞植入,研究表明其在早期 ONFH 患者中能更有效地减轻疼痛并改善髋关节功能[10]。对于更晚期的病例,如 ARCO III 期,部分股骨头置换等创新性微创保髓技术显示出安全性和有效性[3]。此外,结合术前有限元力学分析和 3D 打印技术的髋关节镜手术,为早期 ONFH 的精准治疗提供了新策略[15]。术后康复是治疗链中不可或缺的一环,但相关协议存在差异。例如,在 Latarjet 手术后,超过 85%的外科医生倾向于术后固定 3~6 周,但重返运动的时间(≥ 6 个月)存在显著差异,表明需要更多研究来制定循证的康复方案[17]。稳定、循序渐进的康复计划对于恢复关节功能、防止肌肉萎缩和获得满意临床结果至关重要[18]。

5. 新兴治疗技术与生物制剂的应用前景

5.1. 基于细胞与组织工程的再生医学策略

基于细胞与组织工程的再生医学策略是股骨头坏死(ONFH)保髓治疗的重要前沿方向,旨在通过生物活性物质促进坏死区域的修复与再生。髓芯减压术(CD)是早期 ONFH 的经典保髓手术,但其成功率受多种因素影响,总体成功率约为 58% [6]。为提高疗效,将 CD 与自体骨髓间充质干细胞(BM-MSC)植入相结合的策略显示出优势。一项比较研究表明,对于 Steinberg 1~2 期的 ONFH 患者,接受 CD 联合 BM-MSC 植入治疗的患者,在术后 6 个月、1 年和 2 年的随访中疼痛显著减轻,且在 24 个月时 Harris 髋关节评分(HHS)显示髋关节功能得到改善[10]。这提示干细胞疗法通过提供成骨前体细胞和分泌生长因子,可能增强了骨再生能力。此外,带血管蒂的骨移植也是一种有效的再生医学方法,例如采用旋股外侧动脉升支的肌骨膜髂骨瓣移植治疗早中期 ONFH,术后患者 HHS 和疼痛评分均显著改善,影像学显示股骨头形态良好且未发生塌陷[13]。这些基于细胞的策略共同目标是重建股骨头的血运和力学结构,为年轻患者避免或推迟关节置换提供了可能。

5.2. 生长因子与富血小板血浆(PRP)的应用

生长因子与富血小板血浆(PRP)在 ONFH 治疗中的应用,主要利用其浓缩的生物活性信号分子来调控局部修复微环境,促进血管生成和骨再生。PRP 是通过离心从自体血液中获得的血小板浓缩物,富含血小板衍生生长因子(PDGF)、转化生长因子- β (TGF- β)、血管内皮生长因子(VEGF)等多种生长因子。研究表明,PRP 中生长因子的浓度与血小板计数呈正相关,但其疗效不仅取决于血小板数量,更与血小板的功能质量和生长因子的生物活性密切相关[19]。在临床前研究中,将 PRP、富血小板纤维蛋白(PRF)或浓缩生长因子(CGF)应用于肩袖修复模型,发现它们能促进肌腱-骨交界处的细胞增殖(Ki67+)、血管生成(CD31+, CD34+)并减少细胞凋亡,显示出改善愈合质量的潜力[20]。然而,不同设备、不同制备方法得到的血小板浓缩物在生长因子释放动力学和细胞成分上存在差异。例如,与含白细胞的血小板浓缩物相比,富含生长因子的血浆(PRGF)能提供更缓慢、持久的生长因子(如 IGF-I、VEGF、PDGF)释放,并几乎

不含促炎细胞因子 IL-1 β ，从而在体外更有利于成骨细胞的 I 型胶原合成[21]。这些发现提示，优化 PRP 的制备、激活和应用方案，对于实现其稳定、可重复的促再生效果至关重要。

5.3. 靶向药物与抗凝治疗在特定病因 ONFH 中的角色

靶向药物与抗凝治疗主要针对具有特定病因(如激素性、凝血功能障碍相关)的 ONFH 患者，旨在干预其病理生理过程，延缓疾病进展。ONFH 的发病机制与局部血液循环障碍、凝血功能异常及骨组织再生受损有关，使用糖皮质激素是导致非创伤性 ONFH 最常见且重要的原因之一。激素诱导的 ONFH postulated 病理机制包括脂肪细胞肥大、脂肪栓塞和血管内凝血。因此，针对这些环节的药物，如抗凝剂、降脂药和血管扩张剂，常作为非手术治疗的组成部分[1]。尽管这些非手术治疗旨在减缓疾病进展并延迟关节置换的需要，但除坏死区域很小(<10%)的情况外，它们通常无法有效阻止疾病进展，且其具体作用机制尚需进一步研究[1]。目前，尚无治疗 ONFH 的“金标准”，常常需要多学科综合方法。对于已发生股骨头塌陷的晚期病例，当保髋手术失败或存在髓白退化性变时，关节置换术仍是主要的治疗方法。因此，靶向药物与抗凝治疗更适用于早期、特定病因的 ONFH，作为综合管理策略的一部分，其临床应用需基于对患者病因的精确评估。

6. 当前争议、挑战与未来方向

6.1. 不同保髋术式疗效比较的循证医学证据

目前，股骨头坏死(ONFH)的保髋治疗术式多样，但不同术式间的疗效比较仍缺乏高质量的循证医学证据。核心减压术(CD)是早期(塌陷前) ONFH 的常用术式，但其成功率差异较大，一项对 207 髋的回顾性研究显示总体成功率仅为 58%，且失败与较高的 Kerboul 和 Ficat 分期、多灶性坏死及饮酒史显著相关[6]。对于更晚期的病例(如 ARCO III 期)，传统保髋手术效果有限，部分股骨头置换术作为一种创新的微创保髋技术，在治疗 ARCO III 期 ONFH 的初步临床结果中显示出安全性和有效性，为年轻患者提供了新的选择[3]。此外，带血管蒂的骨移植术(如以旋股外侧动脉升支为蒂的肌骨膜髂骨瓣移植)也被证明是治疗早中期 ONFH 的有效方法[13]。然而，对于不同术式(如手术髋关节脱位联合打压植骨与带血管蒂髂骨瓣移植)的直接比较研究仍然匮乏，一项小样本研究在短期(1 年)内比较了两种术式，发现带血管蒂髂骨瓣移植的短期效果更显著，但手术髋关节脱位联合打压植骨在中长期随访(平均 77 个月)中也能获得满意的保髋率[22]。这些证据表明，术式选择需高度个体化，并依赖于对坏死分期、范围及患者因素的精准评估。

6.2. 个体化治疗方案制定的决策模型探索

制定个体化的保髋治疗方案是当前临床实践的核心挑战与探索方向。理想的决策模型应整合患者的影像学分期、坏死范围、病因、年龄及功能需求等多维度信息。例如，基于中日友好医院(CJFH)分型的阶梯化治疗方案，根据坏死部位(内侧 M 型、中央 C 型、外侧 L 型)和范围推荐从保守治疗、微创手术到截骨术乃至关节置换的不同策略，体现了初步的个体化决策框架[23]。决策模型的探索也延伸到更广泛的临床决策支持领域。例如，在精神健康领域，有研究提出结合支持性决策的“能力模型”，旨在平等地承认精神障碍患者的法律人格和决策参与权，这为涉及患者偏好和价值观的复杂医疗决策(如保髋治疗)提供了伦理框架参考[24]。此外，利用机器学习模型整合多模态临床数据(如影像、病理、组学)以支持个性化诊断和预后预测的技术，在泌尿系统肿瘤等领域已显示出潜力，提示未来在骨科保髋决策中，类似的整合模型可能有助于优化治疗选择[25]。这些探索都指向一个共同目标：即通过结构化、数据驱动的模式，减少决策偏差，实现真正以患者为中心的个性化保髋治疗。

6.3. 长期随访结果与保髓治疗对推迟关节置换的真实影响

评估保髓治疗的长期疗效，特别是其对推迟或避免全髋关节置换术(THA)的真实影响，至关重要。多项长期随访研究提供了有价值的信息。例如，非血管化自体与同种异体腓骨移植治疗 ONFH (ARCO IIa~IIIc 期)的长期研究(平均随访超过 10 年)显示，两者均能获得良好的临床结果和高生存率，15 年生存率分别达到 84.1%和 86%，显著延迟了 THA [26]。对于发育性髋关节发育不良(DDH)患者，Bernese 髋臼周围截骨术(PAO)的长期生存分析表明，其能有效改变髋关节的自然病程，10 年和 20 年的原生髋关节生存率分别约为 75.9%和 36.5% [27]。另一项针对股骨髋臼撞击征(FAI)的关节镜治疗研究显示，在至少 10 年的随访中，超过 90%的患者保留了原生髋关节，且功能评分良好[28]。然而，保髓治疗并非对所有患者都有效。一项针对接受血管化髂骨瓣移植保髓手术失败后，再行 THA 的对比研究发现，即使保髓失败，后续通过直接前方入路(DAA)进行 THA，在手术时间和出血量上可能优于后方入路(PA)，但并发症风险需要警惕[29]。这些长期数据证实了保髓手术在精心选择的患者中可以提供持久的髋关节保存效果，但同时也强调了严格把握适应证和持续随访的重要性。

6.4. 人工智能与影像组学在精准评估与预后预测中的应用

人工智能(AI)与影像组学为股骨头坏死的精准评估与预后预测开辟了新的途径。影像组学通过高通量提取医学图像中的定量特征，能够揭示人眼无法识别的病理生理信息。在 ONFH 管理中，其潜在应用包括早期诊断、坏死范围精确量化、塌陷风险预测以及治疗反应评估。例如，有研究提出基于 MRI 的“硬化带”分型系统和“四分法”测量坏死面积，为评估股骨头稳定性提供了新方法[4]。更前沿的探索是将 AI 与术前规划相结合，如一项研究结合髋关节镜、术前有限元力学分析和 3D 打印技术，为早期 ONFH 制定了精准治疗策略，术后 3 年内无患者出现 ONFH 进展[15]。AI 和影像组学在肿瘤等领域已展现出强大的决策支持能力，通过整合影像、病理和临床数据构建预测模型，可提高诊断准确性并指导个性化治疗[25]。在骨科领域，类似的技术有望应用于 ONFH，通过分析 CT 或 MRI 图像，自动识别坏死特征、预测保髓手术失败风险或 THA 转换时间，从而辅助临床决策。尽管面临数据标准化、模型可解释性等挑战，但 AI 与影像组学无疑是实现股骨头坏死精准医疗和优化保髓治疗决策的重要未来方向。

7. 结论

股骨头坏死的保髓治疗已从单一的手术技术探索，发展为一项融合精准评估、个体化策略与多学科协作的系统工程。其核心挑战在于，疾病本身具有异质性，而治疗窗口期短暂，任何决策都需在延缓塌陷与保留关节功能之间寻求最佳平衡。当前共识强调，治疗成功绝非依赖某种“万能术式”，而是根植于对 ARCO 分期、坏死灶位置与范围、患者年龄及活动需求的精确研判。例如，对于早期局限病灶，髓芯减压联合生物材料或细胞疗法的重点在于打破缺血与骨修复失衡的恶性循环；而对于濒临塌陷的中期病例，带血管腓骨移植等技术的价值则更侧重于提供即刻的力学支撑，为自身修复赢得时间。这两种主流路径并非互斥，其选择体现了对“生物学修复”与“力学稳定”两大治疗支柱的权衡。

然而，现有治疗体系仍面临诸多争议与局限。不同研究间疗效报道的差异，部分源于患者基线特征、坏死病因及随访标准的不统一。未来方向应超越单纯比较术式优劣，转而构建以“风险分层”为导向的精准治疗框架。这需要整合高分辨率影像组学、液体活检等新型生物标志物，实现更早期的诊断与更动态的预后预测。同时，治疗模式的进化趋向于联合与微创化，例如将生物促进技术与结构性支撑手术相结合，以期协同增效。最终，通过建立基于真实世界大数据的临床决策支持系统，我们有望将保髓治疗从经验驱动升级为证据驱动，为每位患者定制最优策略，真正实现延缓关节置换、最大化髋关节自然寿命的终极目标。

参考文献

- [1] Qi, T., Yan, Y., Qi, W., Chen, W. and Yang, H. (2025) Hip Joint-Preserving Strategies for Treating Osteonecrosis of the Femoral Head: From Nonoperative to Operative Procedures. *Journal of Orthopaedic Translation*, **51**, 256-277. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2025.02.001>
- [2] Ma, T., Wang, Y., Ma, J., Cui, H., Feng, X. and Ma, X. (2024) Research Progress in the Pathogenesis of Hormone-Induced Femoral Head Necrosis Based on Microvessels: A Systematic Review. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **19**, Article No. 265. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04748-2>
- [3] Wang, T., Wang, Z., Wang, Y., Li, C., Lu, Y., Zhu, Y., et al. (2025) Partial Femoral Head Replacement: A New Innovative Surgical Technique for Precise Minimally Invasive Treatment of Association Research Circulation Osseous Stage III Femoral Head Necrosis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **26**, Article No. 695. <https://doi.org/10.1186/s12891-025-08869-5>
- [4] Zhang, Y., Liu, Y., Sun, R., Fan, Y., Shi, Q., Zhang, L., et al. (2020) "Sclerotic Band" Type of Classification System and Measurement of Necrotic Area for Osteonecrosis of the Femoral Head. *Medicine*, **99**, e22106. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000022106>
- [5] Zhang, X.S., Yang, H.F., Li, J.S., Zhou, M.W., Liu, H.P. and Wang, X.P. (2025) Research Progress on the Effect of Bone Microenvironment on Hormonal Femoral Head Necrosis. *Chinese Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **38**, 867-872.
- [6] Karimi, M., Moharrami, A., Vahedian Aedakani, M., Mirghaderi, S.P., Ghadimi, E. and Mortazavi, S.J. (2023) Predictors of Core De-Compression Success in Patients with Femoral Head Avascular Necrosis. *Archives of Bone and Joint Surgery*, **11**, 517-523.
- [7] Hong, Z., Zhang, Y., Chen, J. and Bi, Q. (2023) Adipose-derived Stromal Vascular Fraction Injection Following Core Decompression and Biochemistry Artificial Bone Graft Implantation in Osteonecrosis of the Femoral Head. *International Orthopaedics*, **47**, 1481-1486. <https://doi.org/10.1007/s00264-023-05792-z>
- [8] Zhao, K., Liu, Y. and Li, H. (2026) Reliability of 3D Quantitative Displacement of Femoral Neck Fracture Site Measured via CT and Its Correlation with Femoral Head Avascular Necrosis: A Retrospective Cohort Study. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **16**, 149-149. <https://doi.org/10.21037/qims-2025-1483>
- [9] Dorai, J.B., Shreemal, B.B., Shankar, A., Oommen, A.T. and Jeyakkani, M.N. (2024) Avascular Necrosis of Femoral Head-Demographic Profile, Natural History of Asymptomatic Hips and Native Hip Survivorship in an Indian Subcontinent Cohort. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, **59**, Article 102801. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2024.102801>
- [10] Ulusoy, İ., Yılmaz, M. and Kıvrak, A. (2023) Efficacy of Autologous Stem Cell Therapy in Femoral Head Avascular Necrosis: A Comparative Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **18**, Article No. 799. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04297-0>
- [11] Edmond, T., Hameed, D., Olsen, D., Dubin, J.A., Grynovicki, E. and Mont, M.A. (2023) Modified Lightbulb Non-Vascularized Bone Grafting Technique for Osteonecrosis of the Femoral Head. *Surgical Technology International*, **42**, 359-368.
- [12] Winter, P. and Landgraerber, S. (2022) The Importance of Removing Osteonecrosis during Treatment of Femoral Head Osteonecrosis. *Orthopädie (Heidelberg)*, **51**, 800-807.
- [13] Li, B., Qin, K., Liu, B., Wang, B., Qiu, X., Li, Z., et al. (2021) Clinical Application of the Musculoperiosteal Iliac Flap for Osteonecrosis of the Femoral Head. *Annals of Plastic Surgery*, **87**, e129-e136. <https://doi.org/10.1097/sap.0000000000003007>
- [14] Sai Krishna, M.L.V., Kar, S., Kumar, R., Singh, H., Mittal, R. and Digge, V.K. (2023) The Role of Conservative Management in the Avascular Necrosis of the Femoral Head: A Review of Systematic Reviews. *Indian Journal of Orthopaedics*, **57**, 410-420. <https://doi.org/10.1007/s43465-023-00818-5>
- [15] Wu, Y., Wang, H., Shi, S., Liu, Y., Zhang, L., Wang, Z., et al. (2026) Hip-Preserving Treatment of Early ONFH via Arthroscopy: Preoperative Finite Element Analysis Planning with 3D Printing Assistance. *Scientific Reports*, **16**, Article No. 3935. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-34012-4>
- [16] Loose, O., Fernandez, F. and Müller, T. (2025) Femoral Head Necrosis after Femoral Neck Fracture—A Lifelong Burden. *Die Unfallchirurgie*, **128**, 417-424. <https://doi.org/10.1007/s00113-025-01555-0>
- [17] Sharareh, B., Edwards, T.B., Shah, A. and Shybut, T. (2021) Variation in Technique and Postoperative Management of the Latarjet Procedure among Orthopedic Surgeons. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, **30**, e157-e164. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2020.07.027>
- [18] Gawande, V. and Badge, A. (2023) Clinical Effectiveness of Arthroscopy-Assisted Fixation in the Treatment of Avulsed Posterior Cruciate Ligament Injuries. *Cureus*, **15**, e50152. <https://doi.org/10.7759/cureus.50152>

- [19] Costa, F.R., Purita, J., Martins, R., Pires, L., Mahmood, A., Santos, G.S., *et al.* (2026) Beyond Platelet Count: Rethinking Platelet-Rich Plasma Efficacy through Growth Factor Biology and Functional Quality. *Life*, **16**, Article 188. <https://doi.org/10.3390/life16020188>
- [20] Celikten, M., Sahin, H., Senturk, G.E., Bilsel, K., Pulatkan, A., Kapicioglu, M., *et al.* (2024) The Effect of Platelet-Rich Fibrin, Platelet-Rich Plasma, and Concentrated Growth Factor in the Repair of Full Thickness Rotator Cuff Tears. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, **33**, e261-e277. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2023.09.028>
- [21] Baca-Gonzalez, L., Serrano Zamora, R., Rancan, L., González Fernández-Tresguerres, F., Fernández-Tresguerres, I., López-Pintor, R.M., *et al.* (2022) Plasma Rich in Growth Factors (PRGF) and Leukocyte-Platelet Rich Fibrin (L-PRF): Comparative Release of Growth Factors and Biological Effect on Osteoblasts. *International Journal of Implant Dentistry*, **8**, Article No. 39. <https://doi.org/10.1186/s40729-022-00440-4>
- [22] Sun, J., Ma, B., Chen, Z., Xia, T. and Shen, J. (2024) Comparison of SHD-IBG and PVIBGT in ONFH Including Mechanical and Pathological Analysis of Failure Cases. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 14396. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65197-9>
- [23] Xia, T., Wei, W., Zhang, C., Ji, W. and Shen, J. (2020) Hip Preservation Experience of Avascular Necrosis of Femoral Head According to China-Japan Friendship Hospital Classification. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **34**, 10-15.
- [24] Scholten, M., Gather, J. and Vollmann, J. (2021) Equality in the Informed Consent Process: Competence to Consent, Substitute Decision-Making, and Discrimination of Persons with Mental Disorders. *The Journal of Medicine and Philosophy: A Forum for Bioethics and Philosophy of Medicine*, **46**, 108-136. <https://doi.org/10.1093/jmp/jhaa030>
- [25] Xiao, Y., Yang, S., He, M., Chen, L., Wu, Y. and Zhong, L. (2026) Urofusion-X: A Unified Multimodal Deep Learning Framework for Robust Diagnosis, Subtyping, and Prognosis of Urological Cancers. *npj Digital Medicine*, **9**, Article No. 117. <https://doi.org/10.1038/s41746-025-02295-6>
- [26] Jie, K., Feng, W., Li, F., Wu, K., Chen, J., Zhou, G., *et al.* (2021) Long-Term Survival and Clinical Outcomes of Non-Vascularized Autologous and Allogeneic Fibular Grafts Are Comparable for Treating Osteonecrosis of the Femoral Head. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **16**, Article No. 109. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02246-3>
- [27] Tan, J.H.I., Tan, S.H.S., Rajoo, M.S., Lim, A.K.S. and Hui, J.H. (2022) Hip Survivorship Following the Bernese Periacetabular Osteotomy for the Treatment of Acetabular Dysplasia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **108**, Article 103283. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2022.103283>
- [28] Büchler, L., Grob, V., Anwander, H., Lerch, T.D. and Haefeli, P.C. (2021) Good Outcome Scores and Low Conversion Rate to THA 10 Years after Hip Arthroscopy for the Treatment of Femoroacetabular Impingement. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **479**, 2256-2264. <https://doi.org/10.1097/corr.0000000000001778>
- [29] Chu, K., Wang, Y., Liu, B., Li, Z., Wang, Z., Zhang, J., *et al.* (2025) Direct Anterior Approach versus Posterior Approach in Total Hip Arthroplasty after ONFH with Failed Vascularized Iliac Crest Bone Grafting for Hip Preservation: A Retrospective Comparative Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **26**, Article No. 686. <https://doi.org/10.1186/s12891-025-08418-0>