·综 述·

膝关节自体骨软骨移植术后长期随访:关节功能恢复与影响因素

李燚雯[1] 王栋[2] 丁朋涛[3] 黄遂柱[4]

【摘要】 膝关节自体骨软骨移植术(autologous osteochondral transplantation,AOT)是一种从患者非承重区域获取健康软骨组织,移植到膝关节损伤部位的修复技术。该手术具有免疫排斥风险低的优势,但供区可能产生继发性损伤。随着运动医学和关节外科的发展,AOT已成为治疗局部小面积软骨缺损的重要方法。然而,关于AOT术后长期关节功能恢复的系统性研究仍存在空白,特别是影响术后功能恢复的关键因素尚需进一步明确。本文旨在系统总结影响AOT长期疗效的关键临床因素,并梳理评估软骨修复质量的科学方法,以分别服务于临床决策与科研评估。

【关键词】 膝关节;自体骨软骨移植;长期随访;关节功能;软骨修复

膝关节软骨损伤是运动医学与骨科领域中最为常见的病变之一。流行病学数据显示,其发病率因地域、人群、损伤部位、年龄等不同而存在差异,在无症状、无损伤的一般成年人群中,MRI检测的膝关节软骨缺损汇总患病率为24%,其中40岁以下人群为11%,40岁及以上人群则骤升至43%[1];对于初次行关节镜手术的患者,膝关节软骨损伤的总体患病率高达66.2%,其中重度(Outerbridge Ⅲ~Ⅳ级)损伤占26.6%。损伤部位方面,髌骨最为常累(39.4%),而重度损伤则以滑车软骨最多见(12.0%);男性总体患病率略高于女性(68.7% vs. 64.6%)[2]。自体骨软骨移植术(autologous osteochondral transplantation,AOT)是一种从患者非承重区域获取健康骨软骨组织、移植至损伤部位的修复技术,能够提供具有完整活性软骨细胞及天然基质结构的移植体,实现关节面的解剖重建与功能恢复[3]。然而,AOT的长期疗效是否稳定、移植软骨能否在术后十年乃至更长时间内维持其结构与功能,目前尚缺乏系统性评价。鉴于此,本文旨在系统总结膝关节AOT术后长期随访(≥5年)的临床研究证据,围绕关节功能恢复、软骨修复质量评估、影响长期疗效的临床因素及并发症等方面进行综述,以期为临床决策与术后管理提供参考。

一、文献检索策略

本文以“膝关节”“自体骨软骨移植”“长期随访”“关节功能”“软骨修复”“功能恢复评分”“并发症”等为中文关键词,在中国知网、万方、维普数据库进行检索;以“knee joint”“autologous osteochondral transplantation”“long-term follow-up”“joint function”“cartilage repair”“rehabilitation score”“complication”等为英文关键词,在PubMed、Web of Science等数据库进行检索。

文献纳入标准:①有关膝关节AOT术后长期随访(≥5年)的临床研究;②涉及关节功能评分、影像学评估、软骨修复质量等相关研究;③发表在学术期刊上的中英文论文;④研究内容相似时,优先选择证据等级高、样本量大、随访时间长的文献。文献排除标准:①低质量文献、相关性较弱的文献;②重复发表、无法获取全文的文献;③缺乏长期功能评估的研究。初步检索共获得相关文献439篇,阅读文题与摘要后初步纳入98篇,全文阅读后最终纳入35篇文献用于本综述。

二、膝关节AOT长期随访的必要性

膝关节骨软骨损伤属于比较常见的运动系统疾病,由于运动损伤频发,膝关节软骨缺损的发病率逐年增加[2]。软骨组织自身修复能力不足,一旦出现损伤,就会影响到关节功能,严重影响患者日常生活和生活质量,尤其在年轻人当中,膝关节软骨损伤不但制约着运动功能,还会引发早期退行性病变。AOT是利用自身膝关节非负重区健康的骨软骨组织,移植到负重区的软骨缺损区,完成对关节面的解剖重建和功能恢复。AOT能够提供持久的临床效果,特别是在股骨滑车面和髌骨软骨的修复中显示出优于微骨折术(microfracture surgery,MF)的结果。AOT适用于损伤深度已达软骨下骨的骨软骨缺损情况,由于供区来源有限,且有供区疼痛风险,因此更适用于面积<2 cm^2的软骨缺损修复[4]。AOT可以提供完整的关节软骨基质及活性软骨细胞,为后期的远期疗效奠定基础。虽然AOT在短期的临床疗效上表现良好,但是远期的疗效需要通过长期的随访来验证。通过对患者术后十年乃至更长时间段的跟踪观察,能够全面知晓手术对患者关节功能恢复、软骨修复质量和生活品质带来的持续性影响,这些长时间的数据不但能体现手术的真实效果,而且能为改良手术方案提供科学支撑。长期随访对于制订个性化临床决策同样至关重要,长期随访研究有益于找出潜在的风险要素,如年龄,基础疾病等因素对手术效果的影响。

三、长期随访相关研究现状

(一)国外研究进展

DOI:10.3969/j.issn.1674-8573.2026.05.018

作者单位:1. 河南中医药大学第一附属医院骨伤科,郑州 450000;2. 南阳市骨科医院独山院区上下肢创伤科,河南南阳 473060;3. 河南中医药大学附属驻马店市中医院骨伤科,河南驻马店 463000;4. 河南省骨科医院运动医学科,郑州 450046

通信作者:黄遂柱,E-mail:13608698269@163.com

国外对于膝关节AOT后长期随访的研究已经取得了很多成果，在随访指标选择和随访结果报告上都有很高的参考价值。Gudas等[5]比较了马赛克型AOT和MF治疗运动员膝关节软骨缺损的长期疗效，术后10年发现两者均能提高膝关节功能，但是AOT改变更大，术后10年时AOT组在国际软骨修复协会（International Cartilage Repair Society，ICRS）评分、Tegner活动量表评分（Tegner activity scale，TAS）、体育活动恢复率和保持率上均高于MF组，而失败率和再手术率低于MF组。Keszég等[6]对膝关节AOT在足球运动员中长期（10～25年）效果进行了研究，经过平均17.54年的随访，患者术后国际膝关节文献委员会（International Knee Documentation Committee，IKDC）评分为（68.52±16.01）分，软骨修复组织磁共振观察评分（magnetic resonance observation of cartilage repair tissue score，MOCART）为（70.8±18.12）分，80%的患者Bandi评分良好，85%的职业球员、34%的竞技球员和88%的业余球员在术后能够达到术前的运动水平。虽然随访时间较长，但是膝关节功能评分没有明显降低。Tetta等[7]对24例AOT的患者进行了随访，中位随访时间为113个月，IKDC主观评分由术前31分上升到82分，IKDC客观评分明显改善。末次随访时，79.2%患者膝关节功能正常或接近正常（A级29.2%，B级50.0%），表明长期功能保持良好。国外还研究了软骨修复质量的长期变化趋势，通过MRI和活检等检查发现移植后的骨软骨栓并没有随着时间的延长而发生坏死或者退变，只是表面稍有不平整[8]。综合来看，国外长期随访研究普遍证实了AOT在运动员这一高要求群体中的持久效力，其功能评分保持稳定，且再手术率低于MF等技术，凸显了其在年轻、活跃患者中的长期价值。

（二）国内研究进展

国内在膝关节AOT长期随访的研究上虽然开始较晚，但近些年来也取得了一些重要的成果。例如，刘嘉鑫等[9]对比了术前以及术后10年膝关节功能的改变情况，术后疼痛、活动度、行走及上下楼梯功能均显著改善，但稳定性评分无显著差异；所有患者主观感受良好，无疼痛、弹响或交锁。表明AOT长期疗效稳定，能有效改善膝关节功能、缓解疼痛并提升生活质量。国内研究也针对手术结合中医药治疗的综合效果展开探讨，像温阳益髓方在促进软骨生长及改善术后疼痛状况上的应用[10]，其作用机制是通过温补肾阳、填精益髓的治疗原则，降低炎症因子及基质水解酶、抑制软骨细胞凋亡，同时上调转化生长因子-β（transforming growth factor-beta，TGF-β）、骨形态发生蛋白4（bone morphogenetic protein 4，BMP-4）、II型胶原和蛋白多糖表达，促进细胞增殖与软骨修复。按照Doll氏分组法将患者分为试验组与对照组，试验组行AOT且术后第2天起口服温阳益髓方，对照组仅行AOT，术前患者有疼痛、肿胀、活动受限及MRI示软骨缺损，术后3个月，试验组疼痛和肿胀改善优于对照组，Lysholm膝关节评分量表（Lysholm knee scoring scale，LKSS）显著提高；术后1年MRI示软骨及软骨下骨愈合良好，无明显退变。这给术后康复方案的改进提供了新的方向。整体来看，国内外研究在方法设计与结果分析上存在共性和差别，这样的对比有益于进一步加深该领域的探究。

（三）研究趋势

近几年，膝关节AOT长期随访的研究出现明显的趋势改变，特别是在随访方法和重点方面。在随访方法上，研究者们开始由传统的单指标评价转变为多指标综合评价，比如结合影像学、功能评分以及患者满意度等多种指标展开全面分析[11]。而且，由于ICRS等学术组织的推动，研究标准和方法学也趋于一致，ICRS给出的软骨损伤分级标准和随访指南被广泛用于各国研究当中，这样就给跨区域的数据对比和结果检验带来了便利条件。

四、临床疗效评估：关节功能恢复情况

（一）评分量表评估

关节功能恢复情况是衡量膝关节AOT效果的关键指标之一，它需要通过多种标准化评分量表来量化，美国膝关节协会评分（Knee Society score，KSS）是临床上使用较为广泛的评分量表，这个评分量表包含临床评分和功能评分两大部分，可以全面体现膝关节的总体状况以及患者的活动能力。刘嘉鑫等[9]比较了患者AOT术前与术后10年KSS评分情况，结果表明，术后10年随访时，KSS临床评分由术前的（38.86±4.09）分增长到（85.07±2.19）分，功能评分由（3.33±4.88）分增长到（82.67±4.58）分，总分由（42.20±7.84）分增长到（167.73±6.29）分。进一步证明了其在长期随访中的可靠性。而LKSS是另一种常用的工具，主要针对膝关节的稳定性、疼痛、肿胀、日常活动能力，适合于运动功能要求较高的患者[12]。部分研究通过该量表评估了AOT的中期疗效。例如，鲁锐等[13]的一项中期随访研究（平均33个月）显示，术前患者的LKSS评分为（57.63±10.33）分，术后末次随访评分为（86.31±11.61）分，通过术前术后评分对比，证实了该评分系统对评估AOT术后早中期膝关节功能变化具有良好敏感性。然而，该研究的随访时长也反映出目前严格符合长期随访标准的高质量研究仍显不足。因此，要更全面、确凿地评价AOT的远期效果，亟待更多设计严谨、随访时间更长的研究予以验证。IKDC评分是一种专门针对膝关节的评估系统，它包括10项膝关节评估和8项韧带检查，包含主观症状和客观体征，能更详细地反映膝关节功能的动态变化[14]。另外还可以采用最小临床意义值差（minimal clinically important difference，MCID）和患者可接受症状水平（patient acceptable symptom state，PASS）来评价，MCID表示评分变化的临床意义，PASS表示患者术后达到满意症状水平的阈值，这些评分标准可以系统地反映出手术对疼痛、功能和活动能力的改善情况，从而给临床决策给予重要依据[15]。在实际操作中，常常会把多种量表结合使用，从而得到更加全面的信息。

（二）不同时间点变化

关节功能评分在术后不同随访时间点上的变化规律，是评价手术效果的重要依据。目前，随访时间跨度从几个月到十几年不等，显示了术后疗效的动态变化过程。患者术后膝关节功能评分在不同随访时间点上存在明显的差异性。一

般而言，术后早期评分即有改善，这主要是因为移植软骨与受区初步结合以及患者术后康复训练，随着随访时间延长，评分改善更为显著。李杰峰等[12]的研究指出，术后3个月时LKSS评分和IKDC评分相较于术前有所提升，在术后6个月之后，这些评分的改善更加明显，这说明膝关节功能的恢复是一个逐步的过程。黄福均等[16]研究报道在随访过程中，患者美国特种外科医院（Hospital for Special Surgery，HSS）膝关节评分由术前的（50.2±8.7）分上升至术后的（79.6±14.9）分，LKSS评分由术前的（55.3±7.5）分上升至术后的（82.4±13.9）分，从具体项目评分来看，术后疼痛、功能、肿胀、支持、上楼等单项分值均远大于术前，说明该手术对缓解疼痛、改善膝关节功能具有明显的效果。李国玉等[17]研究中患者术后随访LKSS评分由术前的（69.83±5.45）分提高到术后的（91.13±5.05）分，IKDC评分由术前的（73.61±3.04）分提高到术后的（93.26±2.24）分。

在术后中期，膝关节功能评分的上升趋势逐渐趋于平稳，但仍保持较高水平。魏孔星等[18]观察了术后膝关节活动范围及疼痛，术后MRI显示软骨愈合良好，移植区无囊性改变及水肿信号，末次随访时，患者患肢膝关节主动、被动活动范围均恢复至−10°～140°，膝关节无静息痛。LKSS评分由术前的（43.5±11.6）分提高到术后的（84.5±13.2）分，术后患者膝关节功能良好，均能参加原来工作和恢复原来运动。Di Martino等[19]通过对患者术前、术后24个月和84个月膝关节功能进行评估，结果表明IKDC主观评分从术前的（53.4±9.1）分显著提高到术后24个月的（80.8±12.9）分，并在术后84个月进一步显著提高到（88.3±10.3）分。IKDC客观评分也从基线时的4个正常膝关节提高到24个月时的7个，并在84个月时达到10个。TAS评分显示从基线水平的（3.9±1.4）分提高到24个月时的（4.7±0.9）分，并在84个月时达到（5.1±0.9）分，其在长期随访中提供了满意的临床结果。Kawano等[20]对25例接受自体梯形骨软骨单块移植术的患者平均59个月长期随访显示，LKSS评分从术前55.44分升至术后91.52分，采用梯形单块移植能够降低供体损伤，是不同大小软骨病变的安全有效治疗方案，中长期临床结果优异且并发症率低。

术后晚期，膝关节功能评分变化趋于平稳，部分患者可能会有小幅度下降，这大概与年龄增大、关节退行性改变等情况有关，不过术后晚期患者的膝关节功能还是明显好于术前。Wittig-Draenert等[21]对AOT术后患者进行了长期随访，IKDC主观评分从术前的（53.4±9.1）分显著提高到术后24个月的（80.8±12.9）分，并在术后84个月进一步显著提高到（88.3±10.3）分；Tegner评分亦从基线的（3.9±1.4）分提升至84个月时的（5.1±0.9）分，提示AOT在长期随访中能够提供持续满意的临床结果。此外，Orazi等[22]对接受单栓AOT的膝关节剥脱性骨软骨炎患者进行了至少10年的随访，结果显示主观IKDC评分从术前的（45.3±16.5）分显著提高至末次随访的（74.1±20.8）分（$P<0.05$），85.0%的患者对疗效表示满意；其中病变小于2 cm^2的患者长期评分最高，达（89.1±8.8）分。这表明单栓AOT在长期随访中能够提供稳定且满意的临床结果，尤其适用于小面积软骨缺损的修复。

五、软骨修复质量的影像与关节镜评估

（一）影像学检查评估

影像学检查对软骨修复质量的评估具有不可替代的作用，MRI是使用最多的一种检查方法，其具有高分辨率、多平面成像等优点，可以清晰地显示软骨的形态、厚度、信号强度等变化，为评估软骨修复质量提供了参考。MRI能清楚显示软骨的结构和形态变化，利用T2弛豫时间定量成像（T2 mapping）和延迟钆增强软骨磁共振成像（dGEMRIC）等技术可获得软骨内含水量、胶原纤维空间构象和糖胺聚糖（GAG）含量等信息，MRI能动态观察软骨在不同时间点上的变化，为临床软骨移植效果的评价提供了依据[23]。Tetta等[7]采用综合临床评估与MRI评估方法，对AOT术后长期效果进行了全面评估。MRI显示大部分患者的移植软骨存活良好，填充完整、移植整合满意、修复组织表面完整结构均匀。62.5%的患者移植软骨存活良好，75%的病例移植整合良好，70.8%的修复组织结构均匀。

（二）关节镜检查评估

关节镜能清楚地看到膝关节软骨的形状、损伤程度和范围，可以发现软骨表面的裂缝，缺失以及软骨下骨的暴露情况。Chow等[24]对33例接受关节镜下AOT治疗的患者进行了评估，结果显示术后膝关节情况明显好转，患者的LKSS评分从术前的平均43.6分提高到术后的平均87.5分。根据IKDC评估，26例患者（87%）的膝关节被评价为正常或接近正常，重复关节镜检查和移植活检显示7例患者的移植完全愈合，2例患者部分愈合。MRI检查显示11例患者的关节面一致性得到恢复。9例患者进行第二次关节镜检查，平均在术后8.8个月进行，结果显示7例患者（77.8%）的移植完全愈合，移植软骨与周围宿主软骨的弹性和颜色相同，关节面一致性良好。Maeda等[25]对1例AOT术后18年的患者的关节镜复查结果进行研究，患者第一次手术时进行了针对左膝股骨外侧髁（lateral femoral condyle，LFC）的AOT和外侧半月板（lateral meniscus，LM）修复，18年后患者再次因膝关节疼痛和卡绊症状就诊，体格检查发现左膝关节轻度肿胀和内侧关节间隙压痛，关节活动度下降。MRI检查发现内侧股骨髁软骨损伤和LM消失，而LFC的移植骨软骨栓仍然存在，软骨表面平滑，ICRS评分为10分，表明其长期存活与良好整合；关节镜检查发现内侧股骨髁软骨损伤和LM再次撕裂，因此行LM部分切除术和内侧股骨髁AOT。复查结果显示AOT移植的骨软骨栓在18年后仍然良好，软骨仍然存在。这些结果表明AOT在长期随访中具有良好的临床效果。

六、影响长期疗效的临床因素分析

（一）生物力学因素

1. AOT的位置

Walter等[26]通过羊膝关节样本模拟移植位置，分别为平齐、低于周围软骨1 mm、高于周围软骨1 mm、无软骨缺损，在400 N轴向载荷下进行循环运动，记录屈曲角度和对应扭矩，计算耗散能量。发现平齐和低于周围软骨1 mm的AOT移植

位置对膝关节摩擦影响较小，而高于周围软骨1 mm的位置显著增加摩擦。为了达到长期治疗的效果，应该选择低于周围软骨的移植位置，避免产生过多的关节摩擦和软骨损伤。

2. 下肢力线的影响

下肢力线的异常，特别是膝内翻畸形，被认为是影响膝关节软骨修复手术的关键生物力学因素[27]。单纯的软骨修复若置于异常负荷的力学环境中，移植物会因持续过度压力而发生退变或整合失败。因此，对于合并膝内翻的软骨缺损，力线矫正已成为保膝治疗的核心原则之一。一项针对56例内侧股骨髁骨软骨缺损合并内翻畸形（>2°）患者随访19年的研究，为力线矫正的必要性与长期价值提供了有力的证据[28]。该研究显示，采用AOT联合胫骨高位截骨术的联合治疗方案，取得了卓越的长期生存率：术后10年、15年和平均19年时的生存率分别高达87%、86%和77%；在临床功能方面，患者的LKSS评分平均提升39分（从41.8分至79.0分），96%的患者改善达到最小MCID；疼痛视觉模拟量表评分平均下降5.2分（从7.5分至2.3分），80%的患者超过了MCID。此外，TAS评分为（4.5±1.6）分，膝关节损伤和骨关节炎结局评分（knee injury and osteoarthritis outcome score，KOOS）各项子评分分别为：疼痛（81±21）分，症状（80±22）分，日常生活活动（85±21）分，体育（68±32）分，生活质量（67±28）分。这表明，通过截骨术将异常内翻力线矫正至生理或轻度外翻位，能为移植的骨软骨栓创造一个低应力、有利于长期存活的力学环境。

（二）发病部位及手术次数

Amai等[29]对患者接受AOT内固定术后功能恢复及临床结果进行了评价，发现内侧股骨髁病变患者重返伤前水平的时间（8.1个月）显著低于外侧股骨髁病变患者（12.9个月），初次手术后重返伤前水平的比率显著高于翻修手术后，这表明病变位置和手术次数是功能恢复的主要影响因素：内侧病变和初次手术恢复较快，而外侧病变和翻修手术因手术复杂性及位置因素导致恢复时间更长。

（三）年龄影响

Keszég等[6]的研究发现膝关节功能评分与年龄呈负相关，研究中患者在手术时年龄为（29.2±8.11）岁（14～45岁），随访时年龄为（46.76±8.11）岁（31～53岁），年龄超过45岁的患者占比很高（35/55）。患者IKDC评分（68.52±16.01）分，年龄越大IKDC评分越低。年龄较大者出现了膝骨关节炎的征象，特别是髌股关节不适，提示年龄增长可能会导致关节退变、骨关节炎。这表明，年龄可能不仅是生理愈合能力的指标，更可能与关节长期的生物力学环境及累积性磨损有关，因此在评估AOT的长期疗效时，需将患者年龄及其可能伴随的关节退变进程纳入考量。该研究也发现，末次随访时年龄超过45岁的患者中由关节炎引起的膝关节不适更为常见。这提示，对于接受此类手术且年龄偏大（尤其是超过45岁）的患者，在术后长期管理中，应更加重视生活方式的调整和骨关节炎的预防性干预。

七、膝关节AOT后随访中的并发症

AOT治疗膝关节骨软骨缺损，移植物失败率及翻修率较低，在小于36个月的中期随访中，自体移植的移植物失败率为0，同种异体移植为10.85%；自体移植的翻修率为3.83%，同种异体移植为12.29%；自体移植组疼痛率为7.30%，感染率为0.02%，表明AOT在短期到中期随访中有较好的疗效和较低的并发症发生率[30]。在一项平均随访59个月的研究中[20]，术后并发症以疼痛和关节弹响为主，所有患者在术后早期（约6个月）均出现这些症状，其中1例患者持续时间为10个月。没有患者出现骨软骨移植体的松动、塌陷，也没有发生血栓性静脉炎、感染等并发症。而对于远期随访（比如10年乃至更长时间）的关注度比较低。Gudas等[5]比较了AOT和MF术后失败率和并发症，在术后10年随访时，共有15例失败（26%），AOT组4例（14%），MF组11例（38%）（$P<0.05$）。大多数失败是因运动期间症状复发导致的，其余失败（AOT组3例，MF组2例）发生在初次手术后平均5.8年后。AOT组有4例患者因临床失败接受了再次手术，MF组有11例患者因临床失败接受了再次手术。在AOT组中，没有发现明显的骨性松动迹象，供体部位也没有发现任何并发症。MRI显示，AOT组修复组织的完整性和填充程度以及与周围软骨的整合均优于MF组。

八、未来展望

（一）随访方案优化

膝关节AOT后的长期随访当中，改善随访方案是提升临床决策科学性的关键部分。第一，找到更为恰当的随访时间节点属于改良随访方案的主要方向之一。当前大多数研究把焦点放在术后短期到中期的随访上，而对于长期随访的关注度比较低，这样一种时间分布的不均衡会对手术效果的全方位评价产生偏误。而且，随访方案的设计还要考虑到个体差别和群体特性，病人在年龄、基础情况、损伤状况等方面有着明显的差别，这些因素很可能会改变术后恢复进程以及长期随访的结果。所以，未来的研究可以探究个性化的随访方案，按照每个病人的具体情况来调整随访的时间节点和指标体系，从而增强随访的针对性和效率。

（二）新技术应用

医学技术不断发展，新型影像学技术以及生物标志物检测等新方法在膝关节AOT后的长期随访中应用前景广阔。在影像学技术上，高分辨力MRI、dGEMRIC、T2 mapping等先进成像技术均能更加准确地评估软骨修复质量和其长期变化趋势，高分辨力MRI可提供更细致的软骨形态学信息，dGEMRIC可量化软骨基质GAG含量变化，间接反映软骨修复的代谢状态[31-32]。

而且，生物标志物检测属于新生的随访手段，正慢慢突显出其在术后检查方面的特别优势。相关研究显示，部分血液或是关节液里的生物标志物，比如软骨寡聚基质蛋白、基质金属蛋白酶等物质[33-35]，可以灵敏地表现出软骨新陈代谢活动以及炎症反应的强度，定时观察这些生物标志物的变动情况，能够较早地察觉到手术之后可能出现的并发症状况或者软骨老化现象，在此期间把人工智能技术同图像数据资料

和生物标志物检测成果做总体研究，会进一步提高随访的精确度和前瞻性，运用新科技不但能极大改进随访的科学性和精确程度，还会给术后的管理工作提供更多的支持。

参 考 文 献

[1] Culvenor AG, Øiestad BE, Hart HF, et al. Prevalence of knee osteoarthritis features on magnetic resonance imaging in asymptomatic uninjured adults: a systematic review and Meta-analysis[J]. Br J Sports Med, 2019, 53(20):1268-1278.

[2] Jiang Y, Hu X, Huang H, et al. Epidemiology of knee articular cartilage injuries in patients undergoing arthroscopy: insights from 25,293 procedures at a high-volume center[J]. Orthop Surg, 2026, 18(4): 670-684.

[3] Taşkiran E, Ozçelik C. [Autologous osteochondral transplantation]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2007, 41 Suppl 2: 70-78.

[4] 代岭辉. 膝关节软骨损伤修复重建指南(2021)[J]. 中国运动医学杂志, 2022, 41(4): 249-259.

[5] Gudas R, Gudaite A, Pocius A, et al. Ten-year follow-up of a prospective, randomized clinical study of mosaic osteochondral autologous transplantation versus microfracture for the treatment of osteochondral defects in the knee joint of athletes[J]. Am J Sports Med, 2012, 40(11): 2499-2508.

[6] Keszég M, Hangody L, Egyed Z, et al. Long-term (10-25 years) outcomes of knee osteochondral autologous transplantation in soccer players[J]. JCJP, 2022, 2(2): 100062.

[7] Tetta C, Busacca M, Moio A, et al. Knee osteochondral autologous transplantation: long-term MR findings and clinical correlations[J]. Eur J Radiol, 2010, 76(1): 117-123.

[8] Rose T, Craatz S, Hepp P, et al. The autologous osteochondral transplantation of the knee: clinical results, radiographic findings and histological aspects[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2005, 125(9): 628-637.

[9] 刘嘉鑫, 高永利, 张广瑞, 等. 自体骨软骨移植治疗膝关节软骨缺损的长期随访[J]. 中国骨伤, 2019, 32(4): 346-349.

[10] 张鹏, 荆琳, 邸冬雪, 等. 关节镜下自体骨软骨移植并服温阳益髓方修复膝骨关节炎的软骨缺损[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(26): 4135-4140.

[11] 孙剑, 李鹏翠, 卫小春. 第十五届国际软骨修复学会年会会议纪要[J]. 实用骨科杂志, 2020, 26(1): 95-96.

[12] 李杰峰, 金艳南, 王庆东, 等. 关节镜下自体骨软骨移植对膝关节局限性软骨损伤的临床疗效评价[J]. 组织工程与重建外科, 2024, 20(1): 83-86, 92.

[13] 鲁锐, 潘其勇, 李文凯, 等. 自体骨软骨移植治疗股骨髁软骨缺损[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2016, 45(6): 644-649.

[14] 付焘, 于长禾, 张洋, 等. 膝骨关节炎临床研究中结局评价指标的应用现况[J]. 中国医药导报, 2018, 15(29): 21-24, 28.

[15] Nassar JE, Guerin G, Keel T, et al. Autologous chondrocyte implantation, matrix-induced autologous chondrocyte implantation, osteochondral autograft transplantation and osteochondral allograft improve knee function and pain with considerations for patient and cartilage defects characteristics: a systematic review and Meta-analysis[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2025, 33(8): 2745-2762.

[16] 黄福均, 王聪聪, 张益民, 等. 关节镜下自体骨软骨移植治疗股骨负重区软骨缺损的疗效分析[J]. 现代医药卫生, 2021, 37(9): 1442-1444, 1448.

[17] 李国玉, 郝一凡, 龚文龙, 等. 关节镜下自体骨软骨移植镶嵌技术治疗股骨髁负重区软骨磨损疗效观察[J]. 潍坊医学院学报, 2020, 42(2): 150-152.

[18] 魏孔星, 裴建花, 胡杰亮, 等. 关节镜下自体新鲜关节软骨塞移植治疗膝关节软骨缺损的微创治疗[J]. 智慧健康, 2019, 5(34): 54-56, 59.

[19] Di Martino A, Silva S, Andriolo L, et al. Osteochondral autograft transplantation versus autologous bone-cartilage paste grafting for the treatment of knee osteochondritis dissecans[J]. Int Orthop, 2021, 45(2): 453-461.

[20] Kawano CT, Santos MM, Oliveira MG, et al. Trapezoidal osteochondral autologous plug single-block graft for treating chondral lesions of the knee: clinical and functional medium-term results in an observational study[J]. Clinics (Sao Paulo), 2012, 67(10): 1191-1195.

[21] Wittig-Draenert A, Breitwieser M, Wittig J, et al. Autologous osteochondral transplantation in large osteochondral defects-a follow-up of 52 patients after knee joint resurfacing[J]. J Clin Med, 2025, 14(17): 6180.

[22] Orazi S, Andriolo L, Franceschini M, et al. Single-plug osteochondral autograft transplantation for knee osteochondritis dissecans: clinical improvement and long-term survivorship at a minimum ten year follow-up[J]. Int Orthop, 2024, 48(10): 2625-2632.

[23] 徐贤, 陈敏, 张君, 等. 磁共振T2 mapping和dGEMRIC对膝关节再生软骨的纵向评估[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(5): 484-488.

[24] Chow JC, Hantes ME, Houle JB, et al. Arthroscopic autogenous osteochondral transplantation for treating knee cartilage defects: a 2- to 5-year follow-up study[J]. Arthroscopy, 2004, 20(7): 681-690.

[25] Maeda T, Nakagawa Y, Mukai S. Re-arthroscopic findings 18 years after osteochondral autologous transplantation for cartilage lesion in the knee: a case report[J]. J Orthop Case Rep, 2025, 15(1): 193-196.

[26] Walter C, Trappe D, Beck A, et al. Effect of graft positioning on dissipated energy in knee osteochondral autologous transplantation-a biomechanical study[J]. J Orthop Res, 2020, 38(8): 1727-1734.

[27] Ackermann J, Merkely G, Arango D, et al. The effect of mechanical leg alignment on cartilage restoration with and without concomitant high tibial osteotomy[J]. Arthroscopy, 2020, 36(8): 2204-2214.

[28] Ehmann YJ, Esser T, Vieider RP, et al. Clinical outcomes and long-term survivorship after osteochondral autologous transfer combined with valgus high tibial osteotomy: an analysis after 19 years with 56 patients[J]. Am J Sports Med, 2024, 52(12): 3004-3012.

[29] Amai K, Kanto R, Onishi S, et al. Functional recovery and clinical outcome after internal fixation using osteochondral autologous transplantation for osteochondritis dissecans of the knee[J]. Orthop J Sports Med, 2025, 13(1): 23259671241302125.

[30] Seow D, Koh J, Cheang H, et al. Noninferiority meta-analysis of autologous vs allogeneic osteochondral transplantation for the treatment of osteochondral defects of the knee confounded by defect size differences[J]. JCJP, 2024, 4(3): 100130.

[31] 王晓辉, 于静红. MR定量成像技术在骨性关节炎早期诊断中的应用研究进展[J]. 疑难病杂志, 2024, 23(7): 893-896.

[32] 雷格格, 张光锋, 贾慧惠, 等. 短T2组织磁共振成像技术研究进展[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(5): 594-598.

[33] 金炼驰, 赖永洁. 软骨寡聚基质蛋白与疾病关系的研究进展[J]. 天津医药, 2021, 49(3): 330-336.

[34] 黄远, 刘日光, 张沏, 等. 膝关节骨关节炎相关炎症及软骨代谢标志物的表达与临床意义[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(11): 1614-1619, 1625.

[35] 简蔚泓, 丁健, 沈峰, 等. 骨性关节炎患者生物标志物透明质酸、软骨寡聚基质蛋白、基质金属蛋白酶3水平的变化及意义[J]. 中国当代医药, 2019, 26(34): 62-64.

（收稿日期：2025-11-02）
（本文编辑：龚哲妮）

引用格式

李燚雯, 王栋, 丁朋涛, 等. 膝关节自体骨软骨移植术后长期随访：关节功能恢复与影响因素[J]. 骨科, 2026, 17(5): 497-501. DOI:10.3969/j.issn.1674-8573.2026.05.018.