

关节镜下手术治疗后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折的研究进展

王旭阳^{1,2}, 郭子腾^{2,3}, 吕剑², 刘飞^{2*}

¹承德医学院, 河北 承德

²秦皇岛市第一医院骨科二病区, 河北 秦皇岛

³河北医科大学, 河北 石家庄

收稿日期: 2024年2月8日; 录用日期: 2024年3月2日; 发布日期: 2024年3月12日

摘要

后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折是一种特殊类型的膝关节内骨折, 可导致后交叉韧带松弛, 影响膝关节的稳定性, 致使骨关节炎的发生。近年来随着关节镜微创技术的发展, 逐渐成为治疗交叉韧带胫骨止点撕脱骨折的重要手段。目前其治疗方法众多, 尚无统一的治疗方案。本文对关节镜技术手术治疗后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折的相关研究进展进行综述。

关键词

关节镜, 后交叉韧带, 撕脱骨折

Research Progress of Arthroscopic Surgical Treatment of Posterior Cruciate Ligament Tibial Arrest Avulsion Fracture

Xuyang Wang^{1,2}, Ziteng Guo^{2,3}, Jian Lyu², Fei Liu^{2*}

¹Chengde Medical University, Chengde Hebei

²The Second Ward of Orthopedics Department, The First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao Hebei

³Hebei Medical University, Shijiazhuang Hebei

Received: Feb. 8th, 2024; accepted: Mar. 2nd, 2024; published: Mar. 12th, 2024

Abstract

Posterior cruciate ligament tibial arrest avulsion fracture is a special type of intra-knee fracture,

*通讯作者。

文章引用: 王旭阳, 郭子腾, 吕剑, 刘飞. 关节镜下手术治疗后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折的研究进展[J]. 临床医学进展, 2024, 14(3): 222-227. DOI: 10.12677/acm.2024.143688

which can lead to posterior cruciate ligament relaxation, affect the stability of the knee joint, and lead to osteoarthritis. In recent years, with the development of minimally invasive arthroscopy, it has gradually become an important means to treat posterior cruciate ligament tibial arrest avulsion fracture. At present, there are many treatment methods, and there is no unified treatment plan. This article reviews the progress of arthroscopic surgery for posterior cruciate ligament tibial arrest avulsion fracture.

Keywords

Arthroscopy, Posterior Cruciate Ligament, Avulsion Fracture

Copyright © 2024 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. 引言

后交叉韧带(posterior cruciate ligament, PCL)是膝关节的重要稳定结构, 主要限制胫骨相对股骨向后滑移, 并在膝关节的整体旋转稳定性中起着次要作用[1]。PCL 胫骨止点撕脱骨折是一种特殊类型的膝关节内骨折, 可导致 PCL 松弛, 影响膝关节的稳定性, 致使骨关节炎的发生[2]。近年来随着关节镜微创技术的发展, 逐渐成为治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折的重要手段。目前其治疗方法众多, 尚无统一的治疗方案。本文对关节镜技术手术治疗后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折的相关研究进展进行综述。

2. PCL 的解剖学与生物力学

PCL 起于股骨髁间窝的股骨内侧髁的外侧面, 形状呈半环状, 胫骨侧止点位于胫骨髁间棘的后方, 呈不规则四边形, 胫骨附着处为斜坡, 与水平面的夹角为 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ [1]。国外 Girgis 等人[3]描述了 PCL 的平均长度为 38.1 mm, 而其中间部分的平均宽度为 13 mm。国内陶澄等人[4]测得国人 PCL 平均长度为 33.8 mm, 平均宽度为 10.4 mm, 他们认为中国人膝关节 PCL 长度低于西方人种。PCL 的主要功能是防止胫骨相对于股骨的后移, PCL 由前外侧束和后内侧束组成, 较大的前外束在屈曲时变紧, 而较小的后内束在伸展时变紧[5]。Harner 等人[6]研究后交叉韧带的生物力学特性后发现, 前外侧束的线性刚度和极限载荷要显著高于后内侧束和半月板股韧带。半月板股韧带并不存在于所有的个体, 它分为汉弗莱韧带(Humphrey ligament)和里斯伯格韧带(Wrisberg ligament), 均起自外侧半月板后角, 止于股骨内侧髁外侧面后交叉韧带止点的前、后方[7]。在存在的情况下, 汉弗莱韧带和里斯伯格韧带充当胫骨后移的次要稳定结构[8]。当 PCL 缺失时, 后抽屉实验移位增加而前抽屉实验没有变化, 旋转稳定性在伸膝位没有变化但在屈膝位有改变。

3. PCL 胫骨止点撕脱骨折的损伤机制、分型及治疗原则

PCL 胫骨止点撕脱骨折通常由外伤引起, 其损伤机制类似于膝关节内 PCL 撕裂[9]。最常见的情况是在机动车事故中, 尤其是摩托车事故中, 当膝关节屈曲时, 对胫骨近端直接施加向后的力导致仪表盘伤害。因此, 在摩托车使用更为普遍的中国、印度等国家, PCL 撕脱骨折更常见。第二种常见的损伤机制是与运动相关的创伤, 其机制是膝关节过度伸展[10]。

关于 PCL 胫骨止点撕脱骨折的分型, 大多数学者常用的分型是 1959 年 Meyers 和 MckeeVer 依据髁间嵴撕脱骨折块的骨折移位程度提出的 Meyers-MckeeVer 分型[11], 对临床治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折

具有重要的指导意义。Meyers-McKeeVer 分型分为 3 型：I 型为没有移位的骨折；II 型为部分移位的骨折；III 型为完全移位性骨折。Zaricynyl [12] 在他们的基础上提出了 IV 型胫骨髁间嵴骨折粉碎并移位。PCL 胫骨止点撕脱骨折的分型可以预示骨折复位和固定中的难度，对治疗有重要的指导意义。

学者们大多认为对于 Meyers & McKeever 分型 I 型没有发生移位的骨折可采用保守治疗，II~IV 型发生移位的骨折通常需要采用手术治疗以恢复膝关节的解剖结构和稳定性。目前手术治疗方式主要分为两种：关节镜下复位固定和传统切开复位内固定。传统切开复位内固定手术治疗具有较大的创伤性，需要很长的皮肤切口，并且会导致肌肉和关节囊损伤，还存在腓神经血管损伤的潜在风险[13] [14]。近年来，随着关节镜手术技术的发展，关节镜下手术治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折逐渐被推广起来，关节镜下复位内固定术具有创伤小，由于减少了肌肉和关节囊的暴露，因此减少了软组织损伤和术后瘢痕的形成，同时能够解决膝关节内伴随病变，如半月板撕裂等。

4. 关节镜下复位固定

关节镜是一种在内窥镜指导下进行关节检查 and 治疗的微创技术，在近年来得到了广泛的应用，已成为治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折的重要诊疗手段。1988 年 Martinez-Moreno 和 Blanco-Blanco 首次[15]描述了一种基于关节镜辅助下治疗膝关节后交叉韧带撕脱性骨折(posterior cruciate ligament avulsion fracture, PCLAF)的新型内固定技术，在关节镜外科医生的操作下，这种技术可能是治疗 PCLAF 的有效替代方案，可以避免关节切开术。对于关节镜下治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折的手术入路众多，大多根据关节镜外科术者的习惯建立相应的手术入路，一般常规建立的手术入路为标准膝关节前内侧和前外侧入路，而膝关节后方的入路则有极后高位入路、双后内侧入路、后正中和后外侧入路、后内侧和后外侧入路等。此后，各种关节镜下复位内固定材料被用于治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折的，包括钢丝或缝线固定、空心螺钉固定、带线缝合锚钉固定、Endobutton 带襟钢板固定、可调节皮质纽扣固定等。

4.1. 钢丝或缝线固定

关节镜下钢丝或缝线固定治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折具有操作简便、固定牢靠、不会破坏骨髓、并且对于小而碎的撕脱骨折具有很不错的治疗效果等优点，临床的应用相对比较广泛。Kim 等人[16]首次描述了在关节镜下使用缝线或钢丝通过骨隧道固定 PCL 胫骨止点撕脱骨折，并证明可以使用钢丝或多股缝线固定小或粉碎性骨折块。文献报道钢丝固定存在易折断、切割骨折块及骨隧道导致固定失败的风险，且存在骨折愈合后取出困难的问题。Zhao 等人[17]设计的关节镜下通过“Y”型骨隧道缝合固定技术治疗后交叉韧带(PCL)胫骨撕脱性骨折，通过“Y”型骨隧道拉出并固定在钛纽扣上，可以恢复大多数患者的关节稳定性和功能。刘玉强等人[18]采用关节镜下“4”字位三入路“8”字缝线固定治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折临床疗效满意。朱波涛等人[19]报道了关节镜下单隧道缝线套捆固定术治疗成人 PCL 胫骨止点骨折取得了很好的治疗效果。有文献报道缝线固定存在隧道定向不准确或不平衡的应力，导致骨折块复位欠佳，缝线固定需要在 PCL 胫骨止点撕脱骨折块上方的韧带根部进行打结，缝线与胫骨之间容易形成“Killer turn (杀手转角)”，而且缝线通过胫骨骨隧道打结固定容易出现“雨刷效应”和“蹦极效应”，容易导致 PCL 胫骨止点撕脱骨折愈合不佳。

4.2. 空心螺钉固定

采用空心螺钉作为内固定材料，对 PCL 胫骨止点撕脱骨折进行治疗，其操作简便，且能获得极高的固定稳定性，疗效显著。Veselko 等人[20]首次在关节镜下通过膝关节后方入路使用空心螺钉和垫片顺行固定的技术，其固定强度高，足够稳定，可以早期进行功能锻炼。有文献报道在使用空心螺钉固定时尽量垂直于骨折线固定，避免因为应力不均将骨折块拧碎。王新民等人[21]使用改良设计的关节镜下极后高

位入路置入空心螺钉固定治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折在置钉时空心螺钉基本与骨折线垂直, 避免因为应力不均将骨折块拧碎, 随访疗效满意。Ahmed 等人[22]采用关节镜下逆行螺钉固定治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折是一种有效的治疗方法。邓永等人[23]在关节镜下采用空心钉结合带齿垫片进行固定治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折, 取得了良好的治疗效果。文献报道使用空心螺钉固定由于置钉位置的不准确可能会导致髁间窝的撞击和软骨损坏, 对于青少年骨骺发育尚未成熟的患者还存在损伤骨骺的风险。

4.3. 带线缝合锚钉固定

使用带线缝合锚钉固定 PCL 胫骨止点撕脱骨折块, 不需要建立骨隧道而且没有损伤骨骺和髁间窝撞击的风险, 可以提供可靠的固定和抵抗韧带强烈的张力。由于带线缝合锚钉有多根缝线能够使骨折块均匀受力复位固定, 不存在切割骨块的风险, 而且一般无需再次手术取出。Nourbakhsh 等人[24]报道了关节镜下使用双排带线缝合锚钉缝合桥技术治疗 PCL 撕脱性骨折。杨树龙等人[25]采用关节镜下双排锚钉缝合桥手术治疗急性期的 PCLAF 患者的骨质愈合好, 预后佳, 术后 1.5 年时 76.5% 的患者已重返体育运动。有学者认为使用带线锚钉固定治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折镜下操作技术要求较高, 对于 PCL 撕脱骨折块较大者, 关节镜下操作视野受限, 植钉及过线空间小, 操作难度大, 更适合切开手术[26]。

4.4. Endobutton 及可调节皮质纽扣固定

Horas 等人[27]描述了一种新的全内悬吊固定技术, 该技术通过建立 1 个 4.5 mm 的胫骨骨隧道, 使用 2 个缝合盘和 1 个线带用于后交叉韧带撕脱骨折的复位和固定, 该技术的优点是通过缝合盘均匀分布骨折块上的压力, 实现骨折块间的连续加压, 为骨折块愈合创造最佳条件。Wajsfisz 等人[28]对 2 例孤立性 PCL 胫骨止点撕脱骨折的患者使用具有生物力学特性的 Endobutton 固定装置, 这种悬吊固定技术简单、快速且易于重现。唐兆鹏等人[29]在关节镜下采用 Endo-Button 钛板结合高强缝线 SMC 结用于 PCL 撕脱骨折获得良好的治疗效果。有学者认为 Endobutton 需要在手术过程中保留长度, 缺乏可控性, 如果长度计算错误, 钢板无法翻转或保留长度过大, 导致骨隧道顶部与移植物之间存在间隙。

Gwinner 等人[30]介绍一种使用 TightRope 治疗后交叉韧带胫骨撕脱骨折的新型全内关节镜重建技术, 后来他们对 4 例 PCL 胫骨止点撕脱骨折的患者进行临床治疗初步治疗结果令人满意。Zhu 等人[31]报道了对 30 例 PCL 胫骨止点撕脱骨折的患者使用可调式皮质纽扣固定装置, 取得了不错的治疗结果。Domnick 等人[32]通过对 PCL 胫骨止点撕脱骨折 4 种不同的固定方法进行生物力学实验, 结果显示皮质纽扣悬吊固定技术和逆行螺钉固定技术与直接顺行螺钉固定技术具有相同的结构特性, 且皮质纽扣悬吊固定导致的循环伸长率低于顺行螺钉固定。这种可调式皮质纽扣装置使用技术简单, 体积小, 操作方便, 可为撕脱部位提供均匀的压力分布, 有学者认为该固定装置可扩展至任何大小的撕脱骨折, 也有学者认为该装置不适用于小而碎的撕脱骨折块, 对于青少年在建立胫骨骨隧道时存在损伤骨骺的风险。

5. 小结与展望

PCL 胫骨止点撕脱骨折的发生率并不高, 我们应该重视它的诊断和治疗。近年来随着关节镜微创医学的不断发展, 微创治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折已经被广泛推广。关节镜治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折与传统切开治疗具有以下优势: 1) 可以处理膝关节内合并的损伤, 如半月板、关节软骨损伤等; 2) 创伤小, 恢复快, 损伤神经血管的概率低, 有利于患者早日恢复正常生活; 3) 各种关节镜下内固定材料和技术越来越简便, 能在镜下能很好的进行骨折的复位与固定, 还可以在关节镜下评估固定的效果。在众多关节镜下治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折的各种固定方法中没有金标准, 各有利弊。作者认为随着关节镜技术不断的发展, 新的技术和固定材料的出现, 相信在不久的将来, 关节镜下治疗 PCL 胫骨止点撕脱骨折会更简便, 更易于重现, 治疗效果更好。

基金项目

秦皇岛市 2021 年市级科学技术研究与发展(202101A043)。

参考文献

- [1] Lynch, T.B., Chahla, J. and Nuelle, C.W. (2021) Anatomy and Biomechanics of the Posterior Cruciate Ligament. *The Journal of Knee Surgery*, **34**, 499-508. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1725007>
- [2] Gopinath, V., Mameri, E.S., Casanova, F.J., et al. (2023) Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Outcomes after Management of Posterior Cruciate Ligament Tibial Avulsion Fractures. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, **11**. <https://doi.org/10.1177/23259671231188383>
- [3] Girgis, F.G., Marshall, J.L. and Monajem, A. (1975) The Cruciate Ligaments of the Knee Joint: Anatomical, Functional and Experimental Analysis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **106**, 216-231. <https://doi.org/10.1097/00003086-197501000-00033>
- [4] 陶澄, 何爱咏, 王万春. 膝关节后交叉韧带解剖研究及临床意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2007, 25(2): 176-178.
- [5] 蔡伟创, 徐一宏, 徐卫东. 后交叉韧带的解剖及病理生理与生物力学研究[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2021, 15(4): 470-475.
- [6] Harner, C.D., Xerogeanes, J.W., Livesay, G.A., Carlin, G.J., Smith, B.A., Kusayama, T., Kashiwaguchi, S. and Woo, S.L. (1995) The Human Posterior Cruciate Ligament Complex: An Interdisciplinary Study: Ligament Morphology and Biomechanical Evaluation. *The American Journal of Sports Medicine*, **23**, 736-745. <https://doi.org/10.1177/036354659502300617>
- [7] Winkler, P.W., Zsidai, B., Wagala, N.N., et al. (2021) Evolving Evidence in the Treatment of Primary and Recurrent Posterior Cruciate Ligament Injuries, Part 1: Anatomy, Biomechanics and Diagnostics. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **29**, 672-681. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06357-y>
- [8] Hassebrock, J.D., Gulbrandsen, M.T., Aspree, W.L., et al. (2020) Knee Ligament Anatomy and Biomechanics. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, **28**, 80-86. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000279>
- [9] Suneja, A., Deshpande, S.V., Wamborikar, H., et al. (2023) Outcome Analysis of Posterior Cruciate Ligament Injuries: A Narrative Review. *Cureus*, **15**, e47410. <https://doi.org/10.7759/cureus.47410>
- [10] Katsman, A., Strauss, E.J., Campbell, K.A., et al. (2018) Posterior Cruciate Ligament Avulsion Fractures. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, **11**, 503-509. <https://doi.org/10.1007/s12178-018-9491-2>
- [11] Meyers, M.H. and Mckeever, F.M. (1959) Fracture of the Intercondylar Eminence of the Tibia. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **41**, 209-222. <https://doi.org/10.2106/00004623-195941020-00002>
- [12] Zaricznyj, B. (1977) Avulsion Fracture of the Tibial Eminence: Treatment by Open Reduction and Pinning. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **59**, 1111-1114. <https://doi.org/10.2106/00004623-197759080-00022>
- [13] 武洵, 涂世成, 方志宇, 等. 不同入路可吸收螺钉固定治疗后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折的疗效比较[J]. 创伤外科杂志, 2023, 25(12): 903-908, 923.
- [14] 李金磊, 杨景帆, 王燕波, 等. 后交叉韧带胫骨止点撕脱性骨折镜下与切开复位的临床研究[J]. 云南医药, 2023, 44(3): 36-40.
- [15] Martinez-Moreno, J.L. and Blanco-Blanco, E. (1988) Avulsion Fractures of the Posterior Cruciate Ligament of the Knee: An Experimental Percutaneous Rigid Fixation Technique under Arthroscopic Control. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **237**, 204-208. <https://doi.org/10.1097/00003086-198812000-00029>
- [16] Kim, S.J., Shin, S.J., Cho, S.K., et al. (2001) Arthroscopic Suture Fixation for Bony Avulsion of the Posterior Cruciate Ligament. *Arthroscopy*, **17**, 776-780. <https://doi.org/10.1053/jars.2001.22392>
- [17] Zhao, J., He, Y. and Wang, J. (2006) Arthroscopic Treatment of Acute Tibial Avulsion Fracture of the Posterior Cruciate Ligament with Suture Fixation Technique through Y-Shaped Bone Tunnels. *Arthroscopy*, **22**, 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2005.10.020>
- [18] 刘玉强, 李明, 刘宁. 镜下“8”字法缝线固定后交叉韧带胫骨撕脱骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30(2): 174-177.
- [19] 朱波涛, 董佩龙, 唐晓波, 等. 关节镜下单隧道缝线套捆固定术治疗成人后交叉韧带胫骨止点骨折[J]. 中国修复重建外科杂志, 2023, 37(6): 658-662.
- [20] Veselko, M. and Saciri, V. (2003) Posterior Approach for Arthroscopic Reduction and Antegrade Fixation of Avulsion Fracture of the Posterior Cruciate Ligament from the Tibia with Cannulated Screw and Washer. *Arthroscopy*, **19**, 916-921. [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(03\)00748-5](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(03)00748-5)

- [21] 王新民, 赵海霞, 王巍, 等. 关节镜极后高位入路置钉治疗后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2017, 11(6): 582-588.
- [22] Ahmed, W. and Mohamed, M. (2020) Results of Arthroscopic-Assisted Retrograde Fixation of the Posterior Cruciate Ligament Avulsions. *The Egyptian Orthopaedic Journal*, **55**, 1-6. <https://doi.org/10.4103/1110-1148.319291>
- [23] 邓永, 牛和明, 李俊. 关节镜下空心钉联合带齿垫片内固定治疗后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折疗效观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36(4): 414-416.
- [24] Nourbakhsh, S.T., Bahramian, F., Zafarani, Z., Alidousti, A. and Aslani, H. (2016) Arthroscopic Bridge Technique for PCL Avulsion: Surgical Technique and Key Points. *The Archives of Bone and Joint Surgery*, **4**, 393-395.
- [25] 杨树龙, 任向宇, 刘哲, 等. 后交叉韧带撕脱骨折行关节镜下缝合桥固定术的康复评定及预后分析[J]. 科技导报, 2023, 41(23): 64-71.
- [26] 吴市春, 徐伟华, 林文祥, 等. 关节镜下缝线桥技术与常规双隧道缝线技术治疗后交叉韧带止点撕脱骨折的早期疗效比较[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(7): 829-835.
- [27] Horas, U., Meissner, S.A., Heiss, C. and Schnettler, R. (2010) Arthroscopic Fixation of Posterior Cruciate Ligament Avulsion Fractures: A New Minimally Invasive Technique. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **18**, 781-783. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0937-3>
- [28] Wajsfisz, A., Makridis, K.G., Van Den Steene, J.Y. and Djian, P. (2012) Fixation of Posterior Cruciate Ligament Avulsion Fracture with the Use of a Suspensory Fixation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **20**, 996-999. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1702-y>
- [29] 唐兆鹏, 李玉吉, 吴锦秋, 等. 关节镜下 Endo-Button 钛板结合高强线 SMC 结治疗后交叉韧带撕脱骨折[J]. 实用骨科杂志, 2022, 28(1): 83-85, 95.
- [30] Gwinner, C., Kopf, S., Hoburg, A., et al. (2014) Arthroscopic Treatment of Acute Tibial Avulsion Fracture of the Posterior Cruciate Ligament Using the TightRope Fixation Device. *Arthroscopy Techniques*, **3**, E377-E382. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2014.02.005>
- [31] Zhu, Y., Yuan, T., Cai, D., et al. (2023) Adjustable-Loop Cortical Button Fixation Results in Good Clinical Outcomes for Acute Tibial Avulsion Fracture of the Posterior Cruciate Ligament. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, **5**, E307-E313. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2022.11.012>
- [32] Domnick, C., Kösters, C., Franke, F., et al. (2016) Biomechanical Properties of Different Fixation Techniques for Posterior Cruciate Ligament Avulsion Fractures. *Arthroscopy*, **32**, 1065-1071. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.10.013>