

· 综述 ·



全文二维码

钆增强灌注磁共振预测发育性髋关节脱位 闭合复位后股骨头坏死的研究进展

刘雁寒 徐宏文

广州医科大学附属妇女儿童医疗中心儿童骨科, 广州 510630

通信作者: 徐宏文, Email: gzorthopedics@qq.com

【摘要】 发育性髋关节脱位 (developmental dislocation of the hip, DDH) 是常见的儿童下肢先天性畸形之一。目前, 全身麻醉下闭合复位、人位石膏固定是 6~24 月龄 DDH 患儿的首选治疗方法, 而股骨头缺血性坏死 (avascular necrosis, AVN) 是 DDH 闭合复位后的主要并发症之一。有证据表明, DDH 闭合复位后行钆增强灌注磁共振 (gadolinium-enhanced perfusion MRI, pMRI) 检查可以为外科医师提供股骨头血流灌注及信号改变的数据。早期发现髋关节复位时的缺血, 可能可以预测 AVN 的后期发展, 将是进一步研究修改当前治疗方法或创造新治疗方法的基础。本文就 pMRI 预测 DDH 闭合复位后 AVN 发生的研究进展进行综述。

【关键词】 发育性髋关节发育不良; 股骨头坏死; 磁共振血管造影术; 预测

基金项目: 国家自然科学基金 (82402179)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202409064-016

Research advances on using pMRI for predicting avascular necrosis after closed reduction in developmental dislocation of the hip

Liu Yanhan, Xu Hongwen

Department of Pediatric Orthopedics, Women and Children's Medical Center, Guangzhou Medical University, Guangzhou 510630, China

Corresponding author: Xu Hongwen, Email: gzorthopedics@qq.com

【Abstract】 Developmental dislocation of the hip (DDH) is one of the most common congenital deformities of the lower limbs in children. Currently, closed reduction under general anesthesia followed by spica cast fixation is the first-line treatment for DDH in children aged 6 to 24 months. However, avascular necrosis (AVN) of the femoral head remains a major complication following closed reduction. There is a growing evidence that gadolinium-enhanced perfusion magnetic resonance imaging (pMRI) after closed reduction can provide valuable data regarding femoral head blood perfusion and signal alterations. Early detection of ischemia during reduction may allow for prediction of AVN development, which could form the basis for further modifications to current treatment protocols or the development of new therapeutic approaches. This review summarizes recent advances in the use of pMRI for predicting AVN following closed reduction of DDH.

【Key words】 Developmental Dysplasia of the Hip; Femur Head Necrosis; Magnetic Resonance Angiography; Forecasting

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82402179)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202409064-016

发育性髋关节脱位 (developmental dysplasia of the hip, DDH) 是儿童下肢常见先天性畸形之一。对于 6~24 月龄 DDH 患儿, 可采用全身麻醉下髋关节闭合复位、人位石膏固定治疗。DDH 闭合复位后最主要并发症是股骨头缺血性坏死 (avascular necrosis, AVN), 严重的 AVN 具有致畸、致残性。目前, 人位石膏固定已替代传统蛙式位石膏固定的过度髋外

展体位, 得到普遍应用。该方法将双髋外展角度固定不超过 55°~60°, 避免了髋关节的过度外展^[1]。但根据 2 岁以内 DDH 闭合复位 5 年以上的随访结果, AVN 的发生率仍有 10% 左右^[2]。最新证据表明, DDH 闭合复位后行磁共振检查, 是一种安全、有效和可靠的成像评估方式^[3-4]。而钆增强灌注磁共振 (gadolinium-enhanced perfusion MRI, pMRI) 可

以为外科医师提供股骨头血液灌注及信号改变的数据^[5-6]。但到目前为止,还没有将 pMRI 作为预判及减少 AVN 发生的闭合复位后决策工具的可靠研究。本文就 pMRI 预测和防治 DDH 闭合复位后 AVN 发生的研究进展进行综述。

一、DDH 闭合复位后发生 AVN 的病理学因素

目前 DDH 复位后 AVN 的发生机制主要有血管受压学说和机械性压力学说。血管受压学说认为,由于特殊的解剖结构发育,股骨近端容易受到血流中断的影响。在 DDH 闭合复位后,髂腰肌和内收肌共同挤压旋股内侧动脉,影响股骨头外侧的血供而引起 AVN^[7]。同时,脱位侧股骨头的微血管发育较对侧差,亦可能是 DDH 日后发生 AVN 的危险因素^[8]。机械性压力学说认为,DDH 复位后,股骨头受到髋臼的机械性压迫,导致股骨头软骨内血管阻塞引起 AVN。Schoenecker 等^[9]使用犬模型评估了股骨头在几个不同外展位以及通过外固定架对股骨头施加压迫时的血流情况,证实压迫显著减少了股骨头的血液灌注。然而,Gore^[10]的研究指出,股骨头受到的压力不能解释骨髓和干骺端的改变。此外,也有许多 DDH 治疗后对侧未受累髋关节发生 AVN 的报道^[11-13]。由于没有一个直观的机制来增加未受累髋关节的压力,因此过度外展在这些情况下似乎是未受累髋关节发生 AVN 的原因。因此,目前认为,很可能这两种机制都发挥了作用,在闭合复位后,各种外源性因素的改变,最终影响了股骨头的血液灌注,引起 AVN。

二、DDH 并发 AVN 的影像学表现

鉴于 DDH 闭合复位后发生 AVN 的潜在机制尚未完全清楚,因此对 AVN 做出及时的诊断具有挑战性。最常用的 AVN 诊断标准由 Salter 等^[14]于 1969 年制定,他们针对 AVN 的定义不包括股骨头碎裂或“暂时性不规则骨化”,因为他们认为这是一种血运重建现象,这导致了诊断 AVN 的一个基本要素是需要随访足够的时间,从而让股骨头的“暂时性不规则骨化”得到修复。根据 Salter 等^[14]的标准,诊断 AVN 至少需要 1 年的时间,在某些情况下,AVN 直到治疗后 12 年才变得明显^[15]。Thomas 等^[16]指出,II 型 AVN 直到治疗后平均 7 年才出现,因此,DDH 患儿必须随访至骨骼成熟,以确定没有发生 AVN。传统上通过 X 线平片或 CT 来验证 DDH 闭合复位后股骨头同心圆复位^[17-18]。然而,这些方法不能提供股骨头血管分布的信息,诊断 AVN 的放射学影像征象仅在血管损伤发生后数月至数年才被观察到,此时 AVN 已处在病变的中晚期。由此可见,DDH 闭合复位后股骨头缺血的发生与影像学诊断之间的时间延迟是 AVN 的治疗障碍。

三、基于 pMRI 预测 DDH 闭合复位后 AVN 的发生

MRI 已成为 DDH 闭合复位、人位石膏固定后的临床首选影像学技术,可以明确闭合复位的质量^[19-22]。虽然有研究显示,股骨头血管的破坏可引起 T2 加权图像上软骨信号强度的变化,且与最终股骨头软骨破坏相关。但是,T2 加权图像仅对缺血组织的水肿敏感,可能在数天甚至数周后才会变得明显^[23]。

普通 MRI 无法显示股骨头血管灌注情况,而 pMRI 可以

检测到软骨以及骨髓的早期缺血^[5-6]。Jaramillo 等^[6]在其研究中,确定了新生儿、婴儿和儿童期股骨头软骨和骨髓在 pMRI 上的正常影像学表现,确定了骨髓血管模式随年龄变化的情况。之后,Jaramillo 等^[24]又在基于猪的实验中证实,髋关节过度外展,会引起股骨头在 pMRI 上的灌注信号发生改变,且如果在 6 h 内纠正其过度外展,股骨头的血液灌注可以得到恢复。Jaramillo 等^[25]进一步研究显示,pMRI 可以显示 DDH 复位后股骨近端骨髓及骨髓血管的异常,且信号的异常在髋关节外展较大的患儿中更为常见,但是骨髓血管信号的增强减弱日后是否会发生 AVN 仍不确定。

为了明确早期发现髋关节复位后的缺血改变能否预测最终 AVN 的发生,Tiderius 等^[26]将 DDH 闭合复位后的股骨头灌注变化分为 4 级:0 级,灌注正常,可见骨髓血管及骨髓;1 级,骨髓不对称强化,骨髓血管或骨髓强化低于对侧;2 级,局灶性增强减弱,骨髓或骨化中心存在明显信号减弱区;3 级,球形增强减弱,包括骨化中心在内的整个骨髓均无增强。其研究显示 pMRI 提供了闭合复位后股骨头灌注的信息,可以预测未来 AVN 的发生。作者认为,在复位后显示球形增强减弱的髋关节,可以考虑在较少外展的情况下进行重新固定。如果减少外展角度后,难以维持复位的稳定性,则需要切开复位。Tiderius 等^[26]提出的 DDH 闭合复位后股骨头灌注分型,对于后续学者采用 pMRI 预测 AVN 的发生,提供了评估股骨头灌注的量化方法(表 1)。然而,这是一项小样本的单中心回顾性研究,且该研究的主要局限性在于,在预测 AVN 时,球形灌注增强或降低预测 AVN 发生的特异性有限。作者也认为,在推荐这种干预措施用于临床实践之前,需要更多研究证据支持。Cheon 等^[27]的结论与其类似,其研究中纳入 58 例经 DDH 闭合复位后立即行髋关节 pMRI 的患儿,在 pMRI 上回顾性评价复位质量、髋关节外展角度、骺核的存在和股骨头灌注增强的模式,通过复位后 1 年的影像学表现确定是否发生 AVN。多变量 Logistic 回归分析显示,股骨头整体强化程度降低是发生 AVN 的重要危险因素。在 Gomitzky 等^[28]的研究中,所有复位后 pMRI 上股骨头球形灌注减少的髋关节均立即拆除了石膏,然后根据外科医师的偏好重新闭合复位,减少髋关节外展角度或改为切开复位,结果显示此举措可以减少 AVN 的发生。但并不是所有研究都和以上研究持相同的观点。Nguyen 等^[29]在另外一项研究中探讨了 pMRI 对 DDH 复位术后 AVN 的预测结果,除了对股骨头行 pMRI 定性评估外,作者还引用了定量评估的方法,在 PACS 系统上评估比较了 DDH 治疗侧和未治疗侧的 pMRI 信号强度,并比较 AVN 组和非 AVN 组的增强百分比。这项回顾性研究纳入了 47 例单侧 DDH 患儿,且患儿均在闭合复位后 6 h 内行 pMRI。研究显示 pMRI 的增强模式和增强百分比均不能预测 AVN 的发生,提示复位后行 pMRI 不能准确区分可逆和永久性血管损伤。故闭合复位后行 pMRI 以预测 AVN 的发生,其有效性仍存在争议。

四、总结与展望

以上关于 pMRI 检测股骨头异常信号预测 AVN 的研究

表 1 基于钆增强灌注磁共振预测发育性髋关节脱位闭合复位后股骨头缺血性坏死的文献研究信息

Table 1 Summary of literature on using pMRI for predicting AVN of the femoral head closed reduction in DDH

发表期刊	发表年份	评估方法	病例数	随访时间
<i>Journal of Pediatric Orthopaedics</i>	2009	定性评估	28	13 ~ 42 个月
<i>Clinical Orthopaedics and Related Research</i>	2015	定性评估	33	13 ~ 49 个月
<i>Skeletal Radiology</i>	2020	定性评估 定量评估	47	患儿均有闭合复位后 12 个月的 X 线片, 其中 36 例有相对长随访时间 [(48.1 ± 24.0) 个月] 的 X 线片
<i>PLoS One</i>	2021	定性评估	58	术后随访 (68.50 ± 28.09) 个月, 最短随访 26 个月

注 ①定性评估:由 Tiderius 等^[26]提出(将 DDH 闭合复位后的股骨头灌注变化分为四级:0 级,灌注正常,可见骨骺血管及骨骺;1 级,骨骺不对称强化,骨骺血管或骨骺强化低于对侧;2 级,局灶性增强减弱,骨骺或骨化中心存在明显信号减弱区;3 级,球形增强减弱,包括骨化中心在内的整个骨骺均无增强)。②定量评估:在 PACS 系统上,比较治疗侧和未治疗侧股骨头的增强百分比。增强百分比 = (灌注增强后 - 灌注增强前)/灌注增强前的信号值 × 100

均为小样本回顾性研究,且随访时间短。但多数研究提示了 pMRI 早期发现股骨头闭合复位后的灌注信号改变,可能预测 AVN 的后期发生,这将是进一步研究修改当前治疗方案或创造新的治疗方法的基础。此外,DDH 闭合复位后,如何根据 pMRI 的影像学结果去调整治疗方案,例如复位后显示球形增强或减弱的股骨头,是减少髋关节外展角度、重新进行固定,还是缩短股骨后进行重新固定,抑或转为切开复位,或多种手术方式联合使用,则是在明确 pMRI 预测 AVN 有效性后面临的又一课题。未来还需要开展大样本、多中心研究,为 DDH 闭合复位后行 pMRI 精准防治 AVN 提供理论依据,进而实现 DDH 闭合复位的个体化治疗。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

[1] Ramsey PL, Lasser S, MacEwen GD. Congenital dislocation of the hip. Use of the Pavlik harness in the child during the first six months of life[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1976, 58(7):1000-1004.

[2] Bradley CS, Perry DC, Wedge JH, et al. Avascular necrosis following closed reduction for treatment of developmental dysplasia of the hip: a systematic review[J]. *J Child Orthop*, 2016, 10(6): 627-632. DOI:10.1007/s11832-016-0776-y.

[3] Bachy M, Thevenin-Lemoine C, Rogier A, et al. Utility of magnetic resonance imaging (MRI) after closed reduction of developmental dysplasia of the hip[J]. *J Child Orthop*, 2012, 6(1):13-20. DOI:10.1007/s11832-012-0382-6.

[4] Chin MS, Betz BW, Halanski MA. Comparison of hip reduction using magnetic resonance imaging or computed tomography in hip dysplasia[J]. *J Pediatr Orthop*, 2011, 31(5):525-529. DOI:10.1097/BPO.0b013e31821f905b.

[5] Barnewolt CE, Shapiro F, Jaramillo D. Normal gadolinium-enhanced MR images of the developing appendicular skeleton: Part I. Cartilaginous epiphysis and physis[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1997, 169(1):183-189. DOI:10.2214/ajr.169.1.9207522.

[6] Jaramillo D, Villegas-Medina OL, Doty DK, et al. Age-related vascular changes in the epiphysis, physis, and metaphysis: normal findings on gadolinium-enhanced MRI of piglets[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2004, 182(2):353-360. DOI:10.2214/ajr.182.2.1820353.

[7] Gautier E, Ganz K, Krügel N, et al. Anatomy of the medial femoral circumflex artery and its surgical implications[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2000, 82(5):679-683. DOI:10.1302/0301-620x.82b5.10426.

[8] Wu JP, Yuan Z, Li JC, et al. Does the vascular development of the femoral head correlate with the incidence of avascular necrosis of the proximal femoral epiphysis in children with developmental dysplasia of the hip treated by closed reduction? [J]. *J Child Orthop*, 2021, 15(4):395-401. DOI:10.1302/1863-2548.15.210059.

[9] Schoenecker PL, Bitz M, Witeside LA. The acute effect of position of immobilization on capital femoral epiphyseal blood flow. A quantitative study using the hydrogen washout technique [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1978, 60(7):899-904.

[10] Gore DR. Iatrogenic avascular necrosis of the hip in young children: a long-term follow-up [J]. *J Pediatr Orthop*, 1999, 19(5):635-640.

[11] Brougham DI, Broughton NS, Cole WG, et al. Avascular necrosis following closed reduction of congenital dislocation of the hip. Review of influencing factors and long-term follow-up [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1990, 72(4):557-562. DOI:10.1302/0301-620X.72B4.2380203.

[12] Campbell P, Tarlow SD. Lateral tethering of the proximal femoral physis complicating the treatment of congenital hip dysplasia [J]. *J Pediatr Orthop*, 1990, 10(1):6-8.

[13] Gage JR, Winter RB. Avascular necrosis of the capital femoral epiphysis as a complication of closed reduction of congenital dislocation of the hip. A critical review of twenty years' experience at Gillette Children's Hospital [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1972, 54(2):373-388.

[14] Salter RB, Kostuik J, Dallas S. Avascular necrosis of the femoral head as a complication of treatment for congenital dislocation of the hip in young children: a clinical and experimental investigation [J]. *Can J Surg*, 1969, 12(1):44-61.

[15] Malvitz TA, Weinstein SL. Closed reduction for congenital dysplasia of the hip. Functional and radiographic results after an average of thirty years [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1994, 76(12):1777-1792. DOI:10.2106/00004623-199412000-00004.

[16] Thomas CL, Gage JR, Ogden JA. Treatment concepts for proximal femoral ischemic necrosis complicating congenital hip disease [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1982, 64(6):817-828.

[17] Smith BG, Kasser JR, Hey LA, et al. Postreduction computed tomography in developmental dislocation of the hip: part I: analysis of measurement reliability [J]. *J Pediatr Orthop*, 1997, 17(5):626-630. DOI:10.1097/00004694-199709000-00010.

[18] Smith BG, Millis MB, Hey LA, et al. Postreduction computed tomography in developmental dislocation of the hip: part II: predictive value for outcome [J]. *J Pediatr Orthop*, 1997, 17(5):631-636. DOI:10.1097/00004694-199709000-00011.

[19] Dibello D, Odoni L, Pederiva F, et al. MRI in postreduction evaluation of developmental dysplasia of the hip: our experience [J]. *J*

- Pediatr Orthop, 2019, 39(9): 449-452. DOI: 10. 1097/BPO. 000 0000000001037.
- [20] Gould SW, Grissom LE, Niedzielski A, et al. Protocol for MRI of the hips after spica cast placement[J]. J Pediatr Orthop, 2012, 32(5): 504-509. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e31825a23e4.
- [21] Laor T. Spica MRI after closed reduction for developmental dysplasia of the hip[J]. Pediatr Radiol, 2011, 41(6): 790. DOI: 10. 1007/s00247-011-2083-6.
- [22] McNally EG, Tasker A, Benson MK. MRI after operative reduction for developmental dysplasia of the hip[J]. J Bone Joint Surg Br, 1997, 79(5): 724-726. DOI: 10. 1302/0301-620x. 79b5. 7772.
- [23] Babyn PS, Kim HK, Gahunia HK, et al. MRI of the cartilaginous epiphysis of the femoral head in the piglet hip after ischemic damage[J]. J Magn Reson Imaging, 1998, 8(3): 717-723. DOI: 10. 1002/jmri. 1880080331.
- [24] Jaramillo D, Villegas-Medina OL, Doty DK, et al. Gadolinium-enhanced MR imaging demonstrates abduction-caused hip ischemia and its reversal in piglets[J]. Pediatr Radiol, 1995, 25(8): 578-587. DOI: 10. 1007/BF02011824.
- [25] Jaramillo D, Villegas-Medina O, Laor T, et al. Gadolinium-enhanced MR imaging of pediatric patients after reduction of dysplastic hips: assessment of femoral head position, factors impeding reduction, and femoral head ischemia[J]. AJR Am J Roentgenol, 1998, 170(6): 1633-1637. DOI: 10. 2214/ajr. 170. 6. 9609187.
- [26] Tiderius C, Jaramillo D, Connolly S, et al. Post-closed reduction perfusion magnetic resonance imaging as a predictor of avascular necrosis in developmental hip dysplasia: a preliminary report[J]. J Pediatr Orthop, 2009, 29(1): 14-20. DOI: 10. 1097/BPO. 0b 013e3181926c40.
- [27] Cheon JE, Kim JY, Choi YH, et al. MRI risk factors for development of avascular necrosis after closed reduction of developmental dysplasia of the hip: predictive value of contrast-enhanced MRI[J]. PLoS One, 2021, 16(3): e0248701. DOI: 10. 1371/journal. pone. 0248701.
- [28] Gornitzky AL, Georgiadis AG, Seeley MA, et al. Does perfusion MRI after closed reduction of developmental dysplasia of the hip reduce the incidence of avascular necrosis? [J]. Clin Orthop Relat Res, 2016, 474(5): 1153-1165. DOI: 10. 1007/s11999-015-4387-6.
- [29] Nguyen JC, Back SJ, Barrera CA, et al. Developmental dysplasia of the hip: can contrast-enhanced MRI predict the development of avascular necrosis following surgery? [J]. Skeletal Radiol, 2021, 50(2): 389-397. DOI: 10. 1007/s00256-020-03572-z.

(收稿日期: 2024-09-25)

本文引用格式: 刘雁寒, 徐宏文. 钆增强灌注磁共振预测发育性髋关节脱位闭合复位后股骨头坏死的研究进展[J]. 临床小儿外科杂志, 2025, 24(10): 991-994. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202409064-016.

Citing this article as: Liu YH, Xu HW. Research advances on using pMRI for predicting avascular necrosis after closed reduction in developmental dislocation of the hip [J]. J Clin Ped Sur, 2025, 24(10): 991-994. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202409064-016.

· 编者 · 作者 · 读者 ·

关于论著文章的中、英文摘要书写要求

摘要(文摘)是科技论文的重要组成部分,它是解决读者精力有限,而科技信息激增的矛盾的有效手段。

根据 GB6447-86 的定义,文献是以提供文献内容梗概为目的,不加评论和解释,简明确切地记述文献重要内容和短文。摘要应具自明性和独立性,并拥有与一次文献同等量的主要信息。它的详简程度取决于文献的内容。通常中文文摘以不超过 500 字为宜,外文文摘应与中文摘要内容及数据相一致。应以第三人称的语气书写。

摘要的内容应包括四个要素,即目的、方法、结果、结论。①目的:指研究的前提和起缘,即为什么要作此项研究。②方法:指研究所用的原理、对象、观察和实验的具体方法等。③结果:指研究的结果、效果、数据等,着重反映创新、切实可行的成果。④结论:指对结果进行综合分析,逻辑推理得出的判断。有的可指出实用价值和推广价值,如有特殊的例外的发现或难以解决的问题,可以提出留待今后深入探讨。英文摘要的内容与中文摘要的内容要求大体相致。

此外,中、英文摘要下均应写出关键词(key words)2~5 个。关键词应是精选的能代表文章主要内容的词,采用便于读者选读、检索和编制的二次文献的规范化的主题词。请尽可能根据《医学索引》(Index Medicus)中的医学主题词表(MeSH)中的词条标注。

中文摘要具体书写的格式:[摘要] 目的……。方法……。结果……。结论……。

[关键词] (2~5 个)。

英文摘要具体书写格式:[Abstract] Objective……。 Methods……。 Results……。 Conclusions……。

[Key Words]

英文摘要 要求作到语法正确,用词准确。必要时,作者在投稿前请英文书写水平高的人员帮助修改。敬请广大读者、作者周知,并遵照此要求投稿。