

寰椎横韧带断裂诊疗的研究进展

杜秋^{1,2*}, 沈凯^{1,2#}

¹重庆医科大学, 重庆

²重庆市人民医院骨科, 重庆

收稿日期: 2025年2月17日; 录用日期: 2025年3月9日; 发布日期: 2025年3月18日

摘要

寰椎横韧带(Transverse Atlantal Ligament, TAL)断裂常导致寰枢椎不稳(Atlantoaxial Instability, AAI), 甚至引起高位脊髓压迫从而危及生命。随着影像学技术的发展和脊柱外科手术技术的进步, TAL断裂的诊断和治疗水平有了显著提高, 但仍存在诊断方式的选择争议较多、手术创伤相对较大和临床获益不明确等诸多挑战。本文综述了寰椎横韧带断裂的诊断方法、治疗策略的相关研究进展, 旨在为临床医生提供参考, 以更好地管理此类患者。

关键词

寰椎横韧带断裂, 寰枢椎不稳, 融合术, 人工寰齿关节

Research Progress on the Diagnosis and Treatment of Transverse Atlantal Ligament Rupture

Qiu Du^{1,2*}, Kai Shen^{1,2#}

¹Chongqing Medical University, Chongqing

²Department of Orthopaedics, Chongqing General Hospital, Chongqing

Received: Feb. 17th, 2025; accepted: Mar. 9th, 2025; published: Mar. 18th, 2025

Abstract

The transverse atlantal ligament (TAL) rupture often leads to atlantoaxial instability (AAI) and may

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 杜秋, 沈凯. 寰椎横韧带断裂诊疗的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(3): 1540-1545.

DOI: 10.12677/acm.2025.153774

even cause high cervical spinal cord compression, which is life-threatening. With the development of imaging technology and the advancement of spinal surgery techniques, the diagnosis and treatment of TAL rupture have significantly improved. However, there are still many challenges, such as controversies in the choice of diagnostic methods, relatively large surgical trauma, and unclear clinical benefits. This article reviews the research progress on the diagnostic methods and treatment strategies for TAL rupture, aiming to provide a reference for clinicians to better manage such patients.

Keywords

Transverse Atlantal Ligament Rupture, Atlantoaxial Instability, Fusion Surgery, Artificial Atlanto-Odontoid Joint

Copyright © 2025 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

寰椎横韧带(Transverse Atlantal Ligament, TAL)是寰枢关节中最粗大的韧带。其断裂会使寰枢椎产生相对平移压迫脊髓导致相应的神经功能缺损,严重者可致呼吸循环衰竭乃至死亡[1]。因此对 TAL 断裂的早期识别和准确诊断非常重要。随着影像学技术的发展,目前关于 TAL 断裂的诊断方法也取得了长足的进步,但仍然存在着许多争议。此外,根据 TAL 断裂部位的不同可分为四型,其中 IIA 型(结节处骨折)可通过保守治疗获得愈合,而 IA 型(韧带实质中部断裂)、IB 型(韧带骨膜处断裂)、IIB 型(结节处撕脱)型需要通过手术进行干预[2]。在 TAL 断裂的手术治疗方面,目前常采用的是寰枢椎融合术和枕颈融合术,但融合术会使寰枢关节各个方向的活动度几乎完全丧失,并且还会加速脊柱邻近节段的退变[3]。因此,为了在恢复寰枢椎的稳定性的基础上同时保留寰枢椎活动度和减少术后远期并发症的发生,各种人工关节应运而生。随着研究不断深入和工业进步,人工关节日益多样化且逐渐完善。为使 TAL 断裂的患者在尽可能小的手术创伤和风险下获得最佳的术后临床疗效,现将 TAL 断裂的诊疗进展进行综述。

2. 解剖与生物力学基础

交叉韧带由横向部分的 TAL 和上下纵支组成。TAL 通过骨结节插入到寰椎两侧侧块,将齿状突稳定地固定于寰椎的前弓。滑膜囊将 TAL 和齿状突后表面分隔开。在 TAL 的后方,依次为覆膜、硬膜外脂肪和硬脊膜,脊髓走行于硬脊膜内[4] [5]。

TAL 是寰枢韧带复合体中最大、最强、最厚的韧带。在齿状突后方, TAL 的中央部比外侧更宽,中部厚度约为 7~8 mm [5]。这样的形态特点能在一定程度上增大 TAL 与齿状突接触部分的受力面积,减小压强,从而减小 TAL 对齿状突的切割。TAL 纤维束的中间部分呈现为 30°的交叉排列,在插入寰椎侧块处呈现平行排列,并且主要由胶原纤维构成,弹力纤维较少。因此, TAL 的弹性较小,延展性有限[6]。而且有研究表明, TAL 在以较快的速率发生形变时,其断裂的应变会急剧下降,刚度大幅度提升,所能吸收的能量也会急剧减小。因此 TAL 在高速高能量的创伤中更容易断裂[7]。Jiri Dvorak 等人[8]通过生物力学测得的 TAL 断裂的总负荷强度为 350 N, Basem Ishak 等人[9]还提出 TAL 断裂时的平均负荷强度在老年人中是有所下降的,他们通过固定寰椎前弓,向相反方向对齿状突施加逐渐增大的力,最终得出 TAL 断裂所需的平均力为 236.2 ± 66 N。尽管在老年人中 TAL 断裂的平均力有所下降,但下降后的断裂阈值仍然较为可观。总的来说, TAL 是一条在解剖结构上较为重要,在生物力学特性上较为强大的韧带,

具备在寰枢韧带复合体中为维持寰枢椎的稳定性起主导作用的能力。

3. 诊断方法

3.1. 临床表现

患者常有颈部外伤史, 表现为颈部疼痛、活动受限, 严重者可出现四肢无力、感觉异常等脊髓压迫症状[10]。

3.2. 影像学检查

3.2.1. X 线检查

X 线检查作为一种间接判断 TAL 完整性的方式, 主要是通过 X 线平片测量寰齿间距(Atlantodental Interval, ADI)、侧块移位距离(Lateral Mass Displacement, LMD)等指标来间接评估 TAL 的完整性。其中 ADI 是指在侧位 X 光片上, 寰椎前弓后表面与齿状突前表面的距离。其在成年人中不应该超过 3 mm, 并且不会随着颈椎的屈伸而改变, 一旦超过这个范围则提示 TAL 损伤[5]。而通过 LMD 来评估 TAL 的完整性最初是由 Spence 等人[11]提出, LMD 是指在开口位 X 线片上测量寰椎两侧侧块相对于枢椎上关节突的外移距离之和。若 LMD 超过 6.9 mm, 则提示 TAL 可能断裂, 这个观点后来被临床医生广泛认可, 并被称为“Spence 规则”[12]。尽管“Spence 规则”对于诊断 TAL 的完整性具有重要的意义, 但随着研究的不断深入, 关于它的准确性的争议也日渐增多。以至于后来 Heller 等人指出“Spence 规则”并未考虑到射线照相成像技术中固有的放大倍数, 标准的前后开口位 X 线片的固有放大率为 18%, 进而将 6.9 mm 这个阈值调整为 8.1 mm[13]。然而, Woods 等人[14]的研究表明“Spence 规则”对于断裂宽度的定义为 TAL 失效发生后 C1 环的直径, 这很有可能高估断裂点, 这个阈值应降低至 3.8 mm。因此, 通过“Spence 规则”来判断 TAL 是否损伤尚存在诸多的局限性, 但其作为一种间接判断的方式, 可为是否需要开展更精准的诊断提供重要线索, 这本身也具有不可忽视的价值。

3.2.2. CT 检查

同 X 线检查类似, 计算机断层扫描(Computed Tomography, CT)对于 TAL 完整性的判断也属于一种间接诊断。在患者保持仰卧时, 利用 CT 分别对保持中立位和头部轻度屈曲(10°)时的枕颈部进行两次扫描, ADI 在两次扫描中增加超过 15%可高度怀疑存在需要手术稳定的 TAL 损伤。这种方式比“Spence 规则”更为敏感, 并且使用的屈曲度仅为 10°, 没有椎管内容物损伤的风险[15]。尽管这种动态检查的方法较为准确且安全, 不会增加脊髓损伤的风险, 但是由于存在体位的变动, 检查的过程应该由更具有经验的高年资放射科技师来进行操作, 以避免二次损伤。此外, CT 还可通过骨移位相关指标判断有无 TAL 损伤, 但准确性有待进一步探讨。例如 Kristen E Radcliff 等人[16]利用 CT 对 18 例患者侧块内侧边界移位(Internal Border Lateral Mass Separation, ILM), 侧块外侧边界移位(External Border Lateral Mass Separation, ELM), 寰椎侧块对枢椎上关节突的总悬突量(Total C1 Lateral Mass Overhang over the C2 Superior Process, LMO)进行了测量, 结果表明, 骨移位与 TAL 完整性之间没有相关性。这可能是 CT 无法显示受伤后的骨骼的最大位移位置。因此, CT 对于 TAL 完整性的判断具有一定的辅助作用, 可为临床医师提供影像学信息, 为精准诊疗提供一定的帮助。若仍不明确 TAL 损伤, 还应进一步完善 MRI 检查。

另外, 有研究表明与 TAL 相连接的寰椎内侧结节的类型还可能影响后续需要进行融合手术的几率, 内侧结节根据形态的不同可以分为圆形(227/400; 56.8%), 尖头(13/400; 3.3%), 扁平(126/31.5%)和发育不良(34/400; 8.5%), 其中发育不良型会使后续需要手术融合的几率增加[17]。CT 扫描得益于其对骨骼 3D 成像和分辨率较高的优势, 可以实现对内侧结节形态的精准判断, 为后续治疗提供参考。

3.2.3. MRI 检查

TAL 体部和结节处撕脱难以通过保守治疗恢复稳定性, 而侧块的骨折是有机会通过保守治疗获得骨性愈合的。TAL 是否完整将会直接影响到后续治疗方案的选择。因此, 在条件允许的情况下, 应当采用更加直接、精准的诊断手段。众所周知, 磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)能够清晰显示韧带的完整性及周围软组织的损伤情况, 直接诊断即是通过 MRI 对 TAL 的完整性直接进行判断。Dickman 等人[5]也指出 MRI 是识别 TAL 断裂的金标准。因此, MRI 是诊断 TAL 断裂的首选影像学方法。但其造价较为昂贵, 难以完全普及, 并且扫描时间较长, 一些患有幽闭恐惧症这类心理障碍的患者难以忍受在 MRI 机器中停留太长时间。此外, 许多患者还由于具有心脏起搏器、人工耳蜗、金属异物滞留而无法进行 MRI 检查[16]。在这些极端情况下, 临床可权衡利弊, 灵活选择影像学组合策略, 尽可能的对 TAL 断裂及其合并损伤做出精准且全面的判断, 为后续治疗方案的制定打下坚实的基础。

4. 治疗策略

4.1. 保守治疗

对于无明显不稳定或脊髓压迫的患者, 可采用颈托固定等保守治疗方法, 但保守治疗效果有限, 且存在较高的不愈合风险[10]。

4.2. 融合技术

融合术是目前治疗 TAL 断裂最常用的方法, 包括寰枢椎融合术、枕颈融合术等, 融合术能够为寰枢椎提供良好的固定效果, 并恢复寰枢关节的稳定性[18]。其中, 寰枢关节融合术目前是治疗 TAL 断裂导致的寰枢椎不稳(Atlantoaxial Instability, AAI)的金标准[19]。但由于颈椎的旋转活动度近 50%都是由寰枢椎提供, 融合术后寰枢椎的活动度几乎完全丧失, 这会严重影响患者的术后生活质量, 并且融合术会使压力转移到邻近的脊柱节段, 从而加速邻近节段的退变[3]。融合技术所带来的这些较为严重的术后影响可能终将使其成为一个治疗 TAL 断裂的过渡方式, 而不是最终解决方案。

4.3. 非融合技术

近年来, 为克服融合术带来的寰枢椎活动度丧失和邻近节段退变等并发症, 开发并验证了多种非融合技术来治疗由 TAL 断裂等原因引起的 AAI。其中, 包括 Yong Hu 等人[20]和 Bin Lu 等人[21]设计的两种人工寰齿关节并进行了生物力学验证, 但这两种人工寰齿关节仅能在恢复寰枢椎稳定性的情况下保留寰齿关节旋转功能, 而无法实现对寰枢椎的前屈、背伸、侧倾功能的重建。并且这两种人工关节置换术均采用经口入路, 感染风险相对较高, 手术视野和操作空间也较为有限, 手术难度和围手术期的风险亦随之增大。后来也有其他研究者[22] [23]对人工寰齿关节进行了改良, 其中 Xuan Cai 等人率先提出全活动度人工关节, 通过旋转轴和高度抛光的球窝结构来分别实现对旋转和屈伸、侧倾方向的活动度的保留。生物力学测试显示其屈伸和侧倾范围与结构正常的寰枢关节之间没有显著差异, 仅在旋转方向上轻微增加。Quanjin Zang 等人进一步研发出一种和髋关节较为相似的“杵臼关节”, 该关节亦实现了对寰齿关节各个方向运动功能的保留。此外, 关节超过 3/4 的关节窝是闭合的, 可以使关节稳定的同时降低脱位的风险, 同时, 为防止假体松动, 关节表面还覆盖有羟基磷灰石涂层。在此期间, 又有研究提出了后路寰枢椎动态内固定系统, 这些系统同样能恢复寰枢椎的稳定性和各个方向的活动度, 还对预防组织长入导致内固定失效这些细节方面进行了完善[24] [25]。总的来说, 随着研究的不断进展, 不管是前路还是后路的人工关节都获得了长足的进步。但是对于单纯由 TAL 断裂导致的 AAI, 人工关节置换所带来的手术创伤和风险显得相对较大。值得一提的是, 关节置换需精准解剖, 学习曲线陡峭, 并且现有关于人工关节的

研究多为生物力学研究, 仅停留在理论层面, 缺乏临床验证其实际可行性和耐用性。最近, 一种较为新颖的治疗方案又被提出, 即经颈后路异位重建 TAL。通过对 TAL 重建后的寰枢椎进行生物力学评估后, 表明 TAL 的异位功能重建几乎可以恢复原始 TAL 的所有生理功能[19]。不过该方式利用锚钉和腓骨长肌腱通过颈椎后路对 TAL 进行重建, 需要将替代植入物穿过枢椎棘突固定于寰椎两侧块上, 此时术中固定张力控制依赖术者经验, 过度拉紧可能导致寰椎侧块骨折, 而过松则无法恢复稳定性, 亟需量化标准指导操作。

5. 总结与展望

TAL 断裂是一种严重的上颈椎损伤, 其诊断和治疗需要综合考虑患者的具体情况。MRI 是诊断 TAL 断裂的首选影像学方法, 但 X 线和 CT 检查也具备容易获取、扫描时间短、检查费用低等优点, 各种不同的检查手段可以实现优势互补。融合手术目前仍然是治疗 TAL 断裂的主要手段, 非融合技术等新型治疗方法也为患者提供了更多选择。未来, 随着不断地探索和创新, 具有更小手术创伤、更低住院时间和费用、更为精准有效等优势的治疗方式将为 TAL 断裂患者带来更加优质的治疗。

参考文献

- [1] Robertson, P.A., Tsitsopoulos, P.P., Voronov, L.I., Havey, R.M. and Patwardhan, A.G. (2012) Biomechanical Investigation of a Novel Integrated Device for Intra-Articular Stabilization of the C1-C2 (Atlantoaxial) Joint. *The Spine Journal*, **12**, 136-142. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2012.01.004>
- [2] Findlay, J.M. (1996) Injuries Involving the Transverse Atlantal Ligament: Classification and Treatment Guidelines Based Upon Experience with 39 Injuries. *Neurosurgery*, **39**, 210-210. <https://doi.org/10.1097/00006123-199607000-00051>
- [3] Lee, J.C., Lee, S., Peters, C. and Riew, K.D. (2014) Risk-factor Analysis of Adjacent-Segment Pathology Requiring Surgery Following Anterior, Posterior, Fusion, and Nonfusion Cervical Spine Operations: Survivorship Analysis of 1358 Patients. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, **96**, 1761-1767. <https://doi.org/10.2106/jbjs.m.01482>
- [4] 孙麟, 马迅. 寰枢韧带复合损伤[J]. 中国药物与临床, 2005(9): 684-686.
- [5] Dickman, C.A., Mamourian, A., Sonntag, V.K.H. and Drayer, B.P. (1991) Magnetic Resonance Imaging of the Transverse Atlantal Ligament for the Evaluation of the Evaluation of Atlantoaxial Instability. *Journal of Neurosurgery*, **75**, 221-227. <https://doi.org/10.3171/jns.1991.75.2.0221>
- [6] 夏虹, 钟世镇, 赵卫东, 尹东, 张美超. 寰椎横韧带的形态特点及其生物力学特性研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2003(3): 266-268.
- [7] Panjabi, M.M., Crisco, J.J., Lydon, C. and Dvorak, J. (1998) The Mechanical Properties of Human Alar and Transverse Ligaments at Slow and Fast Extension Rates. *Clinical Biomechanics*, **13**, 112-120. [https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(97\)00053-3](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(97)00053-3)
- [8] Dvorak, J., Schneider, E., Saldinger, P. and Rahn, B. (1988) Biomechanics of the Craniocervical Region: The Alar and Transverse Ligaments. *Journal of Orthopaedic Research*, **6**, 452-461. <https://doi.org/10.1002/jor.1100060317>
- [9] Ishak, B., Dupont, G., Lachkar, S., Yilmaz, E., Glinski, A.V., Altafulla, J., et al. (2020) Update on the Biomechanics of the Craniocervical Junction—Part I: Transverse Atlantal Ligament in the Elderly. *Global Spine Journal*, **11**, 180-186. <https://doi.org/10.1177/2192568219896544>
- [10] 陈金水. 寰椎横韧带损伤机制及其断裂模型的有限元分析[D]: [博士学位论文]. 上海: 第二军医大学, 2014.
- [11] Spence, K.F., Decker, S. and Sell, K.W. (1970) Bursting Atlantal Fracture Associated with Rupture of the Transverse Ligament. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **52**, 543-549. <https://doi.org/10.2106/00004623-197052030-00013>
- [12] Liu, P., Zhu, J., Wang, Z., Jin, Y., Wang, Y., Fan, W., et al. (2019) “Rule of Spence” and Dickman’s Classification of Transverse Atlantal Ligament Injury Revisited: Discrepancy of Prediction on Atlantoaxial Stability Based on Clinical Outcome of Nonoperative Treatment for Atlas Fractures. *Spine*, **44**, E306-E314. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000002877>
- [13] Heller, J.G., Viroslav, S. and Hudson, T. (1993) Jefferson Fractures: The Role of Magnification Artifact in Assessing Transverse Ligament Integrity. *Journal of Spinal Disorders*, **6**, 392-396. <https://doi.org/10.1097/00002517-199306050-00004>
- [14] Woods, R.O., Inceoglu, S., Akpolat, Y.T., Cheng, W.K., Jabo, B. and Danisa, O. (2017) C1 Lateral Mass Displacement

- and Transverse Atlantal Ligament Failure in Jefferson's Fracture: A Biomechanical Study of the "Rule of Spence". *Neurosurgery*, **82**, 226-231. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyx194>
- [15] Perez-Orribo, L., Kalb, S., Snyder, L.A., Hsu, F., Malhotra, D., Lefevre, R.D., *et al.* (2016) Comparison of CT versus MRI Measurements of Transverse Atlantal Ligament Integrity in Craniovertebral Junction Injuries. Part 2: A New Ct-Based Alternative for Assessing Transverse Ligament Integrity. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **24**, 903-909. <https://doi.org/10.3171/2015.9.spine13807>
- [16] Radcliff, K.E., Sonagli, M.A., Rodrigues, L.M., Sidhu, G.S., Albert, T.J. and Vaccaro, A.R. (2013) Does C₁ Fracture Displacement Correlate with Transverse Ligament Integrity? *Orthopaedic Surgery*, **5**, 94-99. <https://doi.org/10.1111/os.12034>
- [17] Mueller, K., MacConnell, A., Berkowitz, F. and Voyadzis, J. (2019) Morphological Classification of the Tubercle of Insertion of the Transverse Atlantal Ligament: A Computer Tomography-Based Anatomical Study of 200 Subjects. *The Neuroradiology Journal*, **32**, 426-430. <https://doi.org/10.1177/1971400919857211>
- [18] Shatsky, J., Bellabarba, C., Nguyen, Q. and Bransford, R.J. (2016) A Retrospective Review of Fixation of C₁ Ring Fractures—Does the Transverse Atlantal Ligament (TAL) Really Matter? *The Spine Journal*, **16**, 372-379. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2015.11.041>
- [19] Zhang, P., Jin, G., Sun, Z., Jiang, J. and Liu, Q. (2023) An *in Vitro* Biomechanical Study of the Ectopic Functional Reconstruction of the Transverse Ligament of Atlas. *World Neurosurgery*, **172**, e220-e224. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.12.133>
- [20] Hu, Y., Yang, S.H., Xie, H., *et al.* (2007) Quantitative Anatomic Study of Atlanto-Odontoid Joint and Design of an Artificial Atlan-to-Odontoid Joint for the Orthopedic Clinic. *Chinese Journal of Traumatology*, **10**, 138-144.
- [21] Lu, B., He, X.J., Zhao, C.G., Li, H.P. and Wang, D. (2008) Artificial Atlanto-Odontoid Joint Replacement through a Transoral Approach. *European Spine Journal*, **18**, 109-117. <https://doi.org/10.1007/s00586-008-0835-2>
- [22] Cai, X., He, X., Li, H. and Wang, D. (2013) Total Atlanto-Odontoid Joint Arthroplasty System: A Novel Motion Preservation Device for Atlantoaxial Instability after Odontoidectomy. *Spine*, **38**, E451-E457. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e318288052a>
- [23] Zang, Q., Li, J., Liu, Y., Li, H., Cao, K., Guo, S., *et al.* (2021) Atlantoaxial Non-Fusion Using Biomimetic Artificial Atlanto-Odontoid Joint: Technical Innovation and Initial Biomechanical Study. *Spine*, **47**, 825-832. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000004259>
- [24] Chen, J., Zhou, F., Ni, B., Guo, Q., Guan, H., Xu, T., *et al.* (2016) New Posterior Atlantoaxial Restricted Non-Fusion Fixation for Atlantoaxial Instability: A Biomechanical Study. *Neurosurgery*, **78**, 735-741. <https://doi.org/10.1227/neu.0000000000001122>
- [25] Shen, K., Deng, Z., Yang, J., Liu, C. and Zhang, R. (2018) Novel Posterior Artificial Atlanto-Odontoid Joint for Atlantoaxial Instability: A Biomechanical Study. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **28**, 459-466. <https://doi.org/10.3171/2017.7.spine17475>