

连续双节段 Bryan 人工颈椎间盘置换术后 异位骨化的长期研究

丛梦琳, 马鹤成, 侯 勇, 司 萌, 聂 林

(山东大学齐鲁医院脊柱外科 250012 济南市)

【摘要】目的:对连续双节段 Bryan 人工颈椎间盘置换术后异位骨化的长期观察研究。**方法:**回顾性分析我科 2004 年 1 月~2011 年 12 月行连续双节段人工颈椎间盘置换术的患者 21 例, 其中男性 15 例, 女性 6 例; 年龄 33~72 岁, 平均 50.4±8.8 岁。C3/4、C4/5 间盘置换 5 例, C4/5、C5/6 间盘置换 14 例, C5/6、C6/7 间盘置换 2 例。随访时间 96~156 个月, 平均随访 116.5±19.6 个月。记录患者术前、术后 3 个月及末次随访时改良日本骨科协会评分(modified Japanese Orthopaedic Association, mJOA)、视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)评分, 末次随访时在颈椎动力位 X 线片中测量人工颈椎间盘活动度, 颈椎侧位 X 线片中测量颈椎曲度, 采用 McAfee 分级法在颈椎侧位及动力位 X 线片上对人工颈椎间盘的异位骨化情况进行评估。**结果:**患者术前 mJOA 评分 14.0±2.0 分。术后 3 个月时 mJOA 评分 15.2±1.8 分, 末次随访时 mJOA 评分 16.8±1.2 分, 均较术前有统计学差异($P<0.05$)。术前 VAS 评分 5.1±1.7 分。术后 3 个月时 VAS 评分 1.9±1.4 分, 末次随访时 VAS 评分 0.9±0.8 分, 均较术前有统计学差异($P<0.05$)。术前颈椎曲度为平均 16.7°±6.6°, 末次随访时颈椎曲度为 15.7°±7.3°, 无统计学差异($P=0.25$)。上位节段活动度为 6.23°±10.13°, 下位节段活动度为 3.76°±4.81°, 有统计学差异($P=0.025$)。至末次随访时 16 例发生异位骨化, 发生率为 76.2%。根据 McAfee 分级, 21 例患者 42 个节段中, I 级 5 个节段, II 级 5 个节段, III 级 14 个节段, IV 级 7 个节段, 发生 III 级以上 HO 的概率为 50%, 上位节段发生 III 级和 IV 级 HO 的概率为 38.0%, 下位节段发生 III 级和 IV 级 HO 的概率为 61.9%。**结论:**长期随访发现连续双节段 Bryan 人工颈椎间盘置换术后异位骨化发生率较高, 且下位节段发生严重 HO 的概率明显增加。

【关键词】 Bryan 人工间盘; 颈椎病; 异位骨化; 长期观察

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2020.12.05

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2020)-12-1081-07

A long-term study of heterotopic ossification after consecutive double-segment Bryan artificial cervical disc replacement//CONG Menglin, MA Hecheng, HOU Yong, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(12): 1081-1087

【Abstract】 Objectives: To observe the long-term follow-up outcome of cases underwent continuous double-segment Bryan artificial disc replacement over 8 years. **Methods:** A total of 21 patients who underwent continuous double segment artificial cervical disc replacement in our hospital from Jan 2004 to Dec 2011 were enrolled. Among them, 4 cases presented radiculopathy, 15 cases myelopathy, and 2 cases mixed type. There were 14 cases of C4/5 and C5/6 disc replacement, 2 cases of C5/6 and C6/7 disc replacement, and 5 cases of C3/4 and C4/5 disc replacement. The mean follow-up time was 116.5±19.6 months. mJOA and VAS scores were recorded at pre-operation, 3 months after surgery and final follow-up. The patients' segmental range of motion (ROM) was measured on the cervical dynamic X-ray film. The cervical lordosis was measured by lateral cervical X-ray film at final follow-up. The ectopic ossification of the artificial disc was evaluated on the cervical lateral X-ray film using McAfee classification method. **Results:** The mJOA score of 21 patients was 14.0±2.0 points at preoperation, 15.2±1.8 at 3 months after surgery, and 16.8±1.2 at final follow-up. There were statistical differences between the postoperative scores and preoperation score ($P<0.05$). The preoperative

第一作者简介: 男(1987-), 博士研究生, 研究方向: 脊柱疾病

电话: (0531)82166551 E-mail: congmenglin@sdu.edu.cn

通讯作者: 聂林 E-mail: forrestnie@sina.com

VAS score was 5.1 ± 1.7 points, and the VAS score 3 months after surgery was 1.9 ± 1.4 , the VAS score at final follow-up was 0.9 ± 0.8 . The differences between the postoperative scores and preoperation score were with statistical significance. The cervical curvature before surgery was $16.7^\circ \pm 6.6^\circ$ on average. The average cervical lordosis was $15.7^\circ \pm 7.3^\circ$ at final follow-up. There was no statistical difference between that of preoperation and final follow-up ($P=0.25$). At final follow-up, the upper segment ROM was $6.23^\circ \pm 10.13^\circ$ and the lower segment ROM was $3.76^\circ \pm 4.81^\circ$, the difference was with statistical significance ($P=0.025$). 16 cases developed heterotopic ossification at final follow-up, with an incidence of 76.2%. According to McAfee classification, among the 42 segments of 21 patients, 5 segments were of level I, 5 segments level II, 14 segments level III, and 7 segments level IV. The probability of HO with level III and above was 50%. Furthermore, it was found that the occurrence rate of level III and IV HO in the upper segment was 38.0%, and that in the lower segment was 61.9%. The incidence of HO in the posterior vertebral margin of the lower segment was 71.4%, and that in the upper segment was 42.9%. **Conclusions:** The present study revealed a high incidence of ectopic ossification after continuous double-segment Bryan cervical disc replacement at the long-term follow-up, and the lower segment is more likely to have severe HO.

[Key words] Bryan artificial intervertebral disc; Cervical spondylosis; Heterotopic ossification; Long-term follow-up

[Author's address] Department of Orthopedics, Qilu Hospital of Shandong University, Ji'nan, 250012, China

人工颈椎间盘置换术作为一种新的手术方式,力求恢复正常颈椎的活动方式^[1,2]。我们的前期研究^[3]已证实,与颈椎前路椎间盘切除减压植骨融合术(anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)比较人工颈椎间盘置换术可以显著减少邻近节段椎间盘退变的发生。但是,现阶段人工颈椎间盘的应用还面临术后手术节段活动度消失、颈椎曲度改变、价格昂贵等诸多问题。自 McAfee 等^[4]于 2003 年提出人工颈椎间盘置换术后异位骨化(heterotopic ossification, HO)的概念以来,HO 所导致的术后置换节段活动度消失、骨化对脊髓形成新的压迫,严重阻碍了人工颈椎间盘置换术的开展^[5,6]。同时,随着人工颈椎间盘置换手术技术的成熟,双节段的人工颈椎间盘置换术也有了广泛的应用^[7-9]。但是对于双节段人工颈椎间盘置换术后异位骨化的评估目前还较少。我们收集了自 2004 年 1 月~2011 年 12 月在我院行双节段 Bryan 人工颈椎间盘置换术手术随访 8 年以上的患者资料,评估 HO 对连续双节段 Bryan 人工颈椎间盘置换术后疗效的影响。

1 资料和方法

1.1 一般资料

回顾性分析我科 2004 年 1 月~2011 年 12 月行连续双节段人工颈椎间盘置换术的患者 21 例共 42 个节段。其中男性 15 例,女性 6 例;年龄 33~72 岁,平均 50.4 ± 8.8 岁;随访时间为 96~156

个月,平均 116.5 ± 19.6 个月。其中神经根型颈椎病 4 例,脊髓型颈椎病 15 例,混合型颈椎病 2 例。

所有患者均行连续双节段 Bryan 人工颈椎间盘置换术。其中行 C3/4、C4/5 间盘置换 5 例,C4/5、C5/6 间盘置换 14 例,C5/6、C6/7 间盘置换 2 例。

纳入标准:(1)术前诊断为神经根型或脊髓型颈椎病;(2)术前病程在 3 个月以上,并经正规保守治疗无效;(3)MRI 显示连续至少两个节段颈椎间盘突出,并且压迫节段为责任节段;(4)行连续双节段 Bryan 人工颈椎间盘置换术手术。

排除标准:(1)颈椎曲度消失或反曲;(2)伴有后纵韧带骨化或椎体前后缘有巨大骨赘形成;(3)椎间隙高度减少超过 50%或术中撑开间隙小于 8mm;(4)存在颈椎不稳或发育畸形;(5)行单节段人工颈椎间盘置换术手术。

1.2 手术步骤

患者取水平仰卧位,全麻后患者颈部后方垫一软垫,透视下确定病变间隙后做皮肤切口标记线,同时观察相邻间隙的情况,调整软垫,使上下相邻节段的终板与病变节段的终板相对平行。做皮肤横切口,纵行切开颈阔肌,钝性分离气管食道和血管神经鞘后显露椎体。常规切除椎间盘并切除后纵韧带,直视下(显微镜/头灯放大镜)显露硬膜囊,确认减压彻底。Bryan 人工颈椎间盘需要对上下终板适度打磨,以适应假体的结构外形,并注意保持平行间隙打磨,以预防后凸畸形的发生。对

于术前有椎体前缘骨化现象的情况,使用高速磨钻予以打磨。假体安装完成后透视确认假体位置及大小是否合适,仔细止血后逐层关闭切口。切口留置一根引流条,并于术后 24~48h 内拔除。假体型号的选择原则:根据术中测量的情况,选用深度、宽度、高度最合适的假体,达到假体覆盖率最大化^[10]。

1.3 临床疗效评估

为准确地评估人工颈椎间盘置换术后的临床效果,本研究通过改良日本骨科协会评分(modified Japanese Orthopaedic Association, mJOA)对患者术前、术后 3 个月及末次随访时的颈椎功能进行评分。mJOA 改善率=(末次随访 mJOA-术前 mJOA)/(17-术前 mJOA)×100%。采用视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)对患者术前、术后 3 个月及末次随访时的疼痛程度进行评价。

1.4 影像学评估

在末次随访时使用 Cobb 角测量法测量置换节段活动度及颈椎曲度:在颈椎侧位 X 线片上做 C2、C7 下终板的平行线,测量二者垂线所成角度即为颈椎曲度;在颈椎动力位 X 线片中分别做置换节段上位椎体上终板及下位椎体下终板平行线,并测量二者垂线所成夹角即为人工骨间盘活动度(图 1)。

在末次随访时颈椎侧位及动力位 X 线片中,使用 McAfee 分级法评估异位骨化的情况。根据术后椎体前缘或后缘骨化程度将 HO 分为 5 级:0

级,无 HO; I 级,HO 未侵入椎间隙; II 级,HO 侵入椎间隙但不影响假体活动度; III 级,HO 侵入椎间隙并影响假体活动度; IV 级,完全融合。我们在评估 HO 的时候发现上位节段与下位节段发生骨化的位置不同,故我们分别统计了椎体前缘和后缘超过间隙水平 HO 的情况,并进行对比。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析,所得数据均采用(均数±标准差)表示,术前及术后各随访时点所得数据采用 One-Way ANOVA 检验进行统计学分析, $P<0.05$ 时则认为差异有统计学的意义。

2 结果

2.1 临床疗效

术后 3 个月及末次随访时 mJOA 及 VAS 评分与术前相比均有明显改善($P<0.05$,表 1),其中 4 例神经根型颈椎病患者疼痛完全消失。

表 1 患者的临床疗效评分 (分, $\bar{x}\pm s$)

	术前 Preoperation	术后 3 个月 3 months after operation	末次随访 Final follow-up
mJOA 评分 mJOA scores	14.0±2.0	15.2±1.8 ^①	16.8±1.2 ^①
VAS 评分 VAS scores	5.1±1.7	1.9±1.4 ^①	0.9±0.8 ^①

注:①与术前比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$

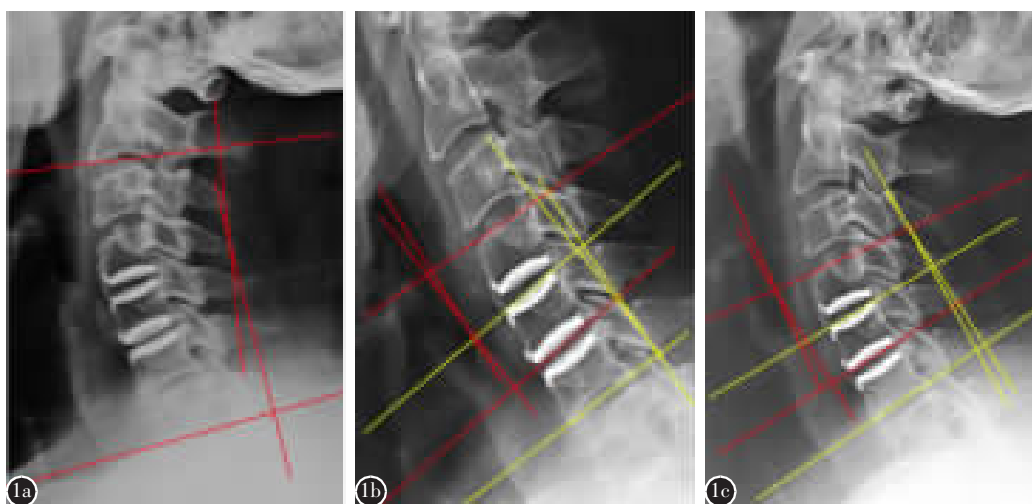


图 1 颈椎曲度及活动度的测量 a 颈椎侧位 X 线片中测量颈椎曲度 b、c 在颈椎动力位 X 线片中上位节段及下位节段 ROM 的测量

Figure 1 Measurement of cervical curvature and range of motion a Cervical curvature was measured on lateral cervical X-ray film b, c Measurement of upper segment and lower segment ROM in cervical vertebra dynamic X-ray film

2.2 影像学评估

手术前颈椎曲度为 $5^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 平均 $16.7^{\circ}\pm 6.6^{\circ}$, 至末次随访时颈椎曲度为 $3^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 平均 $15.7^{\circ}\pm 7.3^{\circ}$, 二者无统计学意义 ($P=0.25$)。长期随访后观察人工颈椎间盘活动度, 末次随访时上位节段活动度为 $6.23^{\circ}\pm 10.13^{\circ}$, 下位节段活动度为 $3.76^{\circ}\pm 4.81^{\circ}$, 二者具有统计学差异 ($P=0.025$)。说明在长期随访中, 双节段人工颈椎间盘置换术后上位节段的活动度往往要高于下位节段的活动度。末次随访时, 21 例双节段人工颈椎间盘置换术患者中发生 HO 的有 16 例, 长期随访 HO 的发生率为 76.2%。根据 McAfee 分级, 21 例患者 42 个手术节段中, 有 30 个节段出现 HO, 其中 5 个节段为 I 级, 5 个节段为 II 级, 14 个节段为 III 级, 7 个节段为 IV 级, III 级以上 HO 的发生率为 50% (表 2)。且进一步研究, 上位节段 III 级和 IV 级 HO 的发生率为 38.0%, 下位节段 III 级和 IV 级 HO 的发生率为 61.9%。上位节段的 HO 椎体前方骨化的发生率为 42.9%, 远远高于下位节段 (23.8%)。而同时, 下位节段椎体后缘的 HO 发生率 (71.4%) 高于上位节段 (42.9%)。这一结果可能与两个节段人工颈椎间盘的活动度差异有关。

2.3 并发症及典型病例

行颈椎连续双节段 Bryan 人工颈椎间盘置换术后主要的并发症包括吞咽困难、邻椎病及 HO。手术后 23.8% 的患者出现吞咽不适, 给予布地奈德、异丙托溴铵雾化吸入, 经 3~5d 保守治疗后均

缓解。末次随访时, 邻椎病发生率为 4.8%。术后 HO 发生率为 76%。至末次随访时 21 例患者再手术率为 9.5% (2/21)。其中 1 例因出现邻椎病行二次手术。另 1 例因出现严重的 HO 行二次手术, 该例患者 C4/5、C5/6 人工颈椎间盘置换手术后 10 年, 再次出现行走不稳, 双下肢乏力的症状。行影像学检查发现人工颈椎间盘手术节段出现异位骨化, McAfee 分级为 C4/5 III 级, C5/6 IV 级, C5/6 节段活动度消失。C5/6 水平骨化凸向椎管内并压迫脊髓。该患者行后路手术后症状缓解 (图 2)。

3 讨论

3.1 人工颈椎间盘置换术后 HO 发生的情况

人工颈椎间盘通过模拟人体间盘的正常活动, 力求减轻传统融合手术导致的颈部疼痛不适、吞咽困难及邻近节段的退变 [10-12]。我们团队自 2004 年至今已成功开展 300 余例人工颈椎间盘置换手术, 取得了满意的疗效并积累了丰富的临床经验。之后我们进一步探索使用多节段人工颈椎间盘置换术治疗多节段颈椎间盘突出症, 发现患者在术后功能恢复、颈椎活动度、邻近节段退变等方面都优于传统融合手术 [3,13,14]。Zou 等 [15] 在一项对 650 例连续双节段颈椎间盘退变的患者的回顾性研究中发现, 行双节段人工颈椎间盘置换组在术中出血、再手术率、邻近节段退变、颈部疼痛等方面明显优于双节段 ACDF 手术组。

但是, 人工颈椎间盘置换术后的异位骨化导致的间盘活动度丢失, 使人工颈椎间盘无法发挥其仿生作用, 最终导致邻椎病的发生。同时异位骨化还会侵占周围的空间, 导致吞咽困难、神经受压等严重并发症, 甚至需行二次手术 [16, 17]。Zhou 等 [18] 在一项随访 10 年以上的人工颈椎间盘置换术后的研究中发现, 人工颈椎间盘置换术后异位骨化的发生率高达 68.2%, 并且该研究发现术前椎间隙的高度、椎体是否有骨质增生等退行性改变, 对人工颈椎间盘置换术后异位骨化的形成有很大影响。Lanman 等 [19] 报道在 4 年的长期随访中, 进行双节段人工颈椎间盘置换术的患者, 在末次随访时 McAfee 分级 HO 达 III 级以上者为 42.4%。Tao 等 [20] 在一项长达 8 年的随访研究中发现, Bryan 人工颈椎间盘置换术在末次随访时发生 HO 的概率为 51.4%, 并且在发生 McAfee 分级 III 级以上的 HO 病例中, 其假体活动度受到不同程度影响, 并

表 2 末次随访时人工颈椎间盘活动度及 HO 节段数

Table 2 ROM of upper and lower segments and McAfee classification segments at final follow-up

	上位节段 Upper segment	下位节段 Lower segment
活动度 (°) Range of motion	$6.23^{\circ}\pm 10.13^{\circ}$	$3.76^{\circ}\pm 4.81^{\circ}$ ①
McAfee 分级 (n) McAfee classification		
0 级 Level 0	6	5
I 级 Level I	4	1
II 级 Level II	3	2
III 级 Level III	7	7
IV 级 Level IV	1	6

注: ①与上位节段比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with upper segment, $P<0.05$

且轴性疼痛的发生率明显增加。

3.2 人工颈椎间盘置换术后 HO 发生的原因

Matthew 等报道在对双节段人工颈椎间盘 10 年的随访中发现,出现 McAfee 分级Ⅳ级的 HO 上位节段为 8.2%,下位节段为 10.3%,并且Ⅲ~Ⅳ级的骨化在 7 年后几乎不再发展(由 7 年时的 42.4%至 10 年时的 39.0%)^[21]。Michael 等^[22]报道残余终板(residual exposed endplate,REE)是导致异位骨化的危险因素,REE>2mm 的患者其异位骨化发生率是 REE≤2mm 的患者的 4.5 倍。Yang 等^[23]在比较了 activeC 与 Bryan 人工颈椎间盘术后 2 年的异位骨化发生情况及活动度时发现,Bryan 人工颈椎间盘异位骨化的发生率高达 85%,但是 Bryan 人工颈椎间盘的活动度($56.4^{\circ} \pm 10.8^{\circ}$)却明显大于 activC 人工颈椎间盘($49.5^{\circ} \pm 14.0^{\circ}$, $P=0.044$)。这也提示 Bryan 过大的活动度可

能与其异位骨化的发生率较高有关。本研究中对 21 例行连续双节段人工颈椎间盘置换术的患者进行了 8~13 年的长期随访,发现行双节段人工颈椎间盘置换术的患者手术满意度较高,术后长期获得良好的临床效果,末次随访 mJOA 评分 16.8 ± 1.2 分,平均改善率达 76%,末次随访时 VAS 评分为 0.9 ± 0.8 分,对正常生活基本没有影响。随访的 21 例患者均未出现如 C5 神经根麻痹、食管气管瘘等严重并发症。其中 2 例患者进行了二次手术。其中 1 例是因为发生严重的 HO,后方的骨化突入椎管内压迫神经导致症状再次出现并逐渐加重,经保守治疗无效,最终选择行后路二次手术。另 1 例是因为 HO 发生后间盘活动度消失,手术上一节段出现邻椎病,于当地医院行后路手术后症状缓解。本研究所纳入的 21 例患者中末次随访时发生 HO 的有 16 例,长期随访 HO 的发生率



图 2 人工颈椎间盘术后 10 年因 HO 行二次手术 **a, b** 患者颈椎动力位 X 线片可见 C4/5、C5/6 人工颈椎间盘置换术后,两个节段前后都有明显骨化,C5/6 活动度消失 **c, d** 颈椎 CT、MRI 可以发现 C5/6 水平 HO 突入椎管,压迫脊髓 **e, f** 行后路单开门椎管扩大成形术后 CT 示压迫解除

Figure 2 One patient underwent a second operation owing to HO 10 years after the cervical disc replacement **a, b** X-ray film showed significant ossification at both anterior and posterior segments, and the mobility of C5/6 disappeared after C4/5 and C5/6 cervical disc replacement **c, d** CT and MRI of showed HO at C5/6 level protruding into spinal canal and compressing spinal cord **e, f** CT showed relief of compression after posterior open-door expansive laminoplasty

为 76.2%。根据 McAfee 分级,21 例患者 42 个节段中,有 30 个节段出现 HO,其中 5 个节段为 I 级,5 个节段为 II 级,14 个节段为 III 级,7 个节段为 IV 级。III、IV 级的患者占总人数的 50%,说明在 8 年以上的随访中,近一半的人工颈椎间盘的活动度会受到 HO 的影响,这对人工颈椎间盘的进一步开展带来很大的阻力,并对人工颈椎间盘设计的改进提出挑战。我们的研究中发现长期随访中,双节段人工颈椎间盘置换术上位节段的活动度往往要高于下位节段的活动度,末次随访上位节段活动度为 $6.23^{\circ} \pm 10.13^{\circ}$,下位节段活动度为 $3.76^{\circ} \pm 4.81^{\circ}$,且二者具有统计学差异 ($P=0.025$)。这一现象可能是因为 Bryan 人工颈椎间盘的活动缺少阻尼,导致间盘活动缺乏限制,使上一节段间盘不稳定、活动度过大,导致下位节段承受应力不断累加,最终导致 HO 发生使得间盘活动度降低。在我们随访的 21 例患者中,有 2 例上位节段活动度达 13° 及 17° ,远远超出了 Bryan 人工颈椎间盘的设计活动度(设计活动度为 11°),且二者下位节段均出现严重的 HO,McAfee 分级均达 IV 级,且上一位椎间隙椎体前方及椎体前后缘也均出现了骨化现象。这些骨化的发生到底是由于正常的退变导致的,或是因为活动度过大使得邻近椎间隙上下椎体反复碰撞,同时椎体前方残留前纵韧带及瘢痕张力过大,最终形成异位骨化?并且通过比较发现,本研究中上位节段的 HO 发生椎体前方骨化的概率为 42.9%,远远高于下位节段(23.8%)。而同时,下位节段椎体后缘的 HO 发生率(71.4%)高于上位节段(42.9%),且在下位节段出现 HO 的病例,100%都在椎体后缘可以观察到 HO 的形成。这一现象可能由于颈部屈伸运动时由于头部重心的偏移,所受张力不均,导致上下节段 HO 发生的位置有差异。

3.3 本研究的局限性

本研究为单中心回顾性研究,样本量不足,且缺乏有效的对照组,其原因进行连续双节段人工颈椎间盘手术的适应证较为狭窄,且所纳病例随访时间较长,部分患者失访。本研究对双节段人工颈椎间盘置换术后所观察到的 HO 现象进行总结,但仍未明确 HO 的发生机制及危险因素,仍需要大样本,长时间的随访研究以明确 HO 高发生率的原因。

虽然人工颈椎间盘的初衷是模拟正常间盘组

织的活动,但在设计其活动性的同时却忽略了正常间盘组织的组织韧度及缓冲特性,导致活动度过大或活动时阻力过小导致形变过于容易及迅速,最终导致 HO 的形成。这有可能是新一代人工颈椎间盘急需解决的问题。

4 参考文献

1. Cai S, Tian Y, Zhang J, et al. Efficacy and safety of total disc replacement with anterior cervical discectomy and fusion in the treatment of cervical disease: a meta-analysis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2020, 45(20): 1419-1425.
2. Zhai S, Li A, Li X, et al. Total disc replacement compared with fusion for cervical degenerative disc disease: a systematic review of overlapping meta-analyses[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(19): e20143.
3. Yang W, Si M, Hou Y, et al. Superiority of 2-Level total disk replacement using a cervical disk prosthesis versus anterior cervical discectomy and fusion[J]. Orthopedics, 2018, 41(6): 344-350.
4. McAfee PC, Cunningham BW, Devine J, et al. Classification of heterotopic ossification (HO) in artificial disk replacement [J]. J Spinal Disord Tech, 2003, 16(4): 384-389.
5. Nunley PD, Cavanaugh DA, Kerr EJ, et al. Heterotopic ossification after cervical total disc replacement at 7 years—prevalence, progression, clinical implications, and risk factors[J]. Int J Spine Surg, 2018, 12(3): 352-361.
6. Guo H, Sheng J, Sheng WB, et al. An eight-year follow-up study on the treatment of single-level cervical spondylosis through intervertebral disc replacement and anterior cervical decompression and fusion[J]. Orthop Surg, 2020, 12(3): 717-726.
7. Cuéllar JM, Lanman TH, Rasouli A. The safety of single and multilevel cervical total disc replacement in ambulatory surgery centers[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2020, 45(8): 512-521.
8. Gao X, Yang Y, Liu H, et al. A comparison of cervical disc arthroplasty and anterior cervical discectomy and fusion in patients with two-level cervical degenerative disc disease: 5-year follow-up results [J]. World Neurosurg, 2019, 122: e1083-e1089.
9. Pointillart V, Castelain JE, Coudert P, et al. Outcomes of the Bryan cervical disc replacement: fifteen year follow-up[J]. Int Orthop, 2018, 42(4): 851-857.
10. Zhao H, Duan LJ, Gao YS, et al. Comparison of the adverse events of anterior cervical disc replacement versus anterior cervical discectomy and fusion: a protocol for a systematic review and meta-analysis of prospective randomized controlled trials[J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97(16): e0015.
11. Latka D, Kozłowska K, Miekisiak G, et al. Safety and efficacy of cervical disc arthroplasty in preventing the adjacent

- segment disease: a meta-analysis of mid- to long-term outcomes in prospective, randomized, controlled multicenter studies[J]. *Ther Clin Risk Manag*, 2019, 15: 531-539.
12. Hu L, Wu T, Liu H, et al. Influence of fusion on the behavior of adjacent disc arthroplasty in contiguous 2-level hybrid surgery in vivo [J]. *World Neurosurg*, 2019, 132: e929-e940.
13. Cheng L, Nie L, Zhang L, et al. Fusion versus Bryan Cervical Disc in two-level cervical disc disease: a prospective, randomised study[J]. *Int Orthop*, 2009, 33(5): 1347-1351.
14. Zhao H, Cheng L, Hou Y, et al. Multi-level cervical disc arthroplasty (CDA) versus single-level CDA for the treatment of cervical disc diseases: a meta-analysis [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(1): 101-112.
15. Zou S, Gao J, Xu B, et al. Anterior cervical discectomy and fusion (ACDF) versus cervical disc arthroplasty(CDA) for two contiguous levels cervical disc degenerative disease: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(4): 985-997.
16. Dowdell JE, Kim JS, Mikhail C, et al. The rate of heterotopic ossification following cervical disc arthroplasty: a systematic review and comparison of data [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2020, 45(18): E1197-E1202.
17. Hui N, Phan K, Cheng H, et al. Complications of cervical total disc replacement and their associations with heterotopic ossification: a systematic review and meta-analysis [J]. *Eur Spine J*, 2020, 29(11): 2688-2700.
18. Zhou F, Li S, Zhao Y, et al. Quantitative analysis of the correlation between preoperative cervical degeneration and postoperative heterotopic ossification after cervical disc replacement: minimum 10-year follow-up data[J]. *J Neurosurg Spine*, 2020, 17: 1-6.
19. Lanman TH, Burkus JK, Dryer RG, et al. Long-term clinical and radiographic outcomes of the Prestige LP artificial cervical disc replacement at 2 levels: results from a prospective randomized controlled clinical trial [J]. *J Neurosurg Spine*, 2017, 27(1): 7-19.
20. Lei T, Liu Y, Wang H, et al. Clinical and radiological analysis of Bryan cervical disc arthroplasty: eight-year follow-up results compared with anterior cervical discectomy and fusion [J]. *Int Orthop*, 2016, 40(6): 1197-1203.
21. Gornet MF, Lanman TH, Burkus JK, et al. Two-level cervical disc arthroplasty versus anterior cervical discectomy and fusion: 10-year outcomes of a prospective, randomized investigational device exemption clinical trial [J]. *J Neurosurg Spine*, 2019, 21: 1-11.
22. Yang M, Ryu W, Casha S, et al. Heterotopic ossification and radiographic adjacent-segment disease after cervical disc arthroplasty[J]. *J Neurosurg Spine*, 2019, 2: 1-10.
23. Yang X, Donk R, Bartels R, et al. Comparing heterotopic ossification in two cervical disc prostheses[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2020, 45(19): 1329-1334.

(收稿日期:2020-08-21 修回日期:2020-11-16)

(英文编审 庄乾宇/谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)