

· 基础研究 ·

生长棒技术治疗早发型脊柱侧凸研究的可视化分析

曾帅丹¹, 高福堂², 邱鑫¹, 刘丹¹, 唐盛平^{1*}, 熊竹^{1*}

1. 深圳市儿童医院骨科, 深圳 518026

2. 深圳市宝安区妇幼保健院小儿外科, 深圳 518333

【摘要】目的 探讨生长棒技术治疗早发型脊柱侧凸(EOS)中的研究现状和进展, 总结既往该领域中的研究趋势和热点。方法 以EOS和生长棒技术相关词汇为关键词, 通过检索Web of Science(WOS)数据库, 收集2010—2019年相关文献, 使用CiteSpace软件分析文献发表现状、趋势及聚类热点。结果 共收集360篇生长棒技术治疗EOS的相关研究文献。*Spine*是这一时期该领域最热门的期刊。在过去10年, 美国在全球脊柱侧凸研究领域一直保持领先地位, 而在研究机构方面, 土耳其哈西德佩大学是该领域研究的领头羊。来自圣地亚哥脊柱疾病中心的作者Akbarnia在该领域的研究取得了巨大成就。共选取了22个高频关键词, 聚类分析后得到13个聚类。结论 生长棒技术治疗EOS的研究热点集中在术后椎体生长情况和术后生长棒形态改变方面。美国在引领该领域研究的发展中发挥着重要作用。

【关键词】脊柱侧凸; 矫形外科固定装置; 儿童; 文献计量学

【中图分类号】R 682.3 【文献标志码】A 【文章编号】1672-2957(2021)03-0182-08

【DOI】10.3969/j.issn.1672-2957.2021.03.008

Growing rods for treatment of early onset scoliosis: a bibliometric analysis

Zeng Shuaidan¹, Gao Futang², Qiu Xin¹, Liu Dan¹, Tang Shengping^{1*}, Xiong Zhu^{1*}

1. Department of Orthopaedics, Shenzhen Children's Hospital, Shenzhen 518026, Guangdong, China

2. Department of Pediatric Surgery, Baoan Maternal and Child Health Hospital, Shenzhen 518333, Guangdong, China

【Abstract】Objective To explore the research status and progress of growing rod technique in the treatment of early-onset scoliosis(EOS) in children, and summarize the research trends and hot spots in this field. Methods By searching the Web of Science(WOS) database, the literatures from 2010 to 2019 were collected using keywords related to EOS and growing rod techniques. The CiteSpace software was used to analyze and visualize the publication status, trends and clustering hot spots of the literatures. Results A total of 360 papers concerned with EOS with growing rod treatment were collected. The *Spine* is the hottest journal in the field during this period. For the past 10 years, the United States had maintained a leading position in global scoliosis research. In terms of research institutions, the Hacettepe University in Turkey was the bellwether in this field. Professor Akbarnia, from San Diego Center for Spinal Disorders, had made great achievements. A total of 22 high-frequency keywords were selected, and 13 clusters were obtained after cluster analysis. Conclusions The research focus of growing rod technology in the treatment of EOS focuses on vertebral growth and spinal rod contour. The United States plays an important role in leading the development of research in this field.

【Key Words】Scoliosis; Orthopedic fixation devices; Child; Bibliometrics

J Spinal Surg, 2021, 19(3): 182-189

早发型脊柱侧凸(EOS)是指在10岁以下儿童中出现的脊柱畸形, 该病是多种病因共同作用的结果, 包括先天性畸形、神经肌肉性/遗传性骨发育不良及其综合征引起的脊柱畸形^[1]。2014年, Williams等^[2]对EOS进行了分类, 建立了C-EOS分型方法,

并被广泛接受。EOS未经治疗可能出现脊柱融合, 将导致躯干和脊柱长度缩短, 影响胸腔和胸壁的发育并造成肺功能不全, 严重者甚至危及患儿生命。生长棒技术治疗EOS的基本原则是最大限度地延长整个胸椎节段的长度。1962年, Harrington^[3]首次报道哈氏棒以来, 钉棒系统内固定已经历了多次的改进或革新。Akbarnia等^[4]于2005年报道了双生长棒技术, 其应用了Isola连接器作为延长及连接枢纽, 横联固定控制旋转, 但需要多次手术行撑棒延长, 并发症较多。因此, 自动撑开型生长棒应运而生,

*通信作者(Corresponding author)

基金项目 深圳市医学重点学科建设经费资助项目(SZJK035)

深圳市“医疗卫生三名工程”项目(SZSM202011012)

作者简介 曾帅丹(1989—), 硕士, 主治医师; kent0801@126.com

通信作者 唐盛平 tangshengping56@126.com

熊竹 bambobear@163.com

2015年, 磁力控制生长棒系统(MCGR)^[5]正式用于EOS的手术治疗, 该系统避免了重复麻醉和手术, 其长度可通过磁力调节, 门诊即可操作。此外, 还有基于生长引导的生长棒技术, 如Shilla系统(SGGS)^[6]和现代Luque系统(MLT)^[7]。这类内固定避免了多次手术引发的问题, 但也有置钉松动、钉棒滑动不良或脊柱自发融合等并发症。总之, 生长棒技术治疗EOS还有许多临床和科研的问题需要进一步探讨。

本研究采用文献计量分析对近年生长棒技术治疗EOS领域的研究进展和主题进行调查分析, 展示其发展现状、趋势和研究热点。

1 材料与方法

以“early-onset scoliosis”“EOS”“congenital scoliosis”“idiopathic scoliosis”“neuromuscular scoliosis”“growing rod”“pedicle screw”“screw rod system/nail stick system”为关键词, 在Web of Science(WOS)数据库进行文献检索, 检索时间为2010—2019年, 再经人工筛选文献标题、摘要, 剔除与研究无关、重复发表的文献, 及会议记录、摘要、科普宣传等。文献检索和下载在同一天完成, 以减少因数据库频繁更新导致的检索结果改变。

自WOS收集到的数据包括文献标题、国家、机构、期刊、作者、关键词、参考文献、共引用作者和共引用期刊, 将以上数据以文本文档格式导出, 再导入Citespace V5.6.R5软件用于文献计量分析, 绘制可视化图谱。①以作者、国家、机构节点作合作网络分析, 图谱中名称大小表示发表文献数量多少, 节点大小表示其中心性, 中心性是衡量该关键词在网络中重要性的指标。②进行参考文献、作者和期刊的共被引分析, 图谱中节点大小代表被引次数, 连线颜色代表首次共被引时间。③提取所有关键词, 并将含义相近的关键词进行合并, 统计热点关键词的频数与比例, 再根据Donohue高频、低频词界分公式^[8]确定高频关键词, 将高频关键词作共现分析, 了解近年研究热点和趋势。④通过聚类功能将关键词划分为不同研究方向, 使用突现功能找出突现关键词及其时间, 该功能可找出某关键词出现和消失的节点, 提示研究领域内热点的转变。

2 结果

2.1 文献发表数量变化趋势

经检索和筛选后, 本研究共纳入文献360篇, 10年间整体文献发表数量呈上升趋势, 除2013、

2015和2019年较上年有所减少之外, 其余年份的文献发表数量均有上升(图1)。

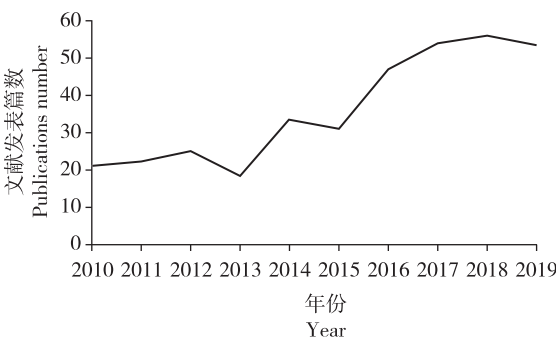


图1 文献发表量变化趋势

Fig. 1 Trend of terms publication number

2.2 国家和机构

检索结果显示, 共477个国家/地区、292所机构(包括合作发表)发表文献。美国是发表文献量(139篇)最多的国家, 其次是中国(79篇)、土耳其(43篇); 贡献文献最多的10所机构中, 土耳其的哈西德佩大学位列第1(24篇), 香港大学位列第5(16篇), 其余8所机构均来自美国。具体见表1。

表1 文献发表量前10位的国家和机构

Tab. 1 Top 10 countries and institutions in terms publication number

排名 Rank	按国家排名 Ranking by country		按机构排名 Ranking by institutions	
	国家 Country	文献发表 篇数 Publication number	机构 Institution	文献发表 篇数 Publication number
1	美国 USA	139	哈西德佩大学(土耳其) Hacettepe University(Turkey)	24
2	中国 China	79	圣地亚哥脊柱疾病中心(美国) San Diego Center for Spinal Disorders(USA)	19
3	土耳其 Turkey	43	圣地兄弟会儿童医院(美国) Shriners Hospitals for Children(USA)	17
4	英国 Britain	29	加州大学圣地亚哥分校(美国) University of California, San Diego(USA)	17
5	日本 Japan	27	香港大学(中国香港) University of Hong Kong(Hong Kong, China)	16
6	加拿大 Canada	22	洛杉矶儿童医院(美国) Children's Hospital Los Angeles(USA)	16
7	法国 France	15	波士顿儿童医院(美国) Boston Children's Hospital(USA)	12
8	印度 Indian	10	凯斯西储大学(美国) Case Western Reserve University(USA)	11
9	韩国 Korea	9	费城儿童医院(美国) Children's Hospital of Philadelphia(USA)	11
10	意大利 Italy	9	哥伦比亚大学(美国) Columbia University(USA)	10

美国发表文献的数量和中心度均最高, 发表文献量前5的机构在合作网络中也表现出较高的中心性, 中国虽然比加拿大发表文献数量多, 但其中心度较低(0.32 vs. 0.59); 机构间研究网络密度较低(0.014 2), 各机构相对分散, 合作较少(图2、3)。

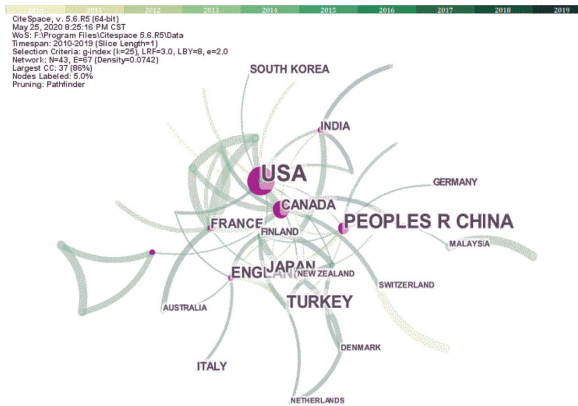


图2 各国间合作网络

Fig. 2 Cooperation networks between countries

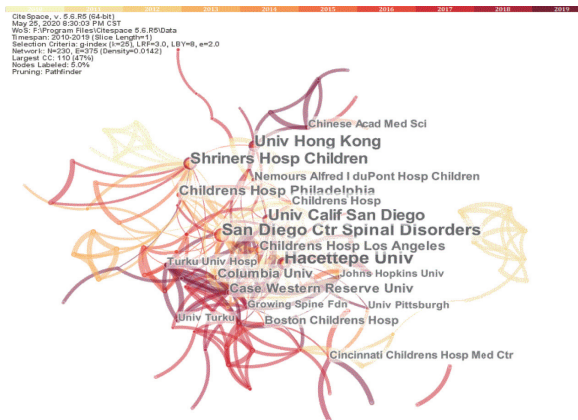


图3 各机构间合作网络

Fig. 3 Cooperation networks between institutions

2.3 文献来源

360篇文献共来源于58个期刊, 其中, 发表量最多的10本期刊的文献发表量占纳入文献总量的70.6%(254/360), 中科院分区(CAS Division)和影响力因子(IF)情况见表2。其中, *J Spinal Disord Tech* 未被最新期刊引证报告(JCR)收录。

2.4 贡献显著和高频共被引作者

本研究共纳入相关作者136位、共被引作者372位, 发表文献量和被引用次数前10位的作者见表3。来自圣地亚哥脊柱疾病中心的Akbaria发表文献最多, 中心度达0.19, 排名第1。另外, 需要提到的是第8位, 来自洛杉矶儿童医院的研究团队——Growing Spine Study Group, 表3中的Yazici、Shah、Skaggs和Sankar都是该团队成员。在共被引作者中, Akbaria

同样排名第1, 其论文在2010—2019年被引用192次。位于第2的Bess(119次)和第3的Thompson(117次)均来自圣地亚哥脊柱疾病中心。位于第8的来自哥伦比亚大学医学中心骨科的Lenke是国际脊柱矫形界著名的领军人物, 他于2001年发表的特发性脊柱侧凸Lenke分型方法仍在广泛使用。位于第9的香港大学李嘉诚医学院脊柱外科及骨伤科张文智是中国港澳台地区该领域的先驱。

表2 文献发表量前10位期刊

Tab. 2 Top 10 journals in terms publication number

排名 Rank	期刊 Journal	文献发表篇数 Publication number	CAS Division (2020)	IF (2019)
1	<i>Spine</i>	82	骨科2区 Orthopedics Q2	2.9
2	<i>Eur Spine J</i>	49	骨科2区 Orthopedics Q2	2.5
3	<i>J Pediatr Orthop</i>	48	骨科3区 Orthopedics Q3	2.0
4	<i>Spine J</i>	18	骨科2区 Orthopedics Q2	3.2
5	<i>Bone Joint J</i>	11	骨科1区 Orthopedics Q1	4.3
6	<i>J Spinal Disord Tech*</i>	11	—	—
7	<i>J Orthop Sci</i>	10	骨科4区 Orthopedics Q4	1.2
8	<i>Clin Orthop Relat Res</i>	9	骨科1区 Orthopedics Q1	4.1
9	<i>Clin Spine Surg</i>	8	骨科4区 Orthopedics Q4	1.7
10	<i>J Pediatr Orthop B</i>	8	骨科4区 Orthopedics Q4	0.7

注: * 未被最新JCR收录。

Note: * Not included in newest JCR.

表3 贡献和被引次数前10位作者

Tab. 3 Top 10 authors with most contribution and citation

排名 Rank	作者 Author	文献发表 篇数 Publication number	中心度 Centrality	共被 引作者 Co-cited author	被引 次数 Citation
1	Akbaria	29	0.19	Akbaria	192
2	Yazici	21	0.07	Bess	119
3	Thompson	14	0.03	Thompson	117
4	Emans	14	0.03	Kim	102
5	Shah	13	0.01	Suk	100
6	Sponseller	12	0.15	Campbell	88
7	Skaggs	11	0.03	Sankar	88
8	Growing Spine Study Group	11	0.02	Lenke	82
9	Pawelek	11	0.01	Cheung	73
10	Samdani	10	0.03	Karol	71

作者合作网络密度为0.012 8, 作者间相对分散, 从节点及连线可知合作主要在同一地区作者之间。Yazici、Sponseller 和 Shah 近年较为活跃, 有较新的论文发表, 也与其他作者合作较多(图4)。

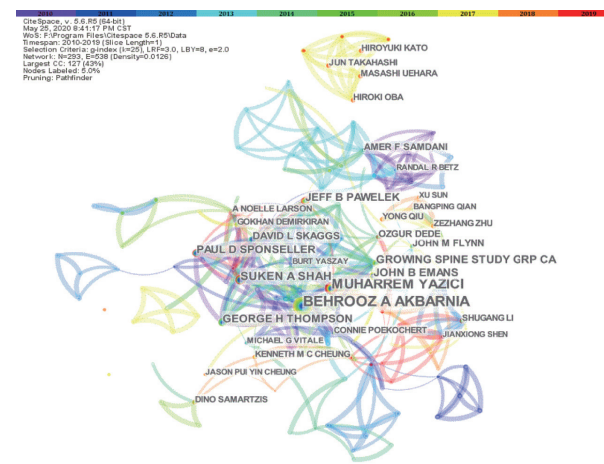


图4 作者间合作网络

Fig. 4 Cooperation networks between authors

2.5 高被引参考文献

根据参考文献共被引次数统计分析, 得到423篇参考文献, 被引次数最高的10篇文献见表4。其中, 有7篇都是由 Akbarnia 或其合作团队成员发表。被引第1的是由 Bess 等^[9]于2010年发表, 该研究通

过对140例患者, 共897例生长棒手术进行随访, 发现延迟生长棒的初次手术时间、使用双棒并限制延长次数可减少相关并发症的发生。另外, 肌层下放置生长棒可减少切口和置入物相关的并发症, 减少非计划二次手术风险。被引第2的是 Akbarnia 等^[10]于2008年报道的关于双生长棒技术的治疗效果随访, 该研究对13例接受双生长棒治疗直至最终融合的病例平均随访4.3年, 发现双生长棒能显著延长脊柱长度。被引第3的是 Cheung 等^[11]于2012年发表的关于 MCGR 在严重脊柱侧凸儿童中运用的前瞻性研究, 该研究纳入2例采用 MCGR 治疗的患儿, 2年随访后患儿脊柱功能恢复良好, 未发现相关并发症, 同时也降低了心理影响, 较传统生长棒更经济。被引第4的是 Akbarnia 等^[12]于2013年发表的 MCGR 临床应用的多中心研究, 它通过对比 MCGR 和传统生长棒的术后效果, 证实 MCGR 也能安全提供与传统生长棒相似的有效支撑牵引。被引第5的是由 Dannawi 等^[13]报道的 MCGR 的临床应用结果, 该研究共纳入34例采用 MCGR 治疗的 EOS 患儿, 平均随访15个月, 发现所有患儿的 Cobb 角和胸腔容积均得到显著改善, 认为虽然切口及内置物相关并发症难以避免, 但 MCGR 治疗 EOS 是安全有效的, 其最大优势是避免了重复的手术延长。由于当时 MCGR 还未正式批准在人体内使用, 所以以

表4 高被引次数前10位文献

Tab. 4 Top 10 most cited papers

排名 Rank	题目 Title	作者 Authors	期刊(年份) Journal(year)	共被引次数 Co-citation
1*	Complications of growing-rod treatment for early-onset scoliosis: analysis of one hundred and forty patients	Bess, et al.	J Bone Joint Surg Am (2010)	96
2*	Dual growing rod technique followed for three to eleven years until final fusion: the effect of frequency of lengthening	Akbarnia, et al.	Spine(2008)	80
3*	Magnetically controlled growing rods for severe spinal curvature in young children: a prospective case series	Cheung, et al.	Lancet(2012)	60
4*	Next generation of growth-sparing techniques: preliminary clinical results of a magnetically controlled growing rod in 14 patients with early-onset scoliosis	Akbarnia, et al.	Spine(2013)	56
5	Early results of a remotely-operated magnetic growth rod in early-onset scoliosis	Dannawi, et al.	Bone Joint J(2013)	52
6*	Lengthening of dual growing rods and the law of diminishing returns	Sankar, et al.	Spine(2011)	49
7*	Growing rod techniques in early-onset scoliosis	Thompson, et al.	J Pediatr Orthop(2007)	41
8*	Dual growing rod technique for the treatment of progressive early-onset scoliosis: a multicenter study	Akbarnia, et al.	Spine(2005)	40
9	Pulmonary function following early thoracic fusion in non-neuromuscular scoliosis	Karol, et al.	J Bone Joint Surg Am (2008)	39
10	Growing rod fractures: risk factors and opportunities for prevention	Yang, et al.	Spine(2011)	34

注: *由 Akbarnia 或其合作团队成员发表。

Note: * Reported by Akbarnia or associated team members.

上研究病例数均较少,但其结果为后续研究的广泛开展提供了宝贵经验。被引第6的是由Sankar等^[14]在2011年报道的关于双生长棒在治疗过程中延长次数与疗效关系的研究,该研究发现虽然多次的延长会使胸腔容积增加,但后期可能会因为脊柱的自发融合导致增益趋于减少。被引第7的是Thompson等^[15]于2007年报道的几种生长棒技术治疗EOS的临床效果对比,包括单生长棒、双生长棒和垂直可扩张假体钛肋骨(VEPTR),结果表明,3种技术均能有效治疗EOS,VEPTR在先天性脊柱侧凸合并肋骨融合中尤其有效,当时也已被批准用于临床。但这几种方法均有一定的并发症发生率,比如棒断裂和固定钩移位。被引第8的是Akbarnia等^[4]于2005年首次报道的双生长棒技术,具有里程碑式的意义,该研究纳入了1993—2001年23例使用双生长棒治疗的各种类型脊柱侧凸患者,结果显示,该技术可有效改善Cobb角、增加胸段脊柱长度、增大胸腔容积,但在治疗期间有11例患儿(48%, 11/23)发生并发症。尽管如此,该研究在当时依然证实了双生长棒技术是安全有效的,比单棒提供了更多稳定性。被引第9的是Karol等^[16]于2008年发表的关于早期行胸椎融合对脊柱侧凸儿童肺功能发育的影响,该研究对28例不超过9岁接受胸椎融合的患儿进行肺功能测试并随访5年,结果发现,接受近端胸椎4个以上节段融合的患儿,尤其是合并肋骨畸形的患儿,发生限制性肺病的风险最高。被引第10的是Yang等^[17]在2011年发表的关于生长棒断裂的风险因素和预防的研究,作者通过对327例患儿的数据进行分析,发现固定棒断裂发生率约为15%,其危险因素包括既往断棒史、单棒固定、不锈钢棒、棒直径过小,另外,邻近棒的连接部位术前过多活动也更容易发生棒断裂。

2.6 关键词及热点聚类分析

对纳入文献进行关键词提取合并后,共获得449个关键词,频次为2 888次,通过Donohue公式计算高频词临界值为23.5,最终获得高频关键词22个,频次为2 044次,占有引用频次的70.8%(表5)。中心度最高的关键词为“pulmonary function”,其次为“follow up”“congenital scoliosis”“placement”,分别反映了术后、术中和术前的研究重点。

各关键词之间的共现关系和聚类信息见图5。节点之间的连线粗细表示共现强度,颜色对应节点第1次共现的时间。通过软件的聚类功能,所有关键词被归纳为13个类别,以聚类类号#0~#12排列,

聚类模块值为0.622 7,平均轮廓值为0.556 7。

表5 高频热点关键词的分布和中心度

Tab. 5 Distribution and centrality of high frequency keywords

序号 Rank	关键词 Key word	频次 Frequency	占比(%) Percentage(%)	中心度 Centrality
1	Fusion	185	6.41	0.03
2	Instrumentation	179	6.20	0
3	Spinal deformity	176	6.09	0
4	Early onset scoliosis	170	5.89	0.03
5	Growing rod	155	5.37	0.02
6	Adolescent idiopathic scoliosis	152	5.26	0
7	Surgery	136	4.71	0.03
8	Young children	115	3.98	0.03
9	Complication	98	3.39	0.08
10	Thoracic spine	97	3.36	0.07
11	Pedicle screw	93	3.22	0.06
12	Follow up	78	2.70	0.16
13	Congenital scoliosis	53	1.84	0.15
14	Growth	52	1.80	0.12
15	Growth guidance	48	1.66	0.12
16	Placement	46	1.59	0.15
17	Pulmonary function	43	1.49	0.22
18	Management	42	1.45	0.13
19	Curve correction	36	1.25	0.12
20	Construct	36	1.25	0.12
21	Curve	28	0.97	0.12
22	Risk factor	26	0.90	0.15
合计 Total		2 044	70.8	

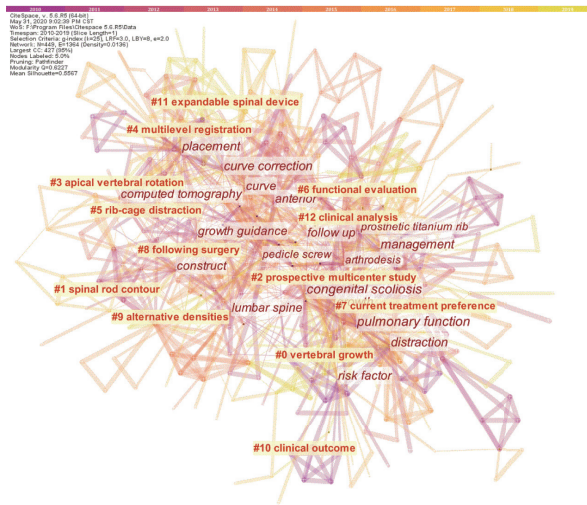


图5 关键词共现和聚类网络

Fig. 5 Network of keyword co-occurrence and clustering

contour(生长棒形态),双生长棒术后棒的形态会发生变化,以凹侧为主,固定棒的预弯有利于矫形并保留矢状位力线^[20]。#2 prospective multicenter study(前瞻性多中心研究),是高循证级别研究,所得结果也更具有科学性和权威性,近年在生长棒技术方面的多中心研究也越来越多^[21]。#3 apical vertebral rotation(顶椎旋转),其在EOS发展过程中,与冠状位畸形和肺功能障碍有紧密关系,双生长棒手术对椎体旋转有明显矫正作用^[22]。#4 multilevel registration(多级配准),近10年CT辅助导航系统在脊柱手术中逐渐运用,提高了椎弓根螺钉置钉准确性,该技术会记录术前每个椎体的影像学信息,从而避免在导航过程中脊柱位置从仰卧位到俯卧位的影响,但操作时间较长。有研究团队开发了一种能够同时记录3个连续椎体的方法,减少了手术时间,且不会影响置钉的准确性^[23]。#5 rib-cage distraction(肋骨牵引),是通过作用于胸壁而不是脊柱的器械来间接治疗EOS和复杂先天性畸形,从而避免影响椎体的生长,例如肋骨和脊柱的混合棒牵引系统,可同时同时对肋骨和脊柱进行牵拉^[24]。#6 functional evaluation(功能评估),术后对患者各方面功能进行长期随访和评估,包括肺功能、步态活动和运动耐力的评估等,这些都是EOS治疗的长期目标,影响患者的生活质量^[25]。#7 current treatment preference(当前治疗偏好),近10年治疗EOS的手术选择越来越多,内固定系统也在不断更新迭代,必要的回顾性研究有助于专科医师了解手术、内固定器械的现状和发展趋势,以及相关并发症和风险,从而选择最优的治疗方式^[26]。#8 following surgery(手术后)、#10 clinical outcome(手术结局)、#12 clinical analysis(临床分析),生长棒手术的结果、远期并发症和后期的影响仍需要不断的研究和探索来提供新的有价值的信息,确定潜在危险因素和准确的手术指征^[27-28]。#9 alternative densities(不同置钉密度),置钉密度不同会产生不同的生物力学效应,相同的融合水平下,低密度置钉会增加每个螺钉的负荷,但会减少施加在脊柱上的约束和应力;高密度置钉减少螺钉的负荷,提高局部矫形能力,但代价是过度约束,导致结构上的应力增大^[29]。#11 expandable spinal device(可延长固定装置),随着医疗科技的发展,可延长固定装置逐渐推陈出新,现存的技术也会进一步被完善和优化,使患者以更低的风险获得更好的疗效,所以,医学结合多学科的转化医学模式必然是今后的研究热点。

由于数据库资料完整度的限制,本研究仅纳入了WOS数据库中的英文文献,缺乏国内对于该领域的研究报道,因此,分析与实际出版情况可能存在差异,不能完全反映国内外整体研究现状。综上,本研究对2010—2019年生长棒技术治疗EOS的英文文献进行了文献计量分析并绘制了可视化图谱,结果显示,生长棒技术治疗EOS的研究热点集中在术后椎体生长情况和术后生长棒形态改变方面。美国在引领该领域研究的发展中发挥着重要作用。本研究展示了该领域近10年的权威信息、研究趋势和目前的研究现状,为广大学者们提供借鉴参考,也有助于激发新的研究思路。

参考文献

- [1] Pahys JM, Guille JT. What's new in congenital scoliosis? [J]. J Pediatr Orthop, 2018, 38(3): e172-e179.
- [2] Williams BA, Matsumoto H, McCalla DJ, et al. Development and initial validation of the classification of early-onset scoliosis (C-EOS) [J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96(16): 1359-1367.
- [3] Harrington PR. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation [J]. J Bone Joint Surg Am, 1962, 44: 591-610.
- [4] Akbarnia BA, Marks DS, Boachie-Adjei O, et al. Dual growing rod technique for the treatment of progressive early-onset scoliosis: a multicenter study [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30(17 Suppl): S46-S57.
- [5] Hardesty CK, Huang RP, El-Hawary R, et al. Early-onset scoliosis: updated treatment techniques and results [J]. Spine Deform, 2018, 6(4): 467-472.
- [6] McCarthy RE, Luhmann S, Lenke L, et al. The shilla growth guidance technique for early-onset spinal deformities at 2-year follow-up: a preliminary report [J]. J Pediatr Orthop, 2014, 34(1): 1-7.
- [7] Ouellet J. Surgical technique: modern Luqué trolley, a self-growing rod technique [J]. Clin Orthop Relat Res, 2011, 469(5): 1356-1367.
- [8] 李深情,陈思达,钱丽欢,等.我国高等医学教育慕课研究热点的共词聚类分析[J].中华医学教育探索杂志, 2016, 15(1): 62-67.
- [9] Bess S, Akbarnia BA, Thompson GH, et al. Complications of growing-rod treatment for early-onset scoliosis: analysis of one hundred and forty patients [J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(15): 2533-2543.
- [10] Akbarnia BA, Breakwell LM, Marks DS, et al. Dual growing rod technique followed for three to eleven years

- until final fusion: the effect of frequency of lengthening [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2008, 33(9): 984-990.
- [11] Cheung KM, Cheung JP, Samartzis D, *et al.* Magnetically controlled growing rods for severe spinal curvature in young children: a prospective case series[J]. Lancet, 2012, 379(9830): 1967-1974.
- [12] Akbarnia BA, Cheung K, Noordeen H, *et al.* Next generation of growth-sparing techniques: preliminary clinical results of a magnetically controlled growing rod in 14 patients with early-onset scoliosis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(8): 665-670.
- [13] Dannawi Z, Altaf F, Harshavardhana NS, *et al.* Early results of a remotely-operated magnetic growth rod in early-onset scoliosis[J]. Bone Joint J, 2013, 95-B(1): 75-80.
- [14] Sankar WN, Skaggs DL, Yazici M, *et al.* Lengthening of dual growing rods and the law of diminishing returns[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2011, 36(10): 806-809.
- [15] Thompson GH, Akbarnia BA, Campbell Jr RM. Growing rod techniques in early-onset scoliosis[J]. J Pediatr Orthop, 2007, 27(3): 354-361.
- [16] Karol LA, Johnston C, Mladenov K, *et al.* Pulmonary function following early thoracic fusion in non-neuromuscular scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(6): 1272-1281.
- [17] Yang JS, Sponseller PD, Thompson GH, *et al.* Growing rod fractures: risk factors and opportunities for prevention[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2011, 36(20): 1639-1644.
- [18] Akbarnia BA. Management themes in early onset scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2007, 89(Suppl 1): 42-54.
- [19] Rong T, Shen J, Kwan K, *et al.* Vertebral growth around distal instrumented vertebra in patients with early-onset scoliosis who underwent traditional dual growing rod treatment[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2019, 44(12): 855-865.
- [20] Cidambi KR, Glaser DA, Bastrom TP, *et al.* Postoperative changes in spinal rod contour in adolescent idiopathic scoliosis: an *in vivo* deformation study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(18): 1566-1572.
- [21] Miekisiak G, Kołowski K, Menartowicz P, *et al.* The titanium-made growth-guidance technique for early-onset scoliosis at minimum 2-year follow-up: a prospective multicenter study[J]. Adv Clin Exp Med, 2019, 28(8): 1073-1077.
- [22] Xu L, Qiu Y, Chen Z, *et al.* A re-evaluation of the effects of dual growing rods on apical vertebral rotation in patients with early-onset scoliosis and a minimum of two lengthening procedures: a CT-based study[J]. J Neurosurg Pediatr, 2018, 22(3): 306-312.
- [23] Uehara M, Takahashi J, Ikegami S, *et al.* Are pedicle screw perforation rates influenced by distance from the reference frame in multilevel registration using a computed tomography-based navigation system in the setting of scoliosis?[J]. Spine J, 2017, 17(4): 499-504.
- [24] Teli M, Lovi A, Brayda-Bruno M. Results of the spine-to-rib-cage distraction in the treatment of early onset scoliosis[J]. Indian J Orthop, 2010, 44(1): 23-27.
- [25] Johnston CE, Tran DP, McClung A. Functional and radiographic outcomes following growth-sparing management of early-onset scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2017, 99(12): 1036-1042.
- [26] Fletcher ND, Larson AN, Richards BS, *et al.* Current treatment preferences for early onset scoliosis: a survey of POSNA members[J]. J Pediatr Orthop, 2011, 31(3): 326-330.
- [27] Kabirian N, Akbarnia BA, Pawelek JB, *et al.* Deep surgical site infection following 2344 growing-rod procedures for early-onset scoliosis: risk factors and clinical consequences[J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96(15): e128.
- [28] Hill G, Nagaraja S, Akbarnia BA, *et al.* Retrieval and clinical analysis of distraction-based dual growing rod constructs for early-onset scoliosis[J]. Spine J, 2017, 17(10): 1506-1518.
- [29] Wang X, Aubin CE, Robitaille I, *et al.* Biomechanical comparison of alternative densities of pedicle screws for the treatment of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Eur Spine J, 2012, 21(6): 1082-1090.

(接受日期: 2020-08-26)

(本文编辑: 刘映梅)