

doi:10.3969/j.issn.1006-9852.2022.12.006

腰神经内侧支不同温度射频热凝治疗 慢性腰痛疗效分析 *

王海宁 刘波涛 樊碧发 司马蕾[△]

(中日友好医院疼痛科, 北京 100029)

摘要 目的: 观察腰神经内侧支进行 75℃ 和 90℃ 射频热凝治疗对慢性腰痛病人疼痛及运动功能改善情况。**方法:** 采用前瞻性随机对照研究, 选取 2021 年 1 月至 2022 年 1 月中日友好医院疼痛科符合纳入标准的慢性腰痛病人 200 例, 按随机数字表法分为 75℃ 组 ($n = 100$) 和 90℃ 组 ($n = 100$), 治疗后 1 个月、3 个月和 6 个月评价主要终点指标为疼痛数字评分法 (numerical rating scale, NRS) 评分 (0~10 分) 以及疼痛降低 2 分以上病人比例 (临床显著差异性最小差值), 次要终点指标为腰椎 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry dysfunction index, ODI) 评分降低 15 分以上病人比例。**结果:** NRS 评分变化第 3 个月和 6 个月 75℃ 组和 90℃ 组相比差异有统计学意义 (-2.1 vs. -2.8, -2.0 vs. -2.8, $P < 0.05$), 第 1、3 和第 6 个月 90℃ 组 NRS 评分降低 ≥ 2 分病人比例更高 (71.9% vs. 81.4%, 71.9% vs. 80.4%, 72.5% vs. 82.6%, $P < 0.05$)。ODI 评分变化第 3 个月和 6 个月 75℃ 组和 90℃ 组相比差异有显著统计学意义 (-13.6 vs. -18.6, -11.1 vs. -17.7, $P < 0.001$), 第 1、3 和第 6 个月 90℃ 组 ODI 评分降低 ≥ 15 分比例更高 (68.8% vs. 78.4%, 64.0% vs. 73.9%, 55.0% vs. 70.0%, $P < 0.05$)。**结论:** 对腰神经内侧支进行射频热凝治疗 90℃ 比 75℃ 效果更显著。

关键词 射频热凝; 腰痛; 运动障碍

Clinical effect of lumbar nerve medial branch radiofrequency thermocoagulation at different temperatures for chronic low back pain *

WANG Haining, LIU Botao, FAN Bifa, SIMA Lei [△]

(Pain Department of China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China)

Abstract Objective: To observe the effect of lumbar nerve medial branch radiofrequency thermocoagulation at 75℃ and 90℃ on pain and motor function in patients with chronic low back pain. **Methods:** A prospective randomized controlled study was conducted. From January 2021 to January 2022, patients with nonspecific chronic low back pain who met the inclusion criteria in the Pain Department of China-Japan Friendship Hospital were selected and randomly divided into 75℃ group ($n = 100$) and 90℃ group ($n = 100$). The primary endpoint was numerical rating scale (NRS) pain score (0-10 points) and the proportion of patients with pain reduction of more than 2 points (minimum difference of clinical significant difference) were evaluated at the time of 1 month, 3 months and 6 months after treatment. The secondary endpoint was lumbar Oswestry dysfunction index (ODI) score and the proportion of patients with ODI reduction of more than 15 points. **Results:** There was a statistically significant difference of NRS score change (-2.1 vs. -2.8, -2.0 vs. -2.8, $P < 0.05$) between the 75℃ group and the 90℃ group at the time of 3 and 6 months after treatment. The proportion of patients with NRS score reduction ≥ 2 points in the 90℃ group was higher (71.9% vs. 81.4%, 71.9% vs. 80.4%, 72.5% vs. 82.6%, $P < 0.05$) at the time of 1, 3 and 6 months after procedure. There was a statistically significant difference of ODI score change between the 75℃ group and the 90℃ group in the 3 and 6 months (-13.6 vs. -18.6, -11.1 vs. -17.7, $P < 0.001$). The proportion of ODI score reduction ≥ 15 points in the 90℃ group was higher (68.8% vs. 78.4%, 64.0% vs. 73.9%, 55.0% vs. 70.0%, $P < 0.05$) at the different time of 1, 3 and 6 months after treatment.

* 基金项目: 国家重点研发计划 (2020YFC2007304)

[△] 通信作者 司马蕾 dr_sima@163.com

Conclusion: Radiofrequency thermocoagulation of lumbar nerve medial branch at 90℃ is more effective than 75℃.

Keywords radiofrequency thermocoagulation; low back pain; dyskinesia

临床上大多数慢性腰痛源于腰椎关节突关节、骶髂关节、椎间盘或尾骨等病变^[1], 其中腰椎关节突关节 (lumbar facet joint, LFJ) 疼痛最为常见, 发病率占腰痛的 15%~45%^[2], 65 岁以上老年人腰椎关节突关节疼痛发病率 56%^[3], 造成社会庞大医疗费用支出^[4]。LFJ 疼痛使用常规药物治疗, 容易复发。腰神经内侧支是支配关节突关节唯一的神经, 是该区域疼痛信号上传的唯一通路, 解剖位置相对固定, 阻断内侧支神经理论上可快速有效缓解疼痛。国内外研究证实在 X 线引导下经皮穿刺腰神经内侧支射频热凝术能获得慢性腰痛的长期缓解^[5-7], 循证证据等级 I-II 级^[8]。目前临床射频热凝温度一般选择 75℃~90℃^[9], 但这种较大范围温度差异是否导致疗效差异尚无定论, 更缺乏前瞻性对照研究证据。本研究对中日友好医院疼痛科收治的慢性腰痛病人进行前瞻性随机对照研究, 观察 75℃ 和 90℃ 内侧支射频对慢性腰痛改善情况。

方 法

1. 一般资料

本研究通过中日友好医院医学伦理委员会审核 (伦理号 2021-154-K112-1), 中国临床试验注册号 ChiCTR2100043293。选取 2021 年 1 月至 2022 年 1 月中日友好医院疼痛科收治的符合纳入标准的慢性腰痛病人, 所有病人均签署知情同意书。

纳入标准: ①年龄 50 岁以上, 慢性腰痛病程 > 3 个月; ②单侧或双侧腰痛, 疼痛数字评分法 (numerical rating scale, NRS) 评分 4 分以上, 性质为刺痛或牵涉性胀痛, 腰椎扭动加重、休息时减轻, 疼痛可放射至臀部及腹股沟 (放射痛不超过膝); ③体格检查椎旁或臀部有压痛; ④非甾体抗炎药治疗 1 周效果不理想或不愿继续服药。

排除标准: ①严重心肺脑肝肾血液疾病; ②肿瘤、感染、骨折、结核等导致的腰痛; ③病人不配合。

2. 手术仪器和设备

射频温控热凝仪: 美国 Cosman G4 型; 射频消融针: 德国英诺曼德 Emmendingen 医疗科技有限公司, 20G×150 mm×5 mm, 针尖直径 1 mm。

3. 分组和手术方法

选择 1% 利多卡因和 0.25% 布比卡因 0.5 ml 腰

神经后内侧支诊断性阻滞, 疼痛缓解 > 80% 并持续 1 h 以上^[10] 纳入下一步分组试验。计算机产生随机数字表法分为 75℃ 组和 90℃ 组, 进行随机分配方案的隐匿, 即产生随机分配序列和确定受试对象合格性的不是同一人员。电话随访人员和数据统计人员采用盲法, 即分组情况不知晓。

射频手术治疗方法: 病人进手术室后常规心电图监测, 俯卧位, 腹下垫一薄枕, C 形臂透视下射频穿刺针穿刺至脊神经后内侧支 (横突根部和上关节突关节交界处, L₅ 后内侧支位于 S₁ 上关节突和骶骨角之间, 见图 1), 开启电刺激测试。50 Hz、0.3~0.6 V 刺激诱发出相应神经支配区放电感疼痛, 疼痛不超过膝关节, 运动测试不引起下肢肌肉颤动。热凝参数脉宽 20 ms, 频率 2 Hz, 电压 40~60 V, 温度分别为 75℃ 和 90℃, 持续时间 120 s。

4. 观察指标

所有病人治疗前及治疗后 1 个月、3 个月和 6 个月进行电话或门诊随访。

主要观察指标疼痛 NRS 评分 (0~10 分), 0 分无痛, 10 分剧烈疼痛, 以及疼痛降低 2 分以上病人比例 (临床显著差异性最小差值)^[11]。

次要观察指标包括腰椎 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 评分^[12], 以及 ODI 降低 15 分以上病人比例 (临床显著差异性最小差值)^[13]。ODI 是腰痛病人功能障碍的量化评价表, 包括疼痛、生活自理、提物、行走、端坐、站立、睡眠、性生活、社交活动及旅游共 10 项, 每项赋分 0~5 分, 将 10 个项目得分累加即为 ODI 指数, 越接近满分 50 说明功能障碍越严重。

5. 样本量

研究采用疼痛 NRS 评分变化 2 分以上 (治疗后 3 个月) 作为样本量计算的临床根据^[14]。对于重复测量, 置信区间定为 0.8, 双侧 α 值 0.05, 重复测量相关性 0.5, 每组需 80 例。考虑 20% 脱落, 研究至少需 200 例病人。

6. 统计学分析

采用 SPSS 18.0 统计软件进行分析, 正态分布的计量资料组间比较采用 t 检验, 以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 检验表示, 偏态分布的计量资料比较采用秩和检验, 以中位数 (四分位间距) [M(Q)] 表示, 计数资料比较采用卡方检验, 等级资料采用秩和检

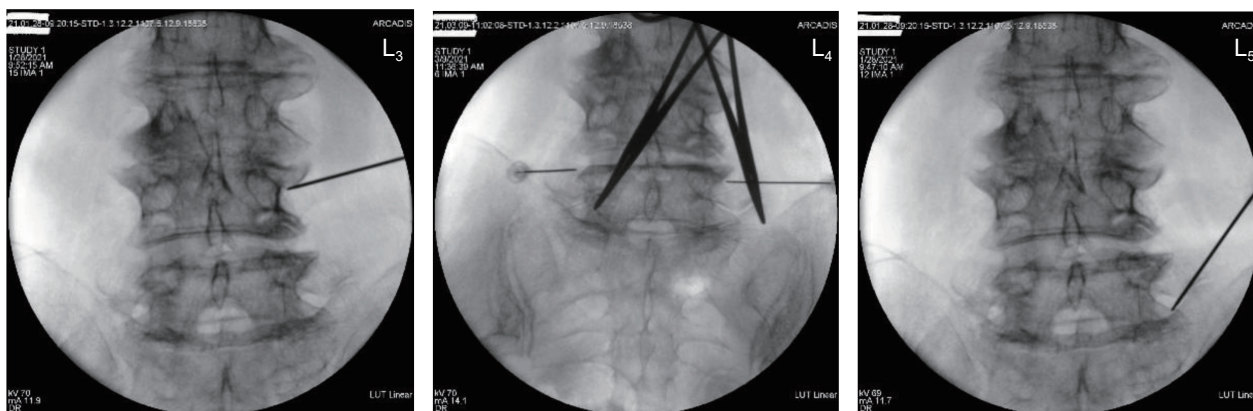


图1 腰3、腰4和腰5神经内侧支射频

Fig. 1 Radio frequency ablation of the L₃, L₄, L₅ medial branch of spinal dorsal ramus

验。所有统计分析采用意向治疗原则 (intention-to-treat, ITT 原则), 接受治疗并完成第1次随访的病人即可纳入统计。脱失数据采用末次观测值结转方法 (last-observation-carried-forward), 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料

本研究共选取符合纳入标准的慢性腰痛病人 305 例, 排除病人 105 例: 15 例心脑血管严重疾患, 12 例不能配合或不愿加入研究, 78 例诊断性阻滞疼痛缓解程度不足 80%。最终符合入组标准实施手术共 200 例, 按随机数字表法随机分为 75℃ 组 ($n = 100$) 和 90℃ 组 ($n = 100$)。研究期间 75℃ 组 4 例接受腰椎其他手术, 13 例再次射频, 3 例失访; 90℃ 组 6 例接受腰椎其他手术, 5 例再次射频, 3 例失访, 研究流程见图 2。纳入研究的 200 例腰痛病人中, 女性 105 例, 男性 95 例, 年龄 50~88 岁, 平均年龄 (73.5 ± 11.2) 岁。椎间盘退变变性 141 例 (包括椎间盘高度降低、终板炎、椎间盘真空征、施莫尔结节), 腰椎滑脱 33 例, 腰椎术后疼痛综合征 (failed back surgery syndrome, FBSS) 28 人, 腰椎韧带钙化 37 人, 下肢放射痛 (不过膝) 39 人。实施 L₃ + L₄ 和 L₄ + L₅ 后内侧支射频人数最多, 分别为 76 人和 113 人。行双侧后支射频病人 115 例, 单侧射频 85 例。两组病人其余临床特点比较差异无统计学意义 (见表 1)。

2. 主要和次要终点指标

主要终点指标 NRS 评分变化第 1 个月两组无差异, 第 3 和 6 个月 75℃ 组和 90℃ 组相比差异有统计学意义 (-2.1 vs. -2.8 , -2.0 vs. -2.8 , $P < 0.05$), 90℃

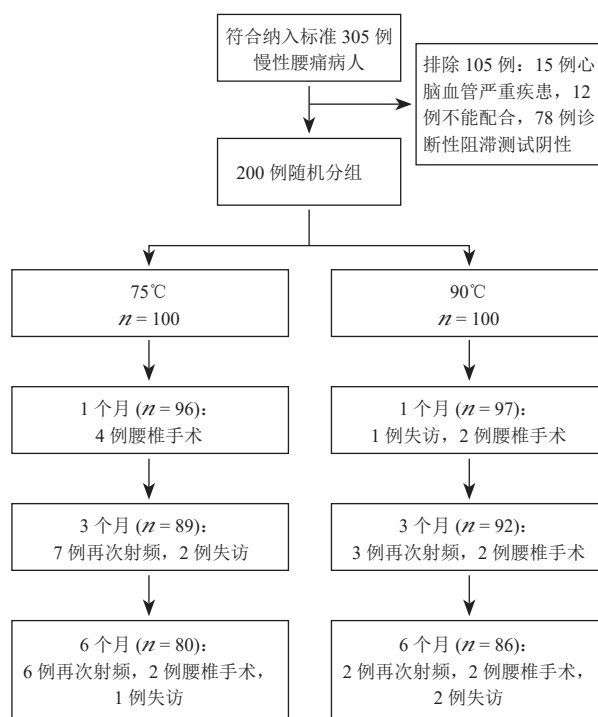


图2 研究流程图

Fig. 2 Flow chart of the study

组 NRS 评分降低 ≥ 2 分病人比例更高 (71.9% vs. 81.4%, 71.9% vs. 80.4%, 72.5% vs. 82.6%, $P < 0.05$, 见表 2)。

次要终点指标 ODI 评分变化第 1 个月两组无差异, 第 3 和 6 个月 75℃ 组和 90℃ 组相比差异有显著统计学意义 (-13.6 vs. -18.6 , -11.1 vs. -17.7 , $P < 0.001$), 90℃ 组 ODI 评分降低 ≥ 15 分比例更高 (68.8% vs. 78.4%, 64.0% vs. 73.9%, 55.0% vs. 70.0%, $P < 0.05$, 见表 3)。

3. 不良反应

治疗过程中, 75℃ 组和 90℃ 组分别有 5 人和 9

表 1 基本临床特点

Table 1 General characteristics of participants

指标 Index	75℃组 (<i>n</i> = 100)	90℃组 (<i>n</i> = 100)	<i>P</i>
男/女 Male/Female	48/52	47/53	0.725
年龄 (岁) Age (Year)	73.1 ± 14.5	71.3 ± 15.1	0.382
病程 (月) Disease course (month)	4.2 ± 6.2	5.1 ± 7.1	0.223
单/双侧 Unilateral/Bilateral	35/65	40/60	0.481
腰椎其他病变 Pathology of lumbar spine			0.093
椎间盘退变 Disc degeneration	75	66	
腰椎术后疼痛综合征 Failed back surgery syndrome	13	15	
黄韧带钙化 Ligament calcification	20	17	
下肢放射痛 Radiating pain	18	21	
腰椎滑脱 Lumbar spondylolisthesis	15	18	
射频节段 Segment of RFA			0.221
L ₃ + L ₄	40	36	
L ₄ + L ₅	53	60	

表 2 疼痛 NRS 评分及降低 2 分人数比例

Table 2 NRS Pain intensity score (primary outcome) among participants and score reduction of 2 or more

NRS 评分	75℃组 (<i>n</i> = 100)	90℃组 (<i>n</i> = 100)	<i>P</i>
NRS 基础值 Baseline NRS	5.3 ± 2.8	5.4 ± 2.6	0.662
第 1 个月 NRS 1-month NRS	<i>n</i> = 96	<i>n</i> = 97	
均数 ± 标准差 Mean, SD	3.0 ± 2.0	3.0 ± 2.1	
基线差值 ± 标准差 Mean change from baseline, SD	-2.3 ± 1.1	-2.4 ± 1.2	0.167
第 3 个月 NRS 3-month NRS	<i>n</i> = 89	<i>n</i> = 92	
均数 ± 标准差 Mean, SD	3.2 ± 1.8	2.6 ± 1.9	
基线差值 ± 标准差 Mean change from baseline, SD	-2.1 ± 0.4	-2.8 ± 0.5	0.003*
第 6 个月 NRS 6-month NRS	<i>n</i> = 80	<i>n</i> = 86	
均数 ± 标准差 Mean, SD	3.3 ± 2.3	2.6 ± 2.5	
基线差值 ± 标准差 Mean change from baseline, SD	-2.0 ± 1.2	-2.8 ± 1.7	0.002*
第 1 个月 NRS 降低 ≥ 2 分例数 (%) ≥ 2 score reduction (%) at 1-month	69 (71.9)	79 (81.4)	0.031*
第 3 个月 NRS 降低 ≥ 2 分例数 (%) ≥ 2 score reduction (%) at 3-month	64 (71.9)	74 (80.4)	0.032*
第 6 个月 NRS 降低 ≥ 2 分例数 (%) ≥ 2 score reduction (%) at 6-month	58 (72.5)	71 (82.6)	0.021*

**P* < 0.05, 两组间相比; **P* < 0.05, significant differences between the two groups.

表 3 ODI 功能障碍评分及降低 15 分人数比例

Table 3 ODI (secondary outcome) among participants and 15 score reduction percentage

ODI 评分	75℃组 (<i>n</i> = 100)	90℃组 (<i>n</i> = 100)	<i>P</i>
ODI 基础值 Baseline ODI	39.4 ± 10.1	38.8 ± 8.9	0.518
第 1 个月 ODI 1-month ODI	<i>n</i> = 96	<i>n</i> = 97	
均数 ± 标准差 Mean, SD	22.2 ± 11.3	20.7 ± 13.1	
基线差值 ± 标准差 Mean change from baseline, SD	-17.2 ± 6.8	-18.1 ± 5.3	0.221
第 3 个月 ODI 3-month ODI	<i>n</i> = 89	<i>n</i> = 92	
均数 ± 标准差 Mean, SD	26.8 ± 14.1	20.2 ± 14.4	
基线差值 ± 标准差 Mean change from baseline, SD	-13.6 ± 7.8	-18.6 ± 6.2	0.043*
第 6 个月 ODI 6-month ODI	<i>n</i> = 80	<i>n</i> = 86	
均数 ± 标准差 Mean, SD	28.3 ± 12.5	21.1 ± 13.6	
基线差值 ± 标准差 Mean change from baseline, SD	-11.1 ± 8.8	-17.7 ± 9.2	0.021*
第 1 个月 ODI 降低 ≥ 15 分例数 (%) ≥ 15 score reduction (%) at 1-month	66 (68.8)	76 (78.4)	0.013*
第 3 个月 ODI 降低 ≥ 15 分例数 (%) ≥ 15 score reduction (%) at 3-month	57 (64.0)	68 (73.9)	0.044*
第 6 个月 ODI 降低 ≥ 15 分例数 (%) ≥ 15 score reduction (%) at 6-month	49 (61.3)	60 (70.0)	0.038*

**P* < 0.05, 两组间相比; **P* < 0.05, significant differences between the two groups.

人不能耐受高温未达到设定温度,但一并纳入统计。在6个月随访期间,两组无感染、出血、脏器损伤及神经感觉异常等手术并发症,也无下肢及腰背部肌力或肌张力降低。

讨 论

慢性腰痛主要病理机制包括腰椎间盘突出、椎间盘高度降低、间盘真空征、终板炎、施莫尔结节,部分轴向应力负荷转移至关节突关节,导致关节突关节过度负荷,继发关节软骨退变磨损、关节间隙变窄、滑膜炎性改变^[15,16];关节突关节囊表面含有丰富的低阈值机械敏感性痛觉感受器和神经末梢,这些机械感受器容易受到刺激产生疼痛^[17];老年腰椎乳突副突韧带发生钙化,脊神经后支的内侧支穿行乳突副突间骨纤维管时容易受到卡压,炎症因子5-羟色胺、缓激肽、前列腺素E和疼痛介质P物质、降钙素基因相关肽大量释放^[18],进一步加重疼痛。

本研究采取L₃、L₄、L₅内侧支射频的人数最多,是由于第L₄、L₅腰椎负荷最大,L₄-L₅和L₅S₁关节突关节更容易发生退行性病变导致关节磨损疼痛。考虑到腰椎内侧支诊断性阻滞假阳性率高达26%~33%^[10],本研究采用利多卡因和布比卡因两种局部麻醉药阻滞内侧支,确认双重阳性后方可纳入射频热凝研究组。每个关节突关节接受来自同一水平内侧支和上一水平内侧支的双重神经支配^[19]各脊神经后支间有吻合,如L₄-L₅关节突关节的下极受L₄内侧支神经支配,上极受L₅内侧支神经支配,需选择支配该关节的两个相邻节段L₃和L₄后内侧支射频。

本研究通过前瞻性研究证实90℃射频热凝疼痛在第1个月至第6个月疗效优于75℃,与Costandi等^[20]回顾性研究结论基本一致。分析主要原因有两方面,一方面是因为温度越高热凝损伤范围越大。有研究证实,70℃以上射频热凝时,蛋白变性直径随温度升高而增加。70℃射频热凝时,以针尖为中心2.5 mm×3.0 mm范围内组织热凝蛋白变性,80℃热凝范围达3.0 mm×3.7 mm,90℃热凝范围达3.4 mm×4.7 mm,超过100℃则会导致气化,影响射频电流^[21],因此90℃容易覆盖更广泛热凝区域。另一方面,动物研究显示无论感觉神经A δ 、A β 、C纤维或是运动神经纤维,超过53℃热凝都会被破坏^[22],如果采用60℃和70℃射频后,无髓鞘的神经轴索数月后可以再生,而80℃和90℃射频后轴索不能再生^[23]。本研究进一步证实,射频热凝不

仅可减轻腰部疼痛NRS评分,ODI运动功能与术前相比也有明显改善,90℃比75℃疗效更显著,说明腰神经后内侧支热凝有助于改善运动功能,提高生活质量。

安全性方面,本研究仅采用相邻两个节段内侧支射频,在6个月随访过程中,无下肢及腰背部肌力肌张力下降或感觉异常等并发症。后内侧支具有重叠分布的特点,亦有广泛的交通支,当一支被灭活时,尚有其他神经行使其功能,不会出现椎间关节功能失衡、多裂肌等肌力下降^[24]。另外,横突根部后内侧支与相应前支距离1 cm,且前支位于横突腹侧,热凝直径范围一般不会超过5 mm,因此不会造成前支损伤。但要注意,90℃高温热凝仅适用于腰神经后支,并不适用于其他感觉神经。例如,三叉神经最适合热凝温度65℃~75℃^[25]。不同部位神经能够耐受温度不同,损伤后造成的麻木等不良反应也不尽相同。

综上所述,通过对腰神经内侧支射频热凝能安全有效治疗源于腰椎关节突关节、骶髂关节、椎间盘或尾骨等病变的慢性腰痛,90℃比75℃疗效更显著。本研究不足之处是单中心研究,今后可进一步行多中心临床研究,还可进一步行颈胸神经后支最佳热凝温度的探讨。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

- [1] Leggett LE, Soril LJJ, Lorenzetti DL, *et al.* Radio-frequency ablation for chronic low back pain: a systematic review of randomized controlled trials[J]. *Pain Res Manag*, 2014, 19:e146-153.
- [2] Cohen SP, Raja SN. Pathogenesis, diagnosis, and treatment of lumbar zygapophysial (facet) joint pain[J]. *Anesthesiology*, 2007, 106:591-614.
- [3] Vadalà G, Russo F, Salvatore S, *et al.* Physical activity for the treatment of chronic low back pain in elderly patients: a systematic review[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(4):332-337.
- [4] Manchikanti L, Pampati V, Soin A, *et al.* Trends of expenditures and utilization of facet joint interventions in fee-for-service (FFS) medicare population from 2009-2018[J]. *Pain Physician*, 2020, 23(3S):S129-S147.
- [5] Moussa WM, Khedr W. Percutaneous radiofrequency facet capsule denervation as an alternative target in lumbar facet syndrome[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2016, 150:96-104.
- [6] Zhou Q, Zhou F, Wang L, *et al.* An investigation on the effect of improved X-rays-guided radiofrequency ther-

- mocoagulation denervation on lumbar facet joint syndrome[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2016, 148:115-120.
- [7] 廖翔,熊东林,蒋劲,等. 对退行性腰椎关节源性腰痛行脊神经后支标准射频手术治疗的随机对照研究[J]. 中国疼痛医学杂志, 2013, 19(7):406-410.
 - [8] Manchikanti L, Kaye AD, Soin A, *et al.* Comprehensive evidence-based guidelines for facet joint interventions in the management of chronic spinal pain: American society of interventional pain physicians (ASIPP) guidelines facet joint interventions 2020 guidelines[J]. Pain Physician, 2020, 23(3S):S1-S127.
 - [9] Janapala RN, Manchikanti L, Sanapati MR, *et al.* Efficacy of radiofrequency neurotomy in chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis[J]. J Pain Res, 2021, 14:2859-2891.
 - [10] Manchikanti L, Kosanovic R, Pampati V, *et al.* Low back pain and diagnostic lumbar facet joint nerve blocks: assessment of prevalence, false-positive rates, and a philosophical paradigm shift from an acute to a chronic pain model[J]. Pain Physician, 2020, 23(5):519-530.
 - [11] van der Roer N, Ostelo RW, Bekkering GE, *et al.* Minimal clinically important change for pain intensity, functional status, and general health status in patients with nonspecific low back pain[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(5):578-582.
 - [12] Fairbank JC, Pynsent PB. The Oswestry disability index[J]. Spine, 2000, 25:2940-2953.
 - [13] Copay AG, Glassman SD, Subach BR, *et al.* Minimum clinically important difference in lumbar spine surgery patients: a choice of methods using the Oswestry disability index, medical outcomes study questionnaire short form 36, and pain scales[J]. Spine J, 2008, 18:968-974.
 - [14] Ostelo RW, Deyo RA, Stratford P, *et al.* Interpreting change scores for pain and functional status in low back pain: towards international consensus regarding minimal important change[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2008, 33(1):90-94.
 - [15] Raj PP. Intervertebral disc: anatomy physiology pathophysiology treatment[J]. Pain practice, 2008, 8: 18-44.
 - [16] Duan CY, Espinoza Orías AA, Shott S, *et al.* In vivo measurement of the subchondral bone thickness of lumbar facet joint using magnetic resonance imaging[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2011, 19(1):96-102.
 - [17] Ahmed M, Bjurholm A, Kreicbergs A, *et al.* Sensory and autonomic innervation of the facet joint in the rat lumbar spine[J]. Spine, 1993, 18:2121-2126.
 - [18] Kallakuri S, Singh A, Chen C, *et al.* Demonstration of substance P, calcitonin gene-related peptide, and protein gene product 9.5 containing nerve fibers in human cervical facet joint capsules[J]. Spine, 2004, 29:1182-1186.
 - [19] Kennedy DJ, Mattie R, Hamilton AS, *et al.* Detection of intravascular injection during lumbar medial branch blocks: a comparison of aspiration, live fluoroscopy, and digital subtraction technology[J]. Pain Med, 2016, 17:1031-1036.
 - [20] Costandi S, Garcia-Jacques M, Dews T, *et al.* Optimal temperature for radiofrequency ablation of lumbar medial branches for treatment of facet-mediated back pain[J]. Pain Pract, 2016, 16(8):961-968.
 - [21] Peyser A, Applbaum Y. Radiofrequency ablation of bone tumors[J]. Curr Orthop Pract, 2009, 20:616-621.
 - [22] Tillotson CL, Rosenberg AE, Rosenthal DI. Controlled thermal injury of bone. Report of a percutaneous technique effect of radiofrequency ablation temperature using radiofrequency electrode and generator[J]. Invest Radiol, 1989, 24:888-892.
 - [23] 姚猛,董大明. 腰神经后支应用解剖与射频热凝的实验研究[J]. 中华外科杂志, 1999, 37(11):686-688.
 - [24] Smuck M, Crisostomo RA, Demirjian R, *et al.* Morphologic changes in the lumbar spine after lumbar medial branch radiofrequency neurotomy: a quantitative radiological study[J]. Spine J, 2015, 25(6):1415-1421.
 - [25] 赵浩然,姚鹏. 不同温度射频热凝术治疗三叉神经痛的研究进展[J]. 中国疼痛医学杂志, 2020, 26(9):689-693.