

基于 CT 影像测量的胸椎间孔穿刺的可及性和安全性研究 *

李 晨¹ 刘春华¹ 张 毅² 李怡帆² 毛 鹏^{2△} 樊碧发^{2△}

(¹ 北京中医药大学研究生院, 北京 100029; ² 中日友好医院疼痛科, 北京 100029)

摘 要 目的: 为减小胸椎间孔穿刺时发生气胸、脊髓损伤等并发症的风险, 基于 CT (computed tomography) 影像测量数据, 分析不同性别、年龄和体重指数 (body mass index, BMI) 病人的差异, 探究不同节段的变化规律。**方法:** 选取中日友好医院影像数据库中 180 例成年住院病人胸部 CT 影像, 以 T₂~T₁₂ 左侧椎间孔 (intervertebral foramen, IF) 为穿刺靶点, 选取可清楚显示胸椎间孔的 CT 横断面, 模拟椎间孔穿刺操作, 测量旁开距离、穿刺角度、穿刺深度和椎间孔至后正中中线距离, 计算出可行的安全穿刺范围, 分析不同性别 (男性、女性)、年龄 (青年、中年、老年)、BMI (非超重、超重) 的测量结果。**结果:** 不同性别的病人相比, 男性在各节段的旁开距离和穿刺深度均明显高于女性, 在上胸段的穿刺角度低于女性, 椎间孔至正中中线距离明显大于女性; 不同年龄的病人相比, 老年病人在 T₂₋₃ 至 T₄₋₅ 节段的最小旁开距离大于青年、中年病人, 在 T₃₋₄ 和 T₄₋₅ 节段的穿刺角度小于青年、中年病人; 不同 BMI 病人相比较, 超重病人在各节段的旁开距离、穿刺深度均高于非超重病人, 在 T₉₋₁₀ 以上节段的穿刺角度小于非超重病人。从总体规律来看, 椎间孔至后正中中线距离在 T₅₋₆ 和 T₆₋₇ 最短, 旁开距离、穿刺角度、穿刺深度和椎间孔至正中中线距离均在中胸段出现极值, 向两侧逐渐减小或增大。**结论:** 胸椎穿刺的旁开距离、穿刺角度、穿刺深度由 T₂₋₃ 至 T₁₁₋₁₂ 有一定变化规律, 各参数在不同性别、年龄、BMI 病人之间存在差异, 对于临床进行不同节段和人群的椎间孔穿刺操作有一定参考意义。

关键词 胸椎间孔穿刺; 可及性; 安全性; 疼痛; 影像测量

A study of the accessibility and safety in CT image measurement-based intervertebral foramen puncture *

LI Chen¹, LIU Chunhua¹, ZHANG Yi², LI Yifan², MAO Peng^{2△}, FAN Bifa^{2△}

(¹ Department of Graduate School, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China; ² Department of Pain Medicine, China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China)

Abstract Objective: To reduce the risk of complications such as pneumothorax and spinal cord injury during thoracic intervertebral foramen puncture, based on computed tomography (CT) image measurement, the differences of different genders, ages, and body mass index (BMI) patients were analyzed, and the overall change regularity of different segments was explored. **Methods:** One hundred and eighty adult in patients chest CT images from the China-Japan Friendship Hospital image database were selected, with the left T₂-T₁₂ intervertebral foramen (IF) as the puncture target. CT cross-sectional images that clearly showed the IF were selected, and the puncture operation was simulated. The side distance, angle of needle insertion, depth of needle insertion, and distance from the IF to the posterior median line were measured and analyzed for different genders (male and female), ages (youth, middle age, and old age), and BMI (non-overweight and overweight). **Results:** Compared between patients of different genders, the side distance and depth of needle insertion of male patients were significantly higher than those of female patients in all thoracic segments; the angle of needle insertion of female patients was higher than those of male patients in the upper thoracic segment; and the distance from the IF to the posterior median line of male patients was significantly higher than female. Compared among patients

* 基金项目: 国家重点研发计划 (2016-KJBYF-004); 首都卫生发展科研专项项目 (首发 2022-1-4061); 中日友好医院高水平医院临床业务费专项临床研究项目 (2022-NHLHCRF-YSPY-02)

△ 通信作者 毛鹏 doctormaopeng@126.com; 樊碧发 fbf1616@yeah.net

of different ages, the minimum side distance of old patients in T₂₋₃ to T₄₋₅ segments was higher than those of youth and middle age patients, and the angle of needle insertion in T₃₋₄ and T₄₋₅ segments was smaller than those of youth and middle-aged patients. Compared between patients of different BMI, the side distance, depth, and angle of needle insertion of overweight patients were higher than those of non-overweight patients in all thoracic segments and the angle of needle insertion in T₉₋₁₀ segment and above was smaller than those of non-overweight patients. In general, the distance from IF to the posterior median line was the shortest in T₅₋₆ and T₆₋₇; the side distance, angle and depth of needle insertion, and distance from the IF to the posterior median line reached a maximum in the middle thoracic segments and gradually decreased or increased to both sides.

Conclusion: The side distance, angle, and depth of needle insertion, and distance from the IF to the posterior median line have specific change regularity from T₂₋₃ to T₁₁₋₁₂, and there are statistical differences in CT images measurement values among different gender, age, and BMI patients. This has particular reference value for the clinical operation of different segments and populations.

Keywords thoracic intervertebral foramen puncture; accessibility; safety; pain; image measurement

胸椎间孔穿刺广泛应用于胸背部慢性疼痛的治疗, 如带状疱疹后神经痛、复杂性区域疼痛综合征 (complex regional pain syndrome, CRPS) 等慢性胸腹痛, 是椎间孔镜手术、背根神经节射频治疗和各种根性神经痛治疗等胸段疼痛介入治疗的基础^[1-4]。但由于胸椎解剖相对复杂, 缺乏体表骨性标志物和横突、肋骨的存在使穿刺难度较大, 且椎间孔 (intervertebral foramen, IF) 较深同时毗邻胸腔、脊髓等重要结构^[5], 在行椎间孔穿刺时, 若针尖的位置稍偏移, 则存在发生气胸、脊髓损伤、药物误入硬膜外和蛛网膜下腔导致循环呼吸抑制、全脊麻的风险^[6-11]。研究显示, CT 引导可显著提高穿刺成功率, 并避免严重并发症的发生, 但目前我国多数医院不具备 CT 导航条件, 以及存在辐射量较大的问题, 限制了 CT 引导下椎间孔穿刺在临床的推广, 仍以 C 形臂 X 透视引导为主, 因此不可避免地存在定位不准确的问题^[12-14]。近年来超声引导下椎间孔穿刺在临床逐渐应用广泛, 有研究表明超声或超声联合 C 形臂对比 CT 引导下行椎间孔穿刺, 具有更快捷、低辐射及低经济成本的优势^[15-17]。但超声波不能穿透骨性组织, 椎间孔距体表距离较深, 周围被骨性结构包围, 导致超声下显像有一定难度^[18]。综合来看,

胸椎间孔穿刺时对胸椎间孔的准确定位成为介入治疗的关键问题。

然而, 目前关于胸椎间孔穿刺的应用解剖学研究报道较少, 缺乏临床参考数据, 增大了穿刺的难度和风险。此外, 研究发现不同年龄、性别和体型的病人在椎体解剖上存在差异, 使椎间孔穿刺也存在人群差异^[19,20]。本研究为提高胸椎间孔穿刺定位的准确性和安全性, 以胸椎 CT 影像为基础, 比较和分析了不同节段和人群的胸椎间孔穿刺的数据特点, 为临床胸椎间孔穿刺提供数据参考。

方 法

1. 一般资料

本研究经中日友好医院医学伦理委员会审核 (伦理批号 2022-KY-146), 选取中日友好医院影像数据库 2020~2022 年、年龄 20~90 岁的成年住院病人 180 例, 根据性别、WHO 年龄分期 (青年 20~44 岁、中年 45~59 岁、老年 ≥ 60 岁), 亚洲人正常体重指数 (body mass index, BMI) 标准 (18.5~23.9 kg·m⁻²) 进行分组 (见表 1)。

纳入标准: ①影像扫描范围包含完整的胸椎、

表 1 病人一般情况
Table 1 General information of patients

	年龄 Age			体重指数 BMI		总计 Total
	青年 Youth	中年 Middle age	老年 Old age	非超重 Non-overweight	超重 Overweight	
男性 Male	30	30	30	32	58	90
女性 Female	30	30	30	51	39	90
总计 Total	60	60	60	83	97	180
平均年龄 Average age	34.8±5.7	52.7±4.6	71.1±8.4	49.8±14.8	55.5±16.8	
平均 BMI Average BMI (kg·m ⁻²)	23.2±4.0	24.3±2.8	24.9±3.9	21.0±2.0	26.8±2.4	

胸腔；②图像清晰，质量良好；③病人体位标准。

排除标准：①椎体侧弯、占位性病变等严重椎体变形性改变；②急、慢性肺疾病导致的气胸、肺气肿、肺大泡、肺间质病变等引起的严重肺部变形性改变；③胸腔肿瘤、外伤等导致的胸廓形态明显改变；④肺、纵隔等可能改变胸腔结构的手术史。

2. 测量方法

在影像系统上选取可清楚显示胸椎间孔的 CT 横断面，使用自带测量工具，以左侧椎间孔为穿刺靶点 (puncture target)，分别作靶点与椎板外缘、靶点与胸膜外缘的连线并与皮肤相交，得到两条穿刺线。分别测量两条穿刺线与皮肤的交点与脊柱中线的距离 (旁开距离)、两条穿刺线与水平面所成的穿刺角度、皮肤交点与穿刺靶点的距离 (穿刺深度，见图 1)。因第 1 胸椎椎旁间隙较大，损伤胸膜导致气胸的风险相对较小^[1]，未予测量。部分病人 T₁₁₋₁₂ 椎间孔水平低于肺下界，也未测量，故缺失 T₁₁₋₁₂ 节段数据 20 例 (男 11 例，女 9 例)。

3. 统计学分析

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据分析，所得数据用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示，组间比较采用单因素方差分析、LSD 检验，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 不同性别病人的测量结果

男性病人和女性病人的旁开距离范围分别为 (4.36 ± 0.68) cm 至 (12.46 ± 2.17) cm 和 (3.39 ± 0.70) cm 至 (10.52 ± 1.95) cm，穿刺角度范围分别为 (26.87° ± 6.43°) 至 (65.11° ± 5.95°) 和 (28.74° ± 6.12°) 至 (66.05° ± 5.77°)，穿刺深度范围分别为 (6.19 ± 0.91) cm 至 (12.96 ± 1.98) cm 和 (5.58 ± 0.97) cm 至 (11.03 ± 1.81) cm。男性病人在各节段的旁开距离和穿刺深度最大值及最小值均明显高于女性 ($P < 0.01$)。女性病人的穿刺角度在最大值及最小值上胸段 (T₄ 及以上) 明显高于男性 ($P < 0.05$)，在下胸段 (T₅ 及以下) 与男性病人无统计学差异 (见图 2)。

2. 不同年龄病人的测量结果

青年、中年和老年病人的旁开距离范围分别为 (3.80 ± 0.82) cm 至 (11.38 ± 2.75) cm、(3.95 ± 0.74) cm 至 (11.58 ± 2.28) cm 和 (3.99 ± 0.69) cm 至 (11.47 ± 1.69) cm，穿刺角度范围分别为 (26.35° ± 5.78°) 至 (66.02° ± 5.09°)、(28.44° ± 6.36°) 至 (65.56° ± 5.86°) 和 (28.69° ± 6.71°) 至 (65.10° ± 6.67°)，穿刺深度范围

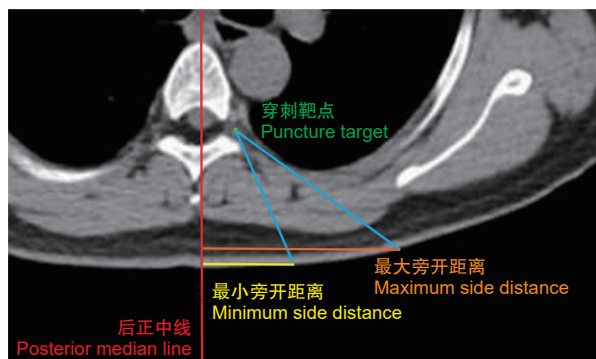


图 1 CT 图像的测量方法

Fig. 1 Measure method of CT image

分别为 (5.75 ± 1.11) cm 至 (11.82 ± 2.62) cm、(5.94 ± 0.84) cm 至 (12.08 ± 2.09) cm 和 (5.82 ± 0.98) cm 至 (12.07 ± 1.56) cm。组间比较，老年病人在 T₂₋₃ 至 T₄₋₅ 节段的最小旁开距离明显大于青年、中年病人 ($P < 0.05$)，在 T₃₋₄ 和 T₄₋₅ 节段的穿刺角度最大值明显小于青年、中年病人 ($P < 0.05$)，在其他节段的旁开距离和穿刺角度最大值及最小值与青年、中年病人无统计学差异 (见图 3)。

3. 不同体型病人的测量结果

非超重和超重病人的旁开距离范围分别为 (3.68 ± 0.67) cm 至 (10.49 ± 1.87) cm 和 (4.14 ± 0.76) cm 至 (12.32 ± 2.25) cm，穿刺角度范围分别为 (28.07° ± 6.63°) 至 (65.43° ± 5.81°) 和 (27.50° ± 6.04°) 至 (65.71° ± 5.95°)，穿刺深度范围分别为 (5.31 ± 0.80) cm 至 (11.01 ± 1.80) cm 和 (6.38 ± 0.86) cm 至 (12.84 ± 2.02) cm。组间比较，超重病人各节段的旁开距离、穿刺深度最大值及最小值均明显高于非超重病人 ($P < 0.01$)，在 T₉₋₁₀ 以上节段的穿刺角度最大值及最小值明显小于非超重病人 ($P < 0.01$ ，见图 4)。

4. 椎间孔至脊柱后正中线的距离

从总体均数来看，椎间孔至正中线距离大约在 (1.23 ± 0.13) cm 至 (1.43 ± 0.17) cm 之间，且在 T₅₋₆、T₆₋₇ 最短，男性病人的椎间孔至正中线距离在各节段均明显大于女性 ($P < 0.01$ ，见表 2)。

5. 各参数的总体变化规律

总体来看，最大旁开距离、最大穿刺深度均以 T₈₋₉ 为转折点，此处最大旁开距离和最大穿刺深度均最小。最小旁开距离、最小穿刺深度均以 T₇₋₈ 为转折点，此处的最小旁开距离和最小穿刺深度均最小。最小穿刺角度以 T₅₋₆、T₉₋₁₀ 为转折，呈先减后增再减的规律。最大穿刺角度以 T₆₋₇ 为转折，最大穿刺角度最小。椎间孔至正中线的距离总体数值变化不大，以 T₅₋₆、T₆₋₇ 为转点呈先减后增规律 (见图 5)。

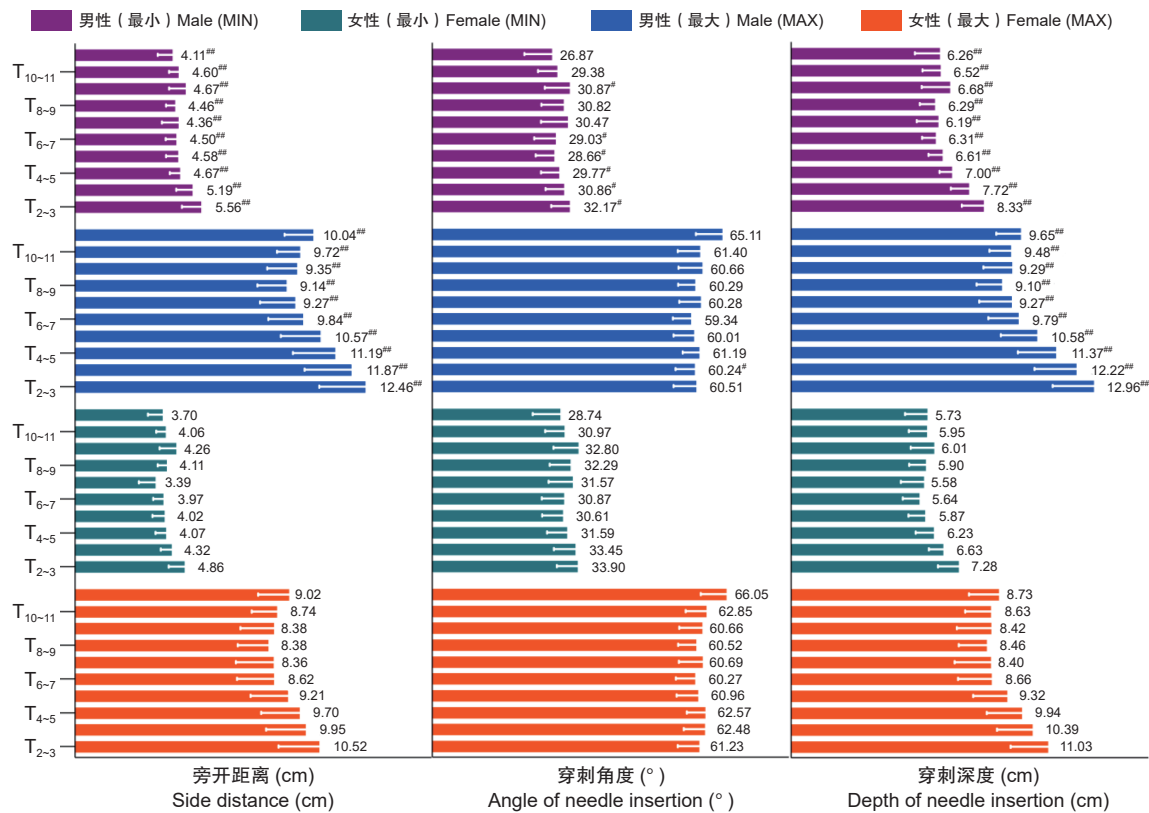


图2 男性和女性病人各胸椎间孔CT图像测量结果

#P < 0.05, ##P < 0.01, 与女性病人相比

Fig. 2 CT image measurement results of each thoracic foramina in male and female patients

#P < 0.05, ##P < 0.01, compared with female patients.

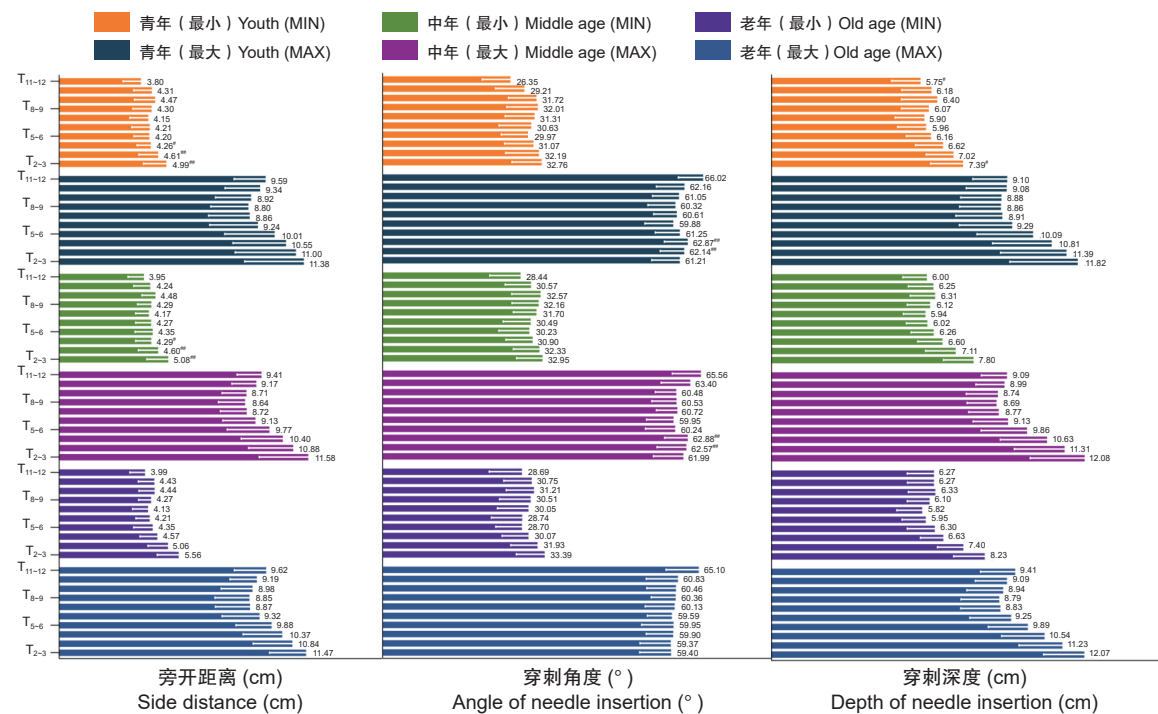


图3 不同年龄病人胸椎间孔CT图像测量结果

#P < 0.05, ##P < 0.01, 与老年病人相比

Fig. 3 CT image measurement results of thoracic intervertebral foramina in patients of different ages

#P < 0.05, ##P < 0.01, compared with the old age patients.

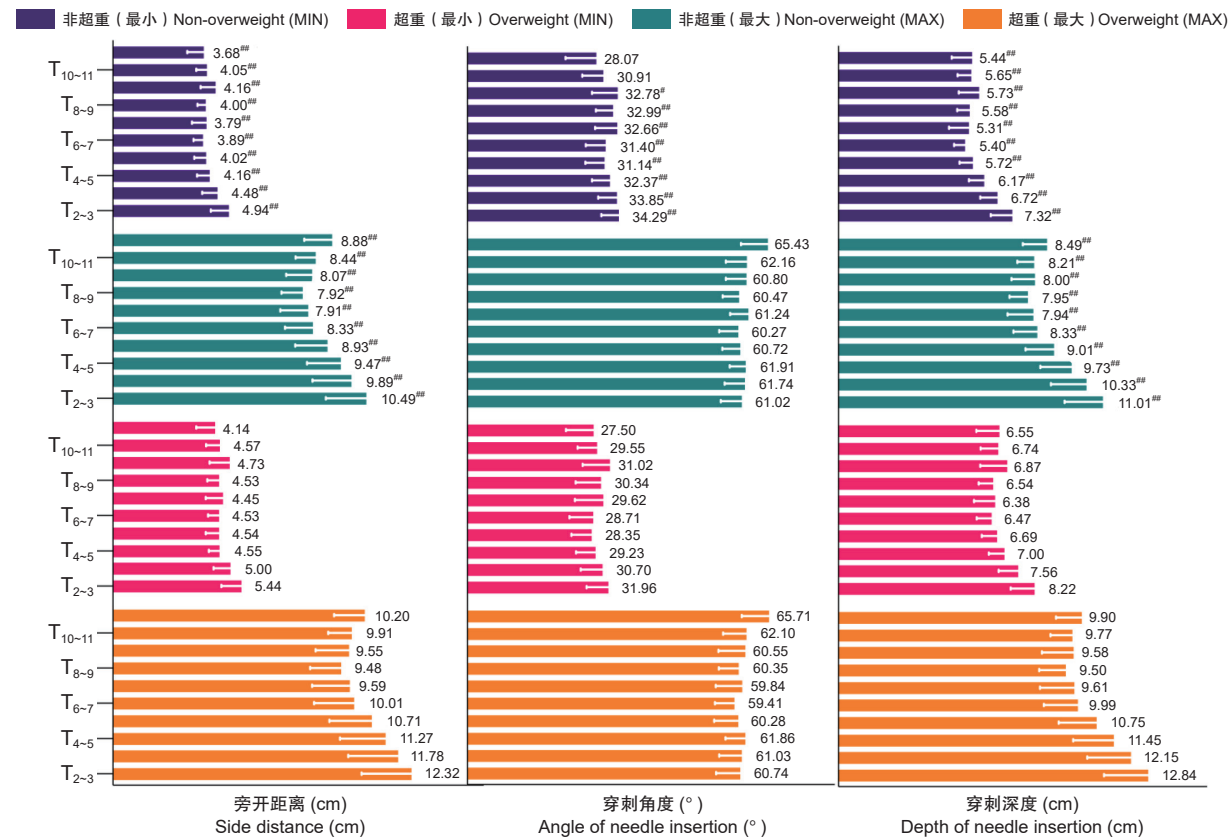


图 4 不同 BMI 值病人胸椎间孔 CT 图像测量结果
[#] $P < 0.05$, ^{##} $P < 0.01$, 与超重病人相比

Fig. 4 CT image measurement results of thoracic intervertebral foramina in patients with different BMI values
[#] $P < 0.05$, ^{##} $P < 0.01$, compared with the overweight patients.

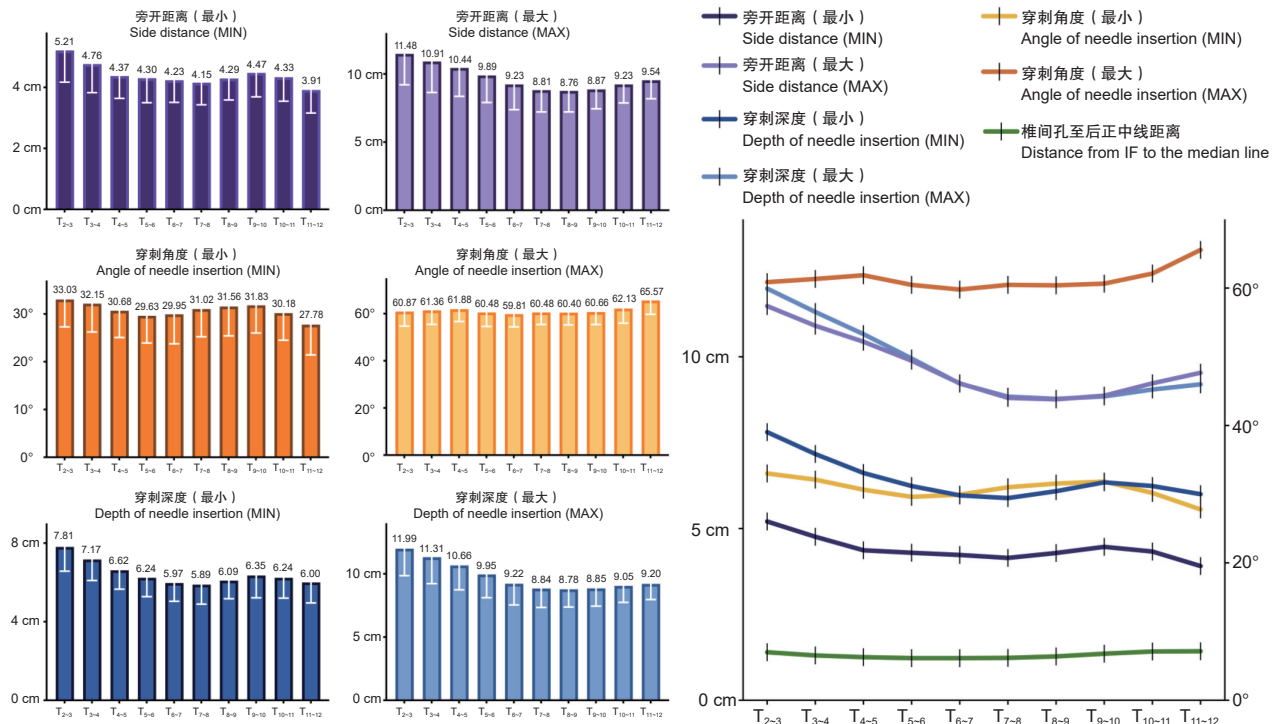


图 5 CT 图像测量值总体变化规律

Fig. 5 The overall change regularity of CT image measurement value

表 2 椎间孔至脊柱后正中中线距离 (cm, $\bar{x} \pm SD$)
Table 2 Distance from IF to the posterior median line (cm, $\bar{x} \pm SD$)

节段 Segment	性别 Gender		年龄 Age			体重指数 (BMI)		总体 Total (<i>n</i> = 180)
	男 Male (<i>n</i> = 90)	女 Female (<i>n</i> = 90)	青年 Youth (<i>n</i> = 60)	中年 Middle age (<i>n</i> = 60)	老年 Old age (<i>n</i> = 60)	非超重 Non-overweight (<i>n</i> = 83)	超重 Overweight (<i>n</i> = 97)	
T2-3	1.45 ± 0.15 ^{##}	1.35 ± 0.14	1.40 ± 0.15	1.41 ± 0.15	1.40 ± 0.16	1.38 ± 0.14	1.42 ± 0.16	1.40 ± 0.15
T3-4	1.35 ± 0.14 ^{##}	1.26 ± 0.14	1.31 ± 0.15	1.31 ± 0.14	1.30 ± 0.16	1.29 ± 0.14	1.32 ± 0.15	1.31 ± 0.15
T4-5	1.30 ± 0.14 ^{##}	1.22 ± 0.14	1.26 ± 0.13	1.27 ± 0.15	1.24 ± 0.16	1.24 ± 0.14	1.27 ± 0.15	1.26 ± 0.15
T5-6	1.28 ± 0.11 ^{##}	1.18 ± 0.12	1.24 ± 0.14	1.24 ± 0.12	1.20 ± 0.12	1.21 ± 0.11	1.24 ± 0.13	1.23 ± 0.13
T6-7	1.28 ± 0.11 ^{##}	1.18 ± 0.12	1.22 ± 0.13	1.26 ± 0.12	1.21 ± 0.13	1.21 ± 0.12	1.25 ± 0.13	1.23 ± 0.13
T7-8	1.29 ± 0.13 ^{##}	1.19 ± 0.12	1.23 ± 0.12	1.26 ± 0.13	1.23 ± 0.15	1.23 ± 0.11	1.25 ± 0.15	1.24 ± 0.13
T8-9	1.34 ± 0.13 ^{##}	1.23 ± 0.11	1.28 ± 0.14	1.29 ± 0.14	1.28 ± 0.13	1.25 ± 0.13	1.31 ± 0.14	1.28 ± 0.13
T9-10	1.41 ± 0.13 ^{##}	1.32 ± 0.13	1.37 ± 0.14	1.38 ± 0.14	1.35 ± 0.14	1.36 ± 0.14	1.37 ± 0.14	1.36 ± 0.14
T10-11	1.48 ± 0.14 ^{##}	1.36 ± 0.14	1.42 ± 0.14	1.44 ± 0.15	1.40 ± 0.15	1.41 ± 0.15	1.43 ± 0.15	1.42 ± 0.15
T11-12	1.47 ± 0.18 ^{##}	1.39 ± 0.15	1.45 ± 0.17	1.45 ± 0.15	1.40 ± 0.19	1.41 ± 0.16	1.45 ± 0.18	1.43 ± 0.17

^{##}*P* < 0.01, 与女性病人相比; ^{##}*P* < 0.01, compared with the female patients.

6. 旁开距离、穿刺角度、穿刺深度的安全范围
分别取旁开距离、穿刺角度和穿刺深度的最小和最大测量结果, 两者之间为即为旁开距离、穿刺角度和穿刺深度的安全范围 (见表 3~5)。

讨 论

椎间孔穿刺是椎间孔镜手术、背根神经节射频治疗和各种根性神经痛治疗等胸段疼痛介入治疗的基础。因其毗邻肺等重要结构而对穿刺准确性要求较高, 加上 X 线、超声显像的局限性和 CT 在临床推广的限制因素, 增加了临床上胸椎间孔穿刺的难度和风险。目前关于胸椎间孔穿刺的应用解剖学研究报道较少。

本研究发现, 不同性别病人在各节段穿刺旁开距离的最大值及最小值、穿刺深度的最大值及最小值、椎间孔至正中中线距离均存在差异, 女性小于男性, 可能与男性相对女性的解剖差异有关。老年与青年、中年的差异主要集中于上胸段的最小旁开距离、最大穿刺角度, 老年病人的最小旁开距离较大而穿刺角度较小, 可能与老年病人骨质增生、关节突关节囊增生等退变使椎间孔前后径减小而横径变大所致^[21,22]。提示老年病人的胸椎解剖, 尤其是上胸段, 与中年、青年病人存在更大差异, 皮肤进针点更偏外侧, 更应注意穿刺损伤胸膜导致气胸风险。

BMI 主要反映人体胖瘦程度, BMI 越大皮下组织越厚、横向体型越宽, 导致 BMI 较大病人的穿刺深度、旁开距离更大。本研究表明, 超重病人较非超重病人在穿刺深度和旁开距离上分别为

1.28~1.83 cm 和 0.46~1.83 cm, 而穿刺深度深、旁开距离大和穿刺角度小, 导致临床在对超重病人行椎间孔穿刺时, 进针阻力更大, 针尖位置更难控制, 使得超重病人的并发症风险更高, 因此临床需更警惕穿刺时损伤周围组织。

本研究观察了各参数的总体变化规律, 结果表明最大旁开距离及其对应的穿刺深度, 由上至下以中胸段为转折点, 先减后增, 穿刺角度则先增后减。这可能与肺部呈半圆锥形态, 外侧缘呈圆凸状有关。而最小旁开距离及其对应的穿刺深度则以中段胸椎为转折点, 先减后增, 同时穿刺角度则随胸椎节段的不同而有所变化, 这可能与胸椎在上、中、下段的形态移行变化有关: 上段形态近似颈椎, 椎体小而附件大, 向下则逐渐变化, 至下段则逐渐近似腰椎, 椎体大而附件小, 这与有关的尸体解剖和临床观察的结果相符^[23,24]。椎间孔至正中中线距离以中段胸椎为转折点, 呈先减后增规律, 与 CT 三维重建技术测量的相关研究显示胸椎间孔外口到正中中线距离在 T₇₋₈ 处距离最小, 并向两边递增的测量结果一致^[24]。

此外, 本研究所观察到的穿刺旁开距离、深度、角度和椎间孔至正中中线距离均在中段胸椎出现极值, 即在 T₅₋₆ 至 T₈₋₉ 节段进行椎间孔穿刺时, 旁开距离更大、深度更深、角度更小和椎间孔至正中中线距离更短, 使进针时进针阻力更大, 同时针尖与硬膜的距离更短, 那么针尖进入椎管、药物误入椎管, 造成硬膜外、蛛网膜下甚至脊髓损伤的可能性就更大。同时, 有研究表明, 中段胸椎间孔穿刺路径更容易被肋骨颈遮挡, 导致椎板和肋骨颈之间的

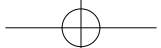


表 3 旁开距离的安全范围 (cm)
Table 3 Safe range of the side distance (cm)

节段 Segment	性别 Gender	青年 Youth		中年 Middle age		老年 Old age	
		非超重 Non-overweight	超重 Overweight	非超重 Non-overweight	超重 Overweight	非超重 Non-overweight	超重 Overweight
T ₂₋₃	男性 Male	5.6~10.5	5.6~11.4	5.6~10.5	5.6~11.6	5.6~10.5	5.6~11.5
	女性 Female	5.0~10.5	5.4~10.5	5.1~10.5	5.4~10.5	5.6~10.5	5.6~10.5
T ₃₋₄	男性 Male	5.2~9.9	5.2~11.0	5.2~9.9	5.2~10.9	5.2~9.9	5.2~10.8
	女性 Female	4.6~9.9	5.0~10.0	4.6~9.9	5.0~10.0	5.1~9.9	5.1~10.0
T ₄₋₅	男性 Male	4.7~9.5	4.7~10.6	4.7~9.5	4.7~10.4	4.7~9.5	4.7~10.4
	女性 Female	4.3~9.5	4.6~9.7	4.3~9.5	4.6~9.7	4.6~9.5	4.6~9.7
T ₅₋₆	男性 Male	4.6~8.9	4.6~10.0	4.6~8.9	4.6~9.8	4.6~8.9	4.6~9.9
	女性 Female	4.2~8.9	4.5~9.2	4.4~8.9	4.5~9.2	4.4~8.9	4.5~9.2
T ₆₋₇	男性 Male	4.5~8.3	4.5~9.24	4.5~8.3	4.5~9.1	4.5~8.3	4.5~9.3
	女性 Female	4.2~8.3	4.5~8.6	4.3~8.3	4.5~8.6	4.2~8.3	4.5~8.6
T ₇₋₈	男性 Male	4.4~7.9	4.5~8.9	4.4~7.9	4.5~8.7	4.4~7.9	4.5~8.9
	女性 Female	4.2~8.4	4.5~8.4	4.2~7.9	4.5~8.4	4.1~7.9	4.5~8.4
T ₈₋₉	男性 Male	4.5~7.9	4.5~8.8	4.5~7.9	4.5~8.6	4.5~7.9	4.5~8.9
	女性 Female	4.3~7.9	4.5~8.4	4.3~8.1	4.5~8.4	4.3~7.9	4.7~8.4
T ₉₋₁₀	男性 Male	4.7~8.1	4.7~8.9	4.7~8.1	4.7~8.7	4.7~8.1	4.7~9.0
	女性 Female	4.5~8.1	4.7~8.4	4.5~8.1	4.7~8.4	4.4~8.1	4.7~8.4
T ₁₀₋₁₁	男性 Male	4.1~8.4	4.6~9.3	4.6~8.4	4.6~9.2	4.6~8.4	4.6~9.2
	女性 Female	4.3~8.4	4.6~8.7	4.2~8.4	4.6~8.7	4.4~8.4	4.6~8.7
T ₁₁₋₁₂	男性 Male	3.7~8.9	4.1~9.6	4.1~8.9	4.1~9.4	4.1~8.9	4.1~9.6
	女性 Female	3.8~8.9	4.1~9.0	4.0~8.9	4.1~9.0	4.0~8.9	4.1~9.0

表 4 穿刺角度的安全范围 (°)
Table 4 Safe range of the angle of needle insertion (°)

节段 Segment	性别 Gender	青年 Youth		中年 Middle age		老年 Old age	
		非超重 Non-overweight	超重 Overweight	非超重 Non-overweight	超重 Overweight	非超重 Non-overweight	超重 Overweight
T ₂₋₃	男性 Male	34.3~60.5	32.8~60.5	32.2~60.5	33.0~60.5	34.3~61.0	33.4~59.4
	女性 Female	34.3~61.0	33.9~60.7	34.3~61.0	33.0~60.5	34.3~59.4	33.9~59.4
T ₃₋₄	男性 Male	33.9~60.2	32.2~60.2	30.9~60.2	32.3~60.2	33.9~61.7	31.9~59.4
	女性 Female	33.9~61.7	33.5~61.0	33.9~61.7	32.3~60.2	33.9~59.4	33.5~59.4
T ₄₋₅	男性 Male	32.4~61.2	31.1~61.2	29.8~61.2	30.9~61.2	32.4~61.9	30.1~59.9
	女性 Female	32.4~61.9	31.6~61.9	32.4~61.9	30.9~61.2	32.4~59.9	31.6~59.9
T ₅₋₆	男性 Male	31.1~60.0	30.0~60.0	28.7~60.0	30.2~60.0	31.1~60.7	28.7~60.0
	女性 Female	31.1~60.7	30.6~60.3	31.1~60.7	30.2~60.0	31.1~60.0	30.6~60.0
T ₆₋₇	男性 Male	31.4~59.3	30.6~59.3	29.0~59.3	30.5~59.3	31.4~60.3	29.0~59.3
	女性 Female	31.4~60.3	30.9~59.4	31.4~60.3	30.5~59.3	31.4~59.6	30.9~59.6
T ₇₋₈	男性 Male	32.7~60.3	31.3~60.3	30.5~60.3	31.7~60.3	32.7~41.2	30.5~60.1
	女性 Female	32.7~61.2	31.6~59.8	32.7~61.2	31.7~59.8	32.7~60.1	31.6~60.1
T ₈₋₉	男性 Male	33.0~60.3	32.0~60.3	30.8~60.3	32.2~60.3	33.0~60.3	30.8~60.3
	女性 Female	33.0~60.5	32.3~60.3	33.0~60.5	32.2~60.3	33.0~60.4	32.3~60.4
T ₉₋₁₀	男性 Male	32.8~60.7	31.7~60.6	30.9~60.5	32.6~60.5	32.8~60.5	31.2~60.5
	女性 Female	32.8~60.7	32.8~60.6	32.8~62.2	32.6~60.5	32.8~60.5	32.8~60.5
T ₁₀₋₁₁	男性 Male	30.9~61.4	29.6~61.4	29.4~61.4	30.6~61.4	30.9~60.8	30.8~60.8
	女性 Female	31.0~62.2	31.0~62.1	31.0~62.2	30.6~61.4	31.0~60.8	31.0~61.0
T ₁₁₋₁₂	男性 Male	28.1~65.1	27.5~65.1	26.9~65.1	28.4~65.1	28.7~65.1	28.7~65.1
	女性 Female	28.7~65.4	28.7~65.7	28.7~65.4	28.4~65.1	28.7~65.1	28.7~65.1

表 5 穿刺深度的安全范围 (cm)
Table 5 Safe range of the depth of needle insertion (cm)

节段 Segment	性别 Gender	青年 Youth		中年 Middle age		老年 Old age	
		非超重 Non-overweight	超重 Overweight	非超重 Non-overweight	超重 Overweight	非超重 Non-overweight	超重 Overweight
T ₂₋₃	男性 Male	8.3~11.0	8.3~11.8	8.3~11.0	8.3~12.1	8.3~11.0	8.3~12.1
	女性 Female	7.4~11.0	8.2~11.0	7.8~11.0	8.2~11.0	8.2~11.0	8.2~11.0
T ₃₋₄	男性 Male	7.7~10.3	7.6~11.4	7.7~10.3	7.7~11.3	7.7~10.3	7.7~11.2
	女性 Female	7.0~10.3	7.6~10.4	7.1~10.3	7.6~10.4	7.4~10.3	7.6~10.4
T ₄₋₅	男性 Male	7.0~9.7	7.0~10.8	7.0~9.7	7.0~10.6	7.0~9.7	7.0~10.5
	女性 Female	6.6~9.7	7.0~9.9	6.6~9.7	7.0~9.9	6.6~9.7	7.0~9.9
T ₅₋₆	男性 Male	6.6~9.0	6.7~10.1	6.6~9.0	6.7~9.9	6.6~9.0	6.7~9.9
	女性 Female	6.2~9.0	6.7~9.3	6.3~9.0	6.7~9.3	6.3~9.0	6.7~9.3
T ₆₋₇	男性 Male	6.3~8.3	6.5~9.3	6.3~8.3	6.5~9.1	6.3~8.3	6.5~9.3
	女性 Female	6.0~8.3	6.5~8.7	6.0~8.3	6.5~8.7	6.0~8.3	6.5~8.7
T ₇₋₈	男性 Male	6.2~7.9	6.4~8.9	6.2~7.9	6.4~8.8	6.2~7.9	6.4~8.8
	女性 Female	7.9~5.9	6.4~8.4	5.9~7.9	6.4~8.4	5.8~7.9	6.4~8.4
T ₈₋₉	男性 Male	6.3~8.0	6.5~8.9	6.3~8.0	6.5~8.7	6.3~8.0	6.5~8.8
	女性 Female	8.0~6.1	6.5~8.5	6.1~8.0	6.5~8.5	6.1~8.0	6.5~8.5
T ₉₋₁₀	男性 Male	6.7~8.0	6.9~8.9	6.7~8.0	6.9~8.7	6.7~8.0	6.9~8.9
	女性 Female	8.0~6.4	6.9~8.4	6.3~8.0	6.9~8.4	6.3~8.0	6.9~8.4
T ₁₀₋₁₁	男性 Male	6.5~8.2	6.7~9.1	6.5~8.2	6.7~9.0	6.5~8.2	6.7~9.1
	女性 Female	6.2~8.2	6.7~8.6	6.3~8.2	6.7~8.6	6.3~8.2	6.7~8.6
T ₁₁₋₁₂	男性 Male	6.3~8.5	6.6~9.1	6.3~8.5	6.6~9.1	6.3~8.5	6.6~9.4
	女性 Female	5.8~8.5	6.6~8.7	6.0~8.5	6.6~8.7	6.3~8.5	6.6~8.7

间隙狭窄甚至闭塞，增大穿刺针周围阻力，严重限制了针尖的可调整范围^[5]。综合以上因素，决定了中胸段是发生穿刺并发症的高风险节段。虽然对于胸椎间孔穿刺发生循环呼吸抑制、全脊麻、脊髓损伤等严重并发症的报道不多，但仍然有所发生^[9-11]，值得临床引以为鉴，尤其在中段胸椎节段行椎间孔穿刺时需更加警惕严重并发症。

由于条件有限，本研究也存在一些不足：
① CT 图像测量与临床操作实际情况存在差异。CT 检查时病人体位为仰卧位，而临床进行椎间孔穿刺时病人体位为俯卧位或侧卧位，测量结果对临床的指导意义存在一定局限性，可能与临床实际情况存在误差，考虑可能存在两点原因：其一，俯卧位时病人两臂屈曲放于头的两侧，背部皮肤及皮下组织处于相对伸展状态，侧卧位时皮下组织会堆积于靠近床面的穿刺点对侧躯体，这两种体位均可使仰卧位的穿刺侧皮下组织相对俯卧位或侧卧位更厚，导致在本研究中所测量的进针深度偏大；其二，俯卧位或侧卧位时胸椎前屈，后凸曲度增大，椎间隙增宽，使得椎间孔外口的纵经相对较大，可能导致在俯卧位和侧卧位穿刺时较本研究得出的穿刺角度的范围更大，我们将在随后的研究中进一步修正误

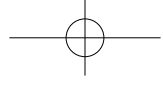
差；②样本量较小。因条件所限，本研究只选取了 180 例病人进行测量研究，结果显示的不同人群以及部分节段的统计学差异是否具有普遍规律还有待进一步验证。这些不足，我们将在今后的研究中持续改进。

综上所述，本研究基于胸部 CT 影像通过模拟胸椎间孔穿刺，测量不同性别、年龄、BMI 人群的相关参数，得出可行的安全穿刺范围可供临床参考。发现了胸椎间孔的穿刺数据在各节段的变化有一定规律，不同人群的胸椎间孔穿刺的旁开距离、穿刺角度、穿刺深度及椎间孔至后正中线距离存在差异，提示临床针对不同人群和节段进行椎间孔穿刺时制订不同穿刺方案，以期在减小并发症风险的同时，提高穿刺成功率、减短手术时间和减少术中透视辐射对医患双方的影响。

利益冲突声明：作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

[1] Han Z, Hong T, Ding Y, Wang S, *et al.* CT-guided pulsed radiofrequency at different voltages in the treatment of postherpetic neuralgia[J]. *Front Neurosci*,



- 2020, 14:579486.
- [2] Makharita MY, Amr YM. Effect of repeated paravertebral injections with local anesthetics and steroids on prevention of post-herpetic neuralgia[J]. *Pain Physician*, 2020, 23:565-572.
- [3] Zhu J, Fei Y, Deng J, *et al.* Application and therapeutic effect of puncturing of the costal transverse process for pulsed radiofrequency treated T₁-T₃ herpes zoster neuralgia[J]. *J Pain Res*, 2020, 13:2519-2527.
- [4] Hetta DF, Mohamed SAB, Mohamed KH, *et al.* Pulsed radiofrequency on thoracic dorsal root ganglion versus thoracic paravertebral nerve for chronic postmastectomy pain, a randomized trial: 6-month results[J]. *Pain Physician*, 2020, 23(1):23-35.
- [5] Wang R, Sun WW, Han Y, *et al.* Observation and measurement of applied anatomical features for thoracic intervertebral foramen puncture on computed tomography images[J]. *World J Clin Cases*, 2021, 9(18):4607-4616.
- [6] Lonnqvist PA, MacKenzie J, Soni AK, *et al.* Paravertebral blockade. Failure rate and complications[J]. *Anaesthesia*, 1995, 50:813815.
- [7] Ding Y, Li H, Hong T, *et al.* Efficacy and safety of computed tomography guided pulsed radiofrequency modulation of thoracic dorsal root ganglion on herpes zoster neuralgia[J]. *Neuromodulation*, 2019, 22:108-114.
- [8] Kelly ME, Mc Nicholas D, Killen J, *et al.* Thoracic paravertebral blockade in breast surgery: is pneumothorax an appreciable concern? A review of over 1000 cases[J]. *Breast J*, 2017, 24(1):1-5.
- [9] Pace MM, Sharma B, Anderson-Dam J, *et al.* Ultrasound-guided thoracic paravertebral blockade: a retrospective study of the incidence of complications[J]. *Anesth Analg*, 2016, 122(4):1186-1191.
- [10] Albi-Feldzer A, Duceau B, Nguessom W, *et al.* A severe complication after ultrasound-guided thoracic paravertebral block for breast cancer surgery[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2016, 33(12):949-951.
- [11] 吴宝城. 高位胸椎旁神经根阻滞致全脊髓麻醉(附1例报告)[J]. *福建医药杂志*, 2001, 23(2):80.
- [12] 刘靖芷, 史可梅, 马文庭, 等. CT引导胸椎旁背根神经节损毁术治疗带状疱疹后神经痛70例评价[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2014, 20(2):86-89.
- [13] Luo C, Yang B, Yang LQ, *et al.* Computed tomography-guided percutaneous coblation of the thoracic nerve root for treatment of postherpetic neuralgia[J]. *Pain Physician*, 2020, 23(5): E487-E496.
- [14] 金海阔, 常正奇. 新穿刺点的选择对后路椎间孔镜手术治疗神经根型颈椎病的疗效[J]. *局解手术学杂志*, 2021, 30(11):995-998.
- [15] Lee HJ, Park HS, Moon HI, *et al.* Effect of ultrasound-guided intercostal nerve block versus fluoroscopy-guided epidural nerve block in patients with thoracic herpes zoster: a comparative study[J]. *J Ultrasound Med*, 2019, 38:725-731.
- [16] 艾比不拉·衣明, 张雪, 谢仁古丽·阿皮孜, 等. 超声与CT引导下胸椎椎间孔注射治疗老年带状疱疹后神经痛的对比研究[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2019, 25(9):666-670.
- [17] 林楚妍, 陈金生, 宫庆娟, 等. 超声联合C形臂对比CT引导胸椎背根节脉冲射频治疗带状疱疹后神经痛回顾性研究[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2023, 29(2):107-112.
- [18] Krediet AC, Moayeri N, van Geffen GJ, *et al.* Different approaches to ultrasound-guided thoracic paravertebral block: an illustrated review[J]. *Anesthesiology*, 2015, 123: 459-474.
- [19] 张宏亮, 刘海强, 赵印震, 等. 腰椎解剖结构年龄差异性的研究及其临床意义[J]. *解剖学研究*, 2021, 43(5):541-545, 554.
- [20] 贺祖斌, 黄筠洋, 陆吉利, 等. 腰椎横突参数测量及其与身高相关性研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2021, 39(3):259-262.
- [21] Senoo I, Espinoza Orias AA, An SH, *et al.* In vivo 3-dimensional morphometric analysis of the lumbar foramen in healthy subjects[J]. *Spine*, 2014, 39(16): E929-E935.
- [22] 杜鑫丹, 徐露露, 张铁山, 等. CT引导经肋横突关节上缘穿刺椎间孔射频热凝治疗顽固性上胸段带状疱疹后神经痛患者的临床观察[J]. *中华全科医师杂志*, 2020, 19(12):1169-1174.
- [23] 朱建祥, 鞠晓华, 苑代君, 等. 椎旁胸神经阻滞穿刺点定位的应用解剖学研究[J]. *四川解剖学杂志*, 2008, 16(4):16-18, 21.
- [24] 朱建祥, 李存杰, 苑代君, 等. CT三维重建在胸椎间孔穿刺定位中的应用[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2009, 6(5):435-438.