

基于 CT 测量的腰椎间融合器长度选择分析

孙 驰,王洪立,姜建元,吕飞舟,马晓生,夏新雷

(复旦大学附属华山医院骨科 200040 上海市)

【摘要】目的:通过 CT 测量分析国人腰骶椎 L1~S1 终板各径线及相应骨突环等解剖学参数,探讨后方入路腰椎融合手术椎间融合器长度的选择。**方法:**招募 24 名健康成年志愿者,男 12 名,女 12 名,行腰椎 CT 扫描及矢状面、终板面二维重建。于 L1~S1 各终板面测量终板中线斜径、最大斜径、最大倾斜角、侧矢状径及相应径线所覆盖前后骨突环长度,计算均值及标准差。比较同性别同节段上下终板中线斜径、最大斜径、最大倾斜角及侧矢状径,计算不同手术方式下的融合器长度。**结果:**中线斜径男性最大值为 $39.58 \pm 2.60\text{mm}$,最小值为 $33.38 \pm 3.26\text{mm}$;女性最大值为 $34.89 \pm 1.55\text{mm}$,最小值为 $30.93 \pm 2.99\text{mm}$;前后覆盖骨突环长度为 6~8mm。最大斜径男性最大值为 $48.05 \pm 4.62\text{mm}$,最小值为 $42.83 \pm 2.28\text{mm}$;女性最大值为 $43.26 \pm 3.31\text{mm}$,最小值为 $38.00 \pm 2.53\text{mm}$;自 L1 至 S1 逐渐变大。侧矢状径男性最大值为 $36.48 \pm 3.26\text{mm}$,最小值为 $32.11 \pm 2.50\text{mm}$;女性最大值为 $31.75 \pm 1.64\text{mm}$,最小值为 $28.36 \pm 2.32\text{mm}$;前后覆盖骨突环长度为 5.5~7.5mm。L2~L5 较 L1/2、L5/S1 同节段上下终板对应参数均保持较好一致性,差异多无统计学意义。L5/S1 节段上下终板四对参数中只有最大斜径差异无统计学意义(男性, $P=0.0522$;女性, $P=0.6410$)。根据拟定融合器计算公式,TLIF 融合器长度男性 L1~L4 各节段应 $\geq 31\text{mm}$,L4/5 为 30~38mm,L5/S1 为 25~38mm;女性 L1~L4 各节段应 $\geq 27\text{mm}$,L4/5 为 26~34mm,L5/S1 为 23~33mm。TLIF 入路下融合器置入角度应尽量达到最大倾斜角以选用更长融合器。PLIF 融合器长度男性 L1~L5 各节段为 28~30mm,L5/S1 为 26mm;女性 L1~L5 各节段为 24~26mm,L5/S1 为 22mm。**结论:**CT 测量分析可为腰椎间融合器长度的选择提供客观依据,根据终板斜径、侧矢状径及骨突环长度可初步预测手术节段椎间融合器长度。

【关键词】腰椎;体层摄影术;X 线计算机;椎间融合器

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.07.09

中图分类号:R814.42 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2016)-07-0627-08

Analysis of lumbar interbody cage's length based on anatomic measurement/SUN Chi, WANG Hongli, JIANG Jianyuan, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2016, 26(7): 627-634

【Abstract】Objectives: To measure the anatomic parameters of Chinese lumbosacral vertebral endplates(L1-S1), and to explore its significance in the selection of interbody cage's length used in transforaminal lumbar interbody fusion(TLIF) and posterior lumbar interbody fusion(PLIF). **Methods:** CT scan and reconstructions of lumbar and sacrum were obtained in 24 healthy adult volunteers. Mid-oblique diameter, max-oblique diameter, max-oblique angle, lat-sagittal diameter and width of apophyseal ring of L1 inferior endplate to S1 superior endplate were measured. Within the same gender and segment, mid-oblique diameter, max-oblique diameter, max-oblique angle and lat-sagittal diameter of the inferior and superior endplates were compared, and the length of the fusion under the different operation methods was calculated. **Results:** The maximum and minimum mid-oblique diameters were $39.58 \pm 2.60\text{mm}$ and $33.38 \pm 3.26\text{mm}$ in male, which were $34.89 \pm 1.55\text{mm}$ and $30.93 \pm 2.99\text{mm}$ in female, the width of apophyseal ring for which was within the range of 6-8mm. The maximum and minimum max-oblique diameters were $48.05 \pm 4.62\text{mm}$ and $42.83 \pm 2.28\text{mm}$ in male, which were $43.26 \pm 3.31\text{mm}$ and $38.00 \pm 2.53\text{mm}$ in female, which increased from L1 to S1. The maximum and minimum lat-sagittal diameters were $36.48 \pm 3.26\text{mm}$ and $32.11 \pm 2.50\text{mm}$ in male, which were $31.75 \pm 1.64\text{mm}$

基金项目:2012 年上海市科委医学重点项目(编号:12411951201);2013 年上海市科技成果转化与产业化项目(编号:13DZ1940502;13DZ1940503);2014 年国家自然科学基金面上项目(编号:81472036)

第一作者简介:男(1990-),医学硕士,研究方向:脊柱外科

电话:(021)52887122 E-mail:sunchi0831@126.com

通讯作者:姜建元 E-mail:jjy@fudanspine.com

and 28.36 ± 2.32 mm in female, the width of apophyseal ring for which was within the range of 5.5–7.5 mm. Most of the differences between anatomic parameters of inferior and superior endplates in the same segment (L2–L5) was insignificant except for L1/2 and L5/S1. In L5/S1, there was no significant difference only in lat-oblique diameter (male: $P=0.0522$, female: $P=0.6410$). When TLIF was used, the length of interbody cage for L1–L4 should be no less than 31 mm in male and 27 mm in female. As for L4/5, it should be within the range of 30–38 mm in male and 26–34 mm in female. The range of length was more extensive for L5/S1, with 25–38 mm in male and 23–33 mm in female. When the cage was inserted, the insertion angle should be closed to max-oblique angle. When PLIF was used, the length of interbody cage for L1–L5 ranged from 28 to 30 mm in male and 24 to 26 mm in female. As for L5/S1, 26 mm in male and 22 mm in female were good choices. **Conclusions:** CT measurement provides the choice of lumbar interbody cage's length with objective evidences. A preliminary estimation of the length can be made based on the oblique diameter, the lat-sagittal diameter and the width of apophyseal ring.

[Key words] Lumbar vertebrae; Tomography; X-ray computed; Interbody cage

[Author's address] Department of Orthopaedics, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai, 200040, China

后方入路腰椎椎体间融合手术自 1953 年 Cloward 等^[1]介绍至今已经走过半个多世纪的历程,其主要包括以下两种技术:后路腰椎椎体间融合术 (posterior lumbar interbody fusion, PLIF)、经椎间孔腰椎椎体间融合术 (transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)。

腰椎椎体间融合术关键环节之一是融合器的选择。既往研究表明,合适的融合器高度可以恢复椎间高度、重建腰椎生理曲度,而合适的融合器表面曲度可以与终板表面完整匹配,减少点状受力,明显降低腰椎术后常见并发症的发病率,如融合器沉降、假关节形成等^[5–8]。近年来不少文献也表明术后融合器沉降和假关节形成等发病率可能与融合器长度及置入位置相关^[8–10]。

回顾以往文献发现,部分学者对椎间融合器置入部位即腰椎椎体上下终板的生物力学特性进行了详细研究^[11–14]。Grant 等^[11]和 Lowe 等^[13]通过尸体研究发现, L1 下终板~S1 上终板的中间类圆形区即松质骨区力学强度显著低于终板外周环形密质骨区 ($P<0.05$), 即骨突环 (apophyseal ring), 合适长度的融合器通过覆盖于力学强度较大的骨突环上可提高相应手术节段融合器的稳定性, 减少术后并发症。虽然此类研究较多, 但尚无学者将此生物力学结果与融合器的长度选择进行有机结合。故本研究拟通过对国人腰骶椎终板的 CT 测量, 根据前人对终板生物力学的研究结果, 明确 TLIF、PLIF 术式下椎间融合器的长度选择。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2015 年 8 月~12 月, 本院骨科招募 24 名志愿者, 男女各 12 名, 男性年龄 20~57 岁 (39 ± 12 岁), 女性年龄 21~58 岁 (38 ± 13 岁)。所有志愿者 BMI 在 18.5~23.9 正常范围内。纳入标准: (1) 无腰部不适症状; (2) 无腰椎手术史; (3) 无腰椎肿瘤、结核、发育畸形; (4) 无严重骨质疏松; (5) 无长期服用激素等影响骨质的药物。排除标准: (1) 腰椎骨折; (2) 明显的腰椎退变性疾病, 如: 滑脱、椎管狭窄、椎间盘退变 4 级或 5 级 (Pfirrmann 分级); (3) 终板局部不规则, 如有 Schmorl 结节等。

1.2 CT 扫描及二维重建

腰椎 CT 扫描, 扫描仪采用西门子 SOMATOM sensation 64 排螺旋 CT 机 (Lightspeed VCT, 德国)。扫描范围为 T12~S1, 扫描层厚 1.5 mm, 螺距 1.4, 矩阵 512×512 , 管电压 120 kV, 管电流 160 mA。于西门子后处理工作站 (NUMARIS/4, SIEMENS, 德国), 利用三维容积重建软件对 CT 图像进行矢状面及平行于 L1~S1 各椎间隙终板平面的重建及测量。重建参数选择骨重建法, 重建 FOV 18 cm, 窗宽 1500 Hu, 窗位 350 Hu。螺旋扫描获取容积数据, 矢状面垂直于椎体水平、椎间隙面平行于终板平面重建 (层厚 2 mm, 层间距 2 mm)。

1.3 定位、测量与计算

1.3.1 椎弓根起点及其投影点定位 选取相应节段椎弓根层面图像, 以椎体中心为 A 点, 左侧椎弓根起点内外侧缘连线中点为 O 点, 过 O 作直线 OB 垂直于过 A 点的椎体正中矢状线, 测 $\angle AOB$, 命名为椎弓根角。于终板层面, 以椎体中心点为

A', 于 PACS 3.0 影像测量系统中作 $\angle A'O'B'$ ($\angle A'O'B' = \angle AOB$), 使边 $A'O'$ 过 A' 点, 边 $O'B'$ 垂直于过 A' 点的正中矢状线, 顶点 O' 位于终板平面的椎体左侧边缘, 则可知 O' 点为椎弓根起点 O 在终板层面的投影点 (图 1)。

1.3.2 终板斜径、侧矢状径及其他相应参数测量

(1) 斜径: 以 O' 为起点, 测 O' 至终板前缘中点的距离, 记为线段 T_n , 定义为中线斜径。再以 O' 为起点, 测 O' 至终板对侧边缘各点距离的最大值, 记为线段 T_{max} , 定义为最大斜径。 $T_n \sim T_{max}$ 即为斜径范围。分别测量线段 T_n 和 T_{max} 所覆盖的前后骨突环 (密质骨区) 长度, 分别记为 R_{tn1} 、

R_{tn2} ; R_{tmax1} 、 R_{tmax2} 。最后测量直线 $O'B'$ 与 T_{max} 所在直线的夹角, 记为最大倾斜角 ANG_{max} (图 2)。

(2) 侧矢状径: 终板面定位于矢状面终板切线水平, 基于该平面, 先经棘突起点及椎体后缘中点做一直线, 再经椎板中点做一平行线分别交椎体前后缘于 L 点、P 点, 测线段 PL 长度, 定义为侧矢状径, 同时测线段 PL 所覆盖的前后骨突环 (密质骨区) 长度, 分别记为 R_{p1} 、 R_{p2} (图 3)。注: 根据上述测量方法测量男女各 12 名自 L1 下终板至 S1 上终板 (每人共 10 个终板面) 的相应解剖学参数。

1.3.3 拟定融合器长度计算公式 (1) TLIF 融合

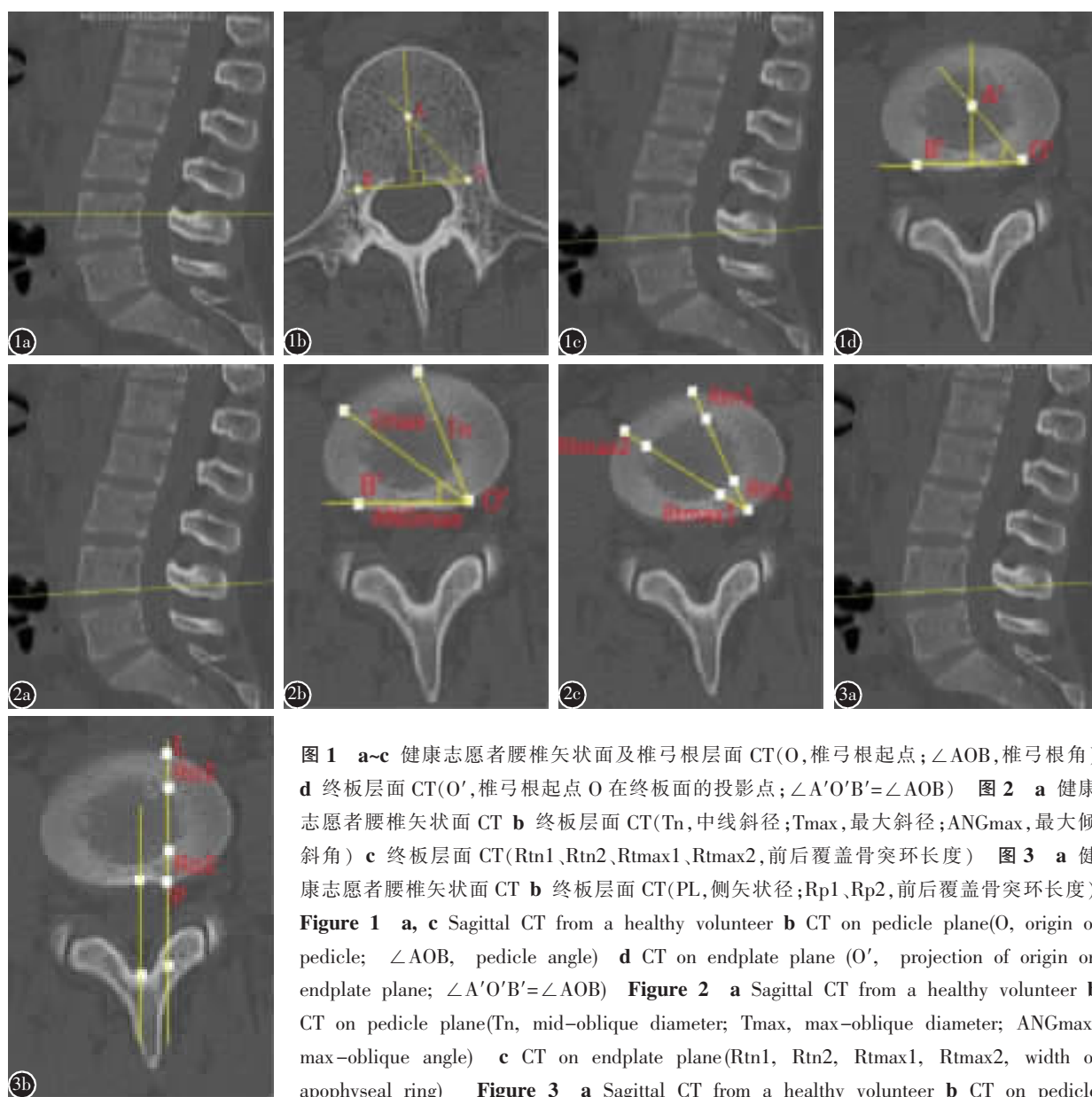


图 1 a~c 健康志愿者腰椎矢状面及椎弓根层面 CT (O, 椎弓根起点; $\angle AOB$, 椎弓根角) d 终板层面 CT (O' , 椎弓根起点 O 在终板面的投影点; $\angle A'O'B' = \angle AOB$) 图 2 a 健康志愿者腰椎矢状面 CT b 终板层面 CT (T_n , 中线斜径; T_{max} , 最大斜径; ANG_{max} , 最大倾斜角) c 终板层面 CT (R_{tn1} , R_{tn2} , R_{tmax1} , R_{tmax2} , 前后覆盖骨突环长度) 图 3 a 健康志愿者腰椎矢状面 CT b 终板层面 CT (PL, 侧矢状径; R_{p1} , R_{p2} , 前后覆盖骨突环长度)

Figure 1 a, c Sagittal CT from a healthy volunteer b CT on pedicle plane (O, origin of pedicle; $\angle AOB$, pedicle angle) d CT on endplate plane (O' , projection of origin on endplate plane; $\angle A'O'B' = \angle AOB$) Figure 2 a Sagittal CT from a healthy volunteer b CT on pedicle plane (T_n , mid-oblique diameter; T_{max} , max-oblique diameter; ANG_{max} , max-oblique angle) c CT on endplate plane (R_{tn1} , R_{tn2} , R_{tmax1} , R_{tmax2} , width of apophyseal ring) Figure 3 a Sagittal CT from a healthy volunteer b CT on pedicle plane (PL, lat-sagittal diameter; R_{p1} , R_{p2} , width of apophyseal ring)

器 (中线斜位) = $T_n - 1/2 (R_{tn1} + R_{tn2})$; (2) TLIF 融合器 (最大斜位) = $T_{max} - 1/2 (R_{tmax1} + R_{tmax2})$; (3) PLIF 融合器 = $PL - 1/2 (R_{p1} + R_{p2})$ 。

1.4 统计分析

采用 STATA 14.0 统计软件包对数据进行统计学分析: (1) 各个终板斜径对应参数的平均值、标准差, 包括椎弓根角、 T_n 、 R_{tn1} 、 R_{tn2} 、 T_{max} 、 ANG_{max} 、 R_{tmax1} 、 R_{tmax2} 。(2) 各个终板侧矢状径对应参数的平均值、标准差, 包括 PL 、 R_{p1} 、 R_{p2} 。(3) 比较相同节段上下终板对应参数差异是否具有统计学意义。参数为连续性变量, 若配对差值近似服从正态性分布, 用配对 t 检验, 反之, 则用配对符号秩检验 (Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test)。以上统计学分析将男女分开讨论, 采用双侧检验, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。 $P<0.05$ 具有统计学意义。

2 结果

L1 下终板~S1 上终板斜径及侧矢状径对应参数的平均值、标准差如表 1、表 2 所示。在斜径中, 男性 T_n 最大值为 $39.58\pm2.60\text{mm}$, 最小值 $33.38\pm3.26\text{mm}$, 女性 T_n 最大值为 $34.89\pm1.55\text{mm}$, 最小值为 $30.93\pm2.99\text{mm}$ 。变化趋势为于 L2、L3 椎体上下终板时达到最大, 而高位椎体 L1 或低位椎体 L4~S1 较小, 如图 4 所示。前后覆盖骨突环

长度约 6~8mm, 其中男性较大。男性 T_{max} 最大值为 $48.05\pm4.62\text{mm}$, 最小值为 $42.83\pm2.28\text{mm}$, 女性 T_{max} 最大值为 $43.26\pm3.31\text{mm}$, 最小值为 $38.00\pm2.53\text{mm}$, 变化趋势为自 L1 至 S1 逐渐变大, 如图 5 所示。后方覆盖骨突环长度常大于前方。最大倾斜角 ANG_{max} 逐渐变小, 如图 6 所示。在侧矢状径中, 男性 PL 最大值为 $36.48\pm3.26\text{mm}$, 最小值为 $32.11\pm2.50\text{mm}$, 女性 PL 最大值为 $31.75\pm1.64\text{mm}$, 最小值为 $28.36\pm2.32\text{mm}$, 变化趋势均为于 L3、L4 椎体上下终板时达到最大, 而高位椎体 L1、L2 或低位椎体 L5、S1 较小, 如图 7 所示。前后覆盖骨突环长度约 5.5~7.5mm, 其中男性较大。

相同节段上下终板对应参数差异如表 3、表 4 所示。L2/3、L3/4、L4/5 较 L1/2、L5/S1 而言, 相同节段上下终板对应参数均保持较好一致性, 差异多无统计学意义。无论男性或女性, 在 L5/S1 节段中, 四对参数中只有一对差异无统计学意义, 即 T_{max} (男性, $P=0.0522$; 女性, $P=0.6410$)。

根据拟定融合器长度计算公式, 计算出不同路径下所需融合器的合适长度, 结合最大倾斜角, 结果见表 5、6。TLIF 融合器长度范围男性 L1~L4 各节段应 $\geq 31\text{mm}$, L4/5 为 30~38mm, L5/S1 为 25~38mm; 女性 L1~L4 各节段应 $\geq 27\text{mm}$, L4/5 为 26~34mm, L5/S1 为 23~33mm。PLIF 融合器长度范围男性 L1~L5 各节段为 28~30mm, L5/S1 节段为

表 1 男性斜向及侧矢向参数
Table 1 Oblique and lat-sagittal parameters for male

终板 Endplate	斜向 (Oblique)								侧矢向 (Lat-sagittal)		
	$\angle AOB$ ($^{\circ}$)	T_n (mm)	R_{tn1} (mm)	R_{tn2} (mm)	T_{max} (mm)	ANG_{max} ($^{\circ}$)	R_{tmax1} (mm)	R_{tmax2} (mm)	PL (mm)	R_{p1} (mm)	R_{p2} (mm)
L1 下 L1 inferior	51.28 $\pm$ 2.15	38.65 $\pm$ 3.05	7.05 $\pm$ 1.04	7.97 $\pm$ 1.59	42.86 $\pm$ 2.26	38.39 $\pm$ 4.49	7.14 $\pm$ 1.51	11.72 $\pm$ 2.88	33.87 $\pm$ 2.72	6.13 $\pm$ 1.12	7.21 $\pm$ 1.49
L2 上 L2 superior	51.53 $\pm$ 2.42	38.47 $\pm$ 2.55	7.03 $\pm$ 1.30	7.21 $\pm$ 1.01	42.83 $\pm$ 2.28	38.37 $\pm$ 6.89	6.40 $\pm$ 1.10	11.04 $\pm$ 2.26	35.27 $\pm$ 2.68	6.83 $\pm$ 1.49	7.05 $\pm$ 1.47
L2 下 L2 inferior	51.53 $\pm$ 2.42	39.21 $\pm$ 2.11	7.38 $\pm$ 1.46	7.41 $\pm$ 1.41	44.11 $\pm$ 2.44	36.64 $\pm$ 4.09	8.35 $\pm$ 2.10	11.37 $\pm$ 2.46	35.34 $\pm$ 2.48	6.65 $\pm$ 1.27	6.56 $\pm$ 1.63
L3 上 L3 superior	47.94 $\pm$ 3.07	39.58 $\pm$ 2.60	7.07 $\pm$ 1.21	6.83 $\pm$ 0.94	44.21 $\pm$ 2.35	34.09 $\pm$ 4.03	6.88 $\pm$ 0.83	9.98 $\pm$ 1.22	36.48 $\pm$ 3.26	7.08 $\pm$ 1.37	6.68 $\pm$ 0.87
L3 下 L3 inferior	47.94 $\pm$ 3.07	38.85 $\pm$ 2.32	7.98 $\pm$ 1.89	7.95 $\pm$ 1.89	45.62 $\pm$ 2.30	31.80 $\pm$ 5.76	10.11 $\pm$ 3.06	10.35 $\pm$ 2.99	35.70 $\pm$ 2.66	7.19 $\pm$ 1.69	6.60 $\pm$ 1.38
L4 上 L4 superior	43.55 $\pm$ 2.34	39.21 $\pm$ 2.69	7.45 $\pm$ 1.41	8.41 $\pm$ 1.45	46.27 $\pm$ 2.76	30.78 $\pm$ 3.44	7.81 $\pm$ 1.84	10.79 $\pm$ 1.72	36.24 $\pm$ 3.37	6.68 $\pm$ 1.29	6.90 $\pm$ 1.50
L4 下 L4 inferior	43.55 $\pm$ 2.34	37.23 $\pm$ 2.30	7.74 $\pm$ 1.47	7.75 $\pm$ 2.03	45.96 $\pm$ 2.41	25.88 $\pm$ 3.50	9.64 $\pm$ 2.29	11.63 $\pm$ 2.68	35.36 $\pm$ 2.73	7.02 $\pm$ 1.66	7.30 $\pm$ 1.88
L5 上 L5 superior	32.59 $\pm$ 4.04	36.57 $\pm$ 2.08	7.23 $\pm$ 1.66	7.00 $\pm$ 1.52	46.37 $\pm$ 2.89	19.69 $\pm$ 3.96	7.60 $\pm$ 1.98	9.39 $\pm$ 2.04	35.10 $\pm$ 2.62	5.85 $\pm$ 1.22	6.93 $\pm$ 1.57
L5 下 L5 inferior	32.59 $\pm$ 4.04	35.53 $\pm$ 2.90	7.69 $\pm$ 1.71	7.33 $\pm$ 1.31	45.89 $\pm$ 3.38	19.74 $\pm$ 4.19	9.01 $\pm$ 1.93	9.54 $\pm$ 2.22	34.46 $\pm$ 3.35	6.58 $\pm$ 1.78	6.95 $\pm$ 1.27
S1 上 S1 superior	20.73 $\pm$ 5.40	33.38 $\pm$ 3.26	7.98 $\pm$ 2.10	7.69 $\pm$ 2.27	48.05 $\pm$ 4.62	15.38 $\pm$ 3.29	10.86 $\pm$ 4.20	9.42 $\pm$ 2.09	32.11 $\pm$ 2.50	5.80 $\pm$ 1.76	6.17 $\pm$ 1.29

表 2 女性斜向及侧矢向参数
Table 2 Oblique and lat-sagittal parameters for female

终板 Endplate	斜向 (Oblique)								侧矢向 (Lat-sagittal)		
	∠ AOB (°)	Tn (mm)	Rtn1 (mm)	Rtn2 (mm)	Tmax (mm)	ANGmax (°)	Rtmax1 (mm)	Rtmax2 (mm)	PL (mm)	Rp1 (mm)	Rp2 (mm)
L1 下 L1 inferior	50.32±2.42	32.84±1.77	6.21±1.25	5.75±1.39	38.00±2.53	34.43±4.62	6.24±1.33	9.70±1.77	29.03±1.51	5.56±0.88	4.85±1.42
L2 上 L2 superior	52.10±3.04	33.84±1.56	6.55±1.14	6.27±1.59	38.01±1.81	37.22±3.92	6.71±1.39	9.33±2.44	29.89±1.89	6.28±0.85	5.20±1.39
L2 下 L2 inferior	52.10±3.04	34.38±1.84	7.18±1.09	6.75±1.43	38.94±2.26	36.09±3.67	7.14±1.20	9.45±2.58	30.60±1.83	5.82±1.05	5.17±1.08
L3 上 L3 superior	49.63±2.33	34.89±1.55	6.88±0.92	6.57±1.14	39.22±2.20	35.43±4.16	6.62±1.05	10.08±2.43	31.44±1.62	6.29±0.96	5.58±1.60
L3 下 L3 inferior	49.63±2.33	34.59±1.48	7.99±1.29	8.00±1.68	40.01±1.84	32.29±3.85	8.03±0.80	10.50±1.81	31.75±1.64	6.95±0.97	6.18±1.21
L4 上 L4 superior	44.39±3.03	34.40±1.84	6.81±1.05	6.93±1.01	41.41±2.24	29.53±5.97	6.91±1.13	9.57±2.24	31.71±1.50	5.97±1.03	6.14±1.20
L4 下 L4 inferior	44.39±3.03	33.96±2.24	8.08±2.01	7.64±1.53	41.77±2.78	26.43±3.82	9.55±1.08	10.24±1.53	31.75±1.47	7.20±1.66	6.12±1.19
L5 上 L5 superior	34.26±6.10	33.36±3.00	7.60±1.31	7.13±1.24	42.23±2.97	22.61±6.49	7.62±1.54	9.17±1.72	31.59±1.90	6.47±1.40	6.67±1.09
L5 下 L5 inferior	34.26±6.10	33.00±2.37	9.04±1.16	7.16±1.24	42.70±2.66	18.91±3.56	9.93±1.98	9.76±1.27	31.52±1.87	7.71±1.36	5.95±1.22
S1 上 S1 superior	24.83±6.00	30.93±2.99	7.38±1.24	8.47±1.85	43.26±3.31	14.58±3.54	9.83±2.55	10.44±2.88	28.36±2.32	6.33±1.25	6.17±1.76

26mm; 女性 L1~L5 各节段为 24~26mm, L5/S1 节段为 22mm。

3 讨论

3.1 终板生物力学特点

终板是椎体在生长发育过程中, 椎体上下面骨骺板骨化停止后形成的骨板, 呈轻度凹陷, 即为骨性终板。终板的中央仍为一薄层透明软骨覆盖, 并终生存在, 即为软骨终板。椎体终板构成了椎间盘的上下边界, 位于椎体中心的松质骨和椎间盘之间。在正常生理状态下, 终板主要作用是防止椎间盘髓核组织嵌入椎体, 同时具有平衡分散应力的作用。而在腰椎融合术后患者中, 手术节段的终板作用则是防止融合器、植骨等嵌入椎体, 平衡分散应力避免融合器沉降, 促进植骨融合。由此可见, 终板的生物力学特性与融合器的规格设计可能是融合手术疗效的重要保障。自本世纪初以来, 不断有学者通过各种办法对腰骶椎各终板平面的生物力学特性进行详细研究。Grant 等^[11]以直径 3mm 的压头对来自 11 具新鲜尸体的 62 个终板 (L3~S1) 进行压力试验, 通过破坏载荷及硬度指标研究同一终板不同区域及相同节段上下终板相同区域生物力学特性是否有规律变化。他在研究中发现同一终板外周较中央硬度明显提高, 其中后外侧为终板硬度最高区域, 终板后方硬度明显

高于前方。同一节段上下终板硬度明显不同, 上位椎体下终板比下位椎体上终板硬度高出约 40% (破坏载荷: $P=0.0080$; 硬度: $P=0.0027$)。Oxland 等^[12]以尸体标本为来源, 研究了 L3~L5 的上下终板生物力学特性, 他同样发现同一终板不同区域破坏载荷和硬度有明显不同 ($P<0.0001$)。其中从终板后方至中部破坏载荷及硬度指标均有显著降低, 从中部至终板前方两项指标则轻度上升。终板外侧破坏载荷及硬度明显大于中部。在此基础上, Oxland 等还对比终板去除前后局部生物力学变化。他发现去除终板与保留终板相比, 局部平均破坏载荷下降 33%, 硬度指标也相应显著降低 (破坏载荷: $P=0.04$; 硬度: $P=0.01$), 以此提出保留终板尤其是终板外周部分在防止术后融合器沉降等并发症中的关键作用。Lowe 等^[13]基于以上结果, 通过对 65 个尸体来源的终板进行不同部位的力学研究, 指出术中进行合适的终板修整即去除终板强度较差的中央区保留外周强度较佳区域, 可以既保证有充足的微血管区得到暴露促进植骨融合, 又可以为融合器提供坚强的附着点进行置入。

3.2 融合器长度与腰椎融合术并发症的关系

Matsumura 等^[15]研究发现, 当椎间融合器覆盖部分达到终板密质骨区即骨突环且覆盖面积超过终板的 30% 时, 术后沉降发生率显著下降 ($P<0.05$)。而临床上多数 TLIF、PLIF 术式使用 1~2 个

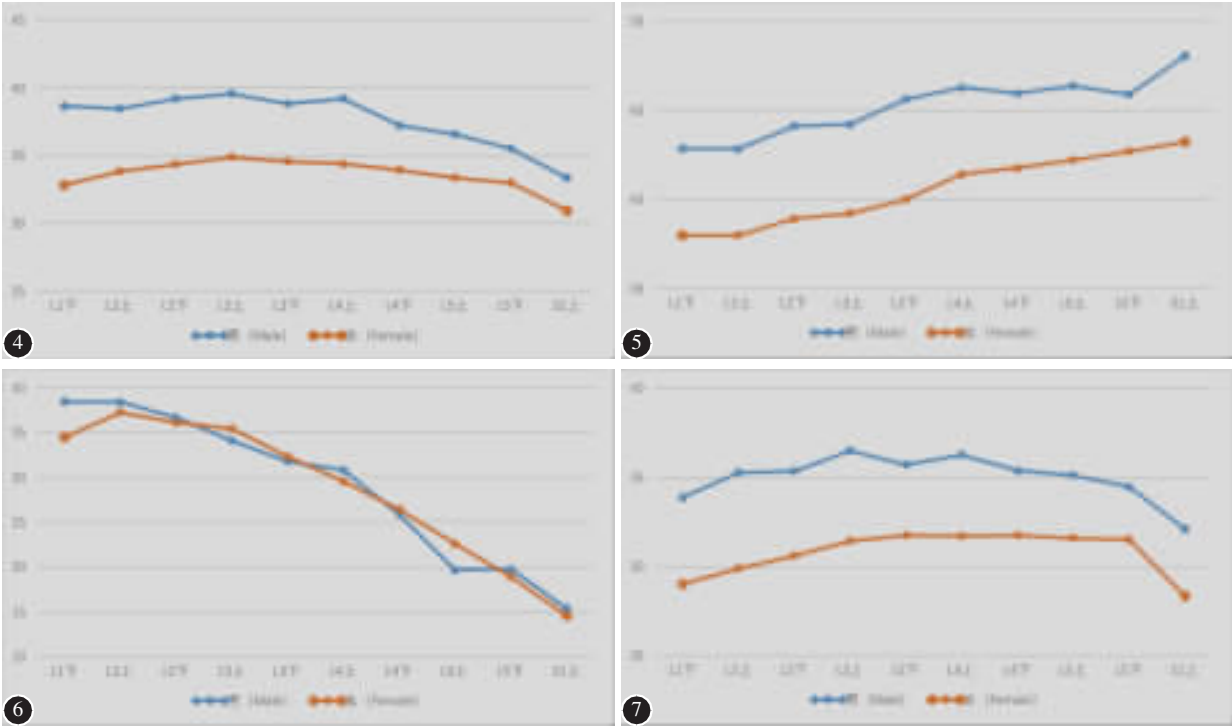


图 4 中线斜径 Tn 变化趋势(单位:mm) 图 5 最大斜径 Tmax 变化趋势(单位:mm) 图 6 最大倾斜角 ANGmax 变化趋势(单位:°) 图 7 侧矢状径 PL 变化趋势(单位:mm)

Figure 4 The variation trend of mid-oblique diameter (mm) Figure 5 The variation trend of max-oblique diameter (mm) Figure 6 The variation trend of mid-oblique angle (°) Figure 7 The variation trend of lat-sagittal diameter (mm)

表 3 男性相同节段上下终板参数差异(P 值)

Table 3 Differences between superior and inferior endplates within the same segment for male(P value)

节段 Segment	PL	Tn	Tmax	ANGmax
L1/2	0.0000	0.6458	0.9288	0.9885
L2/3	0.0180	0.2094	0.8354	0.0551
L3/4	0.2515	0.2281	0.1847	0.4167
L4/5	0.5952	0.1958	0.5571	0.0007
L5/S1	0.0227	0.0186	0.0522	0.0235

表 5 男性融合器长度

Table 5 Interbody cage's length for male

节段 Segment	TLIF			PLIF
	Tn(mm)	Tmax(mm)	ANGmax(°)	PL(mm)
L1/2	31.35	34.11	38.37	28.33
L2/3	32.63	35.78	34.09	29.60
L3/4	31.28	36.97	30.78	29.45
L4/5	29.46	37.88	19.69	28.71
L5/S1	25.55	37.91	15.38	26.13

表 4 女性相同节段上下终板参数差异(P 值)

Table 4 Differences between superior and inferior endplates within the same segment for female(P value)

节段 Segment	PL	Tn	Tmax	ANGmax
L1/2	0.0032	0.0048	0.9815	0.0387
L2/3	0.0796	0.0484	0.5563	0.5968
L3/4	0.5829	0.5654	0.0037	0.1773
L4/5	0.7167	0.2627	0.3855	0.0871
L5/S1	0.0028	0.0107	0.6410	0.0059

表 6 女性融合器长度

Table 6 Interbody cage's length for female

节段 Segment	TLIF			PLIF
	Tn(mm)	Tmax(mm)	ANGmax(°)	PL(mm)
L1/2	27.43	29.99	37.22	24.15
L2/3	28.17	30.87	35.43	25.51
L3/4	27.53	33.17	29.53	25.66
L4/5	26.00	33.84	22.61	25.02
L5/S1	23.01	33.13	14.58	22.11

融合器,终板覆盖率在 13%~25%,且难以覆盖到强度较大的终板外周区域。Oh 等^[16]通过对 128 例接受腰椎融合术患者进行随访后提出临床医师进行腰椎融合术时应该仔细选择合适融合器尺寸,更长的融合器可以防止术后融合器前移、沉降等。Faizan 等^[17]通过生物力学有限元模型对比研究了 TLIF 术式下一种新型融合器 articulating vertebral interbody device(AVID)和传统融合器差异。研究发现 AVID 融合器置入后局部节段负载能力明显大于传统融合器置入节段(AVID:149~532N;传统融合器:30~396N),Faizan 等分析 AVID 融合器可通过弯曲自身使置入长度和面积更大,以及可覆盖终板骨突环区域而降低局部应力、重新分配上下终板应力,从而减少术后沉降发生。Tohmeh 等^[16]通过对 140 例行 XLIF 术式患者平均随访 15.5 个月,比较了 $\leq 45\text{mm}$ 、50mm、55mm 和 60mm 不同规格融合器术后沉降的发生情况,研究发现 50mm 融合器较 60mm 融合器更易发生大于 4mm 的重度沉降(OR=3.54, $P=0.012$)。虽然 $\leq 45\text{mm}$ 、55mm 相较 60mm 融合器发生重度沉降差异并无统计学意义($P>0.05$),但是发生率依然存在不同($\leq 45\text{mm}$:OR=1.91;55mm:OR=1.55)。Tohmeh 等认为若置入路径一致,更长的融合器更易接触终板外周骨突环区,从而较好地防止术后沉降。尽管 Tohmeh 等研究腰椎术式为 XLIF,但其观点理念可以为 TLIF、PLIF 术式融合器的选择、置入提供参考。

3.3 融合器长度分析

目前市面上各类融合器长度不尽相同,其中多数是参照欧美人种的解剖参数进行设计。本研究基于对国人男女共 24 人 L1 下终板~S1 上终板解剖学测量数据,结合前人对腰椎终板的生物力学研究^[12,18,19]结果,给出合理的融合器长度设定范围。根据 TLIF 单枚融合器经椎间孔斜向置入路径特点,笔者进行侧方路径参数测量时首先定位椎弓根起点位于终板的投影点 O'即是相应节段 TLIF 融合器置入时长轴的起点,然后分别测出融合器前缘恰过中线时路径长度 T_n 以及融合器前缘触及终板对侧边缘时最大路径长度 $T_{\max}$,结合临床实际操作认为常规情况下 TLIF 单枚融合器置入范围应是此扇形范围,TLIF 融合器长轴范围应与此扇形范围相匹配。PLIF 置入则遵照传统后路切除椎板经椎管置入路径进行测量^[11,20],且临床

多数情况下融合器正向置入而非斜向,故线段 PL 应是 PLIF 融合器置入路径。根据测得斜径、侧矢状径长度及前后骨突环长度计算设计融合器长度时考虑融合器前缘过前或后缘过后均可能通过术后微小位移导致其突出压迫周围组织,故前后各留出 1/2 相应骨突环距离,保证融合器边缘距终板边缘 $\geq 3\text{mm}$ ^[21,22]。此外,查阅相关文献发现,Malham^[23]等随访 13 例腰椎患者发现共 14 个手术节段出现术后融合器沉降,其中沉降节段中发生于下位椎体上终板占 78.5%,上下终板同时出现沉降占 21.5%,无单独上位椎体下终板沉降发生。Grant 等^[11]亦通过研究得出同一节段上下终板硬度明显不同,上位椎体下终板比下位椎体上终板硬度高出约 40%(破坏载荷: $P=0.0080$;硬度: $P=0.0027$),由此可见上终板更加脆弱,在沉降形成过程中扮演重要角色。本研究将同一节段上下终板解剖学参数进行统计分析发现,L2/3、L3/4、L4/5 相较 L1/2、L5/S1 而言,相同节段上下终板对应参数均保持较好一致性,较少出现统计学差异。无论男性或女性,在 L5/S1 节段中,四个参数中只有一个无统计学差异,即 $T_{\max}$ (男性, $P=0.0522$;女性, $P=0.6410$)。综上,融合器长度设定以目标节段中硬度相对较差的下位椎体上终板解剖学参数为参考。

根据以上分析讨论及骨突环长度,拟定融合器长度计算公式:(1)TLIF 融合器(中线斜位)= $T_n - 1/2(R_{tn1} + R_{tn2})$ 、(2)TLIF 融合器(最大斜位)= $T_{\max} - 1/2(R_{tmax1} + R_{tmax2})$ 及(3)PLIF 融合器= $PL - 1/2(R_{p1} + R_{p2})$ 可有效保证融合器两端置于骨突环上且预防融合器因微动位移滑出骨突环范围。公式计算结果提示,在男性中除 L5/S1 节段外,L1~L5 各相应节段 TLIF 所需融合器长度范围均大于 PLIF 融合器;在女性中所有相应节段 L1~S1 TLIF 所需融合器长度范围均大于 PLIF 融合器。自 L1 至 S1 各节段可置入 TLIF 融合器的最大长度逐渐变大。此外,因 S1 上终板变异较大导致 L5/S1 节段 TLIF 术式下可置入融合器长度范围比 L1~L5 各节段范围更大,空间上允许置入更长的融合器;同时也因 S1 上终板侧矢状径较短,导致 L5/S1 节段 PLIF 融合器长度明显短于 L1~L5 各节段。TLIF 入路下融合器置入角度应考虑不同节段最大倾斜角 $ANG_{\max}$ 以尽可能达到更长路径,在合适范围内选用更长融合器为佳。本研

究结果可为各级医院骨科医师手术融合器的选择提供证据充分的参考建议,术前应充分评估目标节段终板解剖学参数,合理选择 TLIF 或 PLIF 术式下的融合器。

3.4 本研究的局限性

本研究局限之处为:(1) 研究样本量较小,而 S1 上终板在人群中变异较大,应入组更多志愿者以减少误差;(2) 入组人员全部为健康志愿者,但临床中多数情况下接受 TLIF、PLIF 为中度至重度腰椎退变性疾病患者,其腰椎终板形态因椎间盘退变、局部应力改变、及边缘骨赘形成等因素较本研究志愿者有一定区别;(3) 目前由于国人椎管较小、传统 TLIF 及 PLIF 入路术中神经根张力较高等原因实际术式常为改良 TLIF 入路^[24],本研究测量点及路径与改良 TLIF 入路存在一定偏差。综上,本研究结论推广有待进一步的包含多种影响因素的大样本相似研究进行验证。

4 参考文献

- Cloward RB. The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. I. indications, operative technique, after care[J]. J Neurosurg, 1953, 10(2): 154-168.
- Harms J, Rolinger H. A one-stager procedure in operative treatment of spondylolistheses: dorsal traction-reposition and anterior fusion[J]. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 1982, 120(3): 343-347.
- Blumenthal SL, Ohnmeiss DD. Intervertebral cages for degenerative spinal diseases[J]. Spine J, 2003, 3(4): 301-309.
- Yoshihara H, Yoneoka D. National trends in the surgical treatment for lumbar degenerative disc disease: United States, 2000 to 2009[J]. Spine J, 2015, 15(2): 265-271.
- 孙文志, 鲁世保, 海涌, 等. 成人下腰椎终板矢状面形态的 CT 测量[J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(12): 1222-1227.
- Tohmeh AG, Khorsand D, Watson B, et al. Radiographical and clinical evaluation of extreme lateral interbody fusion [J]. Spine, 2014, 39(26): 1582-1591.
- Cho WJ, Wu CH, Mehdor AA, et al. Comparison of cage designs for transforaminal lumbar interbody fusion: A biomechanical study[J]. Clin Biomech, 2008, 23(8): 979-985.
- Jost B, Crompton PA, Lund T, et al. Compressive strength of interbody cages in the lumbar spine: the effect of cage shape, posterior instrumentation and bone density [J]. Eur Spine J, 1998, 7(2): 132-141.
- Krammer M, Dietl R, Lumenta CB, et al. Resistance of the lumbar spine against axial compression forces after implantation of three different posterior lumbar interbody cages [J]. Acta Neurochir(Wien), 2001, 143(12): 1217-1222.
- Tan JS, Bailey CS, Dvorak MF, et al. Interbody device shape and size are important to strengthen the vertebra implant interface[J]. Spine, 2005, 30(6): 638-644.
- Grant JP, Ma SC, Grant JP, et al. Mapping the structural properties of the lumbosacral vertebral endplates [J]. Spine, 2001, 26(8): 889-896.
- Oxland TR, Grant JP, Dvorak MF, et al. Effects of endplate removal on the structural properties of the lower lumbar vertebral bodies[J]. Spine, 2003, 28(8): 771-777.
- Lowe TG, Hashim S, Wilson LA, et al. A biomechanical study of regional endplate strength and cage morphology as it relates to structural interbody support[J]. Spine, 2004, 29(21): 2389-2394.
- Hou Y, Luo ZJ. A study on the structural properties of the lumbar endplate[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(12): 427-433.
- Matsumura A, Taneichi H, Suda K, et al. Comparative study of radiographic disc height changes using two different interbody devices for transforaminal lumbar interbody fusion: open box vs. fenestrated tube interbody cage[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(23): 871-876.
- Oh HS, Lee SH, Hong SW. Anterior dislodgement of a fusion cage after transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of isthmic spondylolisthesis[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2013, 54(2): 128-131.
- Faizan A, Kiapour A, Kiapour AM, et al. Biomechanical analysis of various footprints of transforaminal lumbar interbody fusion devices[J]. J Spinal Disord Tech, 2014, 27(4): 118-127.
- 徐宝山, 夏群, 胡永成. 经椎间孔腰椎椎体间融合术的应用进展[J]. 中华骨科杂志, 2005, 25(8): 503-506.
- Moskowitz A. Transforaminal lumbar interbody fusion[J]. Orthop Clin North Am, 2002, 33(2): 359-366.
- 郑燕平, 刘新宇, 贾龙, 等. 腰椎后路椎间融合术后椎间融合 X 线及三维 CT 评价[J]. 中华骨科杂志, 2009, 29(12): 1104-1108.
- Madhu TS. Posterior and anterior lumbar interbody fusion[J]. Curr Orthop, 2008, 22(6): 406-413.
- 李兴华, 翟明玉, 吴卫新, 等. 椎间融合器在腰椎滑脱症手术治疗中的应用[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2005, 20(6): 373-375.
- Malham GM, Parker RM, Blecher CM, et al. Assessment and classification of subsidence after lateral interbody fusion using serial computed tomography[J]. J Neurosurg Spine, 2015, 23(5): 1-9.
- 姜建元, 马昕, 吕飞舟, 等. 改良经椎间孔腰椎椎体间融合术的解剖学研究及临床意义[J]. 中华外科杂志, 2009, 47(14): 1100-1103.

(收稿日期:2016-04-11 修回日期:2016-07-08)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)