

脊柱生物力学的测定及其相关临床意义

杨述华 胡勇

(华中科技大学同济医学院附属协和医院, 湖北 武汉 430022)

1 脊柱正常生物力学和病理生物力学

1.1 颈腰椎的共轭特性 一般认为寰枢关节有显著的共轭现象, 多数学者观察到颈 1 在纵轴上的轴性旋转总伴有纵轴方向上的平移, 认为这与该关节的双凸形状和齿突的方向有关^[1]。腰椎有数种共轭运动形式。最明显的共轭运动之一是侧屈和屈伸活动之间的共轭。轴性旋转与脊柱的侧屈之间的共轭关系与颈椎和上胸椎相反, 棘突转向凹侧。

1.2 颈椎前弯度的测量及前弯度变化率的计算 在颈椎侧位片上分别画出 C₃ 椎体后缘的延长线和 C₇ 椎体后缘的延长线。两线相交形成的夹角即为颈椎前弯度。按下式求手术前后颈椎前弯度变化率。颈椎前弯度变化率 = 手术后颈椎前弯度 / 手术前颈椎前弯度 × 100%。颈椎前弯度变化率大于 100% 者为手术后颈椎前弯度增加, 等于 100% 者为手术前后颈椎前弯度无变化, 小于 100% 者则为手术后颈椎前弯度减少^[2]。

1.3 椎体楔状变形的测量方法 沿测椎体的上缘和下缘各画一条直线, 此两直线延长线或其平行线相交的角度即为该椎体的楔变度^[3]。约 80% 的休门氏病性脊柱后凸畸形有病变椎体楔状变形, 一般为 2~3 个以上相邻椎体楔变 5° 或更多, 以脊柱后凸中心区的椎体楔变最为明显。当椎体前缘压缩超过直径的 1/2 时, 该节段出现一个约 18° 的成角畸形, 压缩 2/3 时, 达 25° 左右, 椎体前缘完全压缩, 则成角可达 40°^[4]。因此, 被压缩的椎体数量愈多, 程度愈重, 则角度愈大, 并出现以下后果: ①椎管矢状径减小; ②椎管延长; ③引起椎体不稳。

2 负重脊柱生物力学测定

脊柱由椎体、椎间盘和各种韧带组成。韧带的张力与椎间盘内的压力保持脊柱内在的平衡; 各组肌肉保持其外在的平衡。要想比较精确地知道竖脊肌的拉力及椎间盘所承受的压力各是多少, 可以用三角函数的方法计算出来。假设弯腰 45° 时脊柱与地面夹角为 β (图 1), 作矩形 ABCD, AD 为其对角线, 提取重物 50kg, 问竖脊肌收缩力是多少? 如何计算椎间盘受到的压力? 由已知条件可知: ∠β = ∠β' = ∠β''; ∠α = 90° - ∠β; AB = AD × sinα。假如把 ∠α 的前屈度数定为 30°、45°、60°、90°, 从三角函数表上可查到: sin30° = 1/2 = 0.5; sin45° = 0.7; sin60° = 0.87; sin90° = 1; 设竖脊肌收缩力为 X, 按杠杆原理列出下式:

$$\begin{aligned} \therefore \text{重} \times \text{重臂} &= \text{力} \times \text{力臂} \\ \therefore 50 \times \sin(90^\circ - 45^\circ) \times 15 &= X \times 1 \\ \therefore \sin 45^\circ &= 0.7 \\ \therefore 50 \times 0.7 \times 15 &= X \times 1 \end{aligned}$$

$$\therefore X = 422(\text{kg})$$

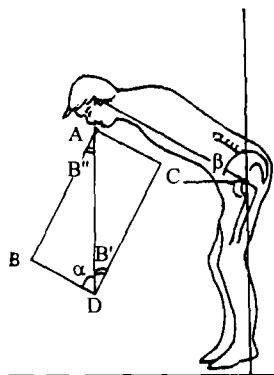


图 1 弯腰时背伸肌施力与脊柱前屈程度的关系示意图

故竖脊肌的收缩力为 422kg, 椎间盘所承受的压力是: 422kg + 上半身重量 + 50kg。上述这一简单的计算, 不难看出, 合理的劳动姿势是多么重要。脊柱有疾患的人应用宽腰带、背支架或硬背塔 (Corset), 可使椎间盘承受的压力减少 25%, 是与腹部上提并使腹压增大与使腰椎平直 (减少前凸) 有关。支架可减少背肌电活动。合适而较紧的硬背塔, 更可减少腹肌的电活动 (Electrical activity), 甚至代替腹肌的功能。因此, 凡应用宽腰带、支架或硬背塔治疗下腰痛者, 一定要同时锻炼背肌和腹肌, 不然, 这两组肌肉会更加萎缩, 去掉腰带或支架后, 背肌、腹肌就会不能维持腰椎的功能, 更容易引起韧带劳损而加重腰痛。

3 椎间盘的生物力学及其意义

椎间盘的存在, 增加了脊柱的活动范围、弹性力和运动中的缓冲作用。其主要生物力学性能是对抗压缩力。在固定后的中国人尸体上测得的椎间盘结果如下^[5]: 男性颈部椎间盘的平均高度: 前面为 4.37mm, 后面的左外侧为 3.96mm, 右外侧为 3.99mm; 上面的平均横径为 23.14mm, 矢状径为 17.13mm。胸部椎间盘的平均高度, 前面为 4.84mm, 后面左外侧为 4.48mm, 右外侧为 4.64mm; 上面横径平均为 34.17mm, 矢状径为 26.57mm。腰部者前高为 13.16mm, 后面左外侧高为 10.18mm, 右外侧高为 10.02mm; 上面横径为 49.39mm, 矢状径为 34.78mm。颈部椎间盘前面的高度, 第五颈椎的最薄, 第七颈椎的最厚; 胸部者第四胸椎的最薄, 第十二胸椎的最厚; 腰部者则自上向下按顺序显著增厚。女性各部椎间盘的各径均较男性者略小。腰椎间盘的运动轴有 3 个运动方向: 冠状面上倾斜, 脊柱产生前屈后伸运动; 矢状面

上倾斜, 脊柱产生侧屈运动; 纵轴上旋转, 使脊柱产生左右回旋运动。髓核的位置可随脊柱运动的方向而改变: 脊柱前屈, 髓核后移, 纤维环后侧的纤维承受压力增加; 脊柱后伸, 髓核向前移, 纤维环的前侧压力增加; 脊柱侧向运动时, 髓核移向侧弯对侧; 脊柱旋转运动时, 纤维环上斜行方向的纤维, 按运动的相反方向受到牵张, 其他方向的纤维得到松弛。Nachemson^[6](1960 年) 查出, 人在坐位时一个椎间盘所承受的压力比躯干重量大 3 倍; 人跳跃时椎间盘所承受的压力比静止时大 2 倍(即体重的 6 倍)。站立时椎间盘内压力可减少 30%, 侧卧位时减少 50%, 仰卧减少 80%~90%。故对急性腰椎间盘突出症患者的要求是严格卧床休息。由于椎间盘纤维环的排列, 髓核的压力比整个椎间盘的压力大 50%, 外面纤维环的压力比整个椎间盘的压力小一半。当椎间盘受压向四周膨胀时, 纤维环张力增大, 如后侧方后纵韧带不完整, 则腰椎间盘的形状可使其后侧方所受压力比椎间盘高 1.5~5 倍。故腰椎间盘突出以后侧方突出最多见。值得注意的是: 压缩力单独不能造成椎间盘的不可逆损害, 一个完整的椎间盘标本的实验中从未出现被压突出情况^[7]。

4 脊柱侧凸生物力学测定及意义

4.1 脊柱侧凸畸形角度的测量 临床确定脊柱侧凸畸形程度的测量方法有 Cobb 法、Ferguson 法及 Moe 法等。在测量脊柱侧凸畸形角度以前, 必须先找出上端椎和下端椎。一般认为, 端椎为凹面倾斜度最大的脊椎, 在弯曲段以内各椎间隙在凹面较窄而凸面较宽, 端椎上下的椎间隙均为凹面之最宽者, 测量侧弯角度的方法有以下两种: ①Cobb 测量法: 分别沿上方端椎的上缘与下方端椎的下缘作延长线, 再分别作此两线的垂线, 二垂线的纵向交角即为脊柱侧凸的角度。若不作垂线, 只将两端椎上下缘延长线交叉, 其交叉之水平角亦为脊柱侧凸之角度。此法已被国际脊柱研究学会采用。②Ferguson 测量法: 由上方端椎和下方端椎的中心点与顶椎的中心各作一根连线并延长之, 两线交叉于顶椎的中心, 其纵向的交叉角即为脊柱侧凸的角度。一般代偿完全的脊柱侧凸, 其原发弯曲度等于其上、下继发弯曲度数的总和。若前者仍大于后者, 说明其代偿尚不够完全, 脊柱侧凸仍有发展的可能性。

4.2 侧凸脊柱高度损失方法的测量 脊柱侧凸常伴有脊柱垂直高度的损失。测量侧凸脊柱高度损失的目的是辅助确定侧凸畸形的严重程度, 评价手术纠正脊柱高度损失的效果。摄站立位全脊柱正、侧位 X 线片, 侧位片示脊柱无明显前后凸畸形, 于正位片上按 Cobb 法找到主侧凸弧及代偿侧凸弧, 确定各侧凸弧的端椎。取上端椎体上缘终板线中点及下端椎体下缘终板线中点, 此两点间距离即为此段侧凸弧现有高度(h), 连接此两点及其间所有椎体中心所成弧线为此段脊柱应有的高度(H), 二者之差即为该段侧凸弧损失的高度值(图 2, 3)。主侧凸弧与代偿侧凸弧损失的高度值之和为整个脊柱损失高度值。高度损失率表示高度损失值占应有高度之比值。应有高度与现有高度之数值可直接从 X 线片上连线粗略测得, 亦可利用数学公式计算得出下列公式。

$$H = \pi r \text{Cobb} / 180$$

$$h = 2r \sin(\text{Cobb} / 2)$$

$$\text{高度损失率} = (H - h) / H$$

$$= 1 - (360 / \pi \text{Cobb}) \sin(\text{Cobb} / 2)$$

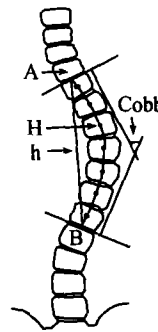


图 2 连接上端椎上缘中点与下端椎下缘中点及所有椎体中心的连线为应有高度 H, 此两点距离为现有高度 h

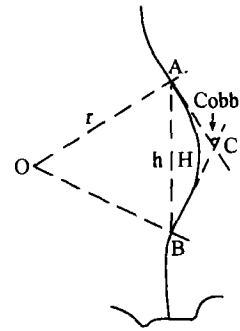


图 3 应有高度近似看成圆周的一段弧 AB, 现有高度 h 为对应的弦, 而 ∠AOB 等于 Cobb 角, r 为半径

只需测出 Cobb 角与圆弧半径 r 即可求出上面各项, 因 X 线片存在放大率, 测算得 H、h 值与真实值有差异, 而高度损失率为比值, 不受放大率影响, 用来反映高度损失情况更确切。利用公式可预算出术后 Cobb 角纠正至 Cobb' 角时术后现有高度 h' 及具体增高数 Δh, 如下: $h' = 2r' \sin(\text{Cobb}' / 2) = 360 (H / \pi \text{Cobb}') \times \sin(\text{Cobb}' / 2)$
 $\Delta h = h' - h = 360 (H / \pi) [\sin(\text{Cobb}' / 2) \text{Cobb}' - \sin(\text{Cobb} / 2) / \text{Cobb}]$

此两值也存在放大率的问题, 并不精确, 故拟用高度损失纠正率来评价纠正脊柱高度损失的手术效果, 表示为: 高度损失纠正率 = [(术前损失率 - 术后损失率) / 术前损失率] × 100% = [(术后现有高度 - 术前现有高度) / (应有高度 - 术前现有高度)] × 100%, 依据高度损失率将脊柱侧凸高度损失分为三度: 高度损失率 < 5% 为 I 度; 5%~15% 为 II 度; > 15% 为 III 度。临床评价手术纠正脊柱高度损失的效果, 建议依据高度损失纠正率来制定标准: 高度损失纠正率 > 75% 为优; 50%~75% 为良; 25%~50% 为可; < 25% 为差。对于因骨盆倾斜、侧凸失代偿致脊柱整体偏离中线时, 应注意脊柱的高度损失不等于身高的高度损失。本法适用于特发性侧凸, 对于麻痹性和先天性侧凸不适用^[8]。

5 椎间关节力学特点

椎间关节又称后关节或骨突关节, 由相邻上位椎骨的下关节突与下位椎骨的上关节突的关节面构成。椎间关节有万能关节之称(Universal Joint), 它有四个轴线的活动, 即水平轴线的上下挤压或分离, 横轴线的后伸和矢状轴线的矢状侧弯及垂直轴线的旋转运动。脊柱各部椎间关节面的朝向不同, 而决定各部脊柱具有不同的运动功能。在颈部除第一、第二颈椎间的关节面呈水平位外, 其余颈椎为 30°~80°(一般与水平成 45°角), 由上向下依次增加, 两侧角度完全相等的仅占 20%, 多数不对称。与额状面平行, 两侧椎间关节联合运动, 可作前屈、后伸、侧屈和旋转运动。胸椎关节面与水平面成 60°角, 与额状面成 20°角, 可作侧屈、旋转和少许屈伸运动。腰椎关节面则与水平面成直角, 与额状面成 45°角, 可作前屈、后伸和侧屈运动, 几乎不能旋转。由此可见, 颈椎的关节突关节接近水平位, 其稳定性能差, 在外力作用下易脱位, 在胸部

上下关节突的关节面几乎成额状位,比较稳定,不易脱位。在腰部近矢状位。当小关节移位,可引起小关节功能紊乱及压迫相应脊神经分支,导致脊柱的失稳性疼痛和腰痛。在椎体后缘的两个最高点上做标记,并通过标记点画一连线,将该连线作为椎体的冠状面或称为水平面,若这一标记点不清楚时则棘突顶点与基底中点连线的垂直线作为冠状面。取各个小关节全内侧面与后外侧点的连线,该连线与椎体冠状面之间的夹角则定义为腰椎小关节角。Boden 等^[9]对下腰椎小关节角的研究结果显示正常下腰椎小关节角为 37.6°~44.6°。Grobler 等^[10]的研究则发现当小关节角大于 52°时,腰椎较易发生退行性滑移。已有研究表明矢状型小关节可使腰椎具有矢状面不稳定倾向,而冠状型小关节则可能存在冠状面的不稳定倾向。根据上述事实,我们将下腰椎小关节分成三种类型:≥52°者为矢状型,≥36°~52°者为中间型,<36°者为冠状型。Aburni 等^[11]的研究表明减压时须保留一半以上小关节结构方能维持手术后腰椎的稳定性。

6 脊柱滑脱的生物力学的改变

Boxall 等用滑脱角来描述滑脱的严重度,滑脱角由 L₅ 下缘的平行线与 S₁ 后缘的垂直线相交而成^[12]。脊椎骨滑脱 X 线显示腰₅ 前缘超过 Ullman 氏线,即自骶₁ 前缘向骶椎平面做一垂线,正常时,腰₅ 椎体的前缘在此线的后方为 1~8mm。如有脊椎骨滑脱,则腰₅ 的前缘与此线相接触或在此线前方,此即 Garland 氏征。为确定腰₅ 脊椎骨滑脱程度,亦可根据腰₄ 后下缘至骶骨后上缘连线与腰₅ 后上、下缘连线的关系来确定。正常两线应在腰₄ 以下相交,交角不超过 2°,如两线平行,其间距不超过 3mm。轻度滑脱,交角 3°~10°,平行距离 4~10mm;中度滑脱,交角 11°~20°,平行距离 11~20mm;重度滑脱,交角大于 20°,平行距离超过 20mm。正常腰椎指数(Lumber Index)=椎体后缘高度/椎体前缘高度=0.91,此值在 85%以上者,椎体为长方形,在 85%以下者椎体为楔形。第 5 腰椎滑脱时常呈楔形变形。脊椎骨滑脱时 L₁ 为 0.70。从脊柱的侧面看,骶骨上面并不是水平的,而是向前倾斜的,约 45°,个别可达 60°。有人通过力学原理进行过计算:假定一个人上半身重量为 50kg,骶骨上端倾斜 15°时,第 5 腰椎

向前滑动的趋向力为 13kg;25°时为 21kg;30°时为 25kg;40°时为 32.15kg;50°时为 38.3kg;60°时为 43.3kg。骶骨上端向前倾斜度正常为 34°左右,一般不超过 45°。正常椎弓根关节小面角(Pedicle Facet Angle,简称 P-F 角)约为 120°,有的作者认为 P-F 角增大可能与退行性脊椎骨滑脱发病有关。

近几年来,生物力学对脊柱脊髓的研究日益增多,不仅对其发病机理作出合理的解释,而且对临床治疗方法的选择和改进提供了必要的依据,为新材料、新技术、新装置的发明及新颖设计思想的产生提供了不竭的源泉。从而成为脊柱外科领域内不可分割的一部分。

参考文献

- 1 饶书诚. 脊柱外科手术学. 北京:人民卫生出版社,1993. 38
- 2 陈其听,陈维善,徐少文,等. BAK 在颈椎前路手术的应用. 中华矫形外科杂志,1999,6(9):644.
- 3 杨克勤. 脊柱疾患的临床与研究. 北京:北京出版社出版,1993. 375.
- 4 赵定麟,戴克戎. 四肢脊柱创伤. 长春:吉林科学技术出版社,1999. 242.
- 5 张宝庆. 国人脊柱的观察:二、椎间盘的测量. 解剖学通报,1984,7(4):330-333.
- 6 Nachemson A. Vivo measurements of intradiscal pressure. J Bone Joint Surg(Am),1964,46A:1077.
- 7 张晓玉. 人体生物力学与矫形器设计原理. 武汉:武汉大学出版社,1989. 102.
- 8 王伟,汪功久,高成杰. 测量侧凸脊柱高度损失方法的一种设想. 中华骨科杂志,1999,19(1):13.
- 9 Boden SD, Riew KD, Yamaguchi K, et al. Orientation of the lumbar facet joints: association with degenerative disc disease. J Bone Joint Surg(Am),1996,78:403-411.
- 10 Grobler LJ, Robertson PA, Novotny JE, et al. Decompression for degenerative spondylolisthesis and spinal stenosis at L_{4,5}: The effects on facet joint morphology. Spine, 1993, 18: 1475-1482.
- 11 Aburni K, Panjabi MM, Kramer KM, et al. Biomechanical evaluation of lumbar spinal stability after graded facetectomies. Spine, 1990, 15: 1142-1147.
- 12 叶启彬,李世英,邱贵兴. 脊柱外科新手术. 北京:北京医科大学出版社,1993. 207.

(收稿:2001-08-14 编辑:李为农)

第十次全国中西医结合创伤骨科学术研讨会 征文通知

第十次全国中西医结合创伤骨科学术研讨会将于 2002 年 10 月 25~28 日在重庆召开,本次会议将采用专家专题报告和与会者的论文相结合的形式进行学术交流。现将会议征文有关事宜通知如下:

1. 征文内容:①交流中西医结合治疗创伤骨折的经验成果;②探讨中国接骨学的新认识、新理论;③骨与关节损伤的相关问题及基础研究;④颈肩腰腿痛的诊断及中西医结合治疗的新技术;⑤四肢骨折及关节内骨折固定新技术,脊柱脊髓损伤基础及临床研究。

2. 征文要求:①要求科学性强、数据可靠、重点突出、文字精炼;全文(3000 字以内)及摘要(800 字以内)各两份(文稿请打印,手写稿须字迹清晰)。②请将论文题目、作者姓名、单位、邮编写清楚,并附盖有本单位公章的介绍信一份,请自留底稿,概不退稿。③论文截稿日期为 2002 年 8 月 30 日(以邮戳为准),来稿请寄重庆市渝中区中山支路 142 号重庆铁路分局两路口门诊部曾令璧、李孝菊收,邮编 400014,联系电话 023-63442417。

本次会议可授予国家级医学继续教育学分,并发给论文证书,同时邀请中科院院士、三军医大战伤研究所主任王正国院士及三军大、重医大等专家学者参加。