

· 讲座 ·

脊柱运动的解剖和生物力学基础

励建安

脊柱疾病和损伤与脊柱受力的异常有明确关系,而康复治疗 and 预防也需要对脊柱运动的生物力学有清楚的了解。本文旨在为临床和治疗技术人员提供相关的基础知识。

结构特征

脊柱是人体运动的主轴,由多个椎体和多重关节(椎间“关节”、椎小关节)组成、众多肌肉和韧带紧紧围绕,并有生理弯曲,以满足脊柱的坚固性和可动性(柔韧性)。其活动有三维方向(前后、左右、旋转)和 6 个自由度。

位置特征

脊柱的颈段支撑头颅,重心处于颈部前 2/3 与后 1/3 的交界处;胸段重心偏后(胸廓前后径的后 1/4),与胸廓共同分担胸以上躯体的重量;腰段居中,甚至前凸,以支撑体重。这种生理弧度有利于脊柱在直立、行走和跳跃时缓冲地面的反作用力,以减轻反作用力对脊髓和大脑的振荡。

解剖特征

一、椎管

椎管是由椎骨构成的一个可褶曲的有效管腔,以容纳脊髓,是保护脊髓的重要结构。椎管损伤或者空间结构改变,会造成脊髓和神经根受压,从而导致脊髓损伤或者神经根卡压症。

二、椎骨

椎骨由椎体、椎弓、上下关节突、棘突、横突构成。椎体是椭圆形短扁骨,一圈致密的骨皮质包围海绵状的髓质(松质骨),上下骨皮质中有较厚的软骨板衬垫,边缘由较厚的环形衬板构成。椎体前缘最薄弱,易于发生压缩性骨折,所以压缩性骨折多发生于椎体前部。但是椎体前部的骨折一般不涉及椎管,也不明显影响承重,所以比较安全和稳定。而椎体中部和后部的骨折则多涉及椎管,导致脊髓损伤或脊柱不稳,临床上的危险性较大。椎弓断裂可导致椎体前移,形成椎体滑脱。横突和棘突作为脊柱肌肉的附着点,是脊柱动态稳定性的基础之一。

三、椎间盘

内部为髓核,外部为纤维环。髓核为半液态,由富含亲水性的葡萄糖胺聚糖的胶状凝胶所组成。除了下段腰椎间盘的髓核位置偏后外,髓核均位于椎间盘的正中。纤维环由多层致密的结缔组织彼此斜行交织而成,自边缘向心分布,致密的纤维环开始是垂直的,越接近中心越倾斜,到中心接触髓核时,几乎近水平走向,并围绕髓核呈椭圆形。椎间盘受压时,髓核承受 75% 的压力,其余 25% 的压力分布到纤维环。髓核还具有稳定脊柱运动的功能,在伸展运动时,上方椎体向后移位,缩减了椎间隙后缘,髓核受挤向前方偏移,前屈运动时正好相反,从而使

椎体获得较强的自稳性。因此,缓慢的后伸动作有利于部分患者的椎间盘暂时回纳,这是麦肯基疗法的基本机理之一。但是如果从前屈位快速进行后伸动作(弯腰位突然直腰),可导致前屈位时移向后方的髓核来不及回纳,就会承受过大的后伸挤压力,而导致纤维环破裂和椎间盘突出。椎间盘的总厚度约为脊柱全长的 25%。白天站立和行走时的压力使髓核丧失少量水分,而在睡觉或休息时由于髓核所受压力减小,水分又得到重储存,因此早晚身高有 2 cm 的差异。20 岁以后髓核对水分的重储存能力减退。由于提重物 and 年龄增长产生的微损伤使纤维环纤维成分增加,而能复原的弹性成分相对减少,因此 30 ~ 50 岁的成年人的纤维环易遭受损伤,随后髓核脱出而压迫神经根。

四、椎小关节

椎小关节由相邻椎体的上、下关节突构成,与椎间盘的载荷分配随脊柱位置而异,一般承受 0% ~ 30% 的脊柱载荷。脊柱过伸位时小关节突承载负荷显著增加。由于小关节的结构无法承受较大的负荷,因此如小关节承受较大负荷可导致腰痛。肥胖者或者怀孕者腰椎前凸,导致腰部负荷向椎小关节转移,从而造成腰痛。老年人常见的肥大性脊椎炎,椎小关节突是最常见的受累部分,脊柱后伸时可导致小关节承载显著增加,从而诱发疼痛。

五、脊柱韧带

有前纵韧带、后纵韧带、棘间韧带、棘上韧带和黄韧带。韧带主要用于维持脊柱的静态稳定性。大多数脊柱韧带由延伸度较小的胶原纤维构成,黄韧带含有较高比例的弹力纤维。韧带还作用于拉伸载荷在椎体间的传递,使脊柱在生理范围内以最小的阻力进行平稳运动。肌肉瘫痪时韧带负荷增加,可导致韧带损伤。脊柱韧带损伤后身体不得不使用肌肉来保持静态稳定,从而容易导致肌肉疲劳和损伤。中老年人的黄韧带容易发生肥厚改变,是造成椎管狭窄的重要原因之一。韧带损伤及其炎性物质释放是腰痛的常见原因。

运动节段

两个相邻的椎体、椎间盘和纵韧带形成运动节段的前部,相应的椎弓、椎间关节、横突、棘突以及韧带组成运动节段的后部。椎弓和椎体形成椎管以保护脊髓。运动节段是脊柱的最小功能单元。运动节段的任何环节异常都导致整个运动链的活动障碍。在某一运动节段被固定后,有关负荷会转移到相邻的运动节段,这在进行腰椎钢板固定或者椎体植骨融合术时要充分考虑。

一、前部

椎体的设计主要是为了承担压缩负荷,上部身体的重量加大时,椎体就相应变得更大,因此腰椎的椎体比胸椎和颈椎的椎体要高,其横截面积也大一些。腰椎椎体的尺寸增大,使其能承受这部分脊柱所需的较大负荷。

二、后部

后部控制运动节段的运动。运动的方向取决于椎间小关节突的朝向。第 1,2 颈椎的小关节突朝向横断面,其余颈椎的小关节突均与横断面呈 45° 夹角而与额状面平行,从而能够屈曲、伸直、侧弯和旋转。胸椎小关节突的朝向与横断面呈 60° 夹角,与额状面呈 20° 夹角,使其能侧弯、旋转和少许屈伸。腰部小关节突的朝向与横断面呈直角,与额状面呈 45° 夹角,使其能屈伸和侧弯,但不能旋转。腰骶小关节突的朝向和形状使之能有某些旋转活动。

脊柱偶联运动

脊柱运动一般是几个节段的联合动作,称之为偶联运动。影响偶联运动的骨性结构有胸廓和骨盆,胸廓限制胸椎运动,骨盆倾斜可以增加躯干的运动。脊柱运动的正常范围变异很大,有较明显的年龄因素。脊柱整体屈曲 50 ~ 60° 起始于腰椎。骨盆前倾和髋部屈曲能增加脊柱前屈范围,胸椎的作用有限。虽然胸椎小关节的形状有利于侧弯,但肋骨限制其活动。脊柱旋转主要发生在胸椎和腰骶部,腰椎的旋转十分有限。髋关节参与躯干活动。这些因素对分析脊柱活动受限的原因十分重要。

脊柱负荷

腰椎是脊柱的主要承重部位。在放松直立位时,椎间盘压力来自于椎间盘内压、被测部位以上的体重和作用在该运动节段的肌肉应力。在躯干屈曲和旋转时,椎间盘的压应力和拉应力均增加。腰椎载荷与体位有关,如放松坐位高于放松直立位,有支撑坐位小于无支撑坐位。仰卧位时脊柱承载最小。仰卧位膝伸直时,腰肌对脊柱的拉力可以在腰椎上产生载荷。髋和膝关节有支撑屈曲时,由于腰肌放松使腰椎前凸变直,载荷减小;附加牵引时载荷可以进一步减小。患者仰卧、髋和膝关节支撑下屈曲、脊柱前凸变平,牵引力可更为均匀地分布到整个脊柱。携带重物时,物体重心与脊柱运动中心之间的距离越短,阻力臂越短,脊柱载荷越小。身体前屈位拿起重物时,除了物体重力外,上身重量也产生脊柱剪力,增加脊柱载荷。为此弯腰提起重物时先下蹲,然后把重物尽量贴近身体再起立,可以减少腰部肌肉和椎间盘的负荷。腰肌锻炼时要充分考虑到肌肉活动对脊柱承载和椎间盘应力的影响。这些知识对指导患者预防腰背痛再度发作为关键的意义(表 1)。

举例:体重 70 kg,提起 20 kg 重物,脊柱前屈 35°,作用在腰骶部及腰椎的力——①上身重力(W)为 450 牛顿(N),约为 65% 体重;②物体重力(P)为 200 N;③竖棘肌收缩力(M)。腰椎有两个力矩,即力 W 和力 P 以及它们与瞬时运动中心的距离(力矩 WL_w 和 PL_p)。反向平衡力矩(力矩 ML_m)由力 M 以及它与瞬时中心的距离产生。力 W 的力臂(力与瞬时中心的垂直距离)为 0.25 m,力 P 的力臂为 0.4 m,力 M 的力臂为 0.05 m。身体处于平衡状态时,作用在腰椎上的力矩之和为 0(把顺时针力矩规定为正,逆时针力矩为负)。

$$\Sigma \text{力矩} = 0; (W \times L_w) + (P \times L_p) - (M \times L_m) = 0$$
$$(450 \text{ N} \times 0.25 \text{ m}) + (200 \text{ N} \times 0.4 \text{ m}) - (M \times 0.05 \text{ m}) = 0$$
$$M \times 0.05 \text{ m} = 112.5 \text{ N} + 80 \text{ N} \quad M = 3850 \text{ N}$$

作用在椎间盘上的总压应力(力 C)可用三角形法计算。若椎间盘与横面倾斜 35°,力 C 为作用在椎间盘上压应力之和,包

括:①上身重量(W)所产生的力,它作用在 35° 倾斜的椎间盘上(W × cos35°);②物体重量(P)产生的力,它作用在倾斜的椎间盘上(P × cos35°);③竖棘肌(M)产生的力,呈直角作用于倾斜的椎间盘。椎间盘(C)总压应力也可通过平衡公式求出。

$$\Sigma \text{力} = 0; (W \times \cos 35^\circ) + (P \times \cos 35^\circ) + M - C = 0$$
$$(450 \text{ N} \times \cos 35^\circ) + (200 \text{ N} \times \cos 35^\circ) + 3850 \text{ N} - C = 0$$
$$C = 365.5 \text{ N} + 163.8 \text{ N} + 3850 \text{ N} = 4379.3 \text{ N}$$

表 1 腰₃ 椎间盘所受的力(Jayson, 1987)

体 位	牛顿(N)
仰卧位	
仰卧清醒	250
半卧位	100
腰麻或截瘫	80
被动牵引 30 s	250
被动牵引 3 min	< 100
自体牵引	500
仰卧上肢练习(手握 20 N 重物)	600
仰卧起坐(大范围)	1200
双腿抬起	800
仰卧起坐(小范围,等长收缩)	600
头低位床面倾斜 10°	300
坐位	
直坐(无支持)	700
坐位 100°,腰部靠垫 4 cm	450
坐位 100°,有扶手	400
坐位 100°,有靠背和脚踏板	500
坐办公椅内	500
起坐无扶手	1000
起坐有扶手	700
坐办公椅握 20 N 重物	700
腰前屈每手握 100 N 重物	1400
上举 50 N 重物	1400
站立位	
放松站立	500
咳嗽	700
挺胸大笑	700
平跳	700
腰椎前屈 20°	700
腰椎前屈 40°	1000
腰椎前屈 20°,每手握 100 N 重物	1200
腰椎前屈 20°,旋转 20°,每手握 50 N 重物	2100
上举 100 N,跪、躯干挺直	1700
前平举 100 N,腰椎前屈,屈膝伸直	1900
前平举 100 N	1900
腰椎前屈 30°,前平举每手 40 N 重物	1700
腰围支持下腰椎前屈 30°,每手举 40 N 重物	1200

运动对腰椎载荷的影响

所有运动都会增加腰椎载荷。竖棘肌和腹肌运动训练应在脊柱载荷适合的条件下进行。双腿直腿抬高时腰方肌的活动最大,并使腰段脊柱前凸。屈髋、屈膝限制腰肌活动后再行仰卧起坐可以有效地训练腹肌,但也使腰椎间盘压力增加。若活动范围仅限于躯干屈曲,头和肩只抬高到肩胛带离开桌面的位置,以排除腰椎运动,可使腰椎载荷减小。胸前抱膝运动可使腹外斜

肌和腹直肌活动。腰椎间盘突出症患者在进进行腰背肌锻炼时,不主张做全范围的仰卧起坐,就是这个道理。

骶髂关节

骶髂关节的韧带损伤、多动或少动、炎症等是下背痛的主要原因。骶髂关节为平面关节。骶骨关节面覆有透明软骨,而髂骨关节面表面为纤维软骨;关节腔内有滑液,关节有关节囊。随着年龄的增长,骶髂关节的骨赘和关节强直的发生率很高,主要在男性,女性发生率极低。骶髂关节运动范围平均为 4° 。骶髂关节的骨性结构和强厚、广泛的韧带的结合形成了关节的自锁机制。当压力增加导致骶骨在髂骨表面向下运动和后韧带紧张时,将使两侧髂骨向中间靠拢,与骶骨产生钳夹作用,阻止髂骨的下降。

肌肉作用

头、颈和躯干肌在中线两侧成对排列,两侧肌肉收缩产生矢状面上的前屈和后伸运动。一侧肌肉收缩则在额状面或横断面产生侧屈或旋转运动。承受重力、四肢肌收缩以及地面的反作用力时,颈肌和躯干肌协同收缩而稳定椎骨。

一、头和脊柱平衡

相关的肌肉包括前面的枕下肌、头长肌、颈长肌、斜角肌、胸锁乳突肌、腹直肌、腹内斜肌、腹外斜肌和腰大肌,后面的枕下肌、横突棘肌和竖棘肌,外侧有斜角肌、胸锁乳突肌、腰方肌、腰大肌、腹内斜肌和肋间肌。放松坐位或直立位时,这些肌肉仅有与姿势控制有关的小量周期性活动。头部或头、躯干、上肢的重心移动或推拉躯干可直接激活肌收缩使躯干恢复平衡。

二、躯干运动和椎骨稳定

横突棘肌和竖脊肌的主要功能是脊柱后伸时协同稳定脊柱。闭链运动中腰大肌是主要的动作肌和躯干固定肌。躯干肌的重要功能是固定胸廓、骨盆和脊柱,使肢体运动时可稳定颈部、肩部和髋部肌肉的起点。

三、躯干前屈和抬起(膝伸直)

当人于站立位屈髋去触足趾时,通过伸髋肌(主要是腘绳肌)和竖脊肌的离心收缩来控制屈髋和脊柱的向前弯曲。这些肌肉的向心收缩使躯干恢复直立位。当躯干前屈全程的 $2/3$ 时,肌电图可见竖脊肌突然抑制现象,一直持续到躯干恢复直立位的 $1/3$,称为“临界点”,其平均值为屈躯干 81° 。Kippers 等(1984)发现此值发生在最大屈髋的 60% 和最大屈脊柱的 90%。当将重物放下去或从地面提起时,临界点的角度稍有增加。

四、蹲起和蹲下

从地面上提起物体的一种方法是屈膝、屈髋以及背屈踝关节。蹲起可用 2 种骨盆和脊柱的位置:①腰部脊柱前凸位的骨盆前倾;②脊柱后凸位的骨盆后倾。根据躯干的位置,在提物时竖脊肌的肌电活动是不同的。当躯干在脊柱前凸位,肌电活动大于屈曲位,最大肌电活动在提物开始时。蹲下则需小腿三头肌、股四头肌和伸髋肌的离心收缩,当脊柱前凸位时还伴有竖脊肌的等长收缩。当脊柱在后凸位膝伸直屈髋时,竖脊肌的肌电活动减弱和抑制。如在脊柱后凸位提物时,竖脊肌在提物开始

时无肌电活动,而峰值在提物的中段。虽然在躯干前屈时提物可减轻对椎间盘的压力,然而背伸时提物肌控制也会提供对关节突关节的保护,不过哪一位置好还没有统一意见。

五、肢体功能性活动

用上肢来抬高身体的动作有引体向上、俯卧撑、从坐位推起、用拐杖行走等。这些运动的主动肌是肘关节屈肌(引体向上)、肘关节伸肌(推起)、肩关节内收肌和伸肌以及降肩胛骨肌的向心收缩,腹肌和躯干伸肌的等长收缩也同样重要。当脊髓损伤造成腹肌和躯干肌麻痹时,无论患者的手臂肌力如何都不能抬高躯体。在手臂固定的躯干闭链运动(例如引体向上)中,背阔肌($C_3 \sim C_6$)和腰方肌($T_{12} \sim L_1$)提供强大的作用力使骨盆接近臂或胸廓。站起和坐下、深屈膝、上楼或下楼均有相似的肌肉活动。从坐和蹲位过渡到站立或上一级楼梯均需股四头肌的向心收缩来伸膝以及伸髋肌特别是腘绳肌的向心收缩来伸髋。竖脊肌等长收缩的作用在于保持头和脊柱的直立姿势。从站立姿势坐下、蹲下或下一级楼梯则需股四头肌和腘绳肌以及竖脊肌的离心收缩来控制屈膝和屈髋动作。开链运动中股四头肌和腘绳肌有拮抗关系,但在支持、抬高或下降身体的闭链运动中改变为协同收缩。推或拉物体(抽屉或门)需躯干高度稳定,以产生有效的推拉力。推的动作需要腹肌和屈髋肌收缩以保持躯干不后伸;而拉的动作需要背肌和伸髋肌收缩来限制躯干的屈曲。俯卧撑的撑上期主要动作肌为伸肘肌、孟肱关节的内收肌和伸肌以及肩胛骨的外展肌的向心收缩。为了维持躯干挺直,躯干前面有腹肌、屈髋肌和伸膝肌的等长收缩。除竖脊肌保持颈部伸直外,其他的背肌相对不活动。上肢肌肉离心收缩,躯干前部肌肉和小腿肌继续等长收缩,使躯干回复到原来的位置。对这些肌肉活动的充分认识不仅有利于我们理解运动损伤的发生机制以及相应的防治措施,而且有利于理解相关肌肉瘫痪对躯体和肢体活动的影响。

胸腰筋膜(胸背筋膜)

胸腰筋膜(胸背筋膜)是非常强健的结缔组织,连结肋骨、椎骨、髂骨和骶骨以及韧带系统和躯干肌,作用为在提举重物越过头和用高速投掷物体时稳定躯干。胸腰筋膜有前、中、后 3 层。前层最深,附于腰椎横突,向外覆盖腰方肌。中层由强健的横行纤维组成,内侧附于腰椎横突,外侧附于第 12 肋和腹横肌。后层覆盖于背部,内侧附于棘突和棘上韧带,上方与夹肌的筋膜交织,下方附于骶骨,并与臀肌的筋膜交织,外侧附于肋和髂骨,在外侧中央成为腹内斜肌的起点。胸腰筋膜后层可再分为深、浅两层。浅表为背阔肌的腱膜,其纤维从背阔肌附着的外侧缘向内下到达棘突;深层与浅层融合,其纤维以相反方向与浅层交叉。这二层共同形成强健的三角形结构。此外胸背筋膜还作为支持带包裹竖脊肌和多裂肌。胸腰筋膜、肌肉和韧带系统共同参与胸腰活动的控制。临床上可以见到腰背筋膜炎症患者由于背部疼痛而限制患者上肢活动的情况。上肢活动过度也是造成腰背筋膜炎的常见原因。

(收稿日期:2003-11-03)

(本文编辑:郭正成)