

基础研究

颈椎三维运动状态下颈脊髓所受压力与
脊髓腹侧致压深度的关系

陈 祺, 赵 斌, 赵轶波, 赵晓峰

(山西医科大学第二附属医院骨科 030002 山西省太原市)

【摘要】目的:探讨颈椎三维运动状态下颈脊髓所受压力与脊髓腹侧致压深度的关系。**方法:**采用 10 具新鲜成人尸体颈椎标本(C1~T1),于 C4/5 椎间隙水平前后开窗,通过腹侧置入半球形致压杆,模拟颈椎间盘退变时对颈脊髓腹侧致压。致压深度分别为椎管矢状径的 10%~60%,依次递增 10%,分别测量三维运动状态下不同致压深度颈脊髓腹背侧所受压力。**结果:**(1)中立位、后伸 30°位、侧弯 30°位、旋转 15°位时致压深度 10%和 20%颈脊髓腹侧压力差异无统计学意义($P>0.05$),致压深度 30%时颈脊髓腹侧压力明显增加,30%~60%时颈脊髓腹侧压力随致压深度的增加而增大,相邻致压深度两两比较差异有统计学意义($P<0.05$)。前屈 30°时,致压深度 20%时颈脊髓腹侧压力即明显增加,20%~60%时颈脊髓腹侧压力随致压深度的增加而增大,各相邻致压深度两两比较差异有统计学意义($P<0.05$)。(2)中立位及各运动形式下硬脊膜背侧所受压力随致压深度的增加无明显增加,各相邻致压深度间两两比较差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**颈脊髓腹侧所受压力与致压深度密切相关,并随着运动方式不同而改变,提示脊髓腹侧致压时颈椎前屈位脊髓损伤风险增大。

【关键词】 颈脊髓;腹侧致压;三维运动;生物力学

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2014.04.12

中图分类号:R318.01,R681.5 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2014)-04-0354-05

Biomechanical study of the pressure sustained by cervical cord-meningeal complex under three-dimensional movement/CHEN Qi, ZHAO Bin, ZHAO Yibo, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2014, 24(4): 354-358

【Abstract】 Objectives: To investigate the relationship between the pressure sustained by cervical cord-meningeal complex(CCMC) and the strength under the 3D movement. **Methods:** 10 intact fresh cervical spines (C1-T1) from adult cadaver were collected, and a hemispherical steel ball was placed in the front of the spine canal through the C4/5 bone window to simulate the pressure of ventral side of CCMC caused by cervical disc herniation. The ventral side of CCMC was compressed with the depth of canal stenosis varying from 10% to 60%(with an interval of 10%), and the pressure change on the ventral and dorsal side of CCMC following different depths of stress under the 3D movement was measured. **Results:** (1)In neutral position, 30° of extension, 30° of lateral and 15° of rotation, the pressure on the ventral side of CCMC showed no significance with strength of stress between 10% and 20%($P>0.05$); while the pressure on the ventral side of CCMC

第一作者简介:男(1986-),硕士研究生,研究方向:脊柱外科电

话:(0351)3365103 E-mail:cq2004se7en@gmail.com

通讯作者:赵斌 E-mail:zzbb2005@tom.com

14. Dubousset J, Queneau P, Thillard M. Experimental scoliosis induced by pineal and diencephalic lesions in young chickens: its relation with clinical findings[J]. Orthop Trans, 1983, 7(1): 7-10.

15. 沈晓龙,周许辉,刘洋,等. A 型肉毒毒素一侧椎旁肌注射建立双足直立鼠脊柱侧凸模型的初步研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2012, 22(9): 824-828.

16. Goto M, Oshima I, Tomita T, et al. Melatonin content of the

pineal gland in different mouse strains[J]. J Pineal Res, 1989, 7(2): 195-204.

17. Akel I, Demirkiran G, Alanay A, et al. The effect of calmodulin antagonists on scoliosis: bipedal C57BL/6 mice model[J]. Eur Spine J, 2009, 18(4): 499-505.

(收稿日期:2013-11-11 修回日期:2013-12-27)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)

increased with increasing the depth when the stress depth ranged from 30% to 60%, there was significance between neighboring depths of stress ($P < 0.05$). In 30° of flexion, the pressure on the ventral side of CCMC increased with increasing the depth from 10% to 60%, there was significance between neighboring depths ($P < 0.05$). (2) The pressure on the dorsal side of CCMC showed no obvious increase with increasing the depth under any movement. There was no statistical significance between neighboring depths of stress ($P > 0.05$). **Conclusions:** The pressure on the ventral side of CCMC is closely related with the depth of stress. Under the 3D movement, the pressure varies with the movement position. Flexion position may aggravate the injury of spinal cord.

[Key words] Cervical cord; Ventral caused by the pressure; Three-dimensional motion; Biomechanics

[Author's address] Department of Orthopaedics, the Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan, 030002, China

脊髓型颈椎病(cervical spondylotic myelopathy, CSM)是由于颈椎间盘退变、后纵韧带钙化、黄韧带钙化及颈椎失稳等原因导致颈部脊髓、血管等组织受压迫、刺激而出现的综合征。颈椎间盘退变、后纵韧带骨化及黄韧带钙化是引起颈脊髓腹背侧压迫的主要原因^[1-3],其中颈椎间盘退变是CSM发生发展过程中最重要的原因和启动因素。本研究模拟颈椎间盘退变后对颈脊髓的压迫,测量三维运动状态下不同致压深度对颈脊髓所受压力的变化。

1 材料和方法

1.1 标本选择及处理

选取 10 具自愿捐献者 C1~T1 颈椎标本,年龄 30~58 岁,平均 45.3 ± 5.7 岁。取材后立刻双层塑料袋密封,置于 -85℃ 冰箱储存备用。每具标本均进行 X 线、CT 平扫及三维重建、骨密度检测, X 线及 CT 扫描未见骨性结构损伤、颈椎退行性变及肿瘤病变,骨密度测定无明显骨质疏松。通过 CT 扫描数据分别测量每具标本 C4/5 节段椎管水平的骨性矢状径,记录备用。

实验前将标本从 -85℃ 冰箱取出,室温潮湿环境下自然解冻 8~10h,并在椎体两侧放置湿棉布以维持湿度,防止脊髓脱水及韧带固缩变性,仔细剔除颈椎附着之皮肤、皮下及肌肉组织,完整保留骨质、韧带、椎间盘及关节囊等结构。以 4# 丝线小心闭合 C1 及 T1 节段的硬膜囊和蛛网膜下腔,并与周围软组织固定。闭合两端时,从颈脊髓头尾两侧各置入一根直径 2mm 软管,注意置入深度勿超过测试节段及勿置于颈脊髓腹背侧。上端为进水管,下端为出水管。

以直径 12mm 颈椎环钻于 C4/5 椎间隙正中由前向后开窗,去除后纵韧带,显露腹侧硬膜。咬

除 C4 全部棘突及 C3 和 C5 部分棘突,椎板钳分离咬除部分 C4 椎板及 C5 上缘部分椎板及黄韧带,修整使之成直径 10mm 骨窗,完整显露背侧硬膜。通过骨窗观察硬膜囊腹背侧有无气泡及软管等阻碍物。待用。

调配自凝型牙托粉,将标本两端包埋稳定于自制大小为 10×10cm 水平铝板上,上下两端椎体用螺钉固定,保证试件维持固定状态,固定时保持试件中立位,上下方的铝板维持正常颈椎自然生理曲度。待其凝固后,进水管注入 36℃ 左右生理盐水,并悬挂固定于高于试件 200mm 上方,以模拟头颅高度,维持正常脑脊液压力。下端连接无菌尿袋,调节控制滴速,排除硬膜囊内空气,维持进、出水量平衡,以模拟正常生理状态。

1.2 测量设备及使用方法

打开 Instron 5544(英国 INSTRON 公司 2002 年生产)力学性能测试机及其上的 Merlin 软件,将压力传感器 A(英国 INSTRON 公司 2002 年生产,型号 UK129、最大载荷 ±5N、灵敏度 0.00125N)和 B(英国 INSTRON 公司 2002 年生产,型号 UK624、最大载荷 ±50N、灵敏度 0.0125N)分别连接至颈脊髓腹侧及背侧致压杆,致压杆材料为不可压缩金属杆,前方打磨为光滑的半球形状,半径为 0.5mm,此面为与颈脊髓腹背侧硬脊膜相接触面,腹侧致压杆则模拟突出椎间盘压迫颈脊髓,并读取硬脊膜上压力数据(图 1)。数据由自带软件(Merlin 软件)处理后予以保存,并通过 Microsoft Excel 软件处理后提取。

1.3 测量方法

将标本固定于载物平台上,先取中立位。调整前后传感器高度,使腹背侧致压杆与开窗节段保持同一水平面上,并保证致压杆通过骨窗时不与周边骨壁及软组织接触。通过匀速装置推动致压

杆完成对硬膜囊的致压动作, 收集所测量硬脊膜腹背侧的压力数据。先将 A、B 传感器所连接致压杆由 C4/5 前后方骨窗进入与脊髓硬膜囊前后壁接触, 当压力传感器上有力学变化时, 停止旋进, 此刻即认为测压杆的半球形面与椎管内颈脊髓硬脊膜接触并记录数据。此时退出前方致压杆, 按照 CT 所测量每具标本 C4/5 节段椎管骨性矢状径, 计算出每具标本致压 10% 所需要旋进的距离, 使致压杆分别进入椎管矢状径的 10%、20%、30%、40%、50%、60%。每个致压深度重复 3 次后退出 A、B 传感器, 调整位置进行下一位置的测量, 过程如上。利用自制可控角度三维运动装置, 依次完成中立位、前屈和后伸 30° 位、左右侧弯 30° 位、左右旋转 15° 位致压测量, 并记录数据。

1.4 统计分析方法

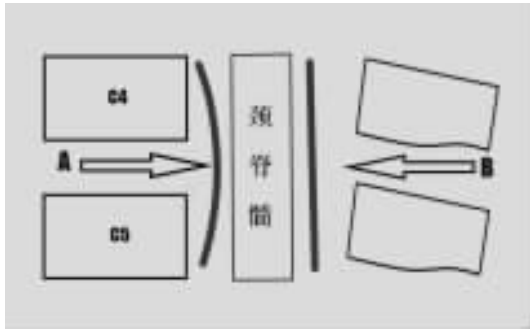


图 1 颈脊髓腹侧致压腹背侧脊髓所受压力测量示意图 (A: 硬脊膜腹侧压力传感器; B: 硬脊膜背侧压力传感器)

Figure 1 The diagram of the pressure on ventral and dorsal site of CCMC when stress on the ventral of CCMC (A: pressure sensor of the ventral of CCMC; B: pressure sensor of the dorsal of CCMC)

应用 SPSS 19.0 统计分析软件, 所有数据用均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。每一位置, 腹背侧不同致压深度数据结果及相同致压深度时不同位置腹背侧数据结果因方差不齐, 均使用完全随机多样本秩和检验, 多重比较采用秩变换分析方法。

2 结果

脊髓腹侧在不同体位下不同致压深度时颈脊髓腹侧和背侧所受压力见表 1、2。中立位、后伸 30° 位、侧弯 30° 位、旋转 15° 位时, 致压深度为 10% 和 20% 时颈脊髓腹侧压力比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 致压深度 30% 时脊髓腹侧压力明显增加, 30%~60% 时脊髓腹侧压力随致压深度的增加而增大, 各相邻致压深度间两两比较差异有统计学差异 ($P < 0.05$); 前屈 30° 位时, 致压深度 20% 时脊髓腹侧压力即明显增加, 20%~60% 脊髓腹侧压力随致压深度的增加而增大, 各相邻致压深度两两比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 不同运动形式下背侧脊髓所受压力随致压深度的增加无明显改变, 各相邻致压深度间两两比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 脊髓型颈椎病的发病机制及与致压深度的关系

脊髓型颈椎病的主要病理机制是颈椎间盘退变突出以及椎体后缘骨赘等对脊髓的直接压迫, 继而引起局部血供减少而导致相应的临床症状。有学者将 CSM 的力学机制分为静态因素和动态

表 1 不同致压深度不同体位下颈脊髓腹侧所受压力 ($\bar{x} \pm s$, mN)

运动形式 Movement form	致压深度 Depth of stress					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
中立位 Neutral	0.291±0.122	0.269±0.118	18.403±9.311 ^①	42.109±12.275 ^①	70.434±18.143 ^①	108.608±55.038 ^①
后伸 30° Extension 30°	0.305±0.167	0.395±0.169	17.367±7.005 ^①	36.011±12.749 ^①	55.689±27.663 ^①	108.404±46.174 ^①
侧弯 30° Lateral 30°	0.364±0.179	0.357±0.219	20.975±6.330 ^①	38.300±13.434 ^①	74.370±35.469 ^①	103.897±37.392 ^①
旋转 15° Rotation 15°	0.457±0.131	0.536±0.183	28.322±8.166 ^①	48.737±16.604 ^①	76.596±38.780 ^①	116.894±65.190 ^①
前屈 30° Flexion 30°	0.558±0.248	15.106±7.149 ^①	30.934±14.649 ^①	55.460±26.852 ^①	89.515±40.319 ^①	156.676±75.627 ^①

注: 侧弯及旋转两侧比较变化趋于一致, 两者之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 将之合并; ①与相邻致压深度比较, $P < 0.05$
Note: There has no significance between lateral and rotation position ($P > 0.05$), and they can be merged; ①Compared with adjacent depth of stress, $P < 0.05$

表 2 不同致压深度不同体位下颈脊髓背侧所受压力 ($\bar{x} \pm s$, mN)

Table 2 Under the different depth of stress, the pressure on the dorsal site of CCMC under 5 different kinds position

运动形式 Movement form	致压深度 Depth of stress					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
中立位 Neutral	0.30±0.12	0.33±0.09	0.35±0.10	0.33±0.14	0.35±0.15	0.33±0.11
后伸 30° Extension 30°	0.32±0.14	0.37±0.18	0.31±0.19	0.34±0.18	0.40±0.19	0.39±0.17
侧弯 30° Lateral 30°	0.38±0.18	0.35±0.18	0.36±0.21	0.39±0.12	0.40±0.16	0.41±0.17
旋转 15° Rotation 15°	0.40±0.20	0.46±0.23	0.40±0.19	0.46±0.25	0.46±0.23	0.48±0.24
前屈 30° Flexion 30°	0.46±0.22	0.48±0.18	0.49±0.22	0.50±0.22	0.51±0.20	0.53±0.20

注:侧弯及旋转两侧比较变化趋于一致,两者之间差异无统计学意义($P>0.05$),将之合并

Note: There has no significance between lateral and rotation position($P>0.05$), and they can be merged

因素^[4,5]。静态因素主要是由于颈椎管狭窄、椎间盘突出、黄韧带增厚、椎体后缘骨赘形成等一系列退变过程所导致椎管矢状径的减小,而动态因素主要是颈椎及脊髓在正常或异常运动状态下受到异常的载荷,从而加重静态因素压迫脊髓,加剧病情的变化。CSM 的动态性因素往往和静态性因素交织在一起,这使得脊髓的损伤进一步加深。

有学者提出当颈脊髓的病理压迫超过一定界限可能是引起 CSM 的主要因素。胡念斌等^[6]通过动物实验研究了椎管内容积改变,他们认为当压迫达到椎管矢状径 36% 时,可以引起脊髓亚急性压迫变形。Kato 等^[7]则通过三维有限元分析提出了脊髓压迫临界点的概念,认为临界点分布于 20%~40% 之间,当压迫超过临界点时,脊髓的应力分布明显增加,可能引起脊髓受压的临床症状。本研究中当致压深度达到 30% 时,随着腹侧致压深度的增加,硬脊膜上的压力明显增大。虽然标本间存在着较大差异,但所受压力与致压深度变化规律一致,均呈非线性关系。这是由于硬脊膜与脊髓特殊的生物力学特性决定的^[8]。硬脊膜上压力变化分为两个阶段,即脊髓开始受压时,很小的外力可以引起相对较大的变形,随后受到较大载荷时,其弹性阻力增加,脊髓由于其粘弹性产生短期的不可逆恢复,使得所受压力与致压深度呈非同步增长。由此我们认为椎管矢状径的 30% 可能是区分上述两个阶段的临界点,但这一临界值是否引起临床症状尚需进一步研究验证。

本研究测得颈脊髓硬膜上腹侧不同致压深度下,腹侧传导致背侧的压力很小,背侧压力变化不

随致压深度的增加而增加,不同压迫程度之间比较差异无统计学意义($P>0.05$)。当致压深度为椎管的 60%,硬脊膜腹侧压力为 108.61mN 时,背侧压力仅仅为 0.33mN。这主要是与脊髓应力分布有关^[9],即受压局部应力最大,随着与致压点距离的增大而逐渐减少。应力由腹侧向背侧传导过程中致压外力被腹侧硬脊膜、脑脊液、脊髓所吸收以至于背侧硬脊膜的压力很小,所以单纯因应力传递引起硬脊膜背侧的压力增高有限。因此对于来自脊髓前方的压迫,尤其当致压深度较大时,手术方式应选择前路直接减压。

3.2 颈椎运动与腹侧压力变化的关系

临床上常遇到患者影像学上仅轻度脊髓受压表现,但临床症状体征较重的情况。因此有学者提出动力位因素对脊髓受压症状的发生和恶化有重要意义。颈椎的三维运动伴有骨性椎管的变化,同时也影响着脊髓的变化^[10,11]。Matsunaga 等^[12]测量颈椎后纵韧带患者的屈伸范围发现屈伸范围平均 34°者,虽椎管狭窄严重,却没有脊髓受压症状;相反,活动范围平均为 71°者,虽然椎管仅轻度狭窄,却出现较重的脊髓压迫症状。杨大龙等^[13]根据影像学表现观察椎管最大受压处骨化物占位率与椎管受压节段活动范围的相关性,指出影像学脊髓明显受压,却不出现脊髓压迫症状或仅有轻度脊髓压迫症状,提示动力因素在脊髓压迫的发病中起着重要作用。本研究发现,腹侧硬脊膜上所受压力随着运动形式的不同而变化,在相同致压深度下颈椎前屈时硬脊膜上的压力要高于其他运动形式,这可能会加重脊髓的损伤。颈椎前屈时脊髓

上下两端相对固定,脊髓随椎管伸展而拉长,脊髓向头侧移动。此时若受到致压物的压迫,由于脊髓本身已被牵拉,且向头侧移动受到限制,再加上齿状韧带及神经根的限制作用加强,致压点上所受的压力必然增大。Muhle 等^[14,15]指出前屈位时颈部脊髓拉长并向前移位,前方蛛网膜下腔变窄,前方突出的椎间盘、后纵韧带骨化及骨赘增生可堵塞前方蛛网膜下腔或压迫脊髓前缘,增加前方硬脊膜上的压力。Reid^[16]的研究发现在前屈位时给予 3mm 的致压,硬膜前方能够产生 0.21~0.27MPa 的应力,而在中立位时只能产生 0.01MPa 的应力。因此,对于临床发现 CSM 的患者,尤其是长期低头伏案工作的患者,应避免颈部的过多活动及避免外伤的发生,可通过外固定限制颈椎运动来防止 CSM 的发生和进展。

本研究结果显示,颈脊髓腹侧所受压力与致压深度和运动形式相关,相同致压深度时,前屈位脊髓腹侧所受压力更大。但是有学者^[17]认为 CSM 的症状轻重与脊髓受压程度没有直接一致的关系,不能仅以脊髓受压情况来判断 CSM 病情的轻重;临床上也存在影像学表现脊髓压迫较重,却无明显症状的情况。另外,本研究以离体实验探讨致压深度与颈脊髓腹背侧应力变化,有待于结合临床及影像学进一步研究。

4 参考文献

1. Fujimori T, Iwasaki M, Nagamoto Y, et al. Three-dimensional measurement of growth of ossification of the posterior longitudinal ligament[J]. J Neurosurg Spine, 2012, 16(3): 289-295.
2. Fu Z, Shi J, Jia L Jr, et al. Intervertebral thoracic disc calcification associated with ossification of posterior longitudinal ligament in an eleven-year-old child[J]. Spine, 2011, 36(12): E808-810.
3. Matsunaga S, Sakou T. Ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine: etiology and natural history[J]. Spine, 2012, 37(5): E309-314.
4. White III AA, Panjabi MM. Biomechanical considerations in the surgical management of cervical spondylotic myelopathy[J]. Spine, 1988, 13(7): 856-860.
5. Nishida N, Kato Y, Imajo Y, et al. Biomechanical analysis of cervical spondylotic myelopathy: the influence of dynamic factors and morphometry of the spinal cord [J]. J Spinal Cord Med, 2012, 35(4): 256-261.
6. 胡念斌, 王沛, 马信龙, 等. 引起脊髓亚急性压迫损害的椎管内容积改变的实验研究 [J]. 中华骨科杂志, 2002, 22 (6): 349-352.
7. Kato Y, Kanchiku T, Imajo Y, et al. Biomechanical study of the effect of degree of static compression of the spinal cord in ossification of the posterior longitudinal ligament: laboratory investigation[J]. J Neurosurgery Spine, 2010, 12(3): 301-305.
8. 赵斌, 马迅, 范永贵, 等. 颈脊髓后方致压三维运动下生物力学分析[J]. 中华实验外科杂志, 2005, 22(12): 1533-1536.
9. 赵斌, 马迅, 范永贵, 等. 后方压迫致颈脊髓前后方压力改变的实验研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2007, 17(2): 129-132.
10. 徐瑞达, 陈滨, 倪鹏文, 等. 颈椎动力位 MRI 在颈椎病临床诊治中的作用[J]. 脊柱外科杂志, 2012, 10(3): 159-164.
11. Jaumard N, Udupa J, Siegler S, et al. Three-dimensional kinematic stress magnetic resonance image analysis shows promise for detecting altered anatomical relationships of tissues in the cervical spine associated with painful radiculopathy[J]. Med Hypotheses, 2013, 81(4): 738-744.
12. Matsunaga S, Sakou T, Taketomi E, et al. The natural course of myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine [J]. Clin Orthop Relat Res, 1994, 305: 168-177.
13. 杨大龙, 申勇, 张英泽, 等. 无脊髓压迫症状颈椎后纵韧带骨化患者的影像学特点及临床意义[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(1): 24-27.
14. Muhle C, Metzner J, Weinert D, et al. Classification system based on kinematic MR imaging in cervical spondylitic myelopathy[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 1998, 19(9): 1763-1771.
15. Muhle C, Weinert D, Falliner A, et al. Dynamic changes of the spinal canal in patients with cervical spondylosis at flexion and extension using magnetic resonance imaging [J]. Invest Radiol, 1998, 33(8): 444-449.
16. Reid J. Effects of flexion-extension movements of the head and spine upon the spinal cord and nerve roots[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 1960, 23(3): 214-221.
17. 党耕町, 刘忠军. 无症状颈椎退变性脊髓压迫[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(1): 5-7.

(收稿日期:2013-12-17 末次修回日期:2014-03-06)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)