

表面肌电分析在特发性脊柱侧凸椎旁肌病变研究中的应用进展

Application progress of surface electromyography analysis in the study of paraspinal muscle diseases in patients with idiopathic scoliosis

谢鸿儒^{1,2}, 孟琳³, 张泽佩⁴, 刘佳男^{1,4}, 贺银川¹, 苗军⁴

(1 天津医科大学研究生院 300070 天津市; 2 山西省运城市中心医院 山西医科大学附属运城医院 044000 运城市;
3 天津大学医学工程与转化医学研究院 300210 天津市; 4 天津大学天津医院脊柱外科 300211 天津市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2022.09.09

中图分类号: R682.3, R741.044 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2022)-09-0843-06

特发性脊柱侧凸是一种发生在冠状面、矢状面和横断面的三维脊柱畸形,表现形式多种多样,会引起患者外形改变,导致疼痛、活动受限等症状,甚至丧失行动能力,为家庭、社会带来沉重的经济负担。这种脊柱畸形既会导致患者静态功能改变,如外形改变、平衡障碍;也会导致动态功能改变,如姿势、步态异常^[1]。特发性脊柱侧凸的发生发展是多因素综合作用的结果,但已有研究提出椎旁肌病变所导致的肌肉不平衡是其中重要因素。因此,准确评价椎旁肌功能变化,对于脊柱侧凸疾病的防治有着重要意义^[2]。国内外学者对椎旁肌进行了大量研究,方法包括肌肉组织活检、生化指标检测、影像学分析等^[3]。然而,相关文献对于椎旁肌病变是脊柱侧凸的致病因素还是侧凸所导致的继发改变尚无一致定论,需进一步研究以明确脊柱侧凸椎旁肌的病变机制。

肌电信号作为人体神经肌肉活动的反应,其特征代表了肌肉功能状态的变化,可用于分析椎旁肌与脊柱侧凸疾病的相关性。表面肌电(surface electromyography, sEMG)是指将表面电极粘贴于目标肌肉的皮肤上,在神经肌肉的调控下收集一系列生物电信号,进而分析肌肉活动的兴奋性特征。表面肌电分析手段主要有时域分析和频域分析,时域分析是以积分肌电值(iEMG)、均方根值(RMS)等对动作过程中主要用力肌群、肌肉贡献率、肌肉之间的协调方式进行研究;频域分析是以中位频率(MF)、平均功率频率(MPF)等用于研究肌肉疲劳^[4]。表面肌电分析为我们进一步解释特发性脊柱侧凸椎旁肌病变提供了全新的视角,其作为能够直观反应肌肉功能状态的监测手段,有巨大的应用潜力,且相较于以上提及的其他研究手段,具

有花费小、无侵入性及放射性、受试者接受度高等优势,该技术有望成为特发性脊柱侧凸疾病诊断、评估和治疗的重要工具。

目前,国内外尚无关于表面肌电技术在特发性脊柱侧凸疾病中应用的总结性文献。本综述通过查阅国内外特发性脊柱侧凸疾病椎旁肌病变研究方面表面肌电分析技术应用的相关文献,总结其肌电信号特征,阐述了该技术在特发性脊柱侧凸基础研究和临床工作中的应用现状,并为进一步开展相关研究提供参考。

1 侧凸静态功能评估

1.1 椎旁肌功能监测

椎旁肌在控制脊柱稳定性中起着关键作用^[5]。脊柱侧凸患者为保持直立的姿态,凸侧椎旁肌要比凹侧椎旁肌发挥更大的作用,随着侧凸角度的增加,这种肌电活动的不平衡性更加明显^[6]。表面肌电可作为测定这种差异性的客观检查,用于监测肌肉功能状态的变化。

梁崎等^[7]发现青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)患者顶椎区凸凹侧椎旁肌表面肌电时域指标有明显不对称性,凹侧较低。王楚怀等^[8]采用相同的实验方法,发现 AIS 患者表面肌电频域指标有随运动负荷时间延长呈线性递减的趋势,表明顶椎区椎旁肌耐力较差、更易疲劳。相关文献可见,特发性脊柱侧凸椎旁肌电活动多表现为凸侧增加,凹侧降低,尤其是在侧凸顶椎处^[9]。周永德等^[10]认为,凸侧肌电活动增加是对肌肉萎缩的代偿,是脊柱侧凸的继发表现,表明机体试图纠正侧凸。其报道称小年龄组 IS(idiopathic scoliosis)患儿凸凹侧肌电值与对照组无差异,大年龄组则差异明显,其凸侧肌电波幅增高,时限变短。Reuber 等^[11]报道, Cobb 角<25°的 AIS 患者椎旁肌电信号与正常对照组无差异,>25°者凸侧的肌电活动显著增加,其认为 Cobb 角较小时椎旁肌病变不明显。

可见,在特发性脊柱侧凸患者中,凸凹侧椎旁肌电信号,无论是时域指标还是频域指标,均呈现不对称性表现,这显示凸凹侧肌肉功能状态的不同,且肌电信号的差异程

基金项目:天津市科技委重点项目(20JCZDC0080);国家自然科学基金资助项目(81472140)

第一作者简介:男(1984-),主治医师,博士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(0359)6397670 E-mail: xiehongrui@163.com

通讯作者:苗军 E-mail: mj6688@163.com

度与脊柱侧凸的严重程度正相关。病程越长,Cobb 角越大,凸侧肌肉为维持躯干平衡所受的负荷越大,肌电活动差异越明显。

1.2 平衡机制研究

平衡被定义为人体的在支撑的基础上保持其质量中心(center of mass,COM)以最小姿态摇摆的能力,椎旁肌对于人体维持平衡有重要作用^[12]。特发性脊柱侧凸患者因椎旁肌病变,普遍存在平衡障碍,其维持平衡的机制与正常人有明显区别^[13]。

特发性脊柱侧凸患者为维持躯干竖直平衡状态,表现为凸侧椎旁肌负荷的增加^[14]。Dubousset 等^[12]认为,脊柱畸形患者普遍存在躯干前倾,这会增加椎旁伸肌的工作量,以维持平衡姿态。杜青等^[15]研究 AIS 患者在去除视觉和听觉干扰的不稳定站立位下,其顶椎水平凸侧椎旁肌更易激活。Mahaudent 等^[16]报道 AIS 患者为维持平衡,椎旁肌激活时间延长,但这种较高的肌肉活动对维持平衡无益,这显示肌肉活动的效率降低。

相关研究显示,特发性脊柱侧凸患者为维持平衡,在静态站立时躯干会出现更大的摇摆幅度,这导致更高的椎旁肌电活动,肌肉做功及能量消耗更高。然而,脊柱侧凸患者的平衡研究在国内尚处于起步阶段,相关文献不多。

2 侧凸动态功能监测

2.1 姿态扰动研究

姿态是椎旁肌在中枢神经系统控制下作用于脊柱完成的,其病变势必导致姿态失衡^[14]。椎旁肌对于维持人体动态平衡有重要作用^[17]。面对姿态扰动,特发性脊柱侧凸患者协调性、姿态控制和本体感受适应性均差,运动任务的执行能力弱^[18],椎旁肌电激活模式异常,意味着特发性脊柱侧凸患者对外界动态刺激采取了与正常人不同的应对措施^[19,20]。

Farahpour 等^[21]发现 AIS 患者在动态前屈姿势摆动期间表现为较少的姿势倾斜幅度和较多的椎旁肌电信号活动,肌电信号出现早且持续时间长。Kuo 等^[13]通过不稳定平台扰动测试,得到相同的结果,并发现无论何种扰动类型,AIS 患者的肌肉活动均明显高于对照组。与以上结论不同,早期研究认为姿态变化中 AIS 患者椎旁肌电活动存在“沉默期”-“反弹期”这种节律性爆发规律,尤其在胸腰椎竖脊肌中明显^[22]。Perret 等^[23]通过实验得到相似结论,发现进展型特发性脊柱侧凸儿童椎旁肌电活动的潜伏期较对照组更长,节律性激活的数量减少,持续时间更短(图 1)。但其认为这种差异在胸腰椎节段表现不稳定,需要更多的姿势扰动方案和病例才能进一步确认。

可见,特发性脊柱侧凸患者在姿态扰动中普遍存在椎旁肌激活延迟、肌电信号增高、节律性变差等特点,其维持姿势的效率低于正常人,增加的肌肉工作是为了维持由于脊柱形变导致的躯干不平衡。对于这种肌电特征的可能解释是特发性脊柱侧凸患者采取了“僵硬策略”,即增加肌

肉活动,以减少躯干自由度,从而促进姿势控制^[13]。但有学者认为侧凸的严重程度、分组策略不同、干扰方式的差异均会影响实验结果,且姿势扰动的刺激是复杂的,因此,需要更可控的姿势干预策略和更广泛的记录才能明确其机制^[23]。

2.2 步态分析

脊柱的稳定和步态功能是不可分割的,两者之间相互协调才能实现平稳行走^[24]。脊柱侧凸会导致重心活动的改变从而产生病理性步态^[25]。表面肌电技术作为步态定量分析中的重要组成部分,通过监测椎旁肌肌电信号变化,研究肌肉的功能状态、参与度及激活水平^[26]。

与正常人相比,特发性脊柱侧凸患者行走速度降低,椎旁肌激活持续时间和激活模式异常^[27]。Mahaudent 等^[28]发现 AIS 患者竖脊肌激活作用在大跨步行走时所占的比例为 46%,明显高于正常人的 35%(图 2),意味着肌肉的激活持续时间延长,肌肉活动过度,能量消耗增加,且这种过度激活与侧凸严重程度无关,即轻度侧凸患者也会存在步态异常。在其另一篇文章中^[29],AIS 患者手术前后习惯性步态无差异,术前行走时背部肌肉肌电活动增加,术后行走时背部肌肉异常激活减少,趋于正常,显示椎旁肌功能得到改善,可见椎旁肌功能与步态相关。Kuo 等^[13]观察 AIS 患者发现椎旁肌长时间激活,这种联合收缩是为了稳定脊柱和骨盆以维持正常步态。

步态分析结果显示,特发性脊柱侧凸患者椎旁肌电信号普遍存在激活时间增加、持续时间延长、振幅降低,表明肌肉效率低下,行走时肌肉耗能较高。通过步态分析临床医生能够观察到复杂运动的细节,测定椎旁肌电活动,从而提取步态参数及肌电特征,作为临床评估的一部分,确定其与侧凸病变的关系,最终指导康复和治疗^[27]。

3 临床应用

3.1 侧凸进展性预测

特发性脊柱侧凸疾病多表现为进展性,很多因素与之有关,其中生长的不均衡性和肌肉异常是主要原因,肌肉异常又以椎旁肌病变为主^[30]。有研究表明,进展型特发性脊柱侧凸患者椎旁肌电活动的不对称性会随着侧凸及轴向旋转的增加而增加,其差异性变化可以用来预测脊柱侧凸的进展趋势^[6]。

许轶等^[31]发现 AIS 患者凸凹侧椎旁肌电信号比值与 Cobb 角相关,且 Cobb 角越大,凸凹侧的肌电差异越大,失衡越明显。反之,顶椎凸凹侧椎旁肌电信号比值可间接判断 Cobb 角的大小^[11]。Cheung 等^[32]报道进展型脊柱侧凸患者椎旁肌凸凹侧肌电比值较高,而非进展型往往是正常的,文献认为肌电比值增大与侧凸进展显著相关。在其另一篇文章报道了侧凸的进展与上下端椎肌电活动增强有关,认为上下端椎区域肌电比值差异是侧凸进展的显著危险因素,尤其是下端椎^[6]。Stoke 等^[30]认为进展型及非进展型侧凸最主要的区别是椎旁肌采取不同的肌肉激活策略。对于

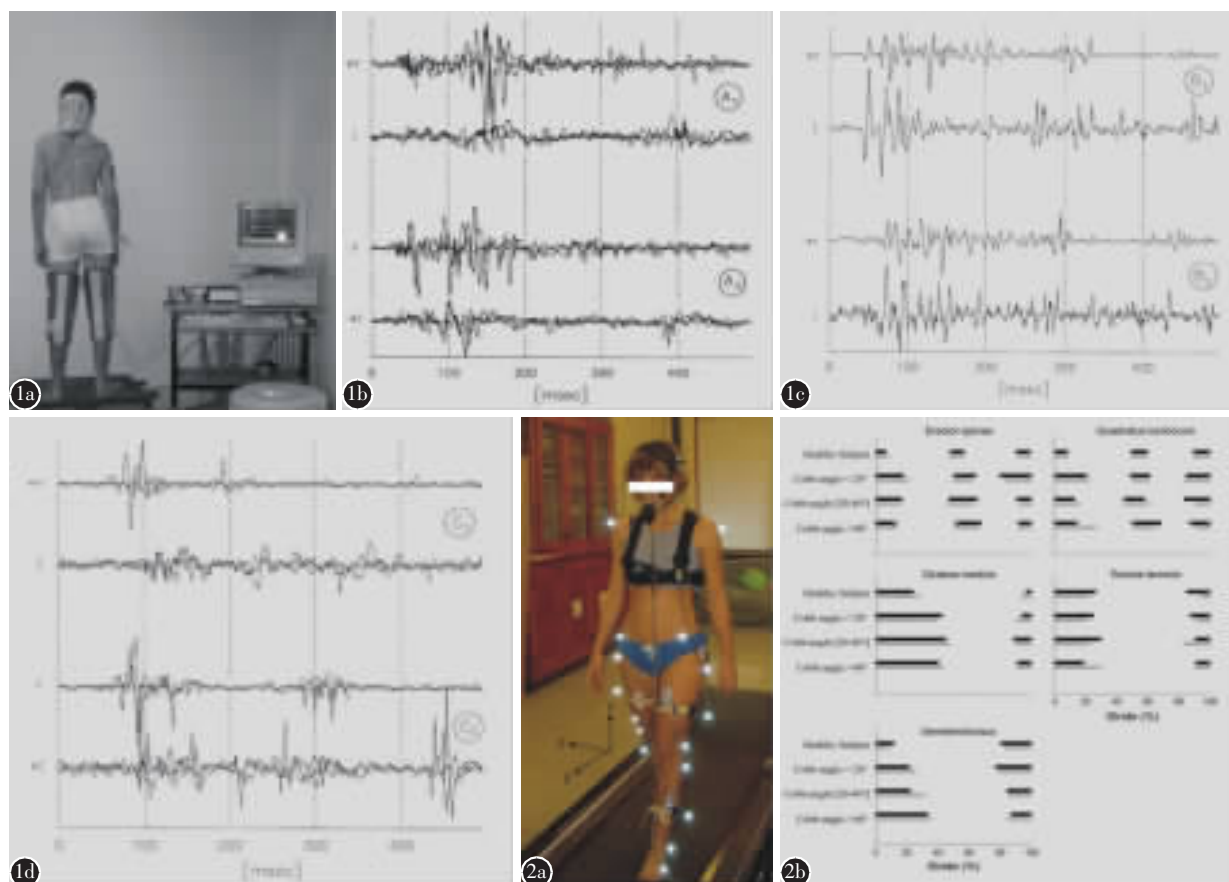


图 1 脊柱侧凸姿势扰动测试图示(纵轴 r 代表右侧椎旁肌, l 代表左侧椎旁肌, 横轴单位为 ms) **a** 特制的运动平台(受试者佩戴眼罩避免视觉影响, 佩戴支具限制颈部及下肢活动) **b** 非进展性脊柱侧凸患儿(右侧凸, Cobb 角 7°)对姿势刺激的肌电反应(A1 为平台 3 次右侧倾斜, A2 为平台 3 次左侧倾斜) **c** 非进展性脊柱侧凸患儿(右侧凸, Cobb 角 17°)对两个连续相同姿势刺激(右倾)的肌电反应 **d** 进展性脊柱侧凸患儿(右侧凸, Cobb 角 40°)对姿势刺激的肌电反应(C1 为平台 3 次右侧倾斜, C2 为平台 3 次左侧倾斜)^[23] **图 2** 步态测试仪器的连接及相关肌肉肌电信号特点 **a** 受试者正面观察, 配备皮肤标记物、表面电极, 在由马达驱动的跑步机上行走 **b** 与正常受试者相比, 不同弯曲程度 AIS 患者的竖脊肌(erector spinae)、腰方肌(quadratus lumborum)、臀中肌(gluteus medius)、股直肌(rectus femoris)和半腱肌(semitendinosus)肌肉的典型肌电活动。水平的黑色条代表正常受试者左侧和患者凸侧肌肉的阶段性活动, 水平的灰色条代表正常受试者右侧和患者凹侧肌肉的阶段性活动^[28]

侧凸凸侧肌电活动增强, 一些学者认为, 这是侧凸进一步发展的迹象, 也有学者认为其是平衡脊柱偏斜的生物力学需要, 是凸侧椎旁肌拉伸的效果或肌肉疲劳的结果^[6]。Reuber^[11]等认同第二种观点, 其实验结果显示侧凸患者和正常人在肌电活动方面有显著性的差异, 进展型与非进展型之间并无显著差异。

从以上文献可以看出, 尽管存在争议, 但普遍接受凸凹侧肌电信号比值与脊柱侧凸严重程度相关的观点。Cobb 角越大, 凸凹侧肌电差异越明显, 不平衡性越严重。因此, 通过动态监测脊柱侧凸凸凹侧肌电变化并进行量化, 其结果可用于脊柱侧凸进展性的评估。

3.2 非手术治疗效果评估

表面肌电已广泛应用于非手术治疗后椎旁肌恢复程度的评估。

3.2.1 支具治疗 AIS 患者的支具治疗被认为是最主要、

最有效的非手术治疗, 但其对于椎旁肌是一种被动恢复模式, 还是主动校正模式, 目前还有争议, 相关表面肌电研究也提供了矛盾的结论。

主动模式认为, 佩戴支具促使患者积极调动椎旁肌以缓解由支具施加的压力所带来的不适, 这种椎旁肌的选择性收缩, 被认为是对佩戴支具的“主动”反应, 可能对矫正脊柱侧凸有益^[31]。Stokes 等^[34]发现支具可以改善脊柱侧凸患者的椎旁肌肉激活模式, 矫正脊柱的弯曲度和位移, 但矫正程度受到肌肉改善程度的影响。Odermatt 等^[33]发现支具使 AIS 患者椎旁肌肌电活动明显增加, 这种效果可能有利于增加脊柱的稳定性和防止肌肉萎缩, 这些肌肉的激活可以诱导侧凸曲线的减少。

与以上观点相反, 有学者发现支具固定在近期和远期治疗后均未能降低竖脊肌的肌电活动^[35]。Mahaudens 等^[36]发现佩戴支具后并没有立刻减少脊柱-骨盆的肌肉收缩,

经过长期佩戴,除了竖脊肌的肌电活动减少,其他肌肉未发生明显改变。Wynarsky等^[37]发现脊柱侧凸患者应用波士顿支具后,椎旁肌肌电激活模式没有显著变化,支具对畸形没有“积极的”肌肉诱导作用。可见,相关争论还需要肌电方面进一步研究。

3.2.2 康复功能锻炼 表面肌电分析用于评估运动过程中的神经肌肉反应并制定康复方案已有几十年的历史^[38]。既往研究认为,肌电信号反馈也可作为肌肉康复效果的评估工具^[39]。因此,研究特发性脊柱侧凸患者康复治疗后椎旁肌激活模式对于康复动作制定及效果评估至关重要^[18]。

在制定康复计划方面,Schmid等^[18]发现在特发性脊柱侧凸患者中,特定激活其腰椎或胸椎凹侧肌肉进行不对称运动疗法是可行的,以此可以制定针对性康复动作。Guo等^[40]发现改良俯卧运动可以使侧凸患者腰背部肌肉达到41.6%的最大等长收缩,适于作为腰背部伸肌功能锻炼。此外,康复治疗后椎旁肌恢复,表现为凸凹侧肌电异常活动减少或趋平衡。Raymond^[41]采用牵引、手法等综合治疗及杜红根^[42]使用中医脊柱平衡疗法后发现 AIS (adolescent idiopathic scoliosis) 患者椎旁肌过高的肌电活动被抑制,凸凹侧的肌电活动趋平衡,说明康复治疗有助于症状缓解及抑制侧凸发展。这与周璇^[43]采用运动疗法后的研究结论相同。

可见,经过支具、康复功能锻炼等非手术治疗,应用表面肌电技术对椎旁肌进行功能测定,可用于评估治疗效果,并针对性制订下一步康复及治疗计划。

3.3 术后肌肉功能评估

脊柱侧凸手术可以改善脊柱形变并纠正椎旁肌肉不平衡性,从而改善其功能^[44]。但侧凸术后椎旁肌功能恶化也会导致顽固性腰痛、肌肉萎缩等不良后果^[45]。表面肌电可用于侧凸术后效果的评估,针对椎旁肌进行手术前后肌电信号比较,评估相关肌肉功能改善情况。

Mahaudens 等^[29]发现经过手术,随着侧凸角度的纠正,AIS 患者的竖脊肌、多裂肌肌电激活时间缩短,肌肉的过度激活消失。Hopf 等^[45]发现 AIS 患者术后凸侧椎旁肌电活动显著减少,但凹侧无明显变化,椎旁肌改善情况可能与侧凸矫正程度相关。也有文献对手术能够改善椎旁肌怀疑态度,李岳峙等^[46]报道侧凸术后椎旁肌电活动幅度增加、中值频率下降,肌电包络的对称性降低,其变化特征与废用性肌肉萎缩的特征一致。Lu 等^[44]发现 IS 患者术后胸椎区椎旁肌电活动降低,可能是肌肉萎缩所致,腰椎区出现较高的肌电活动,可能是肌肉肥大的代偿结果。单述刚等^[47]研究得到相似的结论。

目前手术效果主要通过静态成像和问卷调查进行判断。然而,静态成像只能提供结构信息,不能提供功能信息;问卷经常存在误导和不准确性^[27]。与之相较,表面肌电可直接测量特定肌肉电活动,因此可以很好地评估术后椎旁肌恢复程度或监测患者术后康复期间的肌肉力量变化。研究脊柱侧凸术后椎旁肌电变化规律,有助于建立新的术

后效果评价机制。

4 展望与总结

可以预见,随着医学的进步,对于脊柱侧凸疾病的研究更加深入,探索特发性脊柱侧凸疾病的发病机制,制定合理、有针对性的治疗方案,已经成为脊柱外科医生面临的巨大挑战。表面肌电能够监测肌肉功能,评估肌肉激活、萎缩及疲劳状态,可以与其他检查手段联合以测定脊柱侧凸椎旁肌病变程度,是目前研究特发性脊柱侧凸疾病的一种有效方法。

综上所述,国内外学者应用表面肌电技术对特发性脊柱侧凸椎旁肌进行了大量的研究,对其发生、发展及诊断、治疗提出了全新的认识和指导。本综述回顾了国内外相关文献,总结了表面肌电技术在特发性脊柱侧凸椎旁肌病变研究中的应用现状,同时分析该技术的应用趋势、潜在优势,拓展了该技术在脊柱侧凸疾病中的应用前景。

5 参考文献

1. Haber CK, Sacco M. Scoliosis: lower limb asymmetries during the gait cycle[J]. Arch Physiother, 2015, 5: 4.
2. 王伟, 李危石, 陈仲强. 椎旁肌评价方法及其与腰椎疾病相关性的研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(11): 1462-1467.
3. Jiang H, Meng Y, Jin X, et al. Volumetric and fatty infiltration imbalance of deep paravertebral muscles in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Med Sci Monit, 2017, (23): 2089-2095.
4. 周琦, 谭琦, 李巍, 等. 表面肌电图在腰椎病治疗中的应用[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(28): 106-107.
5. Cholewicki J, Panjabi MM, Khachatryan A, et al. Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture[J]. Spine, 1997, 22(19): 2207-2212. DOI: 10.1097/00007632-199710010-00003.
6. Cheung J, Veldhuizen AG, Halbertsma JPK, et al. The relation between electromyography and growth velocity of the spine in the evaluation of curve progression in idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2004, 29(9): 1011-1016.
7. 梁崎, 许轶, 王楚怀, 等. 青少年特发性脊柱侧弯症患者椎旁肌表面肌电信号时域指标变化规律 [J]. 中国康复医学杂志, 2009, 24(11): 989-991.
8. 王楚怀, 许轶, 阮经文, 等. 青少年特发性脊柱侧弯症患者椎旁肌表面肌电信号频域指标变化规律[J]. 中国康复理论与实践, 2009, 15(12): 1156-1158.
9. Cheung J, Veldhuizen AG, Halberts JPK, et al. Geometric and electromyographic assessments in the evaluation of curve progression in idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2006, 31(3): 322-329.
10. 周永德, 郑斌, 顾耀明, 等. 脊柱侧凸症与椎旁肌病理的相关因素[J]. 中华小儿外科杂志, 2003, 24(3): 211-214.
11. Reuber M, Schultz A, McNeill T, et al. Trunk muscle myo-

- electric activities in idiopathic scoliosis[J]. Spine, 1983, 8(5): 447-456.
12. Jean Dubousset M. Reflections of an orthopaedic surgeon on patient care and research into the condition of scoliosis [J]. J Pediatr Orthop, 2011, 31(1): 1-8.
 13. Kuo F, Hong C, Lai C, et al. Postural control strategies related to anticipatory perturbation and quick perturbation in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2011, 36(10): 810-816.
 14. 王嵘, 邱勇. 姿势反射失衡在脊柱侧凸发病中的作用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 16(3): 229-231.
 15. 杜青, 周璇, 励建安, 等. 青少年特发性脊柱侧凸腰腹部肌群表面肌电信号特征研究 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2013, 35(8): 612-616.
 16. Mohammadi P, Akbari M, Sarrafzadeh J, et al. Comparison of respiratory muscles activity and exercise capacity in patients with idiopathic scoliosis and healthy individuals [J]. Physiother Theory Pract, 2014, 30(8): 552-556.
 17. Ceccato JC, de Seze M, Azevedo C, et al. Comparison of trunk activity during gait initiation and walking in humans [J]. PLoS One, 2009, 4(12): 1-15.
 18. Schmid AB, Dyer L, Böni T, et al. Paraspinal muscle activity during symmetrical and asymmetrical weight training in idiopathic scoliosis[J]. J Sport Rehabil, 2010, 4(19): 315-327.
 19. Gauchard GRC, Lascombes P, Kuhnast M, et al. Influence of different types of progressive idiopathic scoliosis on static and dynamic postural control[J]. Spine, 2001, 26(9): 1052-1058.
 20. Filipovic V, MSc, Stalec NV. The mobility capabilities of persons with adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2006, 31(19): 2237-2242.
 21. Farahpour N, Ghasemi S, Allard P, et al. Electromyographic responses of erector spinae and lower limb's muscles to dynamic postural perturbations in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2014, 24(5): 645-651.
 22. Dobosiewicz K. Neurophysiological mechanism of the unloading reflex as a prognostic factor in the early stages of idiopathic adolescent scoliosis[J]. Eur Spine J, 1997, (6): 93-97.
 23. Perret C, Robert J. Neurophysiological mechanism of the unloading reflex as a prognostic factor in the early stages of idiopathic adolescent scoliosis[J]. Eur Spine J, 2001, 13(4): 363-364.
 24. Lee JK, Park EJ. 3D spinal motion analysis during staircase walking using an ambulatory inertial and magnetic sensing system[J]. Med Biol Eng Comput, 2011, 49(7): 755-764.
 25. 罗长良, 郑倩. 脊柱侧弯矫形器对 AIS 患者步态影响的探讨 [J]. 中国康复, 2019, 34(9): 498-501.
 26. 王彦辉, 陈学明, 于振山, 等. 步态分析在青少年特发性脊柱侧凸中的应用进展[J]. 中华骨科杂志, 2016, 26(5): 307-313.
 27. Haddas R, Ju KL, Belanger T, et al. The use of gait analysis in the assessment of patients afflicted with spinal disorders[J]. Eur Spine J, 2018, 27(8): 1712-1723.
 28. Mahaudens P, Mousny M. Gait in adolescent idiopathic scoliosis Kinematics, electromyographic and energy cost analysis [J]. Stud Health Technol Inform, 2010, 158: 101-106.
 29. Mahaudens P, Dalemans F, Banse X, et al. Gait in patients with adolescent idiopathic scoliosis. Effect of surgery at 10 years of follow-up[J]. Gait Posture, 2018, 7(1): 113-120.
 30. Stokes IAF. Analysis and simulation of progressive adolescent scoliosis by biomechanical growth modulation [J]. Eur Spine J, 2007, 15(4): 312-319.
 31. 许轶, 王楚怀, 赖建洋, 等. 青少年特发性脊柱侧弯症患者凸凹侧椎旁肌平均肌电比值与 Cobb 角度相关度的分析研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(12): 1078-1080.
 32. Cheung J, Hnlbertsma JP, Veldhuizen AG, et al. A preliminary study on electromyographic analysis of the paraspinal musculature in idiopathic scoliosis[J]. Eur Spine J, 2005, 14(2): 130-137.
 33. Odermatt D, Mathieu PA, Beausejour M, et al. Electromyography of scoliotic patients treated with a brace[J]. J Orthop Res, 2003, 21(5): 931-936.
 34. Stokes IAF, Gardner-Morse M. Muscle activation strategies and symmetry of spinal loading in the lumbar spine with scoliosis[J]. Spine, 2004, 29(19): 2103-2107.
 35. van Poppel MNM, de Looze MP, Koes BW, et al. Mechanisms of action of lumbar supports: a systematic review [J]. Spine, 2000, 25(16): 2103-2113.
 36. Mahaudens P, Raison M, Banse X, et al. Effect of long-term orthotic treatment on gait biomechanics in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine J, 2014, 14(8): 1510-1519.
 37. Wynarsky G, Schultz A. Trunk muscle activities in braced scoliosis patients[J]. Spine, 1989, 14(12): 1283-1286.
 38. 王亚薇, 杨阳, 李耀民. 表面肌电图在步态分析中的应用[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2021, 27(3): 538-541.
 39. Kwok G, Yip J, Cheung MC, et al. Evaluation of myoelectric activity of paraspinal muscles in adolescents with idiopathic scoliosis during habitual standing and sitting[J]. Biomed Res Int, 2015, 2015: 11-21.
 40. Guo LY, Wang YL, Huang YH, et al. Comparison of the electromyographic activation level and unilateral selectivity of erector spinae during different selected movements [J]. Rehabil Res, 2012, 35(1): 345-351.
 41. Raymond Wiegand, D.C. 青少年特发性脊柱侧凸患者治疗前后的椎旁表面肌电活动的研究[J]. 颈腰痛杂志, 2005, 26(3): 168-171.
 42. 杜红根, 叶树良, 徐金元, 等. 表面肌电图在中医脊柱平衡法治疗青少年特发性脊柱侧凸症中的应用 [J]. 中国骨伤, 2013, 26(11): 914-917.

(下转第 864 页)

- 技术治疗颈椎后纵韧带骨化症的脊髓原位减压效果[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2020, 30(3): 202-211.
20. Hannallah D, Lee J, Khan M, et al. Cerebrospinal fluid leaks following cervical spine surgery [J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(5): 1101-1105.
 21. Odate S, Shikata J, Soeda T, et al. Surgical results and complications of anterior decompression and fusion as a revision surgery after initial posterior surgery for cervical myelopathy due to ossification of the posterior longitudinal ligament[J]. J Neurosurg Spine, 2017, 26(4): 466-473.
 22. 史建刚, 孙璟川, 郭永飞, 等. 颈椎后纵韧带骨化前路骨化物复合体前移技术及临床疗效分析[J]. 中华骨科杂志, 2018, 38(15): 919-926.
 23. 孙璟川, 王英杰, 杨海松, 等. 颈椎前路椎体骨化物复合体前移融合术治疗严重颈椎后纵韧带骨化症[J]. 第二军医大学学报, 2017, 38(8): 1053-1059.
 24. 刘丰. 颈椎前路减压与椎内静脉丛相关的应用解剖学研究[D]. 南方医科大学, 2008.
 25. Luo X, Wang S, Sun K, et al. Anterior controllable antedisplacement and fusion(ACAF) technique for the treatment of multilevel cervical spondylotic myelopathy with spinal stenosis (MCSMSS): a retrospective study of 54 cases [J]. Clin Spine Surg., 2021, 34(9): 322-330.
 26. Kong QJ, Sun XF, Wang Y, et al. Risk assessment of vertebral artery injury in anterior controllable antedisplacement and fusion(ACAF) surgery: a cadaveric and radiologic study [J]. Eur Spine J, 2019, 28(10): 2417-2424.
 27. Khoeir P, Oh BC, Dirisio DJ, et al. Multilevel anterior cervical fusion using a collagen-hydroxyapatite matrix with iliac crest bone marrow aspirate: an 18-month follow-up study[J]. Neurosurgery, 2007, 61(5): 963-970; discussion 970-961.
 28. Liu Y, Yu KY, Hu JH. Hybrid decompression technique and two-level corpectomy are effective treatments for three-level cervical spondylotic myelopathy[J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2009, 10(9): 696-701.
 29. 祁敏, 王新伟, 刘洋, 等. 三种颈前路减压术式治疗多节段脊髓型颈椎病的并发症比较 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2012, 22(11): 963-968.
 30. Kong QJ, Luo X, Tan Y, et al. Anterior controllable antedisplacement and fusion(ACAF) vs posterior laminoplasty for multilevel severe cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: retrospective study based on a two-year follow-up[J]. Orthop Surg, 2021, 13(2): 474-483.
 31. 顾洪生, 李振宇, 阎洪印, 等. 颈椎翻修手术的原因及对策 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2009, 24(1): 3.
 32. 袁文, 鲍达, 叶晓健, 等. 颈椎前路手术后翻修术[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2004, 14(3): 4.
 33. Joseph V, Kumar GS, Rajshekhar V. Cerebrospinal fluid leak during cervical corpectomy for ossified posterior longitudinal ligament: incidence, management, and outcome [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(5): 491-494.
 34. 孙璟川, 史建刚. 颈椎前路椎体骨化物复合体可控前移融合术的关键技术和并发症预防[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2020, 30(3): 282-288.
 35. Yang H, Sun J, Shi J, et al. Anterior controllable antedisplacement fusion as a choice for 28 patients of cervical ossification of the posterior longitudinal ligament with dura ossification: the risk of cerebrospinal fluid leakage compared with anterior cervical corpectomy and fusion[J]. Eur Spine J, 2019, 28(2): 370-379.
- (收稿日期:2022-01-20 末次修回日期:2022-08-23)
(本文编辑 彭向峰)
-
- (上接第 847 页)
43. 周璇, 杜青, 梁菊萍, 等. 脊柱侧凸特定运动疗法治疗轻度青少年特发性脊柱侧凸患者的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(12): 927-932.
 44. Lu WW, Hu Y, Luk KD, et al. Paraspinal muscle activities of patients with scoliosis after spine fusion: an electromyographic study[J]. Spine, 2002, 27(11): 1180-1185.
 45. Hopf C, Scheidecker M, Steffan K, et al. Gait analysis in idiopathic scoliosis before and after surgery a comparison of the pre and postoperative muscle activation pattern [J]. Eur Spine J, 1998, 7(6): 11.
 46. 李岳峙, 王明时, 胡勇, 等. 脊柱侧凸病人融合术前和手术两年后背部肌肉的肌电分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2001, 23(4): 218-220.
 47. 单述刚, 邢翠珍. 脊柱侧凸患者脊柱融合术后脊旁肌的肌电活动[J]. 国外医学: 物理医学与康复学分册, 2003, 23(4): 187-188.
- (收稿日期:2021-10-15 末次修回日期:2022-08-03)
(本文编辑 彭向峰)