

## 颈椎病新型智能牵引器的设计研发

魏彦龙<sup>1</sup>, 牟玉庆<sup>2</sup>, 于茜<sup>1</sup>, 胡权<sup>1</sup>, 刘忠良<sup>1</sup>

(1. 吉林大学第二医院康复医学科 吉林 长春 130041; 2. 长春建筑学院健康产业学院 吉林 长春 130600)

**摘要** 颈椎病的发病率逐年增加, 并呈现低龄化趋势, 我国每年用于颈椎病的治疗费用超过5亿。合理有效地治疗颈椎病, 不仅可减轻患者痛苦, 节约社会医疗资本, 而且具有广阔的市场前景。目前, 牵引是治疗颈椎病的主要手段, 但目前的枕-颌式牵引装置, 易导致患者不适, 影响疗效, 并难以实现精准治疗。本团队设计了一种智能调节角度的顶托式颈椎病牵引治疗器, 通过顶托受力, 克服两点受力所引起的牵引偏差。该治疗器以新型高分子材料为颈托, 提高使用舒适度与耐用性; 通过人工智能对牵引重量进行精准控制, 通过复合温热、调制中频动态干扰电等治疗增强疗效; 通过准确调控牵引角度, 提高牵引效果。

**关键词** 牵引器; 颈椎病; 人工智能; 组合牵引

**中图分类号** TP23 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 02-0138-05

## Design and development of new intelligent tractor for cervical spondylosis

WEI Yanlong<sup>1</sup>, MOU Yuqing<sup>2</sup>, YU Xi<sup>1</sup>, HU Quan<sup>1</sup>, LIU Zhongliang<sup>1</sup>

(1. Department of Rehabilitation Medicine, the Second Hospital of Jilin University, Changchun 130041, China;

2. College of Health Industry, Changchun University of Architecture, Changchun 130600, China)

**Abstract** The incidence of cervical spondylosis increases year by year and shows a trend of younger age. The annual treatment cost of cervical spondylosis in China is more than 500 million. The effective treatment of cervical spondylosis can not only relieve the pain of patients, save social medical capital, but also have a broad market prospect. At present, traction is a popular treatment for cervical spondylosis. However, the current traction belt of occipital-jaw device is easy to cause discomfort for patients, often affecting the curative effect, and it is difficult to achieve accurate treatment. We designed a head-support type cervical tractor with intelligent angle-adjusting function. It overcomes the traction deviation caused by two points of stress using top forces. New polymer material is used as the neck brace to improve comfort level and durability of the device. The traction weight and angle are precisely controlled by artificial intelligence, and the therapeutic effect is improved by combining thermotherapy with modulated dynamic interference electrotherapy.

**Key words** Tractor; Cervical Spondylosis; Artificial Intelligence; Combined Traction

收稿日期: 2022-04-06 录用日期: 2023-06-17

Received Date: 2022-04-06 Accepted Date: 2023-06-17

基金项目: 吉林省高教科研课题 (JGJX2021D47)

Foundation Item: Higher Education Scientific Research Project of Jilin Province (JGJX2021D47)

通讯作者: 刘忠良, Email: laltim@163.com

Corresponding Author: LIU Zhongliang, Email: laltim@163.com

引用格式: 魏彦龙, 牟玉庆, 于茜, 等. 颈椎病新型智能牵引器的设计研发 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5 (2): 138-142.

Citation: WEI Y L, MOU Y Q, YU X, et al. Design and development of new intelligent tractor for cervical spondylosis [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(2): 138-142.

颈椎牵引的基本作用是牵张椎体，牵引技术的效果与患者体位、牵拉的力度、持续时间及牵拉的角度等因素有关。要使椎体产生分离效应，则所施加的牵引力必须足以克服被治疗部位的重力、周围软组织的张力、患者和接触面的摩擦力及重力的总和。但目前临床常用的颈椎牵引器并未能同时量化上述因素对治疗效果的影响，即使有经验的治疗人员能考虑到上述因素，现有的治疗设备既不能量化上述因素，也不能实时监测这些因素在治疗过程中的变化。另外，通过牵引与常用的其他物理因子结合的方式可以进一步提升治疗效果。基于此，本团队设计了一款新型颈椎病智能牵引器，通过使颈椎牵引智能化、标准化来提高颈椎牵引的临床疗效，同时对颈椎牵引法的质量进行控制。

## 1 牵引疗法的基础

牵引疗法是通过牵引技术对脊柱长轴施加拉伸力来缓解脊柱压力、治疗疼痛的疗法。现代脊柱牵引疗法源自英国医生 James Cyriax 于 20 世纪 40 年代推广的腰椎牵引疗法。此后，虽然相关的治疗理论不断革新，但都支持脊柱牵引疗法的使用。澳大利亚物理治疗师 Geoffrey Maitland 同样肯定了牵引疗法治疗脊柱疾病的价值<sup>[1]</sup>。

在当前循证医学时代，虽然关于牵引疗法临床价值的客观证据仍然有限，但其有效性已被大量的临床试验所证实。基于临床经验和观察结果，许多从业人员仍在将牵引疗法作为一种基础的临床治疗手段，欧洲的临床指南<sup>[2]</sup>以及我国颈椎病牵引治疗专家共识仍将牵引疗法作为治疗颈痛及神经根性颈椎病的 I 级推荐意见<sup>[3]</sup>。

**1.1 颈椎牵引的生物力学和生理效应** 颈椎在水平面、冠状面、矢状面三个运动平面上分别发生左右旋转、左右侧屈和前屈后伸共 6 个方向的活动，而侧屈和旋转是耦合运动。在上颈段，侧屈伴对侧旋转，旋转伴对侧侧屈，而下颈段颈椎侧屈伴同侧旋转。施加在颈部的负荷随着头部和身体位置的变化而变化，在良好支撑的

斜倚姿势下，颈椎负荷最小。从 C3~C7，作用于颈椎的压缩力由 3 根平行力学柱传递：1 个由椎体和椎间盘组成的前中央柱和 2 个由左右关节突关节组成的棒状后外侧柱<sup>[4]</sup>。

寰枕关节及寰枢关节均无椎间盘存在，因此头部的重量（压缩负荷）必须通过寰枕关节直接转移到枢椎关节面。这些力通过椎弓根和椎板传递到椎体的下表面和两个下关节突关节，随后力转移到邻近的下椎间盘。牵引的作用之一是增加椎骨之间的空间，使椎骨间产生分离，理论上可使颈椎的形态正常化，改变椎间盘的位置，增加走形脊神经根的椎间孔尺寸。人体和尸体标本的影像学研究分析了牵引对颈椎节段运动的影响：分别经 CT 和 X 线摄影测量椎间孔的大小，无论是尸体还是活体，颈椎中立位牵引都可以显著地增加椎间孔的孔径<sup>[5]</sup>。另外，颈椎牵引可改善椎间关节的异常排列关系。颈椎屈曲牵引可扩大椎间孔，减少对神经根的直接压力。由于血液可从无瓣膜的椎旁静脉丛流出，从而使水肿消退，因此也可间接减轻神经根的压力<sup>[6]</sup>。

一项三维有限元模型下旋转牵引的研究显示，随着牵引前屈角度的变化，颈椎间盘的轴向变形趋于变小，当牵引角大于 18° 时牵引的变形量会变得很小，因此建议将牵引角度控制在 20° 以内<sup>[7]</sup>。同时，当增加侧屈角度进行牵引时，椎间盘的变形幅度明显增加。另一项基于 CT 图像建立的人体颈椎 C2~C7 三维有限元模型，经有限元分析法模拟颈椎牵引最优角度的研究显示<sup>[8]</sup>，颈椎间盘 C2~C3、C3~C4、C4~C5、C5~C6、C6~C7 的最优牵引角度分别为 2°、4°、8°、13°、17°。另外一项针对牵引力、牵引角度、头部支撑对牵引影响的研究显示，牵引力大小、枕后是否垫毛巾、牵引力的角度都作为影响寰枕关节屈曲或者伸展的独立变量。同时，牵引力的大小和牵引角度都作为影响寰枢关节前后向剪切力大小的独立变量<sup>[9]</sup>。

**1.2 临床常见颈椎牵引器的问题** 目前，针对颈椎的牵引治疗按照牵引体位分为仰卧位与坐

位,按照牵引时间可分为间歇(动态)牵引和持续(静态)牵引,按照牵引力来源可分为机械动力、气动、滑轮重力、自身重力4种类型<sup>[10]</sup>。影响牵引效果的最重要因素是牵引力的大小。人体测量学研究表明,人类头部重量约占总体重的8.3%,理论上坐位或直立位下,小于8.3%体重的牵引力不能拉长人的颈椎。其中部分机械动力和液压动力的牵引器可对牵引力进行监测,而滑轮重力的牵引器在设定牵引力后中途并不能实时监控或调整牵引力的大小。

现有的颈椎牵引器在牵引操作过程中并不能监测患者颈椎成角的角度,由于颈椎生理曲度的特点,在进行没有头颈固定物的垂直牵引时,牵引力的方向与颈椎横截面的法线不一致<sup>[11]</sup>。因此需要固定成角牵引,以使最大牵引应力的集中效应作用于病变节段。

另外,如果要在仰卧位下拉长颈椎,则还要考虑牵引台面与患者头部之间的摩擦系数和摩擦力的大小。现有的卧位牵引在治疗过程中计算牵引重量时并未考虑仰卧位下牵引支撑面的摩擦系数对牵引力的影响,其是否影响临床疗效还需进一步研究。另有诸多文献支持牵引疗法联合其他物理疗法来管理颈椎病<sup>[12]</sup>。针对现有设备的不足特提出如下新的牵引设备设计方案。

## 2 牵引设备总体设计

针对现有颈椎牵引器存在的不足,本团队设计了符合人体生理结构、舒适、有效的颈椎病治疗器具。该产品将达到下列指标要求。①成角牵引:成角牵引方式更具科学性,可发挥最大的牵引效率;②顶托式外力:将以往向上牵引的受力方式改为顶托式的受力方式,使颈椎受力更均匀,使用更舒适、更人性化,也更加有效;③智能化操作:整个操作技术采用电脑程序控制,根据不同类型颈椎病来设计角度、顶托力量,实现治疗过程智能化;④治疗过程结合辅助治疗项目,如红外线治疗、中频脉冲电治疗、脉冲磁治疗等,从而实现复合式整体治疗目的。

**2.1 顶托的设计** 颈椎顶托设计的要求是:使

患者获得最大的舒适满意度,同时具有很好的自由度。该托可分为枕托和下颌托(如图1),以优质金属材料为内金,外部附以柔顺的软质材料做成环形颈托。该托可以设计成开放式的卡簧结构,枕托可全包患者的颈部和枕骨区域予以颈部支撑。治疗前卡簧打开,把颈椎放入托内,扣上卡簧,治疗结束后卡簧打开,颈椎离开颈托。该托在枕托中央处伸出一横杆,连接在座椅中轴的操纵杆上(如图2)。该杆可同时在X轴、Y轴和Z轴3个轴向进行调节,根据患者病情调整操纵杆的升降与偏移,从而实现顶托力的传递并达到所需的牵引角度。颈托的内表面接触颈椎后部的区域放置有4片电极,电极为动态干扰电的输出电极,动态干扰电可以引起局部的颈肌运动,且作用部位较深,有较强的解痉止痛、促进功能恢复等作用。椅背可放置动态干扰电电极,以实现牵引和物理因子治疗的完美结合。

**2.2 角度测量器的设计** 在颈椎顶托的侧面,即枕-颌托相连的地方放置角度传感器及压力传感器,以实时调节牵引过程中颈椎前屈、

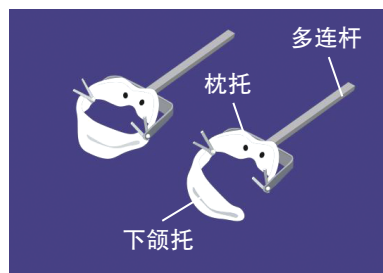


图1 颈托

Figure 1 Cervical gear

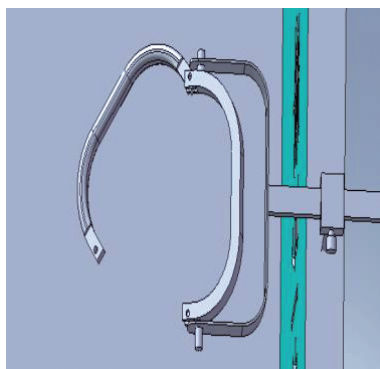


图2 座椅中轴操纵杆

Figure 2 Joystick on the center axle of seat

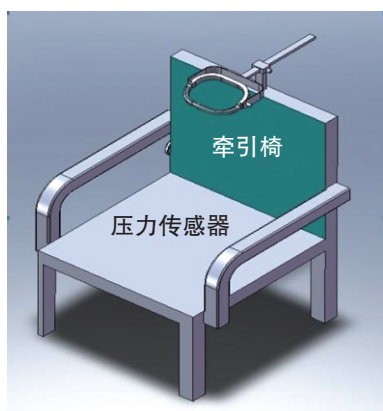


图3 座椅设计图  
Figure 3 Drawing of seat

侧屈及旋转角度，完成真正的成角精确牵引，达到颈椎康复治疗的目的。

**2.3 顶托座椅的设计** 该设备整体设计成座椅式（如图3），座椅的高度及倾斜度均可调，以确保患者治疗时的舒适度。治疗过程中，患者双手可扶在座椅扶手上，扶手的两侧设计有操作面板。椅背的中央设计成颈椎顶托的操纵杆，操纵杆可随调节上下移动，并连接有压力感受器，以显示顶托的牵引重量。同时于座椅面板上安装体重压力感受器，实时监测患者坐在牵引椅上减少的压力是否与设置的顶托牵引力相匹配（若不匹配，则机器自动将牵引力调控到设置数值）。

**2.4 外围操作系统的设计** 采用智能化的外围操作系统（如图4），利用传感器信息融合技术，将不同传感器收集到的信息采用分布式信息融合系统传输。顶托上的角度传感器和压力传感器收集信息并传输至颈托结构控制系统进行处理，处理后的信息被传输至外围控制操作的信息融合系统。椅背上的角度传感器与座椅上的压力传感器将收集到的信息传输至治疗椅的结构控制系统进行处理，处理后的信息同样被传输至外围控制操作的信息融合系统。外围信息融合系统接收到两者信息后由中央处理器来进行综合分析，并由电脑程序完成顶推力、颈椎屈曲及侧屈角度、报警系统、动态干扰电及温度的调节，以实现治疗的人性化、智能化。此外，在座椅后侧增加了可调节加温设备（如图5）。热应用是治疗颈椎间盘突出综合征的一个重要组成部分，特别是急性的疼痛。热效应可通过改善血液循环、放松肩部和颈部紧张的肌肉发挥治疗作用。深部热可减轻发生在椎间盘退变过程中韧带和骨膜的局部刺激症状，同时影响  $\alpha$  和  $\gamma$  运动神经传导的速度。

### 3 讨论

现行的各种颈椎牵引装置在临床治疗过程

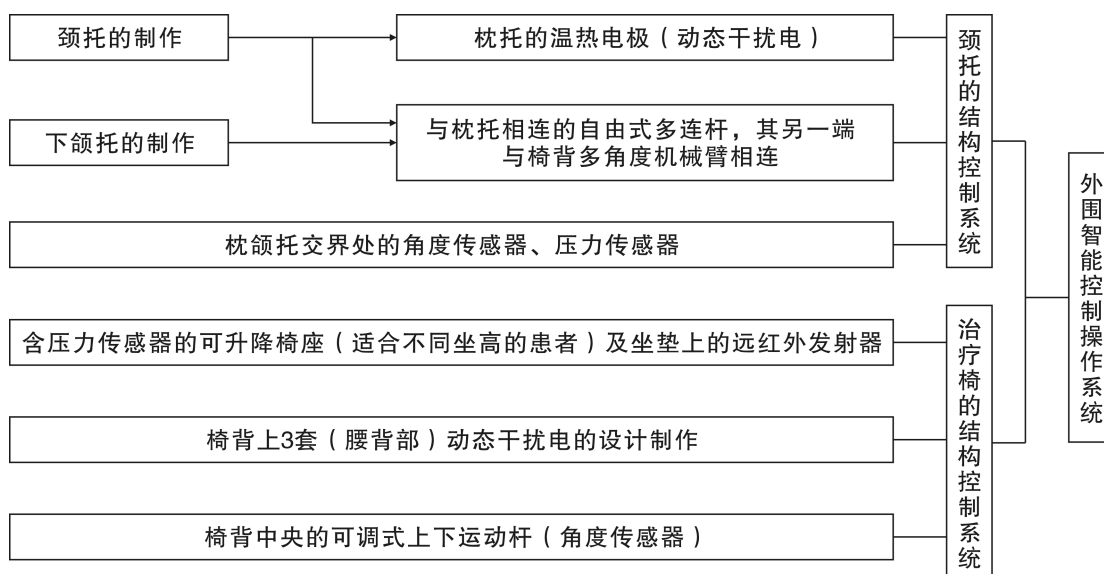


图4 智能化的外围操作系统  
Figure 4 Intelligent operating system

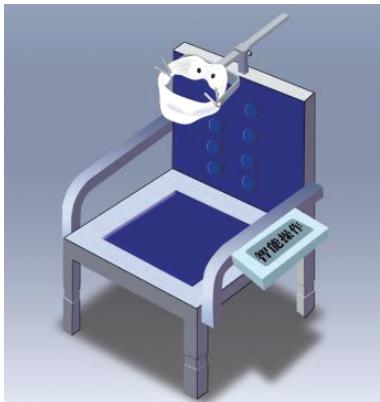


图5 座椅靠背红外加温设备

Figure 5 Infrared heater on the seat back

中可调整的参数基本都是牵引力的大小,部分临床工作者仅凭自己的经验去摆放患者颈椎位置来调节牵引角度,然而影响牵引效果的独立变量除了牵引力的大小外,还与牵引力的角度、颈椎所处的角度、颈椎与牵引台面之间是否接触等多个因素相关。而临床上并未在牵引治疗中对这些独立变量进行监测和调整。本牵引器的设计规避了传统颈椎牵引器无法实时监测牵引角度及实时控制有效牵引力的弊端,坐位的牵引方式可以减少颈椎与牵引床面接触面对牵引力及牵引效果的影响。本研究采用顶托受力的同时增加了多角度机械臂,压力及角度传感器的应用能够实现颈椎牵引角度和牵引力的实时监测、调节和控制。同时,本研究还增加了动态干扰电和温控设备,这样能够更好地集合多种有效的治疗措施,对无法耐受或无法参与长时间治疗的患者而言,缩短了患者的单次治疗时长,因而具有广阔的临床应用前景与市场价值。但本牵引器也有其局限性,在进行牵引力计算时无法精确测量患者头部的重量,只能按照人体头部占体重的百分比进行计算,从而导致牵引力的计算缺乏精确性,这是本颈椎牵引器的局限性,也是以后改进时需要解决的关键技术问题。

**利益冲突声明:** 本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明:** ①魏彦龙负责设计论文框架,起草论文;②牟玉庆负责牵引器的工学设计;

③于茜负责绘制图表;④胡权负责论文修改;⑤刘忠良负责拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿。

## 参考文献

- [1] Bellew J W, Thomas P, Nolan T P. Modalities for Therapeutic Intervention[M]. Sixth Edition. Philadelphia: F.A. Davis Company, 2016: 211-213.
- [2] Kjaer P, Kongsted A, Hartvigsen J, et al. National clinical guidelines for non-surgical treatment of patients with recent onset neck pain or cervical radiculopathy[J]. Eur Spine, 2017, 26(9): 2242-2257.
- [3] 中国康复医学会颈椎病专业委员会,上海市社区卫生协会脊柱专业委员会. 颈椎病牵引治疗专家共识[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2020, 30(12): 1136-1143.
- [4] Levangie P K, Norkin C C. Joint Structure and Function [M]. Fifth Edition. Philadelphia: F.A. Davis Company, 2011: 163-164.
- [5] Kraemer J. Intervertebral Disk Diseases [M]. 3rd edition. Stuttgart New York: F.A. Thieme, 2009: 90-92.
- [6] 刘治华, 汤清, 陶德岗, 等. 全颈椎三维有限元模型的建立及旋转牵引疗法研究[J]. 生物医学工程研究, 2018, 37(3): 362-366.
- [7] 刘治华, 许伟超, 张新民, 等. 颈椎 C2~7 三维有限元模型的建立与最优角度牵引仿真研究[J]. 郑州大学学报(医学版), 2016, 51(3): 359-366.
- [8] Vaughn H T, Having K M, Rogers J L. Radiographic analysis of intervertebral separation with a 0 degree and 30 degree rope angle using the Saunders cervical traction device[J]. Spine, 2006, 31(2): E39-43.
- [9] Hammond J M, Tarakji B, Frank C, et al. Traction load, tong position, and head support significantly influence cervical spine loading during traction[J]. Proc Inst Mech Eng H, 2020, 234(1): 110-117.
- [10] Ojoawo A O, Olabode A D. Comparative effectiveness of transverse oscillatory pressure and cervical traction in the management of cervical radiculopathy: a randomized controlled study[J]. Hong Kong Physiotherapy Journal, 2018, 38(2): 1-12.
- [11] XIAO L X, LIU C S, ZHONG S Z, et al. Effect of a traction exercise neck brace on cervical spondylopathy radiculopathy: a clinical study and finite element analysis[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2021. DOI: 10.1155/2021/8825150.
- [12] Romeo A, Vanti C, Boldrini V, et al. Cervical radiculopathy: effectiveness of adding traction to physical therapy—A systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Physical Therapy, 2018, 98(4): 231-242.

编辑: 刘静凯