

定制化3D打印中药填充助眠颈椎枕的设计

于海云¹, 张 静¹, 师 健², 刘雨潇², 欧阳凌甫¹, 刘跟莉^{1*}

¹黑龙江中医药大学第二临床医学院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江中医药大学第一临床医学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2026年8月21日; 录用日期: 2026年9月14日; 发布日期: 2026年9月21日

摘 要

目的: 针对颈椎不适与睡眠困扰人群的居家健康管理需求, 提出融合个性化支撑、可更换中药包与睡眠姿态监测的颈椎枕方案, 为后续研制与可用性评价提供设计依据。方法: 采用跨学科产品设计思路, 结合颈椎生理曲度、睡姿支撑需求和中医理论, 完成枕体分区、药包模块及柔性压力感知模块的功能规划; 利用模块化设计方法构建产品结构、使用流程和风险控制方案。结果: 形成由3D打印分区支撑枕体、可更换中药包、柔性压力感知模块和移动端交互模块构成的设计方案, 明确了各模块的结构关系、材料选择、使用流程及后续验证指标。结论: 该方案体现了护理需求、中医药健康管理、增材制造与柔性传感技术的交叉融合, 具有进一步开展制作、材料安全性试验、压力分布测试和用户可用性评价的研究价值。

关键词

3D打印, 颈椎枕, 中药药枕, 设计, 交叉学科

Design of a Customised 3D-Printed Cervical Pillow Filled with Traditional Chinese Medicine to Aid Sleep

Haiyun Yu¹, Jing Zhang¹, Jian Shi², Yuxiao Liu², Lingfu Ouyang¹, Genli Liu^{1*}

¹Second Clinical Medical College, Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

²First Clinical Medical College, Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

Received: August 21, 2026; accepted: September 14, 2026; published: September 21, 2026

Abstract

Objective: To address the home health management needs of individuals experiencing cervical

*通讯作者。

文章引用: 于海云, 张静, 师健, 刘雨潇, 欧阳凌甫, 刘跟莉. 定制化 3D 打印中药填充助眠颈椎枕的设计[J]. 交叉科学快报, 2026, 10(5): 1377-1385. DOI: 10.12677/isl.2026.105162

discomfort and sleep disturbances, this study proposes a cervical pillow design that integrates personalized support, replaceable traditional Chinese medicine pouches and sleep posture monitoring, thereby providing a design basis for subsequent development and usability evaluation. **Methods:** Adopting an interdisciplinary product design approach, and combining the physiological curvature of the cervical spine, sleep posture support requirements and the principles of Traditional Chinese Medicine diagnosis and treatment, we completed the functional planning for the pillow's zoned structure, herbal pouches and flexible pressure-sensing modules; utilizing a modular design methodology to establish the product structure, user workflow and risk control measures. **Results:** A design solution was developed consisting of a 3D-printed partition-supported pillow body, replaceable traditional Chinese medicine pouches, a flexible pressure-sensing module, and a mobile device interaction module. The structural relationships among the modules, material selection, usage procedures, and subsequent validation criteria were clearly defined. **Conclusion:** This approach embodies the convergence of nursing needs, traditional Chinese medicine health management, additive manufacturing, and flexible sensing technologies, and holds research value for further studies on fabrication, material safety testing, pressure distribution testing, and user usability evaluation.

Keywords

3D Printing, Cervical Pillow, Traditional Chinese Medicine Pillow, Design, Interdisciplinary Studies

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

颈椎病(cervical spondylosis, CS)是指颈椎椎间盘退行性改变及其继发的相邻结构病理改变累及周围组织结构(神经、血管等)并出现与影像学改变相应的临床表现的疾病[1]。据统计,全球颈椎病患者人数已达 9 亿[2]。我国颈椎病的患病率为 13.76% [3], 一项关于慢性躯体疼痛的患病率及特征的研究显示肩颈痛是排名第二的疼痛性疾病[4]。持续性颈部疼痛会显著干扰患者的入睡与睡眠维持。研究表明,慢性颈痛患者的失眠发生率显著高于普通人群,睡眠质量下降是其常见的伴随症状[5]。与此同时,睡眠障碍反过来又会加重颈椎病的病情[5]。以上相互加剧的负向关系与颈椎曲度的改变有关。目前的治疗方式有手术和非手术治疗,由于手术治疗存在风险高、并发症多等问题[6],多种非手术治疗方案为广大患者接受。然而,神经张力技术[7]、颈椎康复操[8]等非手术治疗方案仅着眼于临床症状的缓解,缺乏以矫正和恢复颈椎生理曲度为主的研究。因此,开发一种既能辅助矫正颈椎曲度、缓解颈部肌肉疲劳,又能改善睡眠质量的干预产品,具有重要的临床与现实意义。

颈椎枕作为一种非手术辅助治疗工具,通过睡眠期间维持颈椎生理曲线、放松颈肩部肌肉,在颈椎病的保守治疗中发挥着独特作用[9]。魏浩馨等将 3D 打印技术应用于颈椎矫治枕的研制,临床观察显示治疗 24 周后颈椎曲度 Borden 值显著提高,总有效率 88% [10]。传统中药枕多为“布包和药材”简单组合[11],没有辩证分型,药效释放不可控,而且与支撑结构分离。基于上述背景,本研究拟设计一款集个性化物理矫形、中药调理于一体的定制化 3D 打印中药助眠颈椎枕。该产品通过基于影像与体表数据的 3D 打印仿生点阵支撑、可更换中药缓释包及柔性电容式压力传感器三者的集成,为打破颈椎病和睡眠障碍的相互加剧的负向关系提供一种新的康复器材。以下将从主要结构、功能设计、使用建议方面进行系统阐述。

2. 主要结构

本产品由四大功能模块构成：3D 打印枕体、中药缓释包及容纳腔室、柔性电容式压力传感器、控制与通信模块(含手机 APP)，见图 1。

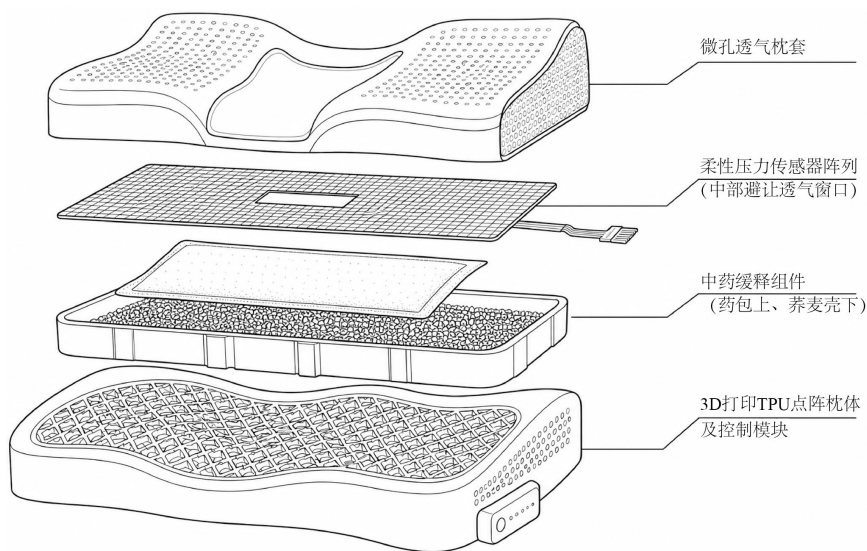


Figure 1. Schematic diagram of the layered structure of a 3D-printed, traditional Chinese medicine-filled cervical pillow for sleep aid
图 1. 3D 打印中药填充助眠颈椎枕分层组成示意图

2.1. 3D 打印枕体

枕体是产品的核心承力部件，采用医用级热塑性聚氨酯弹性体(TPU)为原料，通过选择性激光烧结(selective laser sintering, SLS)技术一体成型，打印精度 $\leq 0.1\text{ mm}$ 。枕体分为头枕区、颈枕区和侧卧区三个功能区域，见图 2。

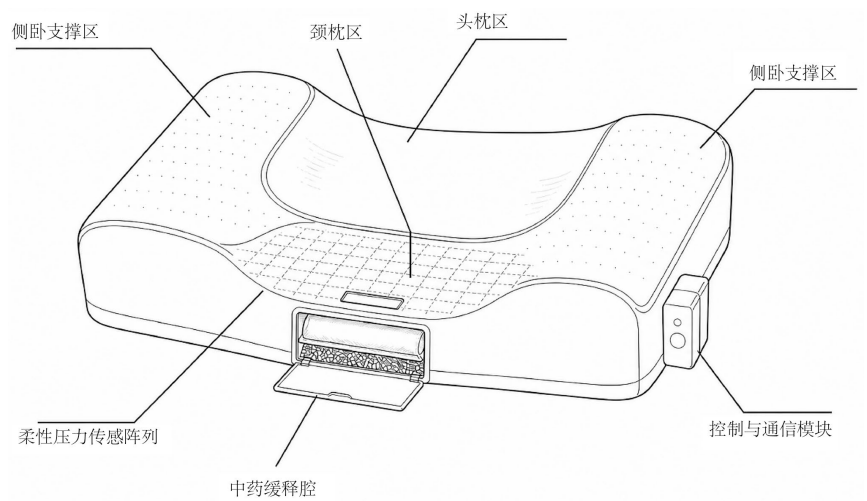


Figure 2. Schematic diagram of the overall appearance and structure of a 3D-printed cervical pillow filled with traditional Chinese medicine to aid sleep
图 2. 3D 打印中药填充助眠颈椎枕的整体外观结构示意图

颈枕区：位于枕体中央偏下位置，其曲面依据用户颈椎侧位 X 线片提取的 Borden 值进行个性化设计，形成与颈椎生理前凸相匹配的弧形隆起。该区域内部采用高密度仿生点阵结构，设计为蜂窝状，提供足够的支撑刚度，以维持睡眠时颈椎的正常曲度。

头枕区：位于颈枕区上方，用于承托枕骨。该区域点阵密度较低，质地柔软，可降低头部接触压力，避免局部压迫不适。

侧卧区：位于枕体两侧，高度较仰卧位区域增加约 2~3 cm，以满足侧卧时肩宽所需的支撑高度。侧卧区内部点阵呈梯度过渡，目标是辅助侧卧时维持头颈部与脊柱的中立位。

枕体表面根据人体头颈部曲面进行仿生曲面设计，拟使仰卧位时颈部支撑区域与个体颈椎曲度相适应，侧卧位时头部稳定于侧卧区凹槽内。

个性化枕体曲面拟由颈椎侧位 X 线片参数与头颈肩三维体表参数共同确定。首先对颈椎侧位 X 线片进行尺度校准，测量 Borden 值、C2~C7 曲度角及颈椎曲度最高点位置，用于判断颈椎生理前凸的程度和形态。同时通过三维体表扫描获取颈后长度、枕骨宽度、颈部宽度和肩宽等参数。Borden 值不直接等比例转换为枕体高度，而是与 C2~C7 曲度角及体表参数共同用于调整颈枕区的高度、曲率和最高点位置。Borden 值较小时采用相对平缓的支撑曲面；处于正常范围时，根据个体颈椎曲线生成相应弧度；数值较大时适当限制枕体高度，避免过度支撑。在此基础上，依据颈后长度确定颈枕区的前后尺寸，根据枕骨和颈部宽度确定中央承托范围，并结合肩宽调整侧卧区高度。各区域通过平滑曲面连接，再配置不同密度的点阵结构，最终生成用于 3D 打印的枕体模型。

2.2. 中药缓释系统

采用基础填充层和辨证添加药包的双层结构，集成于枕体内部，位于头枕区与颈枕区之间的夹层位置。

基础填充层：位于枕体底部，厚度约 2~3 cm，均匀铺放。该层由荞麦壳构成。

辨证添加药包：在基础填充层的上方(贴近颈部一侧)预留模块化腔室(尺寸为 10 cm × 6 cm × 2 cm)，用于放置可更换的中药添加方药包。腔室开口朝向颈部，覆以微孔透气面料(孔径 0.2~0.5 mm)，使药物挥发性成分具备经面料释放的结构条件；其释放特征、暴露剂量及安全性需进一步试验评价。药包采用独立封装，初步设定更换周期为 3 个月，并根据后续挥发性成分释放试验结果调整，到期后可自行更换。

拟设置 5 类候选添加方药包，见表 1，分别针对不同证型的失眠合并颈椎病患者。

Table 1. Composition and therapeutic effects of prescriptions for different traditional Chinese medicine syndromes
表 1. 针对不同中医证型的处方组成和功效

证候病机	药物组成	功效
肝郁血瘀证	玫瑰花 6 g、桂花 4 g、乳香 6 g、川芎 12 g、桃仁 8 g、合欢花 8 g	疏肝理气、活血化瘀
心肾不交证	合欢花 8 g、薰衣草 6 g、肉桂 4 g、杜仲 12 g、山茱萸 10 g、丹参 10 g	交通心肾、滋补肝肾
气血两虚证	黄芪 8 g、当归 6 g、龙眼肉 5 g、羌活 8 g、桂枝 6 g、辛夷花 4 g	益气养血、祛风散寒
痰湿阻络证	藿香 6 g、佩兰 6 g、石菖蒲 6 g、茯苓 15 g、陈皮 6 g、法半夏 8 g	化痰祛湿、芳香化浊
阳虚寒凝证	艾叶 8 g、肉桂 5 g、生姜 6 g、丁香 3 g、独活 10 g、细辛 4 g	温阳散寒、通络止痛

2.3. 柔性电容式压力传感器

为实现睡眠姿态与颈部压力分布的实时监测，在枕头内部集成柔性电容式压力传感器，见图 3。传感器采用三明治结构：上下电极为柔性银电极(Ag)，通过丝网印刷工艺印制于透明 PET 基底上，经 80℃加

热固化成型；中间层为 TPU 与离子液体复合的离子弹性体介电层。当外部压力施加于传感器时，离子弹性体中的阳离子与阴离子发生再分布，与电极表面的自由电荷相互作用，形成电双层电容(EDL)效应，从而产生可测量的电容变化。该结构使传感器压力范围(0~200 kPa)内保持良好的线性响应，目标响应时间小于 50 ms，可快速感知头颈部的压力变化。

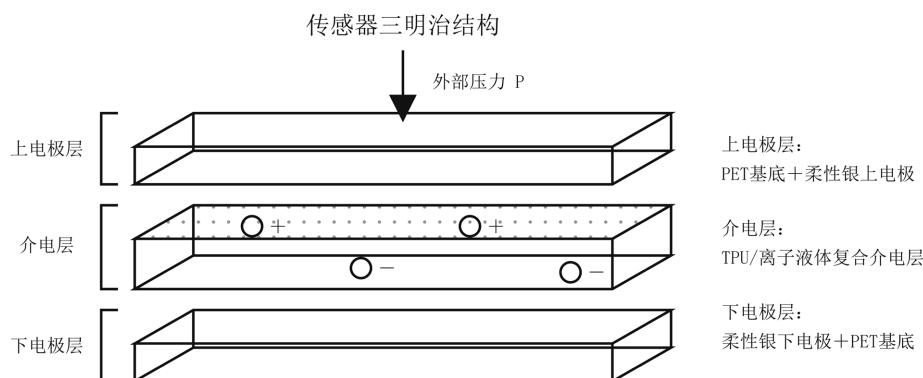


Figure 3. Schematic diagram of a flexible capacitive pressure sensor
图 3. 柔性电容式压力传感器结构示意图

2.4. 控制与通信模块

控制模块集成于枕体一侧的微型防水盒内(尺寸约 5 cm × 3 cm × 1.5 cm), 包含低功耗微控制器(MCU)、通信芯片和信号调理电路。传感器信号经 MCU 处理后，通过蓝牙传输至用户手机 APP。APP 可实时显示压力分布热力图、翻身次数、睡眠姿态占比等数据，并在检测到长时间同一姿势或异常高压时发出预警提醒。

控制与通信模块采用分级采样和事件触发式传输策略。用户离枕时，系统进入低功耗待机状态；检测到有效压力后唤醒传感器扫描、信号处理及蓝牙通信模块。压力数据优先在本地进行滤波、特征提取和睡姿判断，仅按设定时间间隔向手机端上传统计结果；发生翻身、持续高压或异常状态时再提高采样及传输频率，从而减少蓝牙持续通信造成的能耗。采用本策略可以减少系统功耗和提升整个系统的续航能力。

系统按照数据最小化原则进行设计。枕端仅保存设备编号、传感器校准参数及必要的短时压力数据，不保存用户私密信息；个性化建模数据与设备运行数据分离存储，并通过随机用户编码建立关联，确保系统的数据安全性。

2.5. 材料选择

所有材料均需满足生物相容性及安全标准，按部件分类如下。

2.5.1. 枕体材料

TPU-92A: 医用级热塑性聚氨酯弹性体，邵氏硬度 92A，断裂伸长率 $\geq 500\%$ ，熔点 160℃，已通过细胞毒性及皮肤刺激测试[10]。该材料具有良好的弹性、耐用性和生物相容性，适用于选择性激光烧结打印工艺。

2.5.2. 中药缓释系统材料

(1) 基础填充物：荞麦壳。荞麦壳具有透气性与塑形性的作用[12]，需要经过清洗、干燥、过筛(粒径 2~5 mm)处理。

(2) 辨证添加方药材：见表 1 中各药物。所有药材需经粗粉碎(粒径 2~5 mm，避免成粉漏出)，混合均匀后封装。

(3) 药包封装材料：医用无纺布(聚丙烯)，透气孔径 0.2~0.5 mm，超声波封口，耐热耐湿。

(4) 透气面料：微孔聚酯纤维布，孔径 0.2~0.5 mm，覆盖于腔室开口处，固定于枕体。

2.5.3. 传感器材料

(1) 电极材料：上下电极由导电性优异的柔性银电极制成，一次性进行丝网印刷和模塑。

(2) 上下基材：采用透明 PET，具有良好的化学稳定性和热稳定性。

(3) 中间夹层材料：采用高灵敏度离子弹性体材料，通过电双层电容器电容的变化实现对外力的检测 [13]。

2.5.4. 控制模块材料

外壳：食品级 ABS 塑料，IP44 级防水。

3. 主要功能

本产品围绕“物理矫形、中药调理、智能监测”的设计理念，主要具备以下三大功能，见图 4。

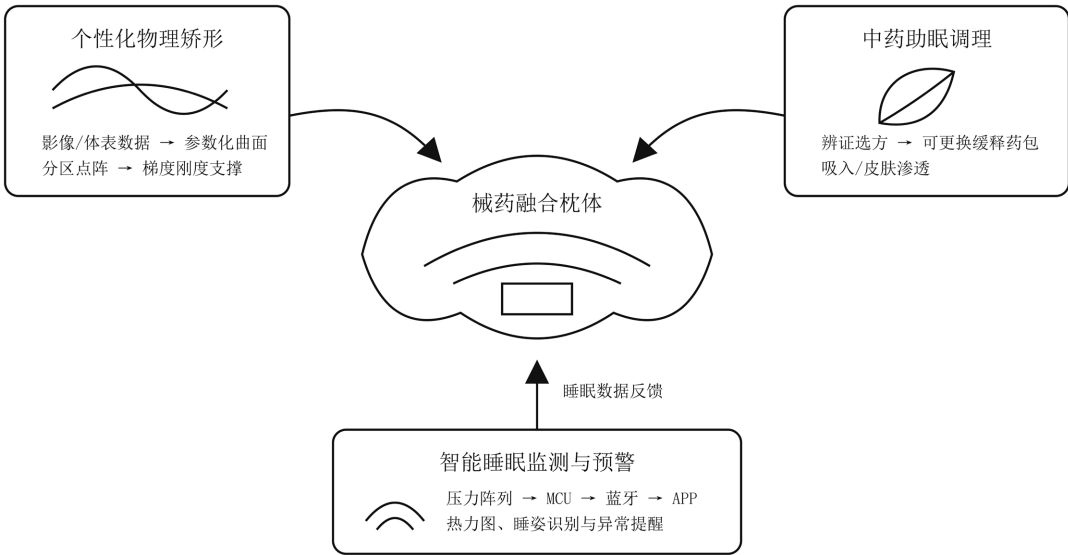


Figure 4. Schematic diagram of the functional framework of a 3D-printed cervical pillow filled with traditional Chinese medicine to aid sleep
图 4. 3D 打印中药填充助眠颈椎枕的功能框架示意图

3.1. 个性化物理矫形功能

本功能基于用户颈椎影像数据与三维体表扫描信息，通过 3D 打印技术实现枕体的个性化定制。与市面普通颈椎枕仅提供 S、M、L 尺寸选择不同，本产品的颈枕区曲面依据用户颈椎侧位 X 线片提取的 Borden 值进行参数化设计，使枕体弧度与个体颈椎生理前凸高度个性化匹配。

枕体内部的仿生点阵结构实现了分区刚度调节：颈枕区采用高密度蜂窝点阵，提供足够支撑力以维持睡眠时颈椎的正常曲度；头枕区点阵密度较低，质地柔软，降低枕骨区域接触压力；侧卧区点阵呈梯度过渡，适应侧卧时肩宽所需的支撑高度。这种“功能定制”模式从“尺寸适配”跃迁为“力学适配”，旨在满足仰卧位与侧卧位不同睡姿下的差异化支撑需求。

3.2. 中药助眠调理功能

本产品将治疗颈椎病的通络、活血、祛湿等药物与治疗失眠的安神、解郁、补虚等方剂进行整合，形成 5 类辨证添加方，分别针对肝郁血瘀型、心肾不交型、气血两虚型、痰湿阻络型、阳虚寒凝型等不同证型的失眠合并颈椎病患者。

药包采用基础填充层与辨证添加药包的双层结构。基础填充层的填充物是荞麦壳；辨证添加药包置于贴近颈部的腔室内，药物挥发成分经呼吸道吸入与颈部皮肤渗透双通道发挥作用[14]。药包为独立封装，拟实现每 3 个月更换一次，最终周期需依据后续稳定性与安全性试验确定，用户可根据体质改变或季节变化选择不同证型的药包，实现“因人而异、因时制宜”的持续调理。

3.3. 智能睡眠监测与预警功能

集成于枕体表面的柔性电容式压力传感器阵列，设计目标是在用户睡眠过程中采集头颈部各区域的压力分布数据。传感器厚度小于 0.5 mm，无缝贴合枕体曲面，不影响睡眠舒适度。数据经控制模块处理后，通过蓝牙传输至手机 APP，生成可视化的压力分布热力图及睡眠姿态分析报告。

APP 拟通过后续算法开发识别仰卧、左侧卧、右侧卧等睡眠姿态，统计各姿态时长与占比、翻身次数等指标。当检测到某一区域持续受压时间过长或颈部压力异常升高时，APP 主动推送预警提醒，建议用户调整睡姿。这一功能有助于预防因长时间固定姿势导致的颈部肌肉疲劳加重，同时为用户提供客观的睡眠质量评估数据，辅助用户了解自身的睡眠习惯并做出针对性调整。

传感器阵列以固定频率采集各通道电容信号，并转换为压力值，按照传感器空间位置重构为二维压力矩阵。根据压力矩阵提取相关特征，采用支持向量机(support vector machine, SVM)对仰卧、左侧卧、右侧卧及离枕状态进行分类。选择 SVM 主要考虑其适用于样本量较小、特征维度相对较高的早期研究场景。待数据量扩大后，可进一步采用轻量级卷积神经网络，以二维压力图谱为输入，通过卷积层、池化层和全连接层自动提取空间分布特征。

3.4. 功能整合优势

上述三大功能并非简单叠加，而是通过一体化设计实现协同增效。物理矫形功能在睡眠中持续维持颈椎正常曲度，为颈部肌肉提供放松条件；中药调理功能通过整夜缓释发挥安神助眠与通络止痛的双重作用；智能监测功能则记录用户的睡眠行为数据，为药包更换时机选择及睡姿习惯改善提供数据支撑。三者的有机结合，使产品具备由单一睡眠支撑工具向睡眠健康管理终端拓展的可能。

4. 使用建议

4.1. 用户数据采集

用户需在合作医疗机构或体验中心完成以下数据采集：(1) 颈椎侧位 X 线片，用于提取 Borden 值及 C2-C7 夹角用来判断颈椎曲度的参数；(2) 三维体表光学扫描，获取头颈部及肩部表面形态数据；(3) 进行中医体质辨识分型。上述数据将作为个性化枕体建模与中药添加方选型的依据。

4.2. 日常使用的建议

4.2.1. 枕体摆放与睡姿

用户采取仰卧位睡姿，将头部置于枕体中央，确保 C4-C5 节段恰好位于颈枕区最高点，头部自然贴合头枕区凹陷处。侧卧位时，将头部移至侧卧区，使颈椎与胸椎保持一直线。初次使用时，建议从每天 2~3 小时开始，逐渐延长至整个睡眠过程，以使颈部肌肉逐步适应新的支撑形态。

4.2.2. 中药包的安装与更换

打开枕体背面的腔室盖板，将辨证添加方药包平整放入腔室内，确保透气面朝向颈部，关闭盖板。药包建议暂按每 3 个月更换一次，最终周期需依据后续稳定性与安全性试验确定，具体更换周期可根据药物气味浓度变化或个人感受调整。如季节交替或体质发生变化，可咨询医师调整药包证型。

4.2.3. 传感器与 APP 连接

用户扫描产品说明书中的二维码，下载配套手机 APP，通过蓝牙完成设备配对。APP 首页显示实时压力分布图及睡眠分析。建议每周查看 APP 生成的睡眠报告，了解翻身频率、各睡姿时长占比及压力异常时段等数据。当 APP 推送预警提醒时，建议及时调整睡姿或咨询专业人员。

4.3. 注意事项

(1) 对配方中任何中药成分过敏者禁用，初次使用前可先嗅闻药包气味进行过敏测试，如有不适立即停用。(2) 孕妇、婴幼儿及严重心肺功能不全者禁用。(3) 严重颈椎病(如脊髓型颈椎病)或颈椎术后患者，需在医师指导下使用。(4) 枕体表面可用湿布擦拭清洁，不可水浸或暴晒；中药包不可以水洗，到期后按生活垃圾处理。(5) 本产品为辅助康复器具，不能替代药物或专业治疗，如症状加重应及时就医。

5. 小结

本研究针对颈椎病与睡眠障碍共病的临床痛点，设计了一款集个性化物理矫形、中药调理与智能睡眠监测于一体的定制化 3D 打印中药助眠颈椎枕。该产品基于用户颈椎影像与三维体表扫描数据，采用 3D 打印技术构建仿生点阵分区支撑结构，实现头、颈、肩分区的刚度梯度调节与颈椎生理曲度的精准维持；依据设计 5 类可更换中药添加方，挥发性成分拟通过呼吸道吸入与皮肤渗透双通道持续发挥安神助眠、通络止痛作用[15]；集成柔性电容式压力传感器实时监测头颈部压力分布与睡眠姿态，通过手机 APP 实现异常预警与健康数据管理。该设计为颈椎病与睡眠障碍的居家非药物干预提供了新的技术方案。该方案面向家庭环境下的长期健康管理场景，但其接受度及风险仍需通过产品和用户研究评价。目前本研究仅完成功能结构设计，尚未制作实物，也未开展性能、药物释放、人体可用性或临床效果验证。后续研究将会依次开展产品制作、材料与电气安全测试、压力分布测试、药包稳定性评价及小样本用户可用性研究；在满足伦理和医疗器械相关要求后，再评估临床应用的可行性。

基金项目

黑龙江中医药大学研究生创新创业项目(项目编号：YCYYB2025004)。

参考文献

- [1] 中华外科杂志编辑部. 颈椎病的分型、诊断及非手术治疗专家共识(2018) [J]. 中华外科杂志, 2018, 56(6): 401-402.
- [2] Chu, H., Hu, J., Sun, K., Song, Y., Long, X. and Li, N. (2017) Clinical Practice Guidelines of Acupuncture-Moxibustion for Cervical Spondylotic Radiculopathy. *World Journal of Acupuncture—Moxibustion*, 27, 3-11. [https://doi.org/10.1016/s1003-5257\(17\)30091-0](https://doi.org/10.1016/s1003-5257(17)30091-0)
- [3] Lv, Y., Tian, W., Chen, D., Liu, Y., Wang, L. and Duan, F. (2018) The Prevalence and Associated Factors of Symptomatic Cervical Spondylosis in Chinese Adults: A Community-Based Cross-Sectional Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19, Article No. 325. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2234-0>
- [4] Chen, B., Li, L., Donovan, C., Gao, Y., Ali, G., Jiang, Y., *et al.* (2016) Prevalence and Characteristics of Chronic Body Pain in China: A National Study. *SpringerPlus*, 5, Article No. 938. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2581-y>
- [5] Valenza, M.C., Valenza, G., González-Jiménez, E., De-la-Llave-Rincón, A.I., Arroyo-Morales, M. and Fernández-de-las-Peñas, C. (2012) Alteration in Sleep Quality in Patients with Mechanical Insidious Neck Pain and Whiplash-

- Associated Neck Pain. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **91**, 584-591.
<https://doi.org/10.1097/phm.0b013e31823c757c>
- [6] Cho, S.K., Kim, J.S., Overley, S.C. and Merrill, R.K. (2018) Cervical Laminoplasty: Indications, Surgical Considerations, and Clinical Outcomes. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, **26**, e142-e152.
<https://doi.org/10.5435/jaaos-d-16-00242>
- [7] Fernández-Carnero, J., Sierra-Silvestre, E., Beltran-Alacreu, H., Gil-Martínez, A. and La Touche, R. (2019) Neural Tension Technique Improves Immediate Conditioned Pain Modulation in Patients with Chronic Neck Pain: A Randomized Clinical Trial. *Pain Medicine*, **20**, 1227-1235. <https://doi.org/10.1093/pm/pny115>
- [8] 李秀东, 李磊, 白海军, 等. 颈椎康复操对颈椎病患者康复训练效果的影响[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(12): 1183-1185.
- [9] 杨云霄, 侯俞彤, 黄承兰, 等. 颈椎枕的研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2024, 32(3): 249-253.
- [10] 魏浩馨, 王彩萍, 邓迁, 等. 3D 打印个性化颈椎矫治枕的设计与临床应用[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(36): 5741-5746.
- [11] 夏继春, 刘洪才. 中药枕治疗颈椎病 157 例[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2012, 20(10): 59.
- [12] 覃海兵, 李勇, 陈雪宇, 等. 针刺联合颈部垫枕与项肌锻炼治疗颈型颈椎病伴生理曲度反弓的研究[J]. 现代中西医结合杂志, 2022, 31(22): 3175-3179.
- [13] Shao, Z., Wang, H., Chen, Q., Zhou, Q., Jin, M., Wang, S., *et al.* (2025) Graded Anthropomorphic Pain Perception Electronic Skin. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **251**, Article ID: 114635.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2025.114635>
- [14] 徐新宇, 陈果, 白惠敏, 等. 药枕治疗神经根型颈椎病的研究进展[J]. 中医正骨, 2018, 30(9): 57-58.
- [15] 李洁, 张岩, 蔡艳芳, 等. 《老老恒言》起居用具之枕的养生价值探析[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(7): 3723-3725.