

# 儿童马蹄内翻足矫形器生物力学特性研究现状和发展趋势

贾文慧<sup>1</sup>, 王淑婷<sup>1</sup>, 张雪玲<sup>1</sup>, 张凯璐<sup>1</sup>, 胡彬彬<sup>2</sup>, 李佳<sup>1\*</sup>, 任武<sup>1</sup>

<sup>1</sup>新乡医学院, 医学工程学院, 河南省神经传感与控制工程技术研究中心, 新乡市智能康复设备工程技术研究中心, 河南 新乡

<sup>2</sup>上海邑成测试设备有限公司, 上海

收稿日期: 2022年4月14日; 录用日期: 2022年7月8日; 发布日期: 2022年7月15日

## 摘要

马蹄内翻足是常见的小儿足部畸形。矫形器在治疗儿童马蹄内翻足的过程中有着至关重要的作用。本文以儿童马蹄内翻足矫形器为研究对象, 总结并且阐述儿童马蹄内翻足矫形器生物力学特性的研究现状, 展望其发展趋势, 为儿童马蹄内翻足的产生、防治、治疗和康复提供理论参考。

## 关键词

马蹄内翻足, 矫形器, 力学, 发展趋势

# Research Status and Development Trend of Biomechanical Characteristics of Children's Horseshoe Varus Foot Orthosis

Wenhui Jia<sup>1</sup>, Shuting Wang<sup>1</sup>, Xueling Zhang<sup>1</sup>, Kailu Zhang<sup>1</sup>, Binbin Hu<sup>2</sup>, Jia Li<sup>1\*</sup>, Wu Ren<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Xinxiang Medical University, College of Medical Engineering, Engineering Technology Research Center of Neurosense and Control of Henan Province, Xinxiang Engineering Technology Research Center of Intelligent Rehabilitation Equipment, Xinxiang Henan

<sup>2</sup>Shanghai Integrated System Technology Co., Ltd., Shanghai

Received: Apr. 14<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jul. 8<sup>th</sup>, 2022; published: Jul. 15<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Horseshoe varus is a common pediatric foot deformity. Orthoses have a vital role in the treatment

\*通讯作者。

文章引用: 贾文慧, 王淑婷, 张雪玲, 张凯璐, 胡彬彬, 李佳, 任武. 儿童马蹄内翻足矫形器生物力学特性研究现状和发展趋势[J]. 生物医学, 2022, 12(3): 247-252. DOI: 10.12677/hjbm.2022.123030

of children's horseshoe varus foot process. This paper takes the children's horseshoe varus foot orthoses as the research object, summarizes and elaborates the research status of the biomechanical characteristics of children's horseshoe varus foot orthoses, looks forward to its development trend, and provides theoretical reference for the generation, prevention, treatment and rehabilitation of children's horseshoe varus feet.

## Keywords

Horseshoe Varus Foot, Orthosis, Mechanics, Development Trend

Copyright © 2022 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

足部支撑着下肢的运动, 在日常生活中有助于分担身体的重量, 在身体运动时起到缓冲和吸收冲击的重要作用。一旦足部的形态发生改变, 其各种功能势必有一定损伤, 并且影响人体的日常活动, 降低人们的生活质量。马蹄内翻足是一种常见的少儿足部疾病。马蹄内翻足根据发病原因可分为先天性、后天性, 先天性马蹄内翻足出生后即可发现畸形; 后天性马蹄内翻足一般可由脑瘫、脊柱裂、外伤等疾病引起。马蹄内翻足矫形器作为以恢复患者足踝畸形为目的的矫正支具, 能够根据患儿足踝部的解剖结构特点(见图 1)治疗畸形, 为患者极大地减轻了足部疾病带来的生活负担和家庭负担, 矫形器对马蹄内翻足的治疗具有重要意义[1]。

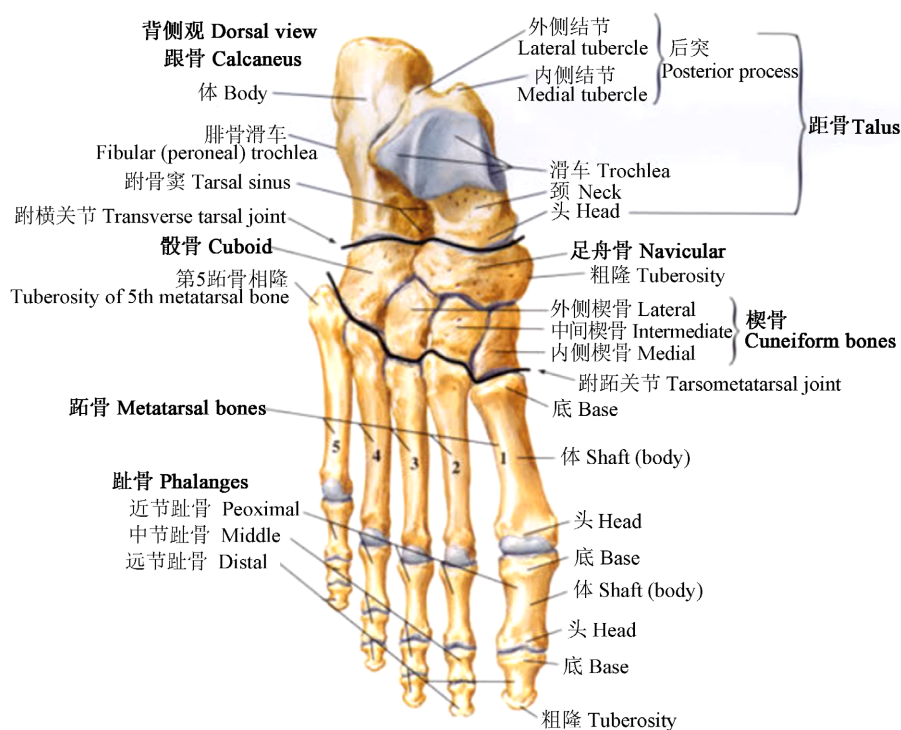


Figure 1. General foot structure diagram

图 1. 一般足部结构图

本文基于生物力学特性重点阐述马蹄内翻足矫形器的康复功能, 展望其发展趋势, 希望能够为该疾病的临床治疗提供信息, 可以为患者提供较好的治疗基础。

## 2. 马蹄内翻足的生物力学研究

生物力学是运用物理学的经典力学原理, 对人体的骨骼、肌肉、神经进行分析和研究, 揭示他们之间的相互关系和运动特性, 在探究马蹄内翻足病因的产生机制、预防以及矫正畸形方面具有重要作用。

马蹄内翻足的形成主要由于足部肌力不平衡所致, 肌肉的不平衡久而久之就会形成骨关节畸形, 患者足踝畸形使得足踝部的解剖结构和生物力学发生复杂的变化, 这导致医师难以剖析和治疗马蹄内翻足导致的足部畸形, 患者的康复变得极为困难。

通过马蹄内翻足患儿 X 线摄片(见图 2)观察到马蹄内翻足其力学特点有: 1) 尖足, 2) 前足内收, 后旋, 3) 足跟内翻。



Figure 2. Clubfoot X-ray film  
图 2. 马蹄内翻足 X 线摄片

目前已有学者通过对患者足部的骨骼、肌肉、韧带进行生物力学分析, 建立踝关节三维有限模型分析马蹄内翻足的复位过程, 观察到距舟关节逐渐复位的过程中, 跟骨在距下发生的一个外展运动可使得跟骨向外的位移随足舟骨处施加拉力的增加而呈线性增加。跟腱拉力的释放增加了距舟关节内侧韧带受力, 即腱松解有利于跟骨的复位[2]。若在足踝部畸形的前提下负重会导致畸形更加严重, 一般可采用胫骨前肌外移术[3]、Ponseti 治疗方法进行矫正[4] [5], 但畸形复发仍是常见问题, 配合矫形支具可以降低复发率。

## 3. 马蹄内翻足矫形器的康复功能

马蹄内翻足的治疗原则是越早越好, 治疗方法包括非手术疗法与手术疗法, 人们普遍认为, 马蹄内翻足的初始治疗应是非手术治疗, 能保留完整足部的正常生理结构, 后期并发症少, 保证了患者足部肌肉、骨骼和关节的正常发育。矫形支具不仅是非手术治疗马蹄内翻足的有效方法, 早期使用能够更好地控制疾病的发展。

由于马蹄内翻足病因复杂, 在引用生物力学分析治疗时, 要多方面考虑治疗重点。先天性马蹄内翻足内侧纵弓矫形过程中要尽量避免应力集中和足弓的背屈变形; 脑瘫马蹄内翻足早期降低肌张力; 神经源性马蹄内翻足尽早处理脊髓神经病变。足部通过矫形器的多个局部外加压力点[6], 实现足部与矫形器结合, 分担作用与矫形器、足跟、脚掌、踝关节等部位的受力, 可以大大减轻患处单独承受压力的情况, 可以达到减轻马蹄内翻足畸形的效果, 同时, 可调节矫形支具有利于马蹄内翻足患儿肌力和关节活动度的恢复[7], 矫形器是医师为保证矫正效果、预防复发的采取的重要措施[8]。此外, 支具

佩戴时间是整个治疗过程中的关键因素。不依从性会导致支具佩戴时间不足，佩戴不当的支具会增加复发的风险[9] [10] [11]。

总之通过马蹄内翻足矫形器的矫正，能够改善患者畸形、恢复患足跖面负重，纠正下肢力线及异常步态，预防继发性骨关节退变。虽然足部矫形能够通过佩戴支具得到明显改善，但马蹄内翻足引起的下肢畸形仍然需要患者持续锻炼得到改善。

#### 4. 马蹄内翻足矫形器的发展趋势

在医疗技术现代化进程中，矫形支具种类繁多，市面上主流产品大都是国外公司研发设计的，在发展过程中有以下几种效果较好的矫形器：1) 新型动态足外展矫形器，该产品可使每条腿自主进行屈曲和伸展，在保持足部必要的外旋的同时进行拉伸[12]。2) Denis Browne 夹板(见图 3)，佩戴该产品可以避免马蹄内翻足复发[13]。3) Mitchell-Ponseti 支架，该支具包括一个可拆卸的鞋和柔软的硅胶嵌件，带有皮革支撑和三条皮革表带[14]。



Figure 3. Denis Browne brace  
图 3. Denis Browne 支具

目前，马蹄内翻足矫形器的研究逐渐发展起来。3D 打印是计算机辅助制造(CAM)的一种形式，使用分层、叠加的方式逐层添加材料、制作型体，构建完整的模型实体[15]，准确、直观地反映儿童复杂足部畸形的立体形态和解剖结构的空间关系[16] [17]，从而可以根据患者运动时足底各局部压力分布，使用 3D 打印技术制作出能正常在足底分布压力的支具，实现矫正马蹄内翻足的目标。结合数字化测量能够满足不同马蹄内翻足患者对矫形器功能的要求，即可通过个性化定制矫形支具[18] [19]。这种 3D 打印的支具与患儿足部贴合更好，穿戴更加舒适，提升患儿治疗期间的舒适性和依从性，避免了因患儿达到耐受极限导致治理中断或终止情况的发生。

但是在国内，关于马蹄内翻足矫形支具的市场仍不明朗，并且在目前的临床治疗中，矫形师仅按照临床经验确定治疗方案的细节和原则，缺少理论性的指导，这对治疗效果是有限性的。马蹄内翻足患者多为青少年，矫形支具外观多为单一、粗糙，由研究数据表明外观设计影响患者的支具佩戴时间，因此为患者个性化定制支具外观可普遍增加患者佩戴时长。针对功能特性，马蹄内翻足的病因复杂，不同发病原因导致的马蹄内翻足有其特别的畸形表现和病理特点[20]，为保证治疗效果，针对每位患者的病因、并发症、病情的特定表现需要为其定制不同的治疗方案。综上，为每位患者提供个性化的支具方案是一种切实可行的发展。

#### 5. 展望与讨论

本文在马蹄内翻足的生物力学特性研究基础上，阐述了马蹄内翻足矫形器发展趋势，重点阐述了马

蹄内翻足矫形器的康复功能。目前,国内马蹄内翻足矫形支具的提升发展仍有很大空间,随着3D打印技术的发展,可以预见个性化矫形器的功能、特点变得不断成熟和完善。在其他方面,例如可以增加支具佩戴的便携性与舒适性,考虑外观的设计性。相信随着科技的不断进展和患者的需求提升,国内马蹄内翻足矫形支具的多功能性会不断得到提升和发展。在治疗阶段,马蹄内翻足患者尽可能选择在最佳治疗时机进行,一般越早越好治疗;应重视足部功能的康复,而不是单纯追求外观和影像学效果;马蹄内翻足康复过程中需遵循一定的治疗原则,最好根据患者足部状态个性化定制马蹄内翻足矫形器,使用恰当的康复方案;在治疗后,医院需正规随访。以上方案可以在提高矫形支具的治疗效果的同时,减少畸形复发及并发症的发生。

## 基金项目

- 1) 河南省科技攻关项目:基于多柔体动力学特性的智能化移位机研究和样机研制(222102310063);
- 2) 河南省高等学校青年骨干教师培养计划(2021GGJS102);
- 3) 河南省教育科学规划课题“新医科”+“新工科”视域下医学工程类专业虚拟仿真实验教学平台构建研究(2021YB0164);
- 4) 河南省高校国家级和省级大学生创新创业训练计划项目(202110472016X; S202110472034X);
- 5) 新乡医学教育教学改革研究项目(2021-XYJG-45);
- 6) 新乡医学院大学生科研创新课题(xyxskeyz202149; xyxskeyz202150)。

## 参考文献

- [1] 章耀华, 杨华清, 李强, 刘晓磊, 杨云. 可调节支具结合康复治疗婴幼儿先天性马蹄内翻足的临床观察[J]. 中国临床医生杂志, 2019, 47(8): 962-963.
- [2] 杨璇, 张菁, 陈珽, 范清, 陶凯. 手法复位先天性马蹄内翻足过程中的力学变化[J]. 临床骨科杂志, 2010, 13(3): 323-326.
- [3] 李敬春, 徐宏文, 荀福兴, 于凌佳, 黎艺强, 雍碧城, 袁哲. 先天性马蹄内翻足胫前肌外移前后三维步态分析[J]. 临床小儿外科杂志, 2016, 15(6): 544-547.
- [4] 孙洪岩, 赵振群, 刘万林. Ponseti 方法治疗先天性马蹄内翻足研究进展[J]. 内蒙古医学杂志, 2022, 54(2): 190-192, 197.
- [5] 韦敏荣. Ponseti 法治疗早期先天性马蹄内翻足患儿的疗效观察[J]. 中国社区医师, 2019, 35(18): 53.
- [6] 许琼芳. 马蹄内翻足矫形器的生物力学分析[J]. 今日健康, 2014, 13(9): 6-7.
- [7] 曾得明, 谢韶东, 程南方, 黄菲. 可调节足靴穿戴固定、肌内效贴贴敷与常规手法联合应用治疗先天性马蹄内翻足临床观察[J]. 山东医药, 2019, 59(27): 83-85.
- [8] 杨华清, 章耀华, 李强, 张洪剑, 刘晓磊. 可调节支具在婴幼儿先天性马蹄内翻足治疗中的应用研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(19): 1814-1816.
- [9] Dobbs, M.B., Rudzki, J.R., Purcell, D.B., Walton, T., Porter, K.R. and Gurnett, C.A. (2004) Factors Predictive of Outcome after Use of the Ponseti Method for the Treatment of Idiopathic Clubfeet. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, **86**, 22-27. <https://doi.org/10.2106/00004623-200401000-00005>
- [10] Abdelgawad, A.A., Lehman, W.B., van Bosse, H.J., Scher, D.M. and Sala, D.A. (2007) Treatment of Idiopathic Clubfoot Using the Ponseti Method: Minimum 2-Year Follow-Up. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, **16**, 98-105. <https://doi.org/10.1097/BPB.0b013e32801048bb>
- [11] Morcuende, J.A., Dolan, L.A., Dietz, F.R. and Ponseti, I.V. (2004) Radical Reduction in the Rate of Extensive Corrective Surgery for Clubfoot Using the Ponseti Method. *Pediatrics*, **113**, 376-380. <https://doi.org/10.1542/peds.113.2.376>
- [12] Chen, R.C., Gordon, J.E., Luhmann, S.J., Schoenecker, P.L. and Dobbs, M.B. (2007) A New Dynamic Foot Abduction Orthosis for Clubfoot Treatment. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, **27**, 522-528. <https://doi.org/10.1097/bpo.0b013e318070cc19>
- [13] Ponseti, I.V. and Smoley, E.N. (2009) The Classic: Congenital Club Foot: The Results of Treatment. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **467**, 1133-1145. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-0720-2>
- [14] Staheli, L. (2009) Clubfoot: Ponseti Management. 3rd Edition, Global Help, Seattle.
- [15] 王赞, 王浩, 李德玲, 石国宏, 王金武. 数字光处理生物 3D 打印技术在医学上的应用发展[J]. 数字印刷,

- 2022(2): 14-22.
- [16] 南国新. 儿童足踝畸形诊治中 3D 打印技术的应用[J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(4): 245-247.
- [17] 李涛, 史强, 李旭, 等. 数字化三维重建与快速成型技术在复杂性马蹄内翻足的应用[J]. 中国数字医学, 2014(8): 87-88.
- [18] 刘伟, 李飞, 李璐兵, 王雪, 王成伟. 数字化软件测量僵硬性马蹄内翻足相关骨标志性指标的可靠和准确[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(6): 886-888.
- [19] 李飞, 李璐兵, 郑辉, 王雪, 曹明宇, 王成伟. 数字化三维重建技术在成人僵硬性马蹄内翻足手术中的应用[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2021, 14(7): 611-615, 631.
- [20] 杨华清, 张鸿悦, 章耀华, 等. 马蹄内翻足的分类及外科治疗策略[J]. 中国临床医生杂志, 2021, 49(8): 883-886.