

·专家笔谈·

儿童足踝畸形诊治中 3D 打印技术的应用

南国新

3D 打印技术又称快速成型技术或增材制造技术,在医学领域通常以 CT 或 MRI 等影像学数据为基础,构建计算机数字化模型文件,运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过逐层打印并叠加不同形状连续层方式,构造三维物体。近年来其在骨科、口腔颌面外科、心脏外科、神经外科等领域的应用越来越广泛。儿童足踝是一个复杂的解剖器官,涉及很多骨、关节、肌肉、韧带及肌腱等结构。儿童足踝畸形使得原本复杂的足踝部结构及生物力学发生了很多改变,导致对儿童足踝畸形的理解及治疗变得困难重重。目前在儿童足踝畸形的诊治上,3D 打印技术主要用于辅助制定治疗方案、打印精细骨科内置物以及制作个性化足踝矫形器。

一、制备等比例模型和辅助制定治疗方案

儿童足踝畸形如马蹄内翻足等涉及足踝部较多的骨、肌肉及肌腱的变化,这就需要儿童矫形骨科医师对其复杂的病理解剖结构有全面立体的理解。传统二维影像很难展示出足踝部的三维几何结构,即使目前广泛运用的三维重建影像仍然难以给人直观的解剖印象。等比例模型的制备是 3D 打印技术在医学领域的最早应用,其较好地弥补了传统影像学的不足,能直观、形象、立体展现出足踝部的精细结构,可用于足踝畸形的诊断,术前治疗方案的拟定以及术前医患沟通和术中对比参照。Gunther Windisch^[1]等通过三维微断层系统,打印出高分辨率的马蹄内翻足模型,由此来研究马蹄内翻足复杂的解剖结构,为小儿矫形骨科医师及理疗师发展新的手术方式及马蹄内翻足的手法复位方法提供帮助。张伟等^[2]报道了 3D 打印足踝模型在 1 例骨髓炎后严重踝关节畸形中的应用。作者首先打印出患侧踝关节的等比例实体模型,然后运用镜像技术,将健侧踝关节数据进行镜像转换,得到虚拟的患侧正常踝关节的等比例模型。通过对比患

侧踝关节及虚拟的患侧正常踝关节实体模型,在实体模型上设计出截骨平面及截骨角度,并用于术中参照和指导,成功完成该例复杂踝关节畸形的手术,术后患儿踝关节外观及功能均恢复良好。高斌等^[3]通过 3D 打印技术制作出与复杂扁平足等比例的实体模型,用于辅助复杂扁平足的手术治疗。此模型不仅可用于术前规划和模拟手术,制定最佳手术方案,还可以通过模型与患儿家属进行沟通,使患儿家属充分理解扁平足的手术,减少医患矛盾。同时可视化的 3D 打印模型也是年轻医师重要的学习工具,在年轻医生执行复杂的矫形手术时,可缩短年轻医师的学习曲线。

自 20 世纪 90 年代开始,随着保守治疗方法特别是 Ponseti 法的流行,传统手术作为首选方法治疗马蹄内翻足的比例已经明显下降^[4]。尽管如此,对于某些经反复保守治疗无效、复发的马蹄内翻足以及大年龄马蹄内翻足等,手术仍然是一种必要的治疗选择。李涛等^[5]对 3D 打印在复杂马蹄内翻足畸形矫正手术中的应用进行了初步探索,作者将马蹄内翻足患儿术前 CT 扫描数据导入计算机后,通过逆向工程技术和快速成型技术重建数字化三维足踝畸形模型,并将其应用于诊断、术前规划和术中参照。3D 打印的足踝模型准确显示了复杂马蹄内翻足各部位解剖结构的空间关系和足踝的三维立体形态,提高了手术的精确度以及安全性,缩短了手术时间,减少了术中出血量。但是由于软组织松懈在马蹄内翻足手术中十分重要,如何将 CT 数据与 MRI 数据结合以显示足踝畸形与软组织的关系,仍需进一步研究,这也是目前 3D 打印等比例模型的一个很大缺陷。

二、置入物的打印

随着 3D 打印材料的发展,关于 3D 打印骨科置入物的应用也越来越引起人们的重视。传统置入物通常由厂家生产完成后,由医师挑选适合患者的置入物,这种选择方式带有一定的盲目性,其大小、型号可能接近但不是精准。在儿童骨科中,由于儿童内置物型号差异较大,很多较小型号的内置物生

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.002

基金项目:重庆医科大学附属儿童医院临床研究基金(6000064)

作者单位:重庆医科大学附属儿童医院骨二科(重庆市,400014),Email:ngx1215@126.com

产较少,内置物的选择成为制约部分手术的难题。此外,足踝部的距骨及跟骨等形态极不规则,其余跗骨、跖骨等体积较小,使用传统方法制作的内置物很难与这些细小的不规则骨相贴合。跗骨跖骨之间有较多的关节连接,而软组织较少,因此对内置物的精细度要求较高,否则容易出现放置困难。3D 打印的置入物大多基于患者的影像学数据,因此实现了内置物的个体化,解决了儿童足踝外科内置物型号少、难以匹配、精度不高等缺点。Smith 等^[6]运用 3D 打印技术制造出了一种钛合金板用于拇内翻的手术矫正,这种钛合金板由于与第二跖骨较小横断面及非对称解剖结构的高度匹配,减少了传统内置物带来的应力不平衡所致的第二跖骨应力性骨折^[7]。同时由于跖骨周围软组织较少,这种高度匹配的钛合金板能够减少内置物向皮肤外突出以及对皮肤的刺激^[8]。作者将这种 3D 打印制造的钢板用于一例先天性拇内翻患儿的治疗,取得了良好的效果。尽管在儿童骨科中金属内置物的使用远没有成人骨科广泛,但鉴于 3D 打印内置物的良好前景,可以预见,未来 3D 打印内置物必将在儿童足踝畸形的治疗中起到重要作用。尤其是畸形矫正后植骨材料的填充将在小儿骨科得到广泛应用。

三、足踝矫形器的制作

目前市面上大部分定制的足踝矫形器是通过石膏模具制造的,由于制作方法本质上是从一固有的磨具中"雕刻"出所需要的矫形器,因而对足踝矫形器新功能及新特点的发展有所限制。近年来计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)开始用于矫形器的设计与制作^[9]。这种制作矫形器的过程包括:首先对矫形器模型轮廓进行采集和数字化,通过 CAD 软件输出所需加工矫形器的数据,然后用 CAM 软件对数据进行转换,最后利用加工装置生产出足踝矫形器。3D 打印作为计算机辅助制造(CAM)的一种形式,使用分层加工、叠加成型的方式逐层增加材料,完成整个模型实体构建。这一特点使其可以根据患者需要,制作出各种与足踝部复杂解剖结构相匹配的精细矫形器,满足不同患者对足踝矫形器特殊功能的需求,从而使矫形器可以不断发展出新特点及新功能,赋予研究者更大的设计自由,实现了矫形器真正的"个体化"。Vijayaragavan 等^[10, 11]对一名 6 岁大的马蹄内翻足患儿足踝部进行 CT 扫描,然后将 CT 扫描数据进行三维重建,用 ABS-M30 材料打印出患儿的足踝模型。作者基于此足踝模型,通过计算机辅助设计(CAD)出虚拟的矫形器,

然后在软件上测试此足踝矫形器的弹性指数以及矫形器对马蹄内翻足各部位的压力分布。通过 Ponseti 法矫正马蹄内翻足需要行 6 周左右的石膏固定,对于部分患儿来说,长期的石膏固定难以配合,作者想用这种支具取代传统的石膏固定,使患儿佩戴更加舒适的支具而不是难以接受的石膏^[12]。Scott 等^[13]利用 3D 打印制作出了一种用于改善脑瘫患儿病理性步态的矫形器,这种矫形器在僵硬度的可调节性上是传统矫形器难以达到的,而很多研究表明僵硬度的可调节性是决定这类足踝矫形器最重要的特点。但是目前这种矫形器还处于试验阶段,并未投入临床使用中。Vito^[14]等研究了马蹄内翻足患儿在行走时足底不同部位压力的分布,使用 3D 打印技术制作出的支具内垫各部位具有不同的厚度,使足底各部分压力重新分布,达到矫正马蹄内翻足的目的。同时这种 3D 打印的支具与传统支具相比,与患儿足部贴合更好,穿戴更加舒适。目前这种 3D 支具正在进行生物动力学的研究。

四、应用前景

3D 打印作为一种新兴技术,已对医学领域产生巨大影响。目前 3D 打印在儿童足踝畸形中最广泛的应用仍然是等比例实体模型的打印。通过打印等比例足踝模型,可用于术前足踝畸形解剖结构的详细研究,有利于医患沟通,有利于设计手术方案以及术中参照对比,提高手术精确度及成功率。以马蹄内翻足为代表的儿童足踝畸形对足踝矫形器有着巨大的需要,目前各类 3D 打印的足踝矫形器正在进行积极研究。虽然 3D 打印矫形器还未大规模应用于临床治疗中,但随着 3D 打印技术的发展与成熟,可以预见的是,越来越多的个体化矫形器将会应用到临床实践中,而矫形器的新功能及新特点也将得到极大发展。在儿童足踝畸形中虽然内置物使用较少,金属物的植入目前还不现实,但对于矫形术中,骨骼缺损部位的填充,应用前景广泛。可以想象随着干细胞技术的不断深入研究,携带干细胞、成骨细胞,经过精准打印的生物支架材料,甚至包括 3D 打印的肌腱、韧带或将广泛应用于临床。

参考文献

- 1 Windisch G, Salaberger D, Rosmarin W, et al. A model for clubfoot based on micro-ct data[J]. J Anat, 2007, 210(6): 761-766. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2007.00732.x.
- 2 张伟,张铁良,张玉朵,等. 三维重建及快速成型技术在肢

- 体畸形矫正术中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2010, 30(5): 521-522. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2010.05.016.
- Zhang W, Zhang TL, Zhang YD, et al. Application of three-dimensional reconstruction and rapid prototyping during limb deformity surgery [J]. Chin J Orthop. 2010, 30(5): 521-522. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2010.05.016.
- 3 高斌, 孙巧巧, 杨明, 等. 3D 打印技术辅助儿童复杂性扁平足手术临床应用[J]. 中国数字医学, 2015(5): 20-22. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2015.05.005.

Gao B, Sun QQ, Yang M, et al. Clinical application of three-dimensional printing technology in assisting complex operations for flatfoot in children [J]. China Digital Medicine, 2015(5): 20-22. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2015.05.005.

 - 4 Zions LE, Zhao G, Hitchcock K, et al. Has the rate of extensive surgery to treat idiopathic clubfoot declined in the united state? [J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(4): 882-889. DOI:10.2106/jbjs.i.00819.
 - 5 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. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2014.08.029.

Li T, Shi Q, Li X, et al. Application of digital three-dimensional reconstruction and rapid prototyping for complicated cases of clubfoot [J]. China Digital Medicine, 2014(8): 87-88. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2014.08.029.

 - 6 Smith KE, Dupont KM, Safranski DL, et al. Use of 3d printed bone plate in novel technique to surgically correct hallux valgus deformities [J]. Tech Orthop, 2016, 31(3): 181-189. DOI:10.1097/BTO.0000000000000189.
 - 7 Ahmad M, Nanda R, Bajwa AS, et al. Biomechanical testing of the locking compression plate: When does the distance between bone and implant significantly reduce construct stability? [J]. Injury, 2007, 38(3): 358-364. DOI: 10.1016/j.injury.2006.08.058.
 - 8 Parthasarathy J. 3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery[J]. Ann Maxillofac Surg, 2014, 4(1): 9-18. DOI:10.4103/2231-0746.133065.
 - 9 Shah Jami J, Mantyla Martti. Parametric and feature based cad/cam: Concepts, techniques, and applications. 1995: John Wiley & Sons, Inc.
 - 10 Vijayaragavan E, Kurian Leya Miriam, Sulayman H, et al. Application of rapid prototyping in the treatment of clubfoot in children [J]. Procedia Engineering, 2014, 97: 2298-2305. DOI:org/10.1016/j.proeng.2014.12.474.
 - 11 Vijayaragavan E, Gopal TV, Viswanath S. Conceptual design of orthosis for clubfoot model developed using image reconstruction techniques. 2016: Springer Singapore.
 - 12 Jeevana Ranjitha Rebecca, Vijayaragavanb E, Kirubac Angeline. 3dimensional modeling of an ankle foot orthosis for clubfoot deformity [J]. International Journal of Biomedical Research, 2011, 23(3): 171-180. DOI: 10.7439/ijbr.v2i3.90.
 - 13 Telfer S, Pallari J, Munguia J, et al. Embracing additive manufacture: Implications for foot and ankle orthosis design [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2012, 13: 84. DOI: 10.1186/1471-2474-13-84.
 - 14 Cook Douglas, Gervasi Vito, Rizza Robert, et al. Additive fabrication of custom pedorthoses for clubfoot correction [J]. Rapid Prototyping Journal, 2010, 16(3): 189-193. DOI:10.1108/13552541011034852.

(收稿日期: 2018-02-04)

本文引用格式: 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. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.002.

Citing this article as: Nan GX. Status quo and future prospects of 3-dimensional printing in the diagnosis and treatment of foot and ankle deformities in children [J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(4): 245-247. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.002.