

## 数字化技术与儿童颜面管理\*

陈李清<sup>1</sup> 李岩<sup>1</sup> 吕佳牧<sup>1</sup> 王路<sup>1</sup> 张庆丰<sup>1</sup>

**[摘要]** 颜面部具有呼吸、语言、面部表情等多项功能,其发育是一个复杂而漫长的过程,会受到遗传、疾病、不良习惯以及外伤等多种因素的影响。早发现、早诊断、早治疗是儿童颜面管理的重要理念。数字化技术医学是一门新兴技术,可为儿童颜面管理带来极大好处。本文就数字化技术在儿童颜面管理方面的研究进行综述,并聚焦于儿童阻塞性睡眠呼吸暂停、错颌畸形、唇腭裂等相关疾病研究并进行一综述。

**[关键词]** 数字化技术;颜面管理;阻塞性睡眠呼吸暂停;口腔正畸;唇腭裂

**DOI:**10.13201/j.issn.2096-7993.2023.08.013

**[中图分类号]** R766;R783.5 **[文献标志码]** C

## Digital technology and children's maxillofacial management

CHEN Liqing LI Yan LV Jiamu WANG Lu ZHANG Qingfeng

(Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Shenzhen University General Hospital, Shenzhen University Clinical Medical Academy, Shenzhen University, Shenzhen, 518055, China)

Corresponding author: ZHANG Qingfeng, E-mail: zxyyebh@163.com

**Abstract** The maxillofacial region has multiple functions such as breathing, language, and facial expressions. Children's maxillofacial development is a complex and long process, which is affected by many factors such as genetics, diseases, bad habits and trauma. Early detection, early diagnosis, and early treatment are important concepts in children's maxillofacial management. Digital technology medicine is an emerging technology based on medical imaging and anatomy that has emerged in recent years. The application of this technology in the field of clinical medicine will undoubtedly bring great benefits to children's maxillofacial management. This article summarizes the research on digital technology in children's maxillofacial management, and focuses on the research on children's malocclusion, children's OSA, cleft lip and palate and other related diseases.

**Key words** digital technology; maxillofacial management; obstructive sleep apnea; orthodontics; cleft lip and palate

儿童颜面部发育是一个复杂而漫长的过程,会受到遗传、疾病、不良习惯以及外伤等多种因素的共同影响。遗传因素所致颜面畸形疾病表现为唇腭裂、半侧颜面短小畸形等,环境因素主要包括长期张口呼吸、吸吮手指、异常吞咽等,这些因素均可导致颌面部发育及形态异常。数字化技术医学是应用计算机分析与处理的数字化技术,包括三维重建技术、3D 打印技术、虚拟手术、计算机辅助导航技术、机器人外科系统等。数字化技术在颜面部疾病的诊治,目前已涵盖阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA)、错颌畸形、唇腭裂、半侧颜面短小畸形、颌面外伤、微笑设计等方面,这极大地提高了对疾病诊断水平及治疗效果。

本文通过聚焦于目前数字化技术在儿童颜面相关疾病的诊治情况,并进行系统性回顾总结,以发现数字化技术在儿童颜面管理中的优势及目前的不足。

## 1 数字化技术在识别 OSA 中的运用

变应性鼻炎、腺样体肥大、扁桃体肥大等所致的儿童 OSA,长期张口呼吸可出现特征性腺样体面容严重影响儿童颜面部形态。目前关于探讨儿童颜面部特征、上气道气流流场、上气道分割及上气道容积计算的研究越来越多,为诊断、治疗、随访儿童上气道阻塞性疾病提供更多便利。

## 1.1 流体学与人工智能技术在上气道气流流场及上气道体积计算中的运用研究

基于 CBCT 及其他软件获得上气道图像,经计算机处理后可使上气道可视化及自动获得上气道体积。2012 年 Alsufyani 等<sup>[1]</sup> 系统性回顾由 CBCT 生成的上气道 3D 模型的效度和信度的相关文献,由于当时缺乏证据级别较高的研究,因此难以确定 CBCT 生成的上气道 3D 模型的可靠性及

\*基金项目:深圳市“医疗卫生三名工程”项目(No: SZSM202003003);深圳市科技计划资助(No: JCYJ20200109114244249)

<sup>1</sup>深圳大学总医院 深圳大学临床医学科学院 耳鼻咽喉头颈外科(广东深圳,518055)

通信作者:张庆丰, E-mail: zxyyebh@163.com

准确性。但 2019 年 Zhang 等<sup>[2]</sup> 基于 3D 打印技术,发现新算法 AS 是一种分割和重建鼻气道空间的临床可靠、准确的测量工具。此外,2021 年 Mupparapu 等<sup>[3]</sup> 探讨并标准化了测量鼻气道容积的方法及指标,建立 ITK-SNAP 平台,定义鼻气道边界的三维 CBCT 解剖结构,进而准确可靠的分割测量鼻气道的体积,为诊断、治疗、监测鼻气道阻塞和诊断 OSA 提供重要的工具。Kamaruddin 等<sup>[4]</sup> 通过比较 Invivo5 和 Romexis 在测量上气道体积和最小面积时,发现两者之间平均值差异较小 ( $P=0.914$ ),且 2 种测量方法内部信度高 (ICC 为  $0.940\sim 0.998$ )。Fonseca 等<sup>[5]</sup> 基于 Kamaruddin 的研究,使用上述软件自动计算上气道的总体积、咽部最狭窄层面的面积、前后及左右径大小,探究其与 OSA 的相关性,发现该方法可帮助口腔科医生初步筛查 OSA 患者。唐媛媛等<sup>[6]</sup> 基于流体动力学,通过模拟腺样体切除术,分析术前及术后上气道的气流分布情况,发现腺样体肥大患儿呼吸道的高流速区是在鼻咽、中鼻道及鼻咽部,术后鼻咽部的高流速区减少或消失,基本接近健康儿童气流流速分布特征,可形象证明腺样体手术可以改善儿童鼻腔气流。王宏伟等<sup>[7]</sup> 通过构建腺样体肥大患者上气道计算流体动力学模型,发现随着腺样体肥大程度不断增加,硬腭两侧所受压强差逐渐减小直至负值。2021 年 Zhao 等<sup>[8]</sup> 基于 CNN 综合系统研究其在智能识别鼻咽侧位片中腺样体的效能,发现其具有较高的准确性及稳定性 (AUC 为  $0.990$ ),这将有助于口腔科医生早期识别腺样体肥大引起口腔畸形的儿童。

## 1.2 人脸识别技术在 OSA 的运用研究

颅面结构异常与 OSA 发生具有重要相关性,目前,人脸图像获得有二维及三维立体摄影技术,OSA 患者面部特征标注包括手动及自动标注。2004 年 Lam 等<sup>[9]</sup> 便尝试采用 OSA 患者侧面 2D 图像研究颌面指标与 OSA 的关系。Balaci 等<sup>[10]</sup> 比较手动及自动标记 OSA 患者面部特征,发现二者在诊断 OSA 的效能上相近 (准确率分别为  $69.2\%$  及  $69.7\%$ )。Espinoza-Cuadros 等<sup>[11]</sup> 联合分析 OSA 患者正、侧面图像、语音信息及人口统计学资料,结果表明该模型有较高的诊断效能。Wang 等<sup>[12]</sup> 比较单纯打鼾及 OSA 儿童患者的颅面部结构,结果显示基于临床特征和颅面结构指标构建的诊断模型可以初步筛查 OSA 患者。此外,三维立体摄影测量 (three-dimensional stereophotogrammetry, 3dMD) 是一种新的技术,其可以量化颅面轮廓<sup>[13]</sup>。Lin 等<sup>[14]</sup> 研究发现 3dMD 捕获 OSA 患者颅面图像测量的结果与三维 CT 测量结果有很强的一致,能提供准确的颅面图像,并与 OSA 严重程度具有明显相关性。Ohmura 等<sup>[15]</sup> 利用 3dMD 获得面部轮廓,重点测量下颌骨的相关指标并探讨其与 OSA 疾病严重程度相关性,发现下颌骨宽-长角

与 OSA 严重程度有显著相关性 ( $r=0.73, P<0.01$ ),该指标与 OSA 的严重程度相关,并且与肥胖和性别无关。Eastwood 等<sup>[16]</sup> 基于三维面部摄影技术获得颅面图像后经深度学习等技术发现其具有预测诊断 OSA 的能力。

基于人脸识别技术、计算流体力学技术及人工智能技术等数字化技术,这将更好协助识别并诊断腺样体肥大、上气道气流场情况及容积大小、儿童颜面部异常等,提高儿童颜面管理的精准医学的准确性。

## 2 数字化技术在口腔正畸中的运用

遗传因素及环境因素均可导致儿童错殆畸形。异常行为及习惯使颜面生长异常,进而出现儿童 OSA 及口面畸形。早期矫正导致口腔畸形的异常行为是儿童颜面管理最重要的环节,数字化技术的快速发展为口腔正畸诊治带来了巨大的革新。

### 2.1 颅面结构特征成像研究

在常规诊疗过程中,口腔医生需要对患者二维头影侧位片进行颅面结构特征判断。有研究分别基于 CNN、SVM 等方法来自动定位头颅标志点,发现其准确率、效率均较高,但仍需增加训练数据量来提高其准确性及稳定性<sup>[17-19]</sup>。目前 3D 成像技术在口腔医学中运用越来越多,人工智能技术可以识别定位三维头影颅面重要标志点。韩国学者 Kim 等<sup>[20]</sup> 开展了一项多中心研究,探讨 10 家医院使用级联卷积神经网络自动识别及测量颅面标志点的准确性,结果表明,虽然不同医院测量结果存在误差,但仍可作为初筛及治疗评估中的一种手段。目前 3D 图像在识别头颅标志点上仍有不足,需进一步降低其误差率,以提高其准确性及稳定性<sup>[21]</sup>。

### 2.2 数字化技术在牙列模型获取、方案设计及拔牙方案等的应用研究

在数字化技术的协助下,牙列模型的获得由传统石膏模型演变为现今的数字化扫描,包括经光学及口内扫描。而对数字化牙模进行分牙则是正畸重要的环节,Sukun 等<sup>[22]</sup> 研究显示,人工智能在分牙中显示出很高的准确性,但对极复杂牙齿或相似牙齿进行分牙时能力有限。此外,Prasad 等<sup>[23]</sup> 研究发现,数字化技术协助正畸方案的拟定准确性高,耗时短。Jung 等<sup>[24]</sup> 基于深度学习方法建立的 3D 全自动牙齿分割系统,耗时只需 5 s,精确度高,分割结果满意度达  $96.9\%$ 。Thanathornwong 等<sup>[25]</sup> 利用人工智能-机器学习模型系统判断是否需要正畸治疗,其结果分别与 2 名正畸医师进行比较,结果显示该系统与正畸医师的判断具有高度一致性 ( $\kappa$  值分别为  $1.000$  及  $0.894$ )。Suhail 等<sup>[26]</sup> 通过构建是否拔牙的机器学习模型,并对其诊断效能进行了训练,结果显示其诊断性能接近于不同正畸医师的决策水平。最后,数字化技术参与正畸矫治器制作,包括 3D 打印、数控加工、数字化

正畸导板等,并能预测口腔正畸预期效果。

数字化正畸技术具有建模、诊断、分析、预测及矫治器设计制作等能力,在临床诊疗工作中可以减少耗时并提升准确率。但是数字化正畸方案的制定仍有较多局限性,需要在更多复杂因素下多维度训练,进而提升其诊断决策效能。

### 3 数字化技术在唇腭裂中的运用

唇腭裂(cleft lip and palate, CPL)是一种儿童缺陷性疾病,可导致儿童颜面部畸形。随着数字化技术的发展,目前 CPL 的治疗需经历 3D 腭裂模型采集、计算机辅助矫治器设计及佩戴、手术治疗、术后正畸治疗等过程。目前 3D 打印技术开始初步运用于唇腭裂的诊疗,并显示出了其比传统诊疗方式更可靠和更有效,减少了治疗时间、治疗成本及随访次数等<sup>[27-32]</sup>。

#### 3.1 数字化技术在 CPL 三维数据获取、模型重建中的应用研究

CPL 患儿早期腭裂形态三维信息非常重要,它可以为其术前矫治方案的制定及腭裂修补术的术前模拟提供原始数据及科学依据。目前获取口腔三维信息有接触与非接触式,接触式包括口内扫描;非接触式包括激光扫描、三维 CT 或 MRI、结构光三维扫描等。获得 CPL 三维信息后,需进行三维形态实体重建,进而基于计算机辅助设计或计算机辅助制作技术对三维模型进行设计,最后经 3D 打印技术获得实体模型。3D 成像软件系统可以呈现出较为复杂的曲体结构,这能给临床医生提供丰富的解剖学信息数据。此外,使用相关软件,人为模拟齿槽骨移动的轨迹,模拟 CPL 病损处逐渐形成一个完整圆弧的过程。

#### 3.2 数字化技术在唇腭裂手术设计、模拟的应用研究

手术是 CPL 治疗的重要环节,而计算机辅助 3D 打印技术使 CPL 手术治疗从经验医学向精准医学转变。Pálházi 等<sup>[33]</sup>利用 3D 打印模板为外科医生创建了一个解剖学上精确的虚拟模型,三维可视化和真实尺寸的移植模板在牙槽骨移植中具有临床应用价值。国外学者利用 3D 打印技术进行术前设计和制作手术导板,使得手术操作简单、精确,缩短了术前的计划步骤和手术实践,并通过 3D 夹板帮助术中固定和精准定位,使虚拟技术向现实操作转换<sup>[30-31]</sup>。

#### 3.3 数字化技术在 CPL 术后鼻模设计中的应用研究

CPL 患者术后的正畸治疗对其组织形态功能恢复至关重要。鼻腔畸形是 CPL 术后主要的临床问题,大部分 CPL 患者术后均需要鼻孔支具,协助鼻孔在愈合过程塑形。基于患者的三维模型进行 3D 打印,医师可以精准制作个性化的鼻托,这可为患者提供最佳的功能和美学效果<sup>[34-35]</sup>。

#### 3.4 数字化技术在 CPL 生物植入物中的应用研究

随着科学技术的不断进步,生物植入物可实现形状定制,增强生物相容性及生物可降解性<sup>[36-37]</sup>。Boyer 等<sup>[38]</sup>尝试使用聚乙烯吡咯烷酮-青霉素混合剂,发现其抑菌面积达 $(15.15 \pm 0.99)$  mm。3D 打印器具通过装载生物活性剂,使其在体内局部缓慢释放,减少了全身使用药物的相关并发症,提高了佩戴鼻模矫治器安全性。

#### 3.5 数字化技术在 CPL 术后语音治疗中的应用研究

CPL 术后针对性的语音治疗是 CPL 综合序列治疗的重要组成部分。主观语音评价是目前应用最广泛的评价体系,但存在环境干扰及个体差异问题<sup>[39]</sup>。近年来,计算机语音处理系统和频谱分析逐渐被应用到 CPL 语音评价中,其弥补了传统主观和客观评价的不足<sup>[40]</sup>。Nakai 等<sup>[41]</sup>比较了基于机器学习的语言分析判断能力与语言治疗师的听力判断能力,结果显示基于机器学习的语音分析正确率更高。Lee 等<sup>[42]</sup>探索出的自适应新模型将可解决由于语音输入与原始模型之间的帧率不匹配而导致的识别精度下降问题。目前国内较多科技公司对移动终端处理能力已相当成熟,如科大讯飞,其硬件条件基本满足语音治疗的使用需求<sup>[40]</sup>。此外,有研究者利用 1/3 倍频程算法提取特征谱线、PECGTFs 与 SSMC 相结合的算法等方法分别对不同音谱进行分析,准确率达 90% 以上<sup>[43]</sup>。目前基于算法识别 CPL 患者的声门塞音、咽擦音、高鼻音等相关研究也逐渐增多,为识别唇腭裂患者代偿性错误发声提供更好的软件基础<sup>[43-44]</sup>。因此,数字化技术是实现 CPL 语音识别走向成熟的重要基石。

### 4 总结及展望

儿童的颜面管理是一项复杂的综合性医学工作,涉及儿童的面容美观、发育正常等方面的问题。数字化技术在医学领域运用越来越多,其在儿童颜面管理上也显示出巨大潜力,特别是在颌畸形及唇腭裂等方面,有效促进儿童面部健康发展。人脸识别技术可以分析儿童颜面部各项指标,若能将儿童发育阶段及生活环境等因素进行结合,则可以更全面地分析儿童颜面的健康情况。目前,人脸识别可以初步筛查 OSA 患者,但数字化技术在儿童 OSA 研究中的应用仍有不足,今后需要优化设备,加大数字化技术在儿童 OSA 中的识别应用研究。流体动力学及人工智能研究,可以探索儿童上气道体积及上气道阻塞部位,可视化分析上气道气流阻塞情况。

总之,数字化技术在儿童颜面管理方面的应用可以帮助医生更好地诊断、规划和治疗儿童面部畸形,提高治疗效果和患者满意度。同时,数字化技术还可以对儿童的面部畸形进行定量评估,帮助医生更精确地判断治疗效果,有效促进儿童面部健康发展。



利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] Alsufyani NA, Flores-Mir C, Major PW. Three-dimensional segmentation of the upper airway using cone beam CT: a systematic review[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2012, 41(4): 276-284.
- [2] Zhang C, Bruggink R, Baan F, et al. A new segmentation algorithm for measuring CBCT images of nasal airway: a pilot study[J]. *PeerJ*, 2019, 7: e6246.
- [3] Mupparapu M, Shi KJ, Lo AD, et al. Novel 3D segmentation for reliable volumetric assessment of the nasal airway: a CBCT study[J]. *Quintessence Int*, 2021, 52(2): 154-164.
- [4] Kamaruddin N, Daud F, Yusof A, et al. Comparison of automatic airway analysis function of Invivo5 and Romexis software[J]. *Peer J*, 2019, 7: e6319.
- [5] Fonseca C, Cavadas F, Fonseca P. Upper Airway Assessment in Cone-Beam Computed Tomography for Screening of Obstructive Sleep Apnea Syndrome: Development of an Evaluation Protocol in Dentistry[J]. *JMIR Res Protoc*, 2023, 12: e41049.
- [6] 唐媛媛, 孙秀珍, 刘迎曦, 等. 腺样体肥大患儿上气道气流场模型的建立与数值分析[J]. *中国耳鼻咽喉头颈外科*, 2012, 19(3): 155-158.
- [7] 王宏伟, 齐素青, 刘朝兵, 等. 腺样体肥大患者上气道计算流体动力学模型的构建及数值模拟[J]. *中华口腔医学杂志*, 2023, 58(4): 337-344.
- [8] Zhao T, Zhou J, Yan J, et al. Automated Adenoid Hypertrophy Assessment with Lateral Cephalometry in Children Based on Artificial Intelligence[J]. *Diagnostics(Basel)*, 2021, 11(8): 1386.
- [9] Lam B, Ip MS, Tench E, et al. Craniofacial profile in Asian and white subjects with obstructive sleep apnoea[J]. *Thorax*, 2005, 60(6): 504-510.
- [10] Tabatabaei Balaei A, Sutherland K, Cistulli P, et al. Prediction of obstructive sleep apnea using facial landmarks[J]. *Physiol Meas*, 2018, 39(9): 094004.
- [11] Espinoza-Cuadros F, Fernández-Pozo R, Toledano DT, et al. Speech Signal and Facial Image Processing for Obstructive Sleep Apnea Assessment [J]. *Comput Math Methods Med*, 2015, 2015: 489761.
- [12] Wang H, Xu W, Zhao A, et al. Clinical Characteristics Combined with Craniofacial Photographic Analysis in Children with Obstructive Sleep Apnea [J]. *Nat Sci Sleep*, 2023, 15: 115-125.
- [13] Kühlman DC, Almuzian M, Coppini C, et al. Accuracy (trueness and precision) of four tablet-based applications for three-dimensional facial scanning: An in-vitro study[J]. *J Dent*, 2023, 135: 104533.
- [14] Lin SW, Sutherland K, Liao YF, et al. Three-dimensional photography for the evaluation of facial profiles in obstructive sleep apnoea[J]. *Respirology*, 2018, 23(6): 618-625.
- [15] Ohmura K, Suzuki M, Soma M, et al. Predicting the presence and severity of obstructive sleep apnea based on mandibular measurements using quantitative analysis of facial profiles via three-dimensional photogrammetry[J]. *Respir Investig*, 2022, 60(2): 300-308.
- [16] Eastwood P, Gilani SZ, McArdle N, et al. Predicting sleep apnea from three-dimensional face photography [J]. *J Clin Sleep Med*, 2020, 16(4): 493-502.
- [17] Banumathi A, Raju S, Abhaikumar V. Diagnosis of dental deformities in cephalometry images using support vector machine[J]. *J Med Syst*, 2011, 35(1): 113-119.
- [18] Lee JH, Yu HJ, Kim MJ, et al. Automated cephalometric landmark detection with confidence regions using Bayesian convolutional neural networks[J]. *BMC Oral Health*, 2020, 20(1): 270.
- [19] Kim H, Shim E, Park J, et al. Web-based fully automated cephalometric analysis by deep learning [J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2020, 194: 105513.
- [20] Kim J, Kim I, Kim YJ, et al. Accuracy of automated identification of lateral cephalometric landmarks using cascade convolutional neural networks on lateral cephalograms from nationwide multi-centres [J]. *Orthod Craniofac Res*, 2021, 2: 59-67.
- [21] Schwendicke F, Chaurasia A, Arsiwala L, et al. Deep learning for cephalometric landmark detection: systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Oral Investig*, 2021, 25(7): 4299-4309.
- [22] Sukun T, Ning D, Bei Z, et al. Automatic Classification and Segmentation of Teeth on 3D Dental Model Using Hierarchical Deep Learning Networks [J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 84817-84828.
- [23] Prasad J, Mallikarjunaiah DR, Shetty A, et al. Machine Learning Predictive Model as Clinical Decision Support System in Orthodontic Treatment Planning [J]. *Dent J(Basel)*, 2022, 11(1): 1.
- [24] Jung SK, Kim TW. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2016, 149(1): 127-133.
- [25] Thanathornwong B. Bayesian-Based Decision Support System for Assessing the Needs for Orthodontic Treatment [J]. *Healthc Inform Res*, 2018, 24(1): 22-28.
- [26] Suhail Y, Upadhyay M, Chhibber A, et al. Machine Learning for the Diagnosis of Orthodontic Extractions: A Computational Analysis Using Ensemble Learning [J]. *Bioengineering(Basel)*, 2020, 7(2): 55.
- [27] AlAli AB, Griffin MF, Calonge WM, et al. Evaluating the Use of Cleft Lip and Palate 3D-Printed Models as a Teaching Aid [J]. *J Surg Educ*, 2018, 75(1): 200-208.
- [28] Levallant JM, Nicot R, Benouaiche L, et al. Prenatal diagnosis of cleft lip/palate: The surface rendered oropalatal (SROP) view of the fetal lips and palate, a tool to improve information-sharing within the orofacial team and with the parents [J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2016, 44(7): 835-842.

- [29] Bous RM, Kochenour N, Valiathan M. A novel method for fabricating nasoalveolar molding appliances for infants with cleft lip and palate using 3-dimensional workflow and clear aligners[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 158(3):452-458.
- [30] Wang Y, Zhang Z, Liu Y, et al. Virtual Surgical Planning Assisted Management for Cleft-Related Maxillary Hypoplasia[J]. *J Craniofac Surg*, 2019, 30(6):1745-1749.
- [31] Wang Y, Li J, Xu Y, et al. Accuracy of virtual surgical planning-assisted management for maxillary hypoplasia in adult patients with cleft lip and palate[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2020, 73(1):134-140.
- [32] Choi YS, Shin HS. Preoperative Planning and Simulation in Patients With Cleft Palate Using Intraoral Three-Dimensional Scanning and Printing[J]. *J Craniofac Surg*, 2019, 30(7):2245-2248.
- [33] Pálházi P, Nemes B, Swennen G, et al. Three-dimensional simulation of the nasoalveolar cleft defect[J]. *Cleft Palate Craniofac J*, 2014, 51(5):593-596.
- [34] Luo D, Li T, Wang H, et al. Three-Dimensional Printing of Personalized Nasal Stents for Patients With Cleft Lip[J]. *Cleft Palate Craniofac J*, 2019, 56(4):521-524.
- [35] Jung JW, Ha DH, Kim BY, et al. Nasal Reconstruction Using a Customized Three-Dimensional-Printed Stent for Congenital Arhinia: Three-Year Follow-up[J]. *Laryngoscope*, 2019, 129(3):582-585.
- [36] Brézulier D, Chaigneau L, Jeanne S, et al. The Challenge of 3D Bioprinting of Composite Natural Polymers PLA/Bioglass: Trends and Benefits in Cleft Palate Surgery[J]. *Biomedicines*, 2021, 9(11):1553.
- [37] Ahn G, Lee JS, Yun WS, et al. Cleft Alveolus Reconstruction Using a Three-Dimensional Printed Bioresorbable Scaffold With Human Bone Marrow Cells[J]. *J Craniofac Surg*, 2018, 29(7):1880-1883.
- [38] Boyer CJ, Woerner JE, Galea C, et al. Personalized Bioactive Nasal Supports for Postoperative Cleft Rhinoplasty[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2018, 76(7):1562. e1-1562.
- [39] Chapman KL, Baylis A, Trost-Cardamone J, et al. The Americleft Speech Project: A Training and Reliability Study[J]. *Cleft Palate Craniofac J*, 2016, 53(1):93-108.
- [40] 郭毅波, 蔡鸣. 计算机科学应用于唇腭裂语音诊疗的研究进展[J]. *口腔疾病防治*, 2022, 30(6):453-456.
- [41] Nakai Y, Takiguchi T, Matsui G, et al. Detecting Abnormal Word Utterances in Children With Autism Spectrum Disorders: Machine-Learning-Based Voice Analysis Versus Speech Therapists[J]. *Percept Mot Skills*, 2017, 124(5):961-973.
- [42] Lee LM, Le HH, Jean FR. Improved model adaptation approach for recognition of reduced-frame-rate continuous speech[J]. *PLoS One*, 2018, 13(11):e0206916.
- [43] 何凌, 何飞, 王熙月, 等. 基于多延迟四阶累积量倍频程谱线的腭裂语音咽喉音自动检测算法[J]. *计算机科学*, 2020, 47(1):144-152.
- [44] 付佳, 田婷, 唐铭, 等. 结合 PECGTFs 和 SSMC 的腭裂语音咽喉音自动检测算法[J]. *计算机工程与应用*, 2019, 5(24):102-109.

(收稿日期:2023-06-10)

(上接第 657 页)

- [7] 闫有圣, 易彬, 刘东海, 等. 一例先天性中枢性低通气综合征患儿的临床特征及 *PHOX2B* 基因突变分析[J]. *中华医学遗传学杂志*, 2015, 32(5):665-669.
- [8] Al Rashdi I, Al Ghafri M, Al Hanshi S, et al. Late Onset Central Hypoventilation Syndrome due to a Heterozygous Polyalanine Repeat Expansion Mutation in the *PHOX2B* Gene[J]. *Oman Med J*, 2011, 26(5):356-358.
- [9] Kasi AS, Kun SS, Keens TG, Perez IA. Adult With *PHOX2B* Mutation and Late-Onset Congenital Central Hypoventilation Syndrome[J]. *J Clin Sleep Med*, 2018, 14(12):2079-2081.
- [10] 刘大波, 姚玉静, 黄振云. 先天性中枢性低通气综合征 1 例[J]. *世界睡眠医学杂志*, 2015, 2(5):318-320.
- [11] Sandoval RL, Zaconeta CM, Margotto PR, et al. Congenital central hypoventilation syndrome associated with Hirschsprung's Disease: case report and literature review[J]. *Rev Paul Pediatr*, 2016, 34(3):374-378.
- [12] 许志飞. 先天性中枢性低通气综合征的诊断与治疗进展[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2018, 33(4):273-276.
- [13] Patwari PP, Carroll MS, Rand CM, et al. Congenital central hypoventilation syndrome and the *PHOX2B* gene: a model of respiratory and autonomic dysregulation[J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2010, 173(3):322-335.
- [14] Antic NA, Malow BA, Lange N, et al. *PHOX2B* mutation-confirmed congenital central hypoventilation syndrome: presentation in adulthood[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2006, 174(8):923-927.
- [15] Weese-Mayer DE, Berry-Kravis EM, Zhou L. Adult identified with *CCHS* mutation in *PHOX2b* gene and late onset CHS[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2005, 171:188.
- [16] Kasi AS, Perez IA, Kun SS, et al. Congenital central hypoventilation syndrome: diagnostic and management challenges[J]. *Pediatric Health Med Ther*, 2016, 7:99-107.
- [17] Preutthipan A, Kuptanon T, Kamalaporn H, et al. Using non-invasive bi-level positive airway pressure ventilator via tracheostomy in children with congenital central hypoventilation syndrome: two case reports[J]. *J Med Case Rep*, 2015, 9:149.

(收稿日期:2023-06-07)