

激光扫描在头面部软组织三维重建和测量中的应用

杨 敏综述 刘福祥审校

(四川大学华西口腔医院种植科 四川 成都 610041)

[摘要] 近年来,随着科学和计算机技术的发展,人们对头面部软组织的研究已经由二维发展到三维,用于三维重建的技术也越来越多,包括直接测量法、莫尔云纹法、形态分析法、激光扫描法、结构光测量法、立体摄影测量技术、光栅投影测量法和电子计算机断层扫描技术等。其中,激光扫描是目前比较先进的技术之一。尽管受很多因素的影响,但笔者相信随着技术的不断改进和完善,激光扫描在头面部软组织三维重建中将得到更加广泛的应用。本文将从激光扫描技术的原理、技术构成、特点及其在头面部软组织三维重建方面的应用等内容进行综述。

[关键词] 激光扫描; 三维重建; 头面部软组织

[中图分类号] R 445 [文献标志码] A [doi] 10.3969/j.issn.1673-5749.2010.03.030

Application of laser scanning for three-dimensional reconstruction and anthropometrics of facial soft tissue YANG Min, LIU Fu-xiang. (Dept. of Implantology, West China College of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

[Abstract] In recent years, with the development of the science and the computer technology, people on the right track facial soft tissue research has developed from the two-dimensional to three-dimensional, and more and more technologies can be used for the three-dimensional reconstruction, including direct measurements, moiré topography, morphanalysis, laser scanning, structured light, stereophotography, grating projection, computed tomography, and so on. Laser scanning is one of the more advanced technologies. Although affected by many factors, we believe that as technology continues to improve and perfect, laser scanning in the three-dimensional reconstruction of facial soft tissue will be more widely used. This review is about the principle, the technical composition, the characteristics and the applications of laser scanning technology.

[Key words] laser scanning; three-dimensional reconstruction; facial soft tissue

对头面部软组织进行标准、系统的三维重建和快速、准确的测量是医学、法医和考古学等领域客观真实评价面部形态、制定治疗计划或采取正确措施的前提和基础。在医学领域内,头面部软组织的形态分析对研究患者的面部生长、模拟正颌手术的面型和手术前后的面型变化等方面有着重要的意义。目前,头面部软组织的三维图像信息获取方法中激光扫描是比较先进的技术之一。

1 原理

激光扫描的基本原理是激光三角法测距,激光束由激光发生器照射在被测者面部,被测者面

部的凹凸不平导致激光发生变形,产生一种表面质地和颜色的图形信息,通过一个线阵列光电耦合器(charge-coupled device, CCD)的数码相机获取,然后再通过计算机进行数据转换和运算等,显示出能任意方向旋转且比较逼真的颜面立体形态图,而且还可给出各种测量参数以供参考^[1]。

姚森等^[2]研制出了颜面形态高精度激光三维扫描和立体形态重构系统。他们在三维扫描测量仪中设计了一个装配有激光二极管和 CCD 的旋转框,该旋转框在沿着头颅作圆周运动的同时,可沿长轴作精细的轴向运动,从而准确采集出患者颜面部每个部位的立体信息。

2 技术构成

三维激光扫描技术的核心是激光发射器、激光反射镜、激光自适应聚焦控制单元、CCD 技术

[收稿日期] 2009-07-03; [修回日期] 2010-02-02

[作者简介] 杨 敏(1983—),女,山西人,硕士

[通讯作者] 刘福祥, Tel: 13808022221

和光电自动传感装置(包括激光水平 46°步进传感、同轴纵向 320°步进自旋转、目标遥控捕捉和取景)等。从系统组成来看,三维激光扫描系统包括三维激光扫描仪、便携三脚架、线缆、便携电脑和控制装置、定标球和标尺、测控软件以及信息后处理软件等^[3]。

3 特点

激光扫描测量技术是一种非介入性头面部三维重建的方法,具有精度高、抗干扰能力强,立体重构快捷、逼真,适用范围广和对人体无害等优点,是真正意义上的软组织三维重建。激光扫描测量技术可以把患者面部皮肤的质地和颜色显示于重建的三维立体模型中,影像极为逼真,而且模型可以在计算机中旋转和放大,还可以进行三维测量,适用于科研和临床应用。早期的激光扫描所需时间较长,约 15 min^[1]。目前,激光扫描仪全头颅采样仅需约 1.2 s^[4],国外最新一代快速扫描束装置的扫描时间可达 0.3 s^[5],扫描精确度可达 0.05 mm^[6]。

已有很多国内外学者将 Cyberware 和 Minolta 等三维激光扫描仪应用到实验和临床研究中,并通过对几何标准圆柱体、牙列研究模型和面部石膏模型等的测量验证了激光三维扫描仪的精确度和可操作性。

Aung 等^[7]以直接测量法为标准验证了激光扫描的准确性后发现,激光扫描能简单、快速地获得图像并立刻显现出来,在测量上精确、可靠,非常有效。Kau 等^[5,8-9]的研究也证实了激光三维扫描仪的精确性和可操作性。Bianchi 等^[10]利用 Cyberware 3030RGB 研究不同扫描参数对图像精确度和可重复性的影响后指出,观察者标定标志点的难度和准确度决定了扫描测量和直接测量数据误差的大小,多次重复测量可减小该误差。

4 应用

4.1 头面部的扫描和重建

1989 年, Moss 等^[11]提出可将激光扫描技术应用于人头面部的形态测量。他们^[11-13]利用氦氖激光获取人面部软组织的三维信息,同时 CT 扫描重建硬组织结构,然后观察正颌外科手术后其软组织的变化。该激光扫描技术与被测者无接触,放射剂量低、分辨率高,精度可达 0.5 mm,重建的影像具有较高的真实感,因此可用于正颌外科术

后患者面型的预测。但该方法与常规的 X 线和照相相比较其速度很慢,因为扫描面部需要 15 s,而且扫描期间整个面部的变化和姿势的改变都会使扫描结果失真。因激光对视力有一定的损伤作用,所以扫描过程中必须闭上眼睛,这样会使获得的人面部图像不具有真实情况中的某些特征,而且也无法获得面部软组织的质地情况。Bush 等^[14]认为,激光扫描技术获得三维信息的准确能力会随物体表面的不规则程度而变化,只有当头部位于扫描中心、眶耳平面与水平面成 10°角且在面部预先定点时才能获得最准确的结果。

焦婷等^[15]应用 Cyberware 3030RGB 三维扫描仪对 1 例右耳缺损患者的头部进行三维扫描和重建,结果获得了头部清晰的解剖模型彩色图像,尤其是眼球的位置非常清晰,但耳廓解剖结构不清晰,特别是耳背部和耳窝凹陷区域。

Kau 等^[16]利用激光扫描仪对 12~14 岁儿童面部软组织进行三维扫描并对其变化进行为期 2 年的研究后发现,激光扫描在分析儿童面部容貌随时间变化方面是一种非常有效的技术。

4.2 赈复体的设计和制作

耳缺损是口腔颌面修复临床常见的畸形,随着显微外科技术的不断发展,一些缺损可通过整复手术修复,而另一些患者由于受局部组织和患者自身条件等限制,必须用义耳修复。不论采用哪种方式,首先必须获得缺损区耳廓的基本形态,传统的方法一般有 2 种:1)手术取患者自身肋骨或生物材料,按正常侧耳廓形态镜像将其雕刻成耳廓的大致形态再植入缺损区,通过多次手术后成形;2)义耳通过取模可以获得正常侧的耳廓形态,再用蜡雕刻或翻制记忆模型获得缺损区耳廓形态的镜像。这些方法操作均较复杂,获得的缺损区耳廓形态不够逼真、缺乏个性化,而且对技能要求较高,医生与技师必须密切配合且操作时间长。激光扫描技术的应用使医生能够较容易地获得正常耳廓的三维重建形态,对术前准备有极大的帮助。同时,可以通过计算机迅速获得缺损区耳廓的形态,使义耳形态更逼真、更对称。这一技术为颌面赈复体修复提供了全新的方法,具有广阔的应用前景^[6]。

Coward 等^[17-19]在激光扫描的图形上对耳廓和面部定了 21 个点后指出,这些点的确定使立体测量耳廓及其在面部的位置成为可能。然后,他们对激光扫描得到的耳廓形态进行测量,获得的数据

显示,激光扫描在准备和制作义耳修复体中是一种有用的方法;同时还提出,采用一种无底杯状物将头发与耳廓分离可避免因头发对激光产生散射而影响测量精度。

焦婷等^[6]在对耳廓石膏模型的激光扫描实验中发现,激光扫描能快速、准确地重建耳廓外形。在实测过程中,可反复测量补充缺失数据,扫描中的盲区可通过三角片文件的少量修补而得以修补。激光扫描为制作义耳时获取正常侧和缺损区耳廓形态提供了一种新方法,从而为更方便地制作义耳提供了可能。

Cioca等^[20]利用激光扫描对健侧耳石膏模型进行扫描,通过镜像可获得缺损区耳的三维数字图像,然后再应用计算机辅助设计与辅助制作(computer aided design/computer aided manufacturing, CAD/CAM)技术制作树脂义耳,最后获得了满意的效果。该研究证实,激光扫描在获取耳廓外形数据方面经济、省时,值得推广。

4.3 临床面部整形

Kovacs等^[21]通过 CT 和激光扫描 2 种方式结合的方法,对面部烧伤患者进行三维可视化和面部软组织的分析研究,为面部整形手术方案的确定提供了帮助。但是,这种方法不能提前确定软组织的弹性和厚度,还有待于进一步的研究。

俞哲元等^[22]利用激光表面扫描结合翻转配准法量化评估面部不对称畸形后发现,激光扫描能够准确、迅速地提供三维数据,预期治疗效果可信度高且易于为受试者本人接受。绘制的等高彩色分布图清晰、直观,并可同时提供临床治疗所需的差值体积和术区表面积等基本量化资料,对于临床医生制定治疗方案具有较好的辅助作用,有极大的临床应用价值。

Hoehnke等^[23]应用三维激光扫描技术对伤后半面萎缩的患者进行扫描重建,然后利用树脂充填技术对其颜面部的缺损进行恢复,结果显示了激光扫描技术在没有损害性的副作用限制下进行可靠的可视化软组织重建方面的优越性。

Da Silveira等^[24]利用激光扫描装置对唇腭裂的婴儿进行软组织扫描,并与传统的藻酸盐印模材料取模方法进行比较来评价激光扫描在唇腭裂软组织数据获取方面的可靠性。结果表明,激光扫描仪获取婴儿唇腭裂数据精确、操作简便,而且数据可以在计算机中存储并进行后期相应的分析处理。

4.4 牙列的扫描和重建

陈俊等^[25]利用三维激光扫描系统扫描和测量了 30 例基本正常牙列的石膏模型后发现,激光扫描技术与手工测量并无明显的差异,但三维激光扫描系统具有一些手工测量无法达到的功能,如非接触式、快速、省时、精确度高、可定量性、数据易于存储和调用以及操作简单等优点。其中最突出的是三维激光扫描系统能将被测物体表面形态进行数字化,即可以随意提取模型表面任意点的三维坐标,求出任意线距、角度、面积、线线之间和面面之间的相关几何参数,这是以往的方法所无法实现的。

吴琳等^[26]以下颌肯氏²类牙列缺损为例,采用多次、多角度线激光扫描石膏模型,将多视角下测量的数据拼合在统一坐标系下,然后进行数据预处理和构建牙列缺损的三维模型,结果得到了比较完整的牙列缺损模型的三维数据。

4.5 与其他设备和技术的联合应用

Cioca等^[20]用常规的激光扫描仪与商用三维打印机制作出了耳朵的铸模。Cheah等^[27]提出,用特制的激光扫描仪或快速原型设备进行扫描来获取人头面部的三维形态,再结合 CAD/CAM 使面部赈复体的设计和制作自动化。王殊轶等^[28]在对人眼安全的激光扫描仪三维数据采集方法研究的基础上,提出了面部软组织三维数据采集和三维 CAD 模型重构的方法,并结合 CAD/CAM 技术对人头面部软组织进行三维模型重建研究,分析了重建模型与原始数据和测量数据的误差。结果表明,其提出的方法能满足颌面外科和正畸研究等临床医学的要求。

5 结束语

激光扫描技术已经应用于临床和科学研究中,尽管在头面部软组织三维测量和重建中已显示出了极大的优越性,但仍存在许多不足之处需要改进,如不能扫描面部较深的倒凹,扫描过程对健康有危害和患者必须闭眼等。通过面部特征来划分面部区域,更合理地提取点云数据,根据面部形态特征进行曲面分割,将是以后主要的研究目标。可以预见,更加高效、精确、价廉、便捷的激光扫描技术将会应用于临床,服务于社会。

6 参考文献

[1] 范晓枫,杨壮群,文仰西.颌面部软组织测量技术的发

- 展[J]. 中国美容医学, 2004, 13(4) :500-502.
- [2] 姚 森, 林 珠, 李忠科, 等. 颜面形态激光高精度三维扫描与重构[J]. 华西口腔医学杂志, 1998, 16(3) :224-226.
- [3] 毛方儒, 王 磊. 三维激光扫描测量技术[J]. 宇航计测技术, 2005, 25(2) :1-6.
- [4] Sokovic M, Kopac J. RE(reverse engineering) as necessary phase by rapid product development[J]. J Mater Process Technol, 2006, 175(1/2/3) :398-403.
- [5] Kau CH, Richmond S, Zhurov AI, et al. Reliability of measuring facial morphology with a 3-dimensional laser scanning system[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2005, 128(4) :424-430.
- [6] 焦 婷, 张富强, 叶 铭, 等. 应用激光扫描技术三维重建正常耳廓模型[J]. 中华口腔医学杂志, 2003, 38(4) :261-263.
- [7] Aung SC, Ngim RC, Lee ST. Evaluation of the laser scanner as a surface measuring tool and its accuracy compared with direct facial anthropometric measurements[J]. Br J Plast Surg, 1995, 48(8) :551-558.
- [8] Kusnoto B, Evans CA. Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2002, 122(4) :342-348.
- [9] 龙丽华, 周 洪, 潘俊君, 等. 面部软组织激光扫描三维自动测量系统的初步研究[J]. 中国美容医学, 2008, 17(5) :701-704.
- [10] Bianchi SD, Spada MC, Bianchi L, et al. Evaluation of scanning parameters for a surface colour laser scanner [J]. Int Congr Ser, 2004, 1268 :1162-1167.
- [11] Moss JP, Linney AD, Grindrod SR, et al. A laser scanning system for the measurement of facial surface morphology[J]. Opt Lasers Eng, 1989, 10(3) :179-190.
- [12] Moss JP, Linney AD, Grindrod SR, et al. Three-dimensional visualization of the face and skull using computerized tomography and laser scanning techniques[J]. Eur J Orthod, 1987, 9(4) :247-253.
- [13] McCance AM, Moss JP, Wright WR, et al. A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class patients following bimaxillary surgery[J]. Br J Oral Maxillofac Surg, 1992, 30(4) :221-232.
- [14] Bush K, Antonyshyn O. Three-dimensional facial anthropology using a laser surface scanner :Validation of the technique[J]. Plast Reconstr Surg, 1996, 98(2) :226-235.
- [15] 焦 婷, 张富强, 孙 健. 应用三维激光扫描仪采集及重建头面部软组织的研究[J]. 上海口腔医学, 2005, 14(5) :463-465.
- [16] Kau CH, Richmond S. Three-dimensional analysis of facial morphology surface changes in untreated children from 12 to 14 years of age[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008, 134(6) :751-760.
- [17] Coward TJ, Watson RM, Scott BJ. Laser scanning for the identification of repeatable landmarks of the ears and face [J]. Br J Plast Surg, 1997, 50(5) :308-314.
- [18] Coward TJ, Scott BJ, Watson RM, et al. Laser scanning of the ear identifying the shape and position in subjects with normal facial symmetry[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2000, 29(1) :18-23.
- [19] Coward TJ, Watson RM. Use of laser scanning and CAD/CAM systems in the fabrication of auricular prostheses [J]. Quintessence Dent Technol, 1997, 20(Suppl) :47-54.
- [20] Ciocca L, Scotti R. CAD-CAM generated ear cast by means of a laser scanner and rapid prototyping machine[J]. J Prosthet Dent, 2004, 92(6) :591-595.
- [21] Kovacs L, Zimmermann A, Wawrzyn H, et al. Computer aided surgical reconstruction after complex facial burn injuries—opportunities and limitations[J]. Burns, 2005, 31(1) :85-91.
- [22] 俞哲元, 穆雄铮, 戴传昌, 等. 三维激光扫描量化评估面部不对称畸形的初步研究[J]. 组织工程与重建外科杂志, 2007, 3(5) :257-259.
- [23] Hoehnke C, Eder M, Papadopoulos NA, et al. Minimal invasive reconstruction of posttraumatic hemi facial atrophy by 3-D computer-assisted lipofilling[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2007, 60(10) :1138-1144.
- [24] Da Silveira AC, Daw JL Jr, Kusnoto B, et al. Craniofacial applications of three-dimensional laser surface scanning[J]. J Craniofac Surg, 2003, 14(4) :449-456.
- [25] 陈 俊, 吕培军, 冯海兰, 等. 牙颌模型三维激光扫描系统可靠性研究及与手工测量的比较[J]. 现代口腔医学杂志, 2000, 14(4) :251-253.
- [26] 吴 琳, 王 勇, 吕培军, 等. 基于激光扫描技术的牙列缺损三维数据的获取[J]. 实用口腔医学杂志, 2006, 22(5) :729-730.
- [27] Cheah CM, Chua CK, Tan KH, et al. Integration of laser surface digitizing with CAD/CAM techniques for developing facial prostheses. Part 1 :Design and fabrication of prosthesis replicas[J]. Int J Prosthodont, 2003, 16(4) :435-441.
- [28] 王殊轶, 钱省三, 葛 斌, 等. 基于激光扫描的人脸软组织三维重建研究[J]. 上海理工大学学报, 2008, 30(1) :64-66.

(本文编辑 王 晴)