

陀螺仪记录转移自然头位系统的建立及其精度检测

刘筱菁, 李倩倩, 田凯月, 王晓霞, 张 益, 李自力[△]

(北京大学口腔医学院·口腔医院口腔颌面外科, 北京 100081)

[摘 要] 目的: 基于陀螺仪、三维手术设计软件建立自然头位(nature head position, NHP)记录及转移系统, 在手术设计软件中将“数字头颅”重置于自然头位, 评估该系统的可行性和精确度。方法: 基于陀螺仪和三维编辑软件建立自然头位记录及转移系统。(1) 通过颌叉、面弓等装置将陀螺仪与患者头部固联。患者佩戴陀螺仪装置, 通过镜像调整头颅位姿到自然头位后, 用陀螺仪记录即刻头颅的俯仰角(Pitch)、横滚角(Roll)和侧偏角(Yaw), 这是实际NHP。(2) 当陀螺仪位姿为零位时(Pitch=0°, Roll=0°, Yaw=0°), 进行锥体束CT扫描, 三维重建后得到标准陀螺仪模型。(3) 将患者数字头颅与标准陀螺仪模型配准融合, 两物体共同旋转至记录的NHP位姿(Pitch、Roll、Yaw), 数字头颅在虚拟环境下重置于NHP, 是为虚拟NHP。(4) 采用标准立方体作为试件, 将其摆放于任意位姿, 分别记录其实际位姿和虚拟位姿, 进行30次实验, 计算实际位姿与虚拟位姿的差异(ΔPitch、ΔRoll、ΔYaw), 如符合正态分布, 对实际位姿与虚拟位姿的3个角度分别进行配对t检验, 对它们的相关性进行Pearson检验。结果: 陀螺仪装置能够记录患者头颅位姿, 并可通过软件将该位姿转移至手术设计系统。ΔPitch=0.03°±0.28°, ΔRoll=0.03°±0.23°, ΔYaw=0.07°±0.49°, 立方体实际位姿与转换后虚拟位姿相应角度差异均无统计学意义(P>0.05); Pearson检验得到两者在α=0.01水平(双向)显著相关(r=1.00)。结论: 基于陀螺仪装置和三维手术设计软件的自然头位记录、转移系统精度满足正颌外科手术设计需求, 操作流程具备可行性。

[关键词] 头部运动; 成像, 三维; 正颌外科手术

[中图分类号] R782.2 [文献标志码] A [文章编号] 1671-167X(2014)01-0086-04

doi: 10.3969/j.issn.1671-167X.2014.01.018

Establishment and accuracy examination of gyroscope for recording and transferring natural head position

LIU Xiao-jing, LI Qian-qian, TIAN Kai-yue, WANG Xiao-xia, ZHANG Yi, LI Zi-hi[△]

(Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Peking university School and Hospital of Stomatology, Beijing 100081, China)

ABSTRACT Objective: To build up and validate a system based on gyroscope to record human natural head position (NHP) and to transfer it into virtual surgical design system. **Methods:** Three dimensional (3D) mechanical gyroscope and 3D design software were integrated in the system. The protocol for recording and transforming NHP included four steps. Firstly, the gyroscope was CT scanned when its position was (0, 0, 0), a virtual model was built up by 3D reconstruction and considered as standard gyroscope model. Secondly, the gyroscope was bounded to the patient's head using bite-jid and face bow. The NHP was recorded when the patient was looking himself into mirror. Thirdly, the virtual head of the patient was overlapped with standard gyroscope model. Finally, when pitch, roll and yaw of NHP were applied to the compound model, the virtual head was orientated to NHP. A standard cube model was used to validate the accuracy of the system. The cube was positioned 30 times, the real and virtual pitch, roll and yaw angles were recorded. The accuracy of the system was presented by the mean ±SD of the Delta. the difference between the real and virtual pitch, roll and yaw angles were analyzed by paired t test and their correlations were investigated by Pearson test. **Results:** The accuracy rates of the system were ΔPitch=0.03±0.28°, ΔRoll=0.03±0.23°, ΔYaw=0.07±0.49°. There were no significant differences between the real and virtual pitch, roll and yaw angles (P>0.05). The two positions were absolutely correlated at the level of α=0.01 (2-tailed, r=1.00). **Conclusion:** The method of recording and transforming NHP using gyroscope is clinically applicable. The accuracy of transferring system meets the needs of virtual surgical design.

KEY WORDS Head movements; Imaging, three-dimensional; Orthognathic surgical procedure

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划 2012AA041606)和首都医学发展基金(2011-4025-03)资助 Supported by the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program, 2012AA041606) and Capital Medical Development Fund (2011-4025-03)

△ Corresponding author's e-mail, kqlzl@sina.com

网络出版时间: 2013-12-20 15:41:29 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4691.R.20131220.1541.008.html>

自然头位(nature head position, NHP)是指人在注视与眼球等高物体时自然、平衡的头颅位姿^[1],是正颌外科手术设计的重要基础。

随着国内外三维手术设计软件的研发和商业化,基于CT数据的三维正颌外科手术规划日益普及。相比传统模型外科,三维设计具有直观、精确、方便等优点^[2-3],然而这一方法尚存在一些问题。患者在接受CT扫描时的头颅位姿不是NHP,螺旋CT扫描时头颅为仰卧位,锥体束CT(cone beam computed tomography, CBCT)扫描时头位虽为直立位,但处于被头带约束的被动状态。手术设计时,医生需要在软件中根据观察将数字头颅摆放至NHP,这一过程缺乏客观依据,重复性和准确性较差。传统的NHP记录方法均基于二维投影测量片进行^[4-7],无法应用于三维手术设计系统,因此如何在手术设计软件中重现患者NHP是三维手术设计技术需要解决的基本问题。

物体在三维空间的位姿可以用它相对于参考坐标系的三个角度记录,分别为俯仰角(Pitch)、横滚角(Roll)和侧偏角(Yaw)^[8],这一度量概念被广泛用于天文、物理、航空航天等领域。2010年,Xia等^[9]和Schatz等^[10]报道了利用陀螺仪记录患者处于NHP时的Pitch, Roll, Yaw角度,并用于正颌外科手术设计中,使得术前流程更加规范。但受到软件条件的限制,该方法在国内尚无应用。

本研究采用陀螺仪装置记录患者的NHP,基于常用手术设计软件建立数据转移流程,并对其精度进行检测。

1 资料与方法

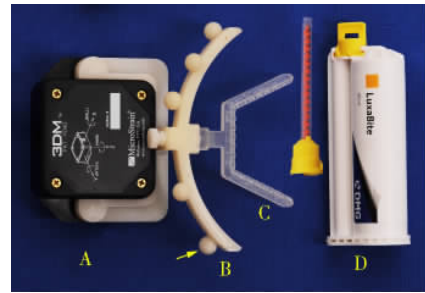
1.1 陀螺仪装置及其标注数字模型的建立

本研究用来记录患者NHP的装置由机械陀螺仪(LORD MicroStrain公司,美国)、面弓、殆叉(Medical Modeling公司,美国)组成,三者之间通过螺丝固定(图1)。将陀螺仪与面弓相连,摆放陀螺仪,使Pitch, Roll, Yaw均为0°,进行CBCT(DCT Pro, Vatech公司,韩国)扫描,管电压90 kV峰值,电流7.0 mA,扫描视野20 cm × 19 cm。CT扫描数据利用三维手术设计软件ProPlan CMF(Materialise公司,Swiss)进行三维重建,生成立体网格(stereolithography, STL)数据,作为陀螺仪标准模型。

1.2 记录患者NHP

在殆叉上、下两面涂抹印模材料(LuxaBite, DMG公司,德国)获取患者正中殆位咬合记录。材料完全固化后,适当修整印模材边缘,将陀螺仪、面弓与殆叉

相连。印模材固化后不产生形变,患者每次咬入殆记录时,陀螺仪装置与患者的相对位置关系不变。



A, gyroscope; B, face bow; C, bit-jid; D, bite recording material.

图1 陀螺仪记录自然头位的硬件装置

Figure 1 Components of gyroscope instrument

患者佩戴陀螺仪,通过直视镜子中自己的眼睛调整头颅姿态,此时医生记录陀螺仪读数Pitch, Roll, Yaw。重复记录3次,每次间隔不少于2 min,计算平均角度,作为患者的NHP。

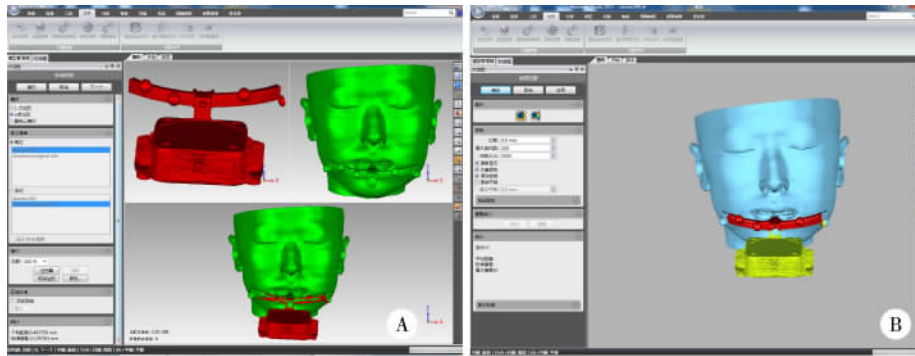
采用16排螺旋CT(西门子公司,德国)对患者进行扫描,扫描范围为颅顶到舌骨水平,扫描参数为:准直器宽度16 mm × 1.25 mm,电压120 kV,电流150 mA,扫描矩阵512 × 512,层厚1.25 mm。扫描时患者口内佩戴殆叉和面弓。CT数据导入三维手术设计软件,选取系统默认的软组织阈值提取皮肤及面弓数据,三维重建,生成STL数据,作为患者数字头颅模型。

1.3 转移NHP

将患者数字头颅、标准陀螺仪数据共同导入三维编辑软件(Geomagic Studio 2012, Geomagic公司,美国)中。以面弓为依据,通过点配准和全局配准将数字头颅数据与陀螺仪标准数据进行配准融合,此时数字头颅位姿为0° 0° 0°(图2)。将记录的患者NHP角度输入软件界面,标准陀螺仪与头颅共同旋转至NHP(图3A)。软件自动计算数字头颅数据从初始位置经过配准、旋转两个步骤的角度变化,以X, Y, Z表示(图3B)。在手术设计软件的头位调整窗口,依次将X, Y, Z分别输入到头位调整的对话框内,数字头颅在虚拟环境下转换为自然头位(图3C)。

1.4 转移精度检测

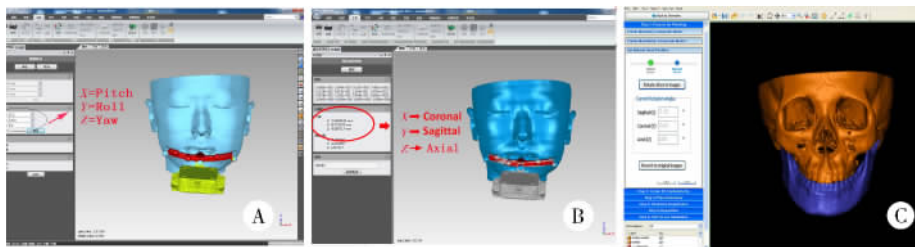
在自然头位转移过程中,经过数据配准、旋转等操作,可能产生误差,本研究对数据转移体系进行精度测试。为了便于角度测量,采用标准正方体作为测试件,将其置于可调的基台上(图4)。通过调整基台角度,随机摆放标准体的位姿,读取陀螺仪记录的位姿角度,此为实际位姿;按照第1.3小节描述过程将这一位姿转换到手术设计系统中,并分别在三个正交平面中测量立方体边界相对于前后轴、左右轴、上下轴的夹角(图5),是为虚拟位姿。重复测试30次。



A , registration according to points; B , global-registration (according to surface) .

图 2 数字头颅与标准陀螺仪配准融合

Figure 2 Registration between virtual head and gyroscope



A , the patient' s head and face were rotated to natural head position when the recorded pitch , roll and yaw angles were input in the menu box; B , the total movement of patient' s head during registration and rotation is resolved and displayed as X , Y , Z , which represent coronal , sagittal and axial angles in surgical design software; C , the resulting angles were imputed in to surgical design software.

图 3 自然头位转移

Figure 3 Natural head position transferring system

1.5 统计学分析

采用 SPSS 17.0 软件进行数据处理。转移系统的精度以实际位姿与虚拟位姿的角度差异 $\Delta Pitch$, $\Delta Roll$ ΔYaw 进行评估,用均数 \pm 标准差表示。对实际位姿与虚拟位姿相应角度进行配对 t 检验,对其相关性进行 Pearson 检验。

检验得到两者在 $\alpha = 0.01$ 水平(双向)显著相关 ($r = 1.00$ 表 1)。

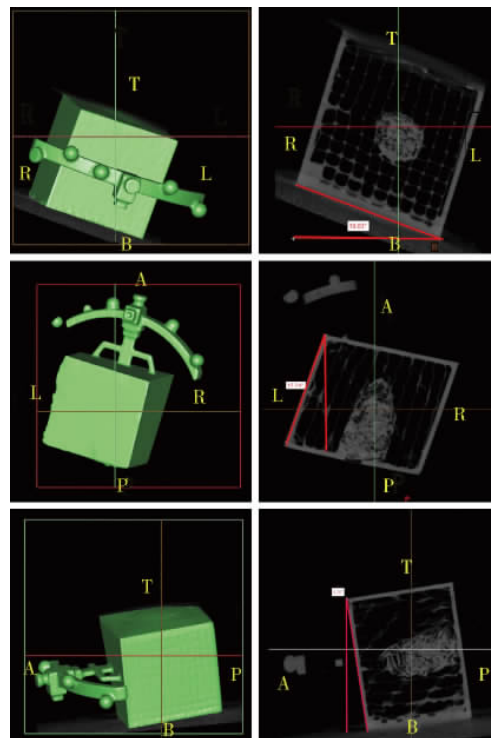


图 4 标准件测试装置

Figure 4 The standard cube and the position controlling device

2 结果

陀螺仪装置能够记录患者头颅位姿,并可通过软件将该位姿转移至手术设计系统。经检验, $\Delta Pitch$ $\Delta Roll$ ΔYaw 均符合正态分布,虚拟位姿与实际位姿差异均无统计学意义 ($P > 0.05$) ,Pearson



A , anterior; B , bottom; T , top; P , posterior; L , left ; R , right.

图 5 数字立方体位姿测量

Figure 5 Position of virtual cube

表 1 自然头位转移系统的精度

	$\bar{x} \pm s$	95% CI	t
Δ Pitch	$0.03^\circ \pm 0.28^\circ$	($-0.07^\circ, 0.14^\circ$)	0.65
Δ Roll	$-0.03^\circ \pm 0.23^\circ$	($-0.12^\circ, 0.06^\circ$)	-0.73
Δ Yaw	$0.07^\circ \pm 0.49^\circ$	($-0.12^\circ, 0.25^\circ$)	0.73

3 讨论

3.1 陀螺仪原理

围绕一定点做高速旋转的物体称为陀螺,其具有稳定性和进动性的物理特性,被广泛用于航天航空领域,测量飞机空间姿态,指示飞行方向等。本研究采用的 3DM-GX1 陀螺仪属于三自由度“姿态仪表”,其内部结构由 3 个正交直流加速器、3 个正交磁力仪、直流/交流电转换器等组成。当陀螺仪与头颅稳定、牢固相连,并随头颅一起转动时,能够实时记录头颅在三维空间的位姿。其工作原理^[8]为:(1) 高速旋转的陀螺具有稳定性,其自转轴保持一个恒定的空间方位;(2) 陀螺仪可以实时(5 次/s)自动校准其自转轴与地球水平面平行。(3) 当陀螺仪与头颅相连时,能够测量头颅相在自然坐标系的 Pitch, Roll, Yaw。由于陀螺仪旋转轴与地平面平行,这些角度均以地平面作为参照。

3.2 陀螺仪记录、转移 NHP 准确性的影响因素

陀螺仪记录头位简单易行,在数字化外科技术日益普及的今天,陀螺仪数据的转移也可通过多种商业软件实现,其记录精度是医生关注的主要问题。通过实验研究,我们认为影响陀螺仪记录 NHP 精度的主要因素为:(1) 陀螺与头部连接的稳定性和可重复性;(2) 数据转移精度。

陀螺仪与头部的稳定连接:本研究中选用的陀螺仪装置通过面弓、颌叉、支架在患者咬合和陀螺仪之间建立连接,颌叉与牙齿连接的稳定性和可重复性是系统精度的重要影响因素。在临床操作中还应注意:(1) 选择刚性的印模材料;(2) 如患者口内有托槽装置,应在获取颌记录前用软蜡将托槽倒凹封闭,避免印模材嵌入倒凹导致颌记录无法取出;(3) 制备颌记录时,应在印模材固化后适当打磨,使其薄厚分布均匀,厚度不超过 3 mm,使佩戴时牙齿具有共同就位道。

数据转移精度影响因素:NHP 的转换是指借助软件工具,通过图像配准和矩阵变换,在虚拟环境下将数字头颅矫正为自然头位的过程。三维数据的配准以两者的共同结构为依据进行,在本研究中面弓

上标准球体的设置提供了配准依据。

图像配准过程是数据转移产生误差的主要原因。大部分手术设计软件只提供交互配准功能,完全依靠医生视觉观察将标准陀螺仪和数字头颅相互重合,重复性和精度较差。在建立流程时,应选择配准功能自动化程度高的软件,减少人为因素对精度的影响。选取不同软件时,要对转移精度进行测试,看它是否满足临床要求。本研究采用三维编辑软件通过点配准和全局配准实现图像融合,操作者通过点配准过程“告诉”程序两个物体的对应关系;在全局配准时,软件基于迭代就近点算法自动计算两个物体最佳匹配关系。根据制造商官方公布的参数,该软件全局配准精度为 0.01 mm,这一结果为 NHP 数据转移精度提供了保障。

Schatz 等^[10]使用计算机辅助设计软件进行数据转移,并测试其平均误差为 Pitch = 0.12° , Roll = 0.07° , Yaw = 0.10° 。将本研究数据与该结果进行比较, Pitch 和 Roll 的误差明显低于 Schatz 等^[10]的结果 ($P < 0.05$), Yaw 的误差与 Schatz 等^[10]的结果差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

基于陀螺仪装置和商业软件的自然头位记录、转移系统精度满足正颌外科手术设计需求,操作流程具备可行性。

参考文献

- [1] Moorrees KM. Natural head position, a basic consideration in the interpretation of cephalometric radiographs [J]. Am J Phys Anthropol, 1958, 16: 213 - 214.
- [2] Aboul-Hosn CS, Hernandez-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results -our experience in 16 cases [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2012, 40(2): 162 - 168.
- [3] Plooij JM, Maal TJ, Haers P, et al. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review [J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2011, 40(4): 341 - 352.
- [4] Usumez S, Orhan M. Reproducibility of natural head position measured with an inclinometer [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2003, 123(4): 451 - 454.
- [5] Usumez S, Orhan M. Inclinometer method for recording and transferring natural head position in cephalometrics [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2001, 120(6): 664 - 670.
- [6] Barbera AL, Sampson WJ, Townsend G C. An evaluation of head position and craniofacial reference line variation [J]. Homo, 2009, 60(1): 1 - 28.
- [7] Chen CM, Lai S, Tseng YC, et al. Simple technique to achieve a natural head position for cephalography [J]. Br J Oral Maxillofac Surg, 2008, 46(8): 677 - 678.
- [8] 宋吉, 周鹏辉. 陀螺原理在航空仪表中的应用 [J]. 黑龙江科技信息, 2013(7): 109 - 110.
- [9] Xia JJ, Megrory JK, Gateno J, et al. A new method to orient 3-dimensional computed tomography models to the natural head position: a clinical feasibility study [J]. J Oral Maxillofac Surg, 2011, 69(3): 584 - 591.
- [10] Schatz EC, Xia JJ, Gateno J, et al. Development of a technique for recording and transferring natural head position in 3 dimensions [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2010, 21(5): 1452 - 1455.

(2013-10-09 收稿)
(本文编辑: 刘淑萍)