

下颌髁突运动中心轨迹测量分析系统

侯振刚¹⁾ 聂志明²⁾ 冯海兰¹⁾ 戴国忠²⁾ 李国珍¹⁾

¹⁾(北京大学口腔医学院修复科, 北京 100081)

²⁾(中国科学院软件研究所, 北京 100080)

摘要 20世纪90年代以来,虽然下颌运动轨迹的研究热点和难点已向髁突运动中心研究发展,然而目前,国际及国内尚未有商品化的髁突运动中心运动轨迹描记仪,国内也未见有关髁突运动中心运动轨迹研究成果的报道。为了获得下颌上任一点(包括髁突运动中心)的三维运动轨迹,以便为医学研究提供手段,首先利用计算机图形学技术和已有的三维六自由度下颌运动轨迹描记仪(MT1602)来获得下颌运动轨迹的原始数据,然后根据刚体运动规律,进行软件编程,自行设计并建立了一个髁突运动中心运动轨迹显示分析系统。该系统是用 Microsoft Visual C++6.0 髁突编写计算机程序自行开发的,可根据需要随时对系统软件进行功能补充和修改,整个系统有较强的可维护性和可升级性。实践表明,该系统可方便地获得下颌上任一点(包括髁突运动中心)的三维运动轨迹,是一个实用的下颌髁突运动中心轨迹测量分析系统。

关键词 下颌运动 髁突运动中心 几何变换 计算机图形学

中图法分类号: R445-39 TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)01-0081-05

Developing of Condylar Traces of Kinematic Center Recording System

HOU Zhen-gang¹⁾, NIE Zhi-ming²⁾, FENG Hai-lan¹⁾, DAI Guo-zhong²⁾, LI Guo-zhen¹⁾

¹⁾(Department of Prosthodontics, School of Stomatology, Peking University, Beijing 100081)

²⁾(Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Since condylar movement includes both translatory and rotatory components, each condylar reference point moves in different path. Therefore, the choice of condylar reference point is important for the interpretation of condylar movement traces. Kinematic center was originally suggested by Kohno. It's like a translating rotational center of the condyle-disk complex in condylar movements. Its movement traces are mainly determined by the contour of the articular eminence, and independent of additional rotatory component of condylar movements. To date, commercial condylar traces of kinematic center recording system is not available in market. There are rare explorations in this field. Therefore, the aim of this study was to develop condylar traces of kinematic center recording system. A condylar movement traces of kinematic center recording system has been developed with the combinations of computer graphic, mathematics and oral physiology. The movement traces of any point on the mandible can be reconstructed by this system. Furthermore, the kinematic center of condylar can be located and its traces can be analyzed by this system.

Keywords Mandibular movements, Condylar kinematic center, Geometric transformaiton, Computer graphics

0 引 言

研究下颌运动轨迹的重要目的之一就是研究其

运动轨迹特征,以便将其应用于临床,进行关节功能状态的判断,进而作为颞下颌关节紊乱病诊断的辅助手段之一。但由于下颌运动是一个包括转动和滑动的复合运动,所以下颌骨上不同的点的运动轨迹

是不同的,而商品化的仪器只能显示预先设定点的运动轨迹,且一般只显示双侧髁突区及切点等特定3个点的运动轨迹.另外,由于不同的测试者,不同的仪器所选取的髁突区参考点不可能完全相同,且同一仪器,同一测试者,不同时间进行测试,也会造成髁突区参考点的改变^[1],从而导致其运动轨迹的改变.这就造成了同一个受试者的这种运动轨迹特征不同的现象,因而对其关节状态判断也不同,以致造成错误的诊断^[2].能否找到一个受各种因素影响很小,而主要由受试者本身决定的参考点的运动轨迹呢?近6年来,Pröschel、Yatabe、Morneburg、Naeije 和 Catic 等在分析各自现有的下颌运动轨迹描记仪获得的下颌运动数据的基础上,确定了髁突运动中心^[3~8],他们认为此点的轨迹主要由受试者关节窝的轮廓决定,由于其轨迹较恒定,且受各种因素影响小,因此有重大的临床意义.目前,国际上尚未有商品化的髁突运动中心轨迹描记仪,国内也未见报道.

本研究利用计算机图形学技术,在分析用已有的三维六自由度下颌运动轨迹描记仪(MT1602,德国 Hansen 公司,1985)获得的下颌运动轨迹原始数据的基础上,根据刚体运动规律,进行软件编程,建立了一个髁突运动中心轨迹显示分析系统,应用本系统可方便获得下颌上任意一点(包括髁突运动中心)的三维运动轨迹,并能进行各种指标的分析 and 测量,从而为髁突运动中心轨迹的研究及应用提供了手段.

1 下颌运动轨迹原始数据的获取

应用北京大学口腔医院修复科已有的三维六自由度下颌运动轨迹描记仪(MT1602,德国 Hansen 公司,1985)来记录受试者的下颌运动,以获得下颌运动轨迹数据文件.该仪器由超声波电转换器、超声波发射器、超声波接收器、486 计算机等组成.测试时,用超声波发射器作为信号源,通过夹板固定于下颌牙列上,与固定于颅面部的超声波接收器布置成阵,以接收超声波信号,并通过多普勒效应原理,计算出信号源的空间位移和移动速度.通过计算机运算,可从信号源与下颌的空间位置关系得到下颌预先标定点的运动轨迹数据文件.由于操作及软件系统的局限,该仪器一般只能计算显示下颌切点和左、右侧髁突区终末绞链轴点在额面(Y-Z)、矢状面(X-Z)和水平面(X-Y)上的运动轨迹,且各点轨迹有重

合,因此测量及分析有很大局限(见图1).

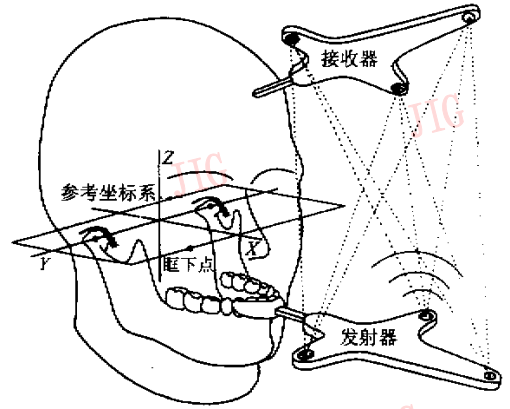


图1 MT-1602 工作原理示意图

2 下颌空间任意点的运动轨迹求解

下颌三维六自由度运动轨迹描记仪 MT-1602 可以记录下颌预先标定点(一般为下颌切点和左、右侧髁突区终末绞链轴点)的运动轨迹数据文件.由于下颌运动可以近似地看成是一个三维刚体运动^[9],且下颌骨在运动时的变形很小,可以忽略,因此可根据刚体的运动规律来求得下颌上任意点的运动轨迹.

如图2所示,记两个髁突点的初始位置为 $P(x_1, y_1, z_1)$ 、 $Q(x_2, y_2, z_2)$,切点为 $T(x_3, y_3, z_3)$;运动后的髁突点位置为 $P'(x'_1, y'_1, z'_1)$ 、 $Q'(x'_2, y'_2, z'_2)$,运动后,切点位置为 $T'(x'_3, y'_3, z'_3)$.设下颌骨上的任一点,其起初始位置为 $W(x, y, z)$,若已求得该点在运动后的位置 $W'(x', y', z')$,则此点的轨迹就可得到.由于下颌可看作为一个刚体,故无论是在运动前,还是在运动后, P, Q, T, W 4个点之间的相对关系不会发生变化.

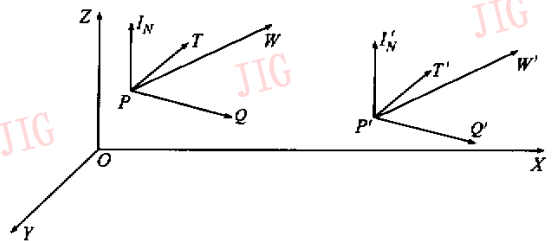


图2 下颌上任一点运动轨迹求解示意图

据此,可得到如下求解算法(所有的矢量用列向量来表示):

记 I_{PQ} 为由 P 指向 Q 点的单位矢量:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{I}_{PQ} &= \overrightarrow{PQ} / (\|\overrightarrow{PQ}\|) \\
 &= \left((x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) / \left(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \right) \right)^T \\
 &= (x_{PQ}, y_{PQ}, z_{PQ})^T
 \end{aligned} \tag{1}$$

记 \mathbf{I}_{PT} 为由 P 指向 T 的单位矢量:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{I}_{PT} &= \overrightarrow{PT} / (\|\overrightarrow{PT}\|) \\
 &= \left((x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1) / \left(\sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2} \right) \right)^T \\
 &= (x_{PT}, y_{PT}, z_{PT})^T
 \end{aligned} \tag{2}$$

记 \mathbf{I}_N 为 P, Q, T 所在平面的单位法线矢量:

$$\mathbf{I}_N = \mathbf{I}_{PQ} \times \mathbf{I}_{PT} = (x_N, y_N, z_N)^T \tag{3}$$

记 \overrightarrow{PW} 为由 P 指向 W 的矢量, 则 \overrightarrow{PW} 可沿 \mathbf{I}_{PQ} 、

\mathbf{I}_{PT} 、 \mathbf{I}_N 3 个单位矢量方向分解为 3 个分量.

$$\overrightarrow{PW} = (x - x_1, y - y_1, z - z_1)^T = [\mathbf{I}_{PQ} \ \mathbf{I}_{PT} \ \mathbf{I}_N] \times \mathbf{V}$$

其中, 列向量 \mathbf{V} 为可求得

$$\begin{aligned}
 \mathbf{V} &= [\mathbf{I}_{PQ} \ \mathbf{I}_{PT} \ \mathbf{I}_N]^{-1} \times (x - x_1, y - y_1, z - z_1)^T \\
 &= \begin{bmatrix} x_{PQ} & x_{PT} & x_N \\ y_{PQ} & y_{PT} & y_N \\ z_{PQ} & z_{PT} & z_N \end{bmatrix}^{-1} \times (x - x_1, y - y_1, z - z_1)^T \tag{4}
 \end{aligned}$$

当下颌运动以后, 点 P, Q, T 分别运动到了 P', Q', T' , 则 W 也运动到 W' 位置, 但运动前后各点的相对位置保持不变. 此时, 与前类似, 可求出

$\mathbf{I}'_{PQ}, \mathbf{I}'_{PT}, \mathbf{I}'_N$

$$\overrightarrow{P'W'} = [\mathbf{I}'_{PQ} \ \mathbf{I}'_{PT} \ \mathbf{I}'_N] \times \mathbf{V} = (x'_{PW}, y'_{PW}, z'_{PW})^T \tag{5}$$

其中, \mathbf{V} 为式(4)中求得的列向量.

然后, 可求得 W' 的位置为

$$W' = (x'_1 + x'_{PW}, y'_1 + y'_{PW}, z'_1 + z'_{PW})^T$$

至此, 即可得到下颌上任意一点的运动轨迹.

3 髁突运动中心位置求解

下颌髁突运动是一个包括转动和滑动的复合运动, 对于下颌运动而言, 一般认为, 下颌前伸运动为单纯的滑动, 而大张口运动为典型的转动和滑动的组合, 因为人的下颌运动可近似地看作是一个刚体的三维空间运动, 它既包括转动, 又包括滑动, 而根据刚体运动规律及运动中心定义, 刚体上运动中心是只有滑动, 而没有自身转动的点, 所以可以分别根据左、右侧髁突前伸和大张口矢状面运动轨迹来得到左右侧髁突运动中心.

由于刚体空间各点的运动是连续变化的, 因此可以用迭代方法来求得运动中心位置.

现以下颌两髁突终末绞链轴点连线的中点为原

点来建立坐标系 (O, X, Y, Z) , 其中, X 方向为自原点指向切点的方向, Y 方向为两髁突终末绞链轴点连线方向, Z 方向为垂直向上方向 (参见图 1). 求解运动中心时, 首先取矢状面 $(X-Z)$ 为参考平面, 以左侧或右侧髁突终末绞链轴点为中心, 以下颌运动的最大距离为边长做一个正方形, 同时计算正方形上 8 个点的运动轨迹; 然后对计算出的各个点运动轨迹进行评价, 并选取其中最优 (即前伸运动轨迹与大张口运动轨迹最接近) 的一个点作为下一个迭代过程的中心点, 同时把正方形的边长缩小一半. 如此反复, 直到达到要求为止, 找到运动中心过程如图 3 所示.

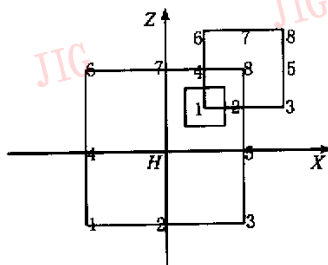


图 3 迭代过程示意图

下面以一受试者的实际下颌前伸和大张口运动轨迹为例, 来说明求取髁突运动中心的过程:

首先, 用 MT-1602 来得到原始测量点的下颌运动矢状面 $(X-Z)$ 轨迹 (见图 4), 其第 1 次迭代的结果见图 5 (以一侧髁突为例).

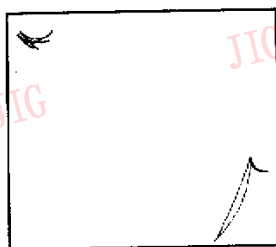


图 4 原始的下颌运动轨迹 $(X-Z)$ 平面 (左上分别为左、右侧髁突的运动轨迹; 右下为切点运动轨迹, 较短的为前伸运动轨迹, 较长的为大张口运动轨迹)

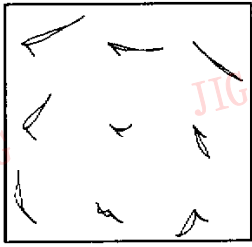


图5 第1次迭代结果

(中央为髁突终末绞链轴点的运动轨迹,
其余为正方形上的8个点的运动轨迹)

然后将髁突终末绞链轴点正上方点的运动轨迹放大,用于进行如下分析(见图6):

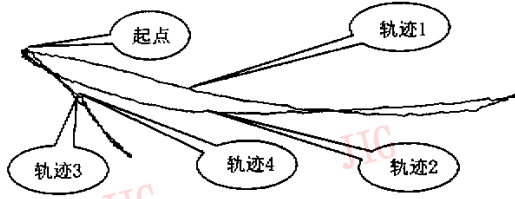


图6 放大后的一点轨迹

(1) 这一点的轨迹可以分为轨迹1,轨迹2,轨迹3和轨迹4等4段;

(2) 求得轨迹1和轨迹2所包围的面积 $S_{1,2}$ 和弦长 L_1, L_2 ;

(3) 求得轨迹3和轨迹4所包围的面积 $S_{3,4}$ 和弦长 L_3, L_4 ;

(4) 求得以起点为圆心,以4条轨迹中最短的轨迹为半径 R ,由4条轨迹所夹的扇形面积 S ;

(5) 求取评价价值,评价价值 V 为:

$$V = 0.5 \times S_{1,2} / (L_1 + L_2) + 0.5 \times S_{3,4} / (L_3 + L_4) + S / R$$

V 值最小的点是最优点,也就是轨迹宽度最窄的点。

最后,经过多次迭代,其求得的髁突运动中心轨迹及位置如图7所示。



图7 髁突运动中心轨迹及位置(X-Z平面)

(右上方的为髁突运动中心轨迹,
左下方的为髁突终末绞链轴点运动轨迹)

4 本系统的建立和测量分析功能

在一台 P II 计算机上,利用前面的原始数据和原理,用 Microsoft Visual C++ 6.0 编写计算机程序,最终完成本系统的开发。

本系统较原有下颌运动轨迹描记仪(MT1602,德国 Hansen 公司,1985)的测量分析功能有如以下几方面的改进。

(1) MT-1602 三维下颌运动轨迹描记仪是德国 Hansen 公司 20 世纪 80 年代后期的产品,虽然其记录精度较高,但其软件系统为 DOS 界面,且语言为德文,而本系统为 Windows98 界面,不仅操作方便,且菜单友好、直观。

(2) 本系统能对下颌下各个点的运动轨迹进行单独显示或同屏显示,从而避免了因原有仪器所有点只能同屏显示,且相互重叠而造成的分析测量上的不便和误差。

(3) 本系统的测量功能简单方便,只要用鼠标拉出要研究轨迹的起止点,系统就能自动给出相应的长度和(或)角度数值,相对于原仪器只能通过比例尺来估计长度值的情况来说,减少了测量的个体误差。

(4) 本系统能对任一点的运动轨迹进行放大或缩小,对运动轨迹的局部和整体均能按研究要求显示,因而在定性和定量分析中较原仪器方便准确。

(5) 本系统还具有对运动轨迹直接显示或动态显示、改变视点和中心视区、多周期轨迹自动分离等新增功能。

5 结 论

本研究在分析已有三维六自由度下颌运动轨迹描记仪(MT1602,德国 Hansen 公司,1985)获得的下颌运动轨迹原始数据的基础上,根据刚体运动规律,通过用 Microsoft Visual C++ 6.0 编写计算机程序,建立了下颌髁突运动中心轨迹显示分析系统。本系统方法可靠,不仅可方便获得下颌上任意一点的三维运动轨迹,且能直观、准确地得到髁突运动中心及其运动轨迹,为髁突运动中心轨迹的研究及临床应用提供了必要的手段。同时由于本系统还加强了下颌运动轨迹的显示分析功能,因此对下颌运动轨迹研究中的定性和定量分析更加方便和准确。本系统是自行开发的,可根据需要随时对系统软件进

行功能补充和修改,整个系统有较强的可维护性和可升级性。

参 考 文 献

- 1 冯梅兰,周崇阳,李平. 下颌铰链运动轴点稳定性及位置的探讨[J]. 中华口腔医学杂志,1997,32(3):139~142.
- 2 Peck C C, Murray G M, Johnson C W *et al.* The variability of condylar point pathways in open-close jaw movements[J]. J. Prosthet. Dent. ,1997,77(4):394~404.
- 3 Pröschel P, Feng H, Ohkawa S *et al.* Untersuchung zur interpretation des bewegungsverhaltens kondylärer punkte[J]. Dtszh Zahnärztl Z,1993,48(5):323~326.
- 4 Yatabe M, Zwijnenburg A, Megens CCEJ *et al.* The kinematic center:A Reference for condylar movements[J]. J. Dent. Res. , 1995,74(10):1644~1648.
- 5 Yatabe M, Zwijnenburg A, Megens CCEJ *et al.* Movements of the mandibular condylar kinematic center during jaw opening and closing[J]. J. Dent. Res. ,1997,76(2):714~719.
- 6 Morneburg T, Pröschel P. Differences between traces of adjacent condylar points and their impact on clinical evaluation of condyle motion[J]. Int. J. Prosthodont,1998,11(4):317~324.
- 7 Naeije M, Slater JJRH, Lobbezoo F. Variation in movement traces of the kinematic center of the temporomandibular joint [J]. J. Orofac. Pain. ,1999,13(2):121~127.
- 8 Catic A, Naeije M. Location of the hinge axis and the kinematic centre in asymptomatic and clicking temporomandibular joints [J]. J. Oral Rehabil. ,1999,26(8):661~665.

- 9 Koriotoh T W, Hannam A G. Deformation of the human mandible during simulated tooth clencing [J]. J. Dent. Res. , 1994,73(1):56~66.
- 10 唐荣锡,汪嘉业,彭群生. 计算机图形学教程[M]. 北京:科学出版社,1994.

侯振刚 北京大学口腔医学院修复科临床技能型博士研究生. 目前研究方向为口腔修复及咀嚼生理.

聂志明 中国科学院软件研究所硕士研究生. 研究方向为用户界面及图形学.

冯海兰 北京大学口腔医学院修复科教授,博士生导师. 主要研究方向为口腔修复及咀嚼生理.

戴国忠 中国科学院软件研究所研究员,博士生导师. 主要研究方向为人机交互,计算机图形学.

李国珍 北京大学口腔医学院修复科教授,博士生导师. 主要研究方向为口腔修复及咀嚼生理.