# 用计算机辅助的设备进行功能性诊断—进展、潜力和局限性

Computer-assisted instrumental functional diagnostics—state of development, possibilities, and Limits.

B. Kordaβ

原载 International Journal of Computerized Dentistry 2002;5:249-269(英文、德文)

李鸿波 译 冯海兰 校

**摘要** 本文讨论了用计算机辅助设备进行功能性诊断的发展、当今趋势及发展前景,包括用于调整殆架、测量和显示运动功能、显示有功能障碍的部位等。

## 引言

用仪器进行功能性诊断,即利用能够记录下颌功能并对结果作出正确解释的测量系统,并未因为计算机的辅助而失去其吸引力。对于很多人来说,它还是象Gerber's时代那样神秘,不适于日常的医疗活动,而是为专家和经过先进训练的人用的。当你看到为了获得有意义结果的单纯的机械系统所付出的努力的时候就可以理解这一点了。另外,由于在解释中常常存在着困难和不确定性,这也会降低其对口腔功能状态评价的价值。因此,在循证问题中重新考虑其代价和使用也就不足为奇了。但是,对测量系统不会变得更加复杂而是简便、不易出现误差、操作更安全的希望是与用仪器进行功能性诊断中计算机技术的应用相联系的。原则上来讲,系统要能够包括帮助功能、安装向导、示范结果、自动评价和帮助决策的软件。下文中讨论其进展、发展趋势和前景。

## 定义及使用范围

用设备进行功能性诊断是用来获得用于进一步评价口腔系统功能状态的客观数据。用仪器进行功能性分析包括:

- 广义来讲,所有能够记录、显示、分析、储存下颌功能的系统。
- 狭义来讲,能够三维记录下颌尤其是关节区域的运动,获得调整殆架数据的系统。

对结果的参考要基于不能孤立的解释用仪器进行功能性分析结果,而是通常要以临床功能分析为基础。相应的,是否采用仪器进行功能性分析只有根据临床功能分析而定。即使这一建议现在仍然基本上是正确的,现今更多的方法、技术目的在于更广泛和普遍的应用,因为其使用非常简便。例如,可以接受的是,在仪器显示屏上,一个可以自我校正和调整的系统在每次口腔治疗前可以快速准备就绪,患者于是进行2~3种运动,(如开闭口运动等),系统可以自动计算准确的情况,使之可以评价拟进行治疗的个体口腔系统状况。

计算机辅助的用仪器进行功能性诊断的应用范围总结如下:

- 显示功能运动
- 验证临床的初步诊断
- 保存治疗过程的资料
- 调整殆架
- 决定治疗的关节位置
- 对怀疑有功能障碍的显示

译者 北京大学口腔医学院
北京海淀区南大街22号 100081

## 电子记录系统

电子记录系统是机械成像系统更进一步发展的结果(图 1-3)。机械测绘装置被电子传感器所替代。传感器所测到的数据可以作为数字信号直接输入计算机,或者先以模拟信号输入模数转换器，再由计算机进行进一步的处理。近来,软件用来完成对数据的评估和图像处理,它对各系统性能的决定作用要大于传感器。与单纯的机械系统相比，带有计算机辅助的电子系统的优点总结如下：

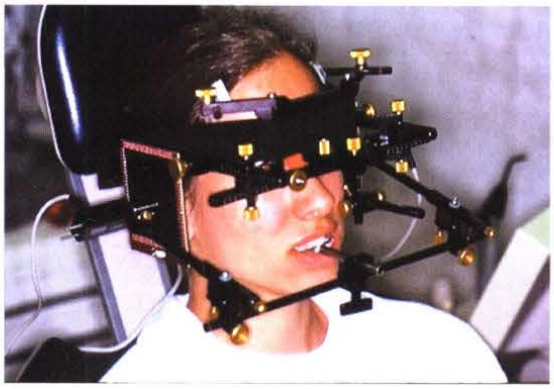


图 1 Cadiax 系统

图 2 下颌运动分析系统(JMA)

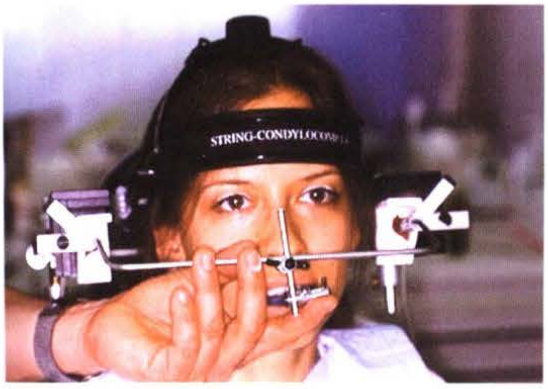



图 3 String Condylocomp 系统

- 有数据库与统计程序接口
- 可升级的图像处理软件可对图形进行各种大小的缩放
- 同时三维的、以时间为坐标的采集随意数量、不同位置的运动轨迹
- 可以随意的选择投射平面
- 自动校正投射误差
- 可以有选择地或完全地获取所有平动和旋转运动的分量
- 根据对速度、加速度、角速度等的解析计算推导变量
- 通过一系列的运算计算运动轴（铰链轴、神经肌肉轴、动态轴等）
- 计算生物力学特性,如瞬时旋转中心(ICR)或旋转轴
- 计算关节的负载向量等
- 三维显示下颌位置，及与其它位置时的距离(IP, RP, MKP, 治疗位置等)
- 与其它测量系统如肌电仪、压力传感器等相连
- 调节电子𬌗架、机械𬌗架或虚拟𬌗架
- 结合软件进行精度的管理和辅助决策

一般来讲，市场上可以购买的系统可以根据以下进行分类：

- 基本测量原理(如不接触或可调整的接触)
- 传感器的安装与放置(离轴远或近)
- 显示不同部位(如关节、牙尖顶等)下颌运动的能力

而在过去，虽也强调某一系统在这些基本方面的特殊性能,但对传感器种类、放置的讨论被认为是次要的。只要能证明和保证测量的精度、设备临床的重复性、测量的正确性,在传感器放置的是否接触、距离轴的远近方面的差异被认为是第二位的。所有可获得的可以记录和显示下颌运动(包括关节运动)的商品化测量系统都遵循这些基本要求。

但是,对患者的测量质量也取决于一些因素,这是由于测量系统的特性造成的。包括：

- 与传感器相关的因素，如传感器的重量不应超过100g,以减小由于传感器的质量所造成的加速度
- 与测量相关的因素,如空间分辨率(在关节区域至少0.4mm),取样频率(至少 50Hz,最好 100Hz,以便能够记录有弹响的关节在偏斜方向上的细小变化)。

●运动的自然程度和对运动的限制和辅助程度，如咬合的锁定、受诱导的和没有诱导的运动等

●如由于对旋转中心的定位不准确或未对其进行充分考虑造成的近轴失真等。旋转运动造成的近轴失真可以造成记录模拟平动分量的失真。就此而言，在解释所有关于不同下颌位置时关节移动（MPI 技术）的陈述时，必须要牢记近轴失真。

●患者固有的影响口内状况的因素，如嘴唇是否能够闭合或者基本的生物学方面的差异（如关节的运动空间和弹性等）

患者固有的差异使得比较不同测量系统的测量结果尤其困难，因为其不遵循明显的标准。例如，在比较两篇采用不同测量系统获得结果的文献的时候，比较时最低的要求是注意比较起始和操作的情况：参考平面的选择、运动的起始点（RP，IP，ZP 等）、运动的种类和辅助（诱导或无诱导）、患者组的一致性、时间等。如果查阅参考文献，很多结论只适用于其本身，不同的文献间不具有可比性。在 Webling 等的一份研究中对两个测量系统进行了直接的比较。对同一患者同时安装两个测量系统—the jaw motion analyzer（JMA，Zebris，Isny，Germany）和 the Cadiax system（Gamma，Vienna，Austria）（图 4），同时记录其运动。在 17 例患者中，同时记录得到的左右侧髁导斜度（HCN）的组内相关（ICC）为 0.91，比如果先安装一个测量系统，再安装另外一个的好，为左侧 0.86、右侧 0.81。ICC 在 0.8 以上即表示较好，两个测量系统间的差异在临床上意义不大，但是同时安装了两个测量系统的 ICC 值更明显地提示测量系统可以影响测量结果。

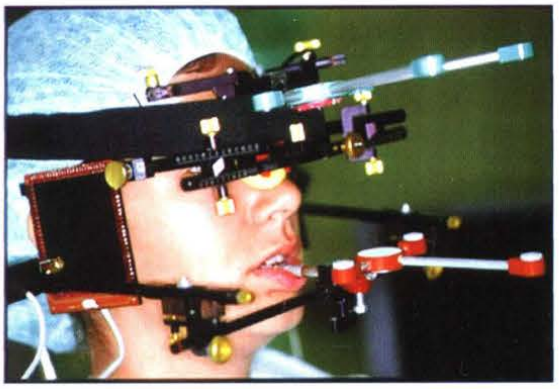


图 4　同时安装了 JMA 和 Cadiax 系统

计算机辅助电子测量系统的诊断能力

由于计算机辅助与 IT 存储相连，评估、显示、传递能力超出传统的机械测量成像系统很多。获得了一些关于功能过程和形态学基础关系的新观点：

●与功能和/或治疗相关的下颌或关节位置的 3D 显示和评估

市场上可获得的所有的测量系统都至少能够直接比较牙尖交错位与髁突的正中位置（电子 MPI），不需要固定在𬌗架上的特殊的辅助装置。获得正中咬合的稳定性或𬌗干扰的信息。

●有诱导和无诱导、牙诱导和自由运动的 3D 显示（图 5）。

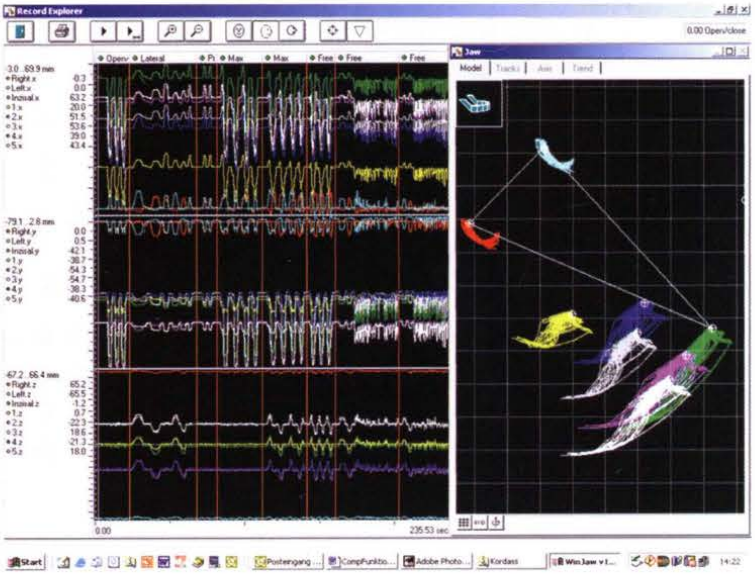


图 5　JMA 系统视窗上显示任意点的运动轨迹（右侧）

可以显示关节弹性运动的空间或矜干扰对髁突运动轨迹的影响。例如，如果没有牙齿的接触滑动时髁突向中间运动，这被认为是过平衡会致使颞下颌关节不稳定的明显指征。

●运动轨迹的特征(图 6，中)

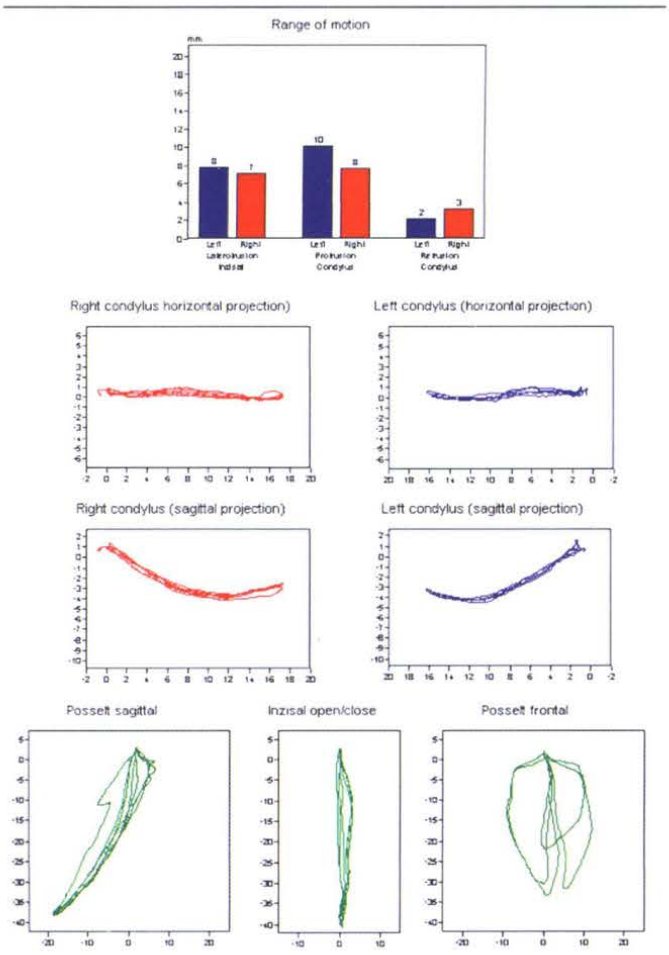



图 6 JMA 系统的功能性诊断报告：显示关节的运动轨迹(中)，显示 Posselt 曲线(下)

在这里，是否 a)运动轨迹正常，即向末端凸起弯曲，b)另外存在着活结状，或 c)轨迹表现为直线、反向曲线或完全不规则。而且，侧向和向中间的运动轨迹是否一致对于诊断也非常重要。在开口运动轨迹的长度不应小于 10 或 11mm。颤动的、弧线型或者歪斜的轨迹可以作为创伤导致改变的症状。Meyer 对于评价功能障碍症状在临床上的重要性提供了帮助：微小创伤和大的创伤是不同的，大的偏斜和空间顺序的改变、以及轨迹形状不连续，说明关节有大的创伤，关节结构严重改变(如关节盘病理改变、关节盘移位或关节变形)(见表 1)。

表 1 TMJ 状态的定义、症状和轨迹图形

| 提示 | 关节表现 | 临床症状 | 运动轨迹 |
|---|---|---|---|
| 生理状态 | 力作用时间短，运动无摩擦，有关节滑液 | 运动无障碍，无声、无痛 | 为连续、正常的曲线，(水平面上)平直向前、中间向内侧，IC 位于 CR 附近 |
| 微小创伤 | 粗糙、黏连，滑动受限(可恢复) | 痛、弹响、有摩擦声、偏斜 | 形态基本正常：不连续、颤动，活结状，水平偏斜 |
| 较大创伤 | 部分或整个关节盘可复性或不可复性移位(部分可恢复)，退化(不可恢复) | 弹响、运动障碍、痛、摩擦、牙关紧闭 | 形态基本偏斜；不连续、空间顺序改变、呈直线、轨迹倒转，IC 与 CR 不一致； |

IC：牙尖交错位；CR：正中关系

●对运动轨迹偏斜方向的分析

这是髁突或者关节盘向上或向下弹跳的表现，有助于区分关节盘的前或后移位。

●左右侧一致性的分析

如果按时间顺序把双侧关节运动轨迹一致的点用线连接，就可以得到线格图或条形图，重复空间中某一种髁突间轴的运动，直观显示左右侧关节间的相互影响。显示结构密度或角度的突然改变是不一致的表现，正常的则是连续线条的排列(图 7、8，中)。如果线在髁突运动轨迹上聚于一点，以扇形向另一侧运动，这是由于在受累关节侧运动受限，即另外一侧在时间和空间上运动超过受限一侧。这种条形图有较高的诊断潜力，现在市场上所能买到的系统都具备此功能。

●速度曲线的分析

如果有足够的对测量数据的时间分析能力，显示减速度、继而加速度的速度曲线是颞下颌关节功能障碍非常敏感的指标(图 8，上)。但是，必须要注意在单侧关节的病变，病变一侧功能障碍的特点可以映射到健康

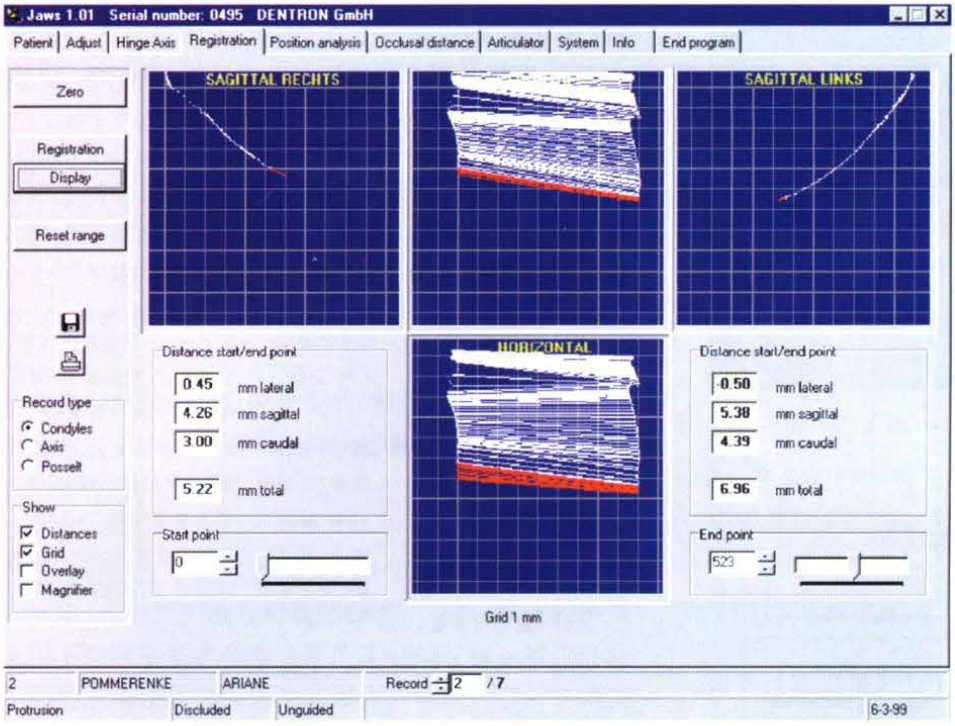



图 7 String Condylocomp 系统显示的双侧关节运动轨迹片段的线格图

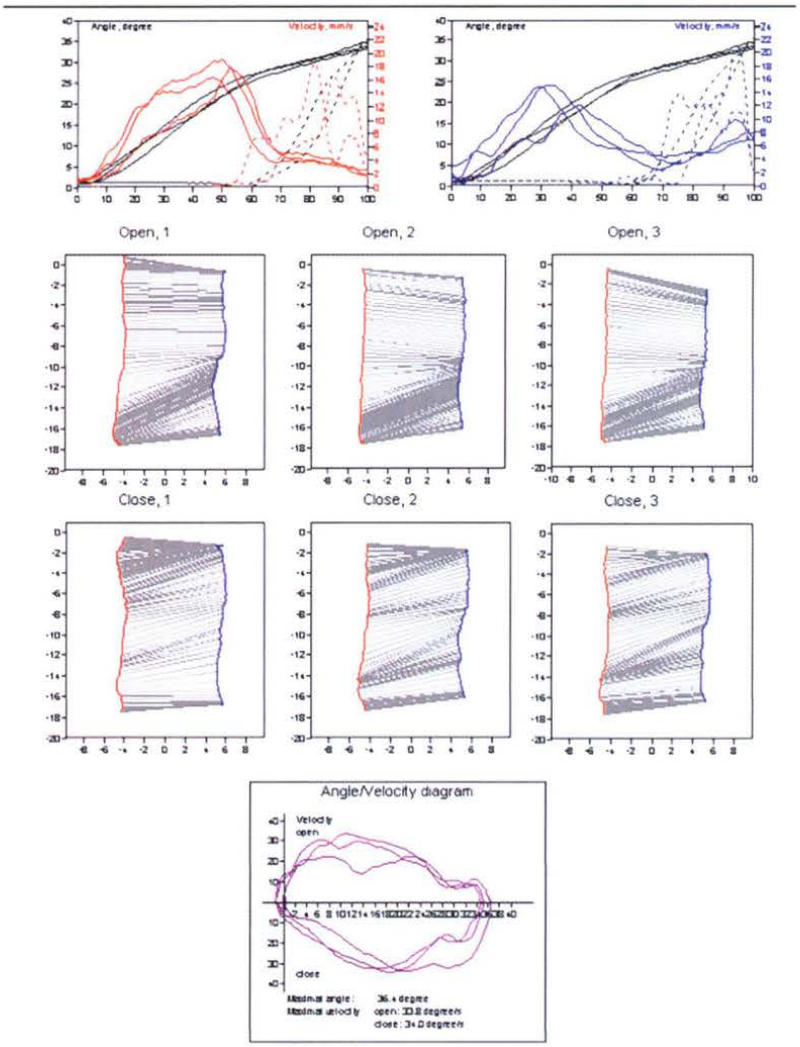



图 8 JMA 系统的功能性诊断报告：中间为线格图、平移和旋转的速度曲线和区别（上）、角速度/开口角度图（下）

一侧,导致错误的解释。经证明,速度曲线更易受到映射现象的影响。

●平移和旋转运动分量的分析

如果髁突运动轨迹的平移可以不受开口旋转的影响而单独显示，在原则上可以区分有关节内部改变的关节源性功能障碍(旋转能力降低)和关节外部滑动功能降低。

●平移和旋转的区别

如果在开口运动过程中,旋转运动是主要的,而不是平移增加，这被认为是平移和滑动分量分离的表现（图8,上、下)。

●与生物力学测量传感器连接的其他接口

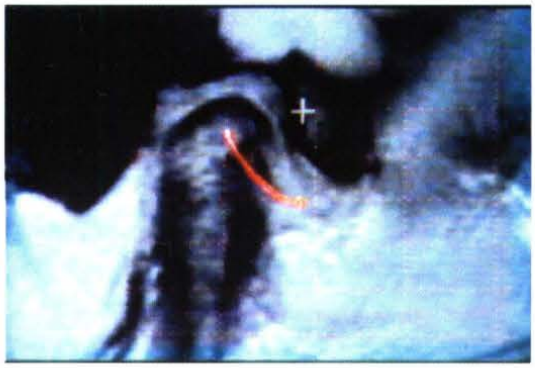
如果测量系统提供了另外的接口来连接肌电仪、压力传感器、或者用于检测弹响、摩擦声音频率的检测装置,为评价功能提供了新的可能,但是需要合适的直观显示软件。迄今为止,在市场上可获得的各系统中只有JMA(Zebris, Isny, Germany)具备这些能力。

●与成像系统的重合和联结

高分辨率的断层扫描系统(如 CT 和 MRI)的缺点是在断层扫描中根本不能或者不能充分的显示实际的动态过程。因此,动态的显示要通过计算机辅助的测量系统按一定比例、正确放置的运动轨迹叠合来完成,以便直接确定结构和功能(图 9、10)。

●计算轴运动

在市场上可获得的用于计算关节运动的各系统中都有计算铰链轴或判定所计算轴的好坏的运算程序。在方法上,以传统的、手工辅助的由患者产生的轴运动为基础。但是也有其他方法,这些特殊的方法因采用计算机辅助而可能实现。包括：



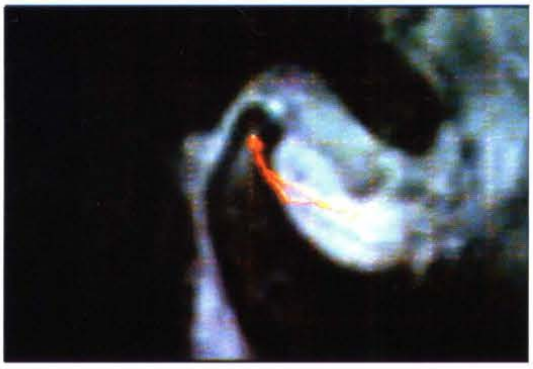


图 9 对受累关节的核磁共振扫描得到的轴运动轨迹的叠加。正常的运动轨迹和正常的关节结构。(左图)

图 10 结构功能的确定：有关盘前移位运动轨迹的不一致(右图)

-神经肌肉轴

神经肌肉轴是基于对边缘运动的考虑。Kubein-Meesenburg 等发现对所有的下颌功能运动都有一个运动轨迹,在此轨迹中,离开正中与回到正中的轨迹是一致的,向前与向后的运动也是一致的。既然此运动可以近似为一个有一旋转中心的环形轨迹，沿此环形轨迹的运动也可以描述为从旋转中心开始的增加或减小一定角度的运动(α)。既然在开口时下颌也发生旋转,也就产生了旋转角(Ny)。描述 Ny 角是 α 角的一种功能位的图表示出口腔系统的功能和适应性能力的状态。

-运动轴

在运动轴中,考虑到开口和前伸运动的轨迹的一致性。如果在关节区域选择一些零散的点，可以看到有一点的运动轨迹有较高的重复性。如果此点作为运动记录的开始点,可以确保在整个轨迹中受旋转的影响(即等轴变形)最小。这对于殆架的设计非常有意义。由于减小了关节区域受旋转的影响,使得运动轴更适于在殆架上模拟下颌运动：在开口和前伸运动中可以设定同样的 HCN 值。另外,确定此轴位置的方法也比传统的确定中央铰链轴的方法更适于临床操作。因此,运动轴可以作为一个简化概念的基础，从功能角度来设置

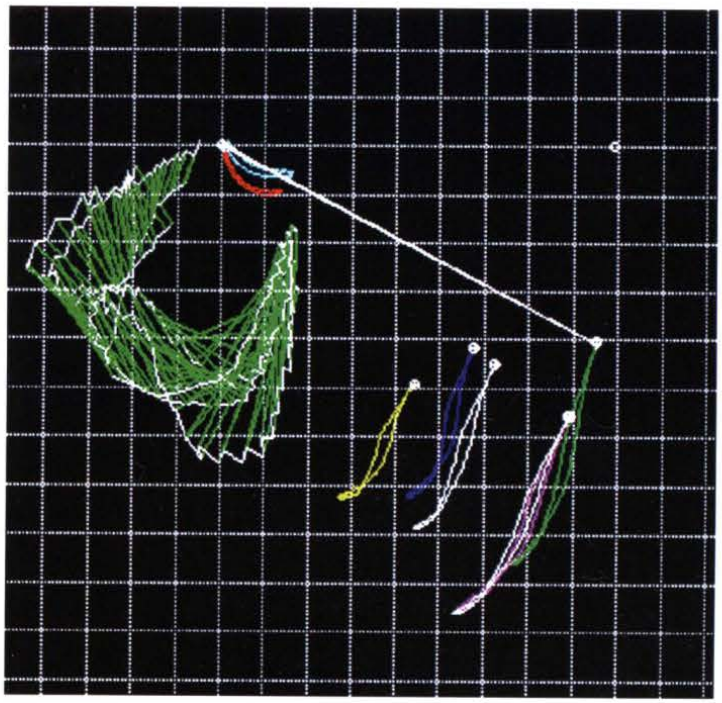
和调整模型。在市场上可获得的系统中能够以运动轴来安放模型的是 JMA(Zebris)系统和 Arcus-Digma 系统(KaVo, Leutkirch, Germany),其目的在于简化临床操作。

-螺旋轴

螺旋轴是从对所有运动过程中瞬间旋转中心的计算得到的。它是以瞬间的、漂移的旋转中心可以被分为最小的运动片段为基础。从上个世纪初就为下颌运动确定了这样的轴，但是只有当有了高分辨率的传感器配以计算机的辅助分析才使得一按按钮就可以记录瞬间轴运动成为可能(如图 11)。由于在平移和旋转运动中瞬间旋转中心的运动轨迹明显不同，可以预期在运动过程中旋转轴不一致时一定伴有运动方向的突然改变。

一般而言，对开闭口运动的分析必须先要考虑旋转分量和旋转中心的情况。

·自动计算调整殆架的参数(图 12)



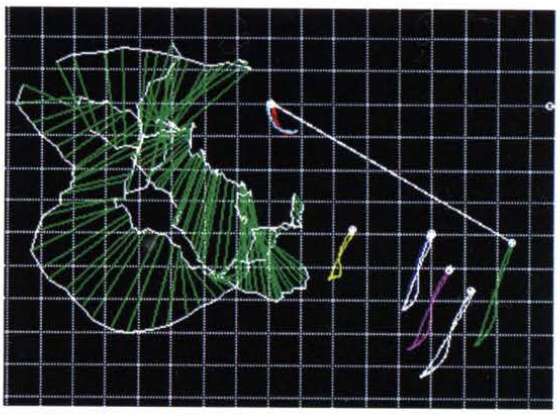


图 11a 在正常运动曲线上显示螺旋轴

图 11b 在有功能紊乱时显示的螺旋轴

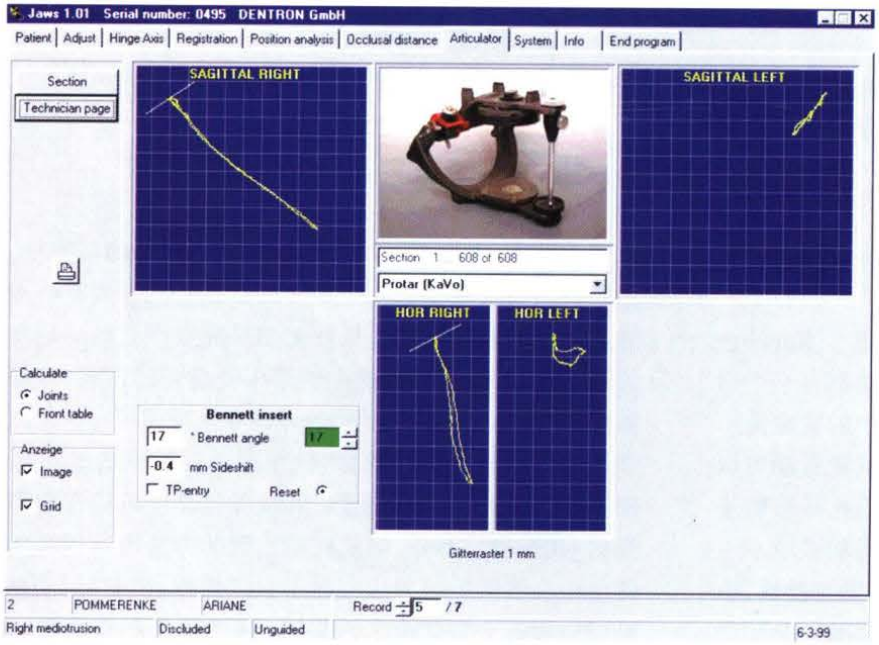



图 12 String Condylocomp 系统自动计算所选殆架的设定值

与机械成像系统相比，计算机辅助测量系统第一次被证明具有这种自动计算的特殊能力。虽然殆架的构造(如高度或控制部分的安置）在细节上可以区别很大，但不同殆架的调整需要记录相同的数据，所以不同殆架对下颌运动的再现具有一定可比性。每种殆架间的记录必须要经过转换。现代化的测量系统可以自动地执行这些。牙科技工操作所用的或用于咬合分析的殆架是从一些可程式化的殆架中所挑选出的。

●调整机械殆架

自从 Gibbs 等先驱开创以来，迄今为止还很少有主动在口腔修复工作中采用机械殆胞架来模拟下颌运动的。Edinger 的 ROSY 系统是个例外。电子系统记录的运动轨迹是分步控制的。机械殆架的首选应用是在殆架上显示咀嚼运动及其对修复体咬合面设计的的影响如何。ROSY 软件使得咬合面的 3D 扫描、直观显示个别牙齿或牙齿的一部分相对于另一牙齿的运动轨迹成为可能。

●设计虚拟殆架

Greifswald 大学研究组的研究一直坚定地沿着将虚拟殆架与硬件相分开的思路。通过透视、断层扫描、接触点的追踪、关节运动窗口等软件工具使得详尽的咬合分析成为可能，并可以在界面上同步显示(图 13)。首先提出了咬合接触方式的时间参数：可以清楚地直观看到咬合面上任一个咬合接触发生的时间、位置和密度。在 Frauhofer Institute in Darmstadt 的合作下，虚拟殆架发展为产品。CAD/CAM 设备也推行相近的方法。但是，VR 模拟的主要目标并不是计算机辅助的对下颌运动的记录，而是模拟在一个虚拟平面上对机械殆架的功能范围进行调节。

●用软件进行精度管理和辅助决策

不能孤立地评价设备化的功能性分析结果。对于复杂的治疗计划——有口腔系统功能障碍的病例常被认为是比较复杂的——需要全面的诊断资料，所有的重要的数据和调查结果要尽可能的直观化、容易理解(一目了然)。这是非常重要的，所以什么也不能忽略。例如，在 Wagner、Schneider 和 Uppsala 指导下的欧洲研究与发展计划 ORQUEST (telematic system for oral health quality enhancement) 就遵循这样的方法。Planmeca (Helsinki, Finland)研究出了电子病历。也有其它的把设备化的功能性分析结果作为辅助口腔医师制定方案

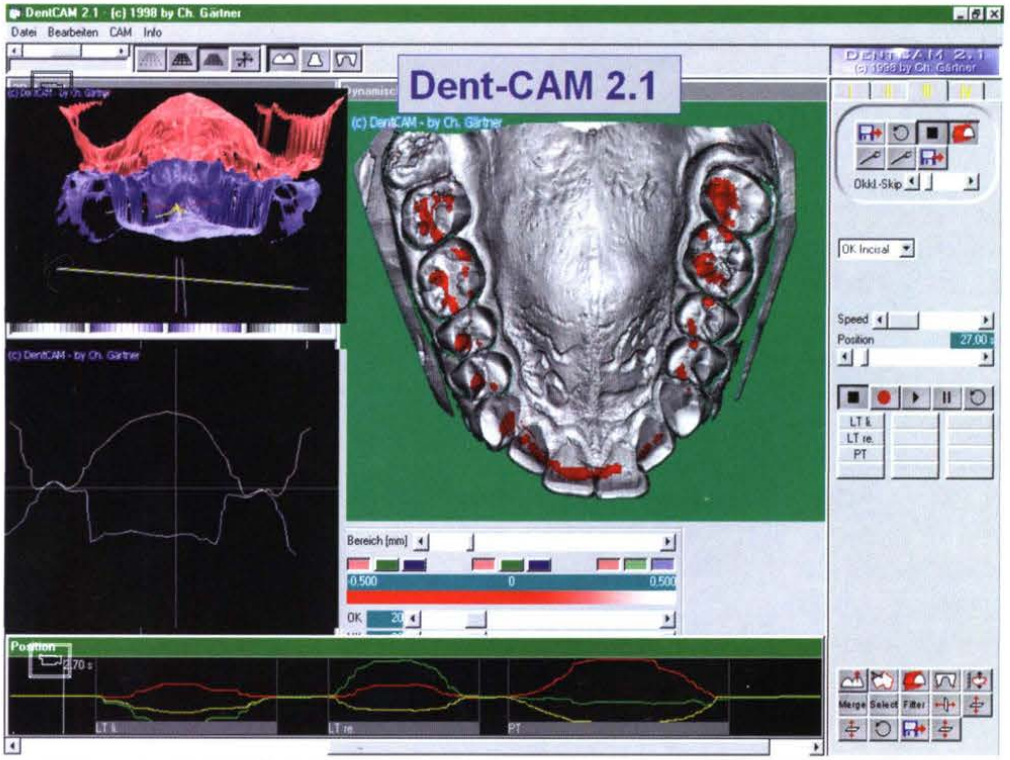



图 13 Dent CAM 系统虚拟殆架的桌面、透视模块(左上)、接触点显示模块(中)、扫描平面面模块(左下)

中的重要一部分的例子，在本刊其他的文章中有述（见W.Janzen 和 H.H.Strothmann 的文章）

●设备化的功能性分析的诊断意义及讨论

从循证医学角度对用设备进行功能性分析适用的必要性和适用范围的广度进行评价，越来越多的德国学者认为设备化的功能性分析（包括各种计算机辅助的设备）并不是必要的，因为其并不是很有意义，费用较高，所带来的好处相对有限。事实上，所知道的研究中，论证诊断精确度、敏感度及其它特性与金标准的关系也是不尽相同（表 2）。但是，从这些文献来看，可以看到其价值有提高的趋势。最近的研究中诊断的精确度（ICC）在 0.8 或更高。Lochmiller 等认为如果图轴描记辅以手动的诊断操作、殆关系转移技术，诊断精确度可以提高到 0.88。Rammelsberg 等的研究与 MRTJ 金标准进行了比较：由 SAS 系统记录得到的一个图轴描记仪参数表现出的精确度是 0.86，当与正常情况相比对可复性和不可复性盘移位的判断精度为 0.9。在 Pomerania 的一项区域性联合研究计划（Pomerania 的健康研究，SHIP）—对 TMJ 退行性变的不同诊断（从 SHIP 中选择，参照 MRT 标准编写 SAS 系统的诊断标准）中，诊断的敏感度特性超过 0.85。

因此证明采用了现代的计算机辅助的系统提高了诊断的精确度。

表 2 文献报道的诊断精度、灵敏度、特异性

| 作者 | 方法 | 标准 | 灵敏度 | 特异性 | 病例数 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ozawa 和 | SAM-A./MRT | SCMP | 0.79 | 0.62 | 282 |
| Tanne | ADDmR | Cross-over | 0.40 | 0.94 | 60 |
| (1997) | ADDoR | BL10mm | 0.28 | 0.80 | 29 |
| | Arthrosis | Irreg.path | 0.52 | 0.77 | 54 |
| Kennworthy | Axiotron/ | | 1.0 | 0.37 | 35 |
| 等(1997) | 临床检查 | | | | |
| Rammelsberg | SAS/MRT | Axiogr. | | | |
| 等(1996) | ADDmR | Index | 0.86 | 0.90 | 109 |
| | ADDoR | BL11mm | (0.81) | (0.97) | 67 |
| Shields 等 | Pantogr./ | PRI (Clayton) | 0.89 | 0.30 | 46 |
| (1978) | 临床检查 | | | | |
| Velasco 等 | Pantogr./ | PRI (Clayton) | 1.0 | 0.0 | |
| (1991) | 临床检查 | | | | |

## 判断标准

不幸的是，对于图轴描记仪的测量数据，迄今为止还没能得到能够代表总体的标准数据。例如，对于关节运动的特点什么是正常的、什么是病态的，我们还没有确切的数据。从长远观点来看，SHIP 的相关研究是有益的。对于记录结果的解释主要从以下方面来考虑：基于解剖功能与生物力学的合理性、比较有牙与无牙患者的异同。对于想要获得近似标准数据的尝试，要以有大量的病例，一致、具有可比性的测量条件为基础。在本文中，参考的是 Pieslinger 等研究组记录正颌外科的下颌运动的研究。

将来，最重要的一项工作就是建立有代表性的设备化功能分析的标准数据。此工作只有采用最先进的计算机辅助系统才能胜任。采用 JMA 系统，有通力协作的助手，可以在 15-20 分钟内（包括仪器的安装）获得关于功能状况的足够数据。只有较先进的系统才足以适合流行病学研究，同时在临床中常规使用。对于实际应用，长期来讲，把这些测量系统融入到临床的诊查程序之中是非常重要的。现在常用的孤立的结论将随着数字化程度的提高而被淘汰。

与 X 线数字照片相似，在将来进一步完善设备化的功能诊断、开辟与数字化操作的结合是非常重要的。

## 结论

计算机辅助的设备化功能诊断已经取代了单纯的机械成像系统。有了计算机的辅助，其能力大于机械成像系统。尽管这样，现今市场上的各系统仍然是孤立的，缺少与数字化操作相结合的概念。随着以操作为目的的观念的引入，有可能使这些系统更经济，可以融入到日常诊查程序中。由于患有需要由仪器对功能紊乱进行分类患者的数量在实际操作中不一，在将来研究出辅助决策和测量管理的软件至关重要。在系统的实用方面的一个巨大潜力就是功能的屏幕显示。与临床检查相比，设备化功能诊断数据更为客观，适于在功能治疗过程中以及在进行修复前后对功能状况的追踪和资料的保存。