

DISEÑO Y ANALISIS DE UN SISTEMA PARA MEDIR LOS MOVIMIENTOS MANDIBULARES

Claudia Patricia Alvarez Gómez¹, Lina María Espinal Mesa²

RESUMEN

Alvarez, CP., Espinal LM. Diseño y análisis de un sistema para medir los movimientos mandibulares. CES Odont 1997. Este estudio tuvo como objetivo diseñar un sistema que permitiera analizar y cuantificar el movimiento mandibular en nuestro medio, con las mínimas interferencias posibles. Para ello se utilizó un soporte intraoral en acrílico, un sistema de emisión de luz conformado por cuatro LEDs (diodos emisores de luz), dos superiores y dos inferiores, dos cámaras de video y se creó un software para el análisis. Se evaluó la masticación con zanahoria y chicle y, los movimientos bordeantes, todo en el plano frontal y sagital. Los resultados más cercanos a la realidad se obtuvieron con los LEDs izquierdos. Los ciclos masticatorios durante la masticación de chicle, tuvieron un componente vertical mayor que el anteroposterior o el horizontal, cuando se comparó con la zanahoria. El promedio de duración de un ciclo fue de 0.68 segundos para zanahoria y de 0.88 segundos para chicle. Se encontraron pausas durante el movimiento de 0.06 a 0.33 segundos y una velocidad durante el ciclo de 225 milímetros por segundo. A pesar de que el sistema aún tiene dificultades, demostró ser útil para registrar y cuantificar el movimiento mandibular.

Palabras claves:

Movimiento mandibular, LEDs, trayectoria mandibular.

ABSTRACT

Alvarez CP, and Espinal LM. Design and analysis of a system to measure mandibular movements. The purpose of this study was to design an efficient system in order to analyze and quantify mandibular movements in an environment with the least interference possible. To achieve this, the following items - appliances were used: an intraoral acrylic support, a light emission system made up from four LED (light emission diodes) two upper and two lower, two video cameras and, a software system was created for the analysis. Chewing was evaluated using a gum or a carrot and border movements were evaluated in the frontal and sagittal planes. The closest to the actual condition was obtained in the left LED. Masticatory cycles during chewing were evaluated. With chewing gum, the results obtained had as more vertical component than the antero-posterior and/or the horizontal ones when compared with the carrot. The average length of a cycle was 0.68 seg for the carrot and 0.88 seg for chewing gum. There were some pauses during the movement of 0.06 - 0.33 seg and the speed during the cycle was 225 mm/seg. Although the system exhibits some difficulties, it demonstrated to be useful to register and quantify mandibular movements.

Key words:

Mandibular movement, LED.

*Investigación para optar por el título de Especialista en Prótesis Periodontal, CES 1998

Asesor: Iván Darío Jiménez Vargas. Odontólogo CES. Ortodoncista M.Sc., Universidad de Manitoba, Canadá.

¹Odontóloga CES, ²Odontóloga CES.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los patrones del movimiento mandibular ha sido de gran interés en la odontología clínica debido a la importancia de conocer el comportamiento de la mandíbula durante la función y el reposo. Conociendo lo normal, se puede determinar si existe algún efecto deletéreo de los movimientos incorrectos de la mandíbula sobre la salud de los dientes y de la articulación temporomandibular. La mandíbula se mueve en tres dimensiones simultáneamente, sin embargo estudios iniciales se realizaron en un solo plano. Actualmente es posible efectuar determinaciones tridimensionales, aunque el análisis y la interpretación de los datos ha aumentado en complejidad.

Se han hecho numerosos intentos por conocer la fisiología del movimiento y los factores que pueden alterarlo, también existe una gran variedad de sistemas que se han creado con el objetivo de conocer el movimiento y sus características, entre ellos están el gnatotésímetro diseñado por Posselt en 1957, que se utilizó para registrar movimientos extremos pero no permitió medir patrones de movimiento. La cinefluorografía que requería niveles altos de radiación por lo que se limitó su uso y fue reemplazada por la cinefluorografía indirecta descrita por Berry y Hoffman en 1959, la cual se basó en películas intensificadas electrónicamente. El kinesiógrafo utiliza magnetos para detectar la trayectoria mandibular y fue reportado por Jankelsson y colaboradores en 1975. El replicador gnático, diseñado por Gibbs y Lundeen en 1982. El sirognatógrafo desarrollado por Proschel y Hufman en 1988. El JAWS 3D reportado por Airoidi y colaboradores en 1994, entre otros.

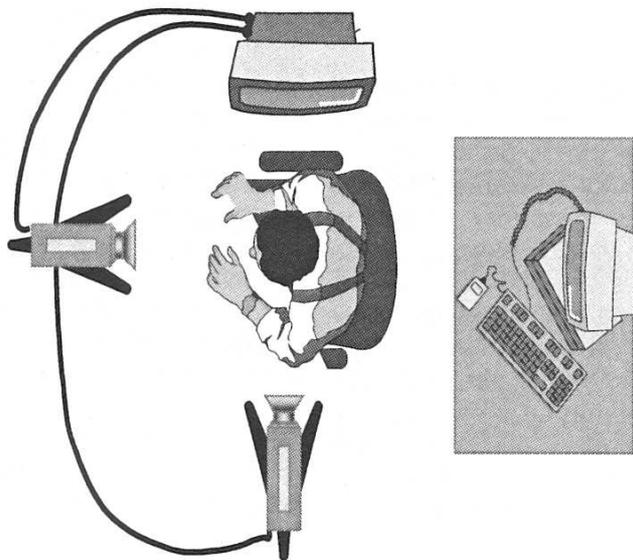
Este estudio tiene como objetivo diseñar un sistema que permita cuantificar y analizar el movimiento mandibular en nuestro medio y poder establecer así, patrones de movimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El equipo utilizado está conformado por un soporte intraoral, un sistema de emisión de luz, un sistema de grabación y un sistema de análisis (ESQUEMA 1). Después de obtener dos modelos de estudio de arco superior e inferior, se adaptan dos alambres de 0.018 de calibre a cada modelo

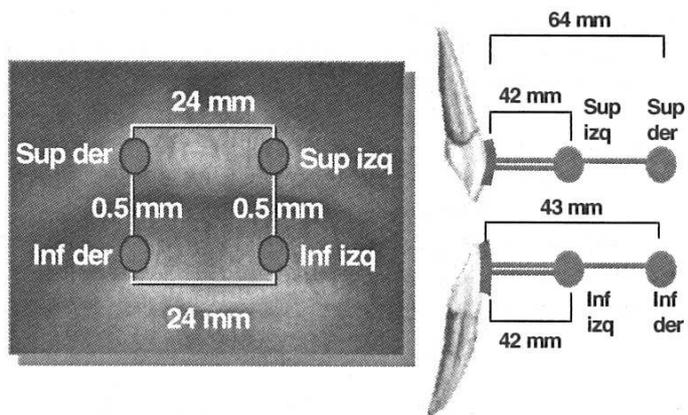
por vestibular. Sobre el alambre en posición, se agrega polvo y líquido de acrílico DURALAY, con el fin de crear una banda de retención de dos milímetros de amplitud. Al probarse en boca, el soporte no debía interferir con la oclusión ni modificar los movimientos. A nivel de 13, 23, 33 y 43, se colocaron cuatro alambres, los derechos de 4 cm y los izquierdos de 3 cm de longitud. En el extremo de cada alambre se colocó un diodo emisor de luz (LED) rojo, difuso, de 3 mm, el cual fue conectado a un voltaje directo de 3 voltios. La razón de haber utilizado 4 LEDs fue poder registrar los movimientos de la cabeza y descartarlos durante el análisis (ESQUEMA 2). Para la grabación se utilizaron dos cámaras de video, una en frente del paciente a 75 cm de los diodos y la otra al lado izquierdo a 68 cm. Se utilizó un televisor para monitorear la imagen. Las imágenes fueron copiadas en un formato VHS para su almacenamiento y posterior análisis. Se empleó un computador PENTIUM INTEL de 166 MHz con 32 MB de memoria RAM y 1.7 GB de disco duro. Una tarjeta graficadora de 2 MB PCI de 64 bits con acelerador gráfico. El sistema operativo fue WINDOWS 95 y el programa se desarrolló con VISUAL BASIC 4.0. El software que se creó permitió hacer un análisis completo del movimiento mandibular una vez se encontraba digitalizada la grabación realizada en el paciente. Para la medición del movimiento, se usó un paciente sano, de 28 años de edad, de sexo femenino, sin sintomatología dental, muscular, ni articular. Con cemento temporal se cementaron los soportes intraorales corroborando que no interfirieran con el cierre de los labios ni con la masticación. Cuando el paciente estuvo sentado, se le dió un trozo de zanahoria para que masticara durante un minuto y luego un chicle (marca ADAMS) por el mismo espacio de tiempo. Se apagaron las luces y la paciente comenzó a masticar, aleatoriamente se encendieron los LEDs y las cámaras comenzaron a grabar simultáneamente por espacio de un minuto para cada alimento. Luego se realizaron los movimientos bordeantes. La información se almacenó y digitalizó para su posterior análisis.

Se registró la trayectoria tanto del LED inferior derecho como del izquierdo, en el plano frontal y sagital, se analizó la velocidad y distancia a la cual se desplazaron, las trayectorias seguidas durante los movimientos bordeantes, la presencia de giros, amplitud de los desplazamientos, simetría de los ciclos y uniformidad en el movimiento.



Esquema 1. Esquema utilizado

Esquema de distancias entre los LEDs



Esquema 2

RESULTADOS

Del minuto empleado para la grabación de los ciclos masticatorios, se digitalizaron 8 segundos para realizar el análisis. De este segmento, se extrajeron ruidos e interferencias que empobrecían la imagen y se obtuvieron 5.46 segundos para la masticación de zanahoria y 7.06 segundos para chicle. Debido a la necesidad de colocar los LEDs derechos más adelante para poder observar los izquierdos en la grabación sagital, los desplazamientos del LED izquierdo, fueron más reales por su cercanía a la superficie vestibular. Debe

tenerse en cuenta que los LEDs derechos se encuentran separados 24 mm de los izquierdos, por lo tanto la gráfica en el plano cartesiano, presenta al LED izquierdo cercano a la coordenada (+22, +5) y el LED derecho en una región cercana al punto (0,0).

Se obtuvieron gráficas que mostraron el comportamiento de todos los ciclos realizados y de ciclos individuales, durante el tiempo analizado de masticación de chicle y zanahoria y los movimientos bordeantes tanto en el plano frontal como sagital (GRAFICA 1, 2, 3, 4, 5).

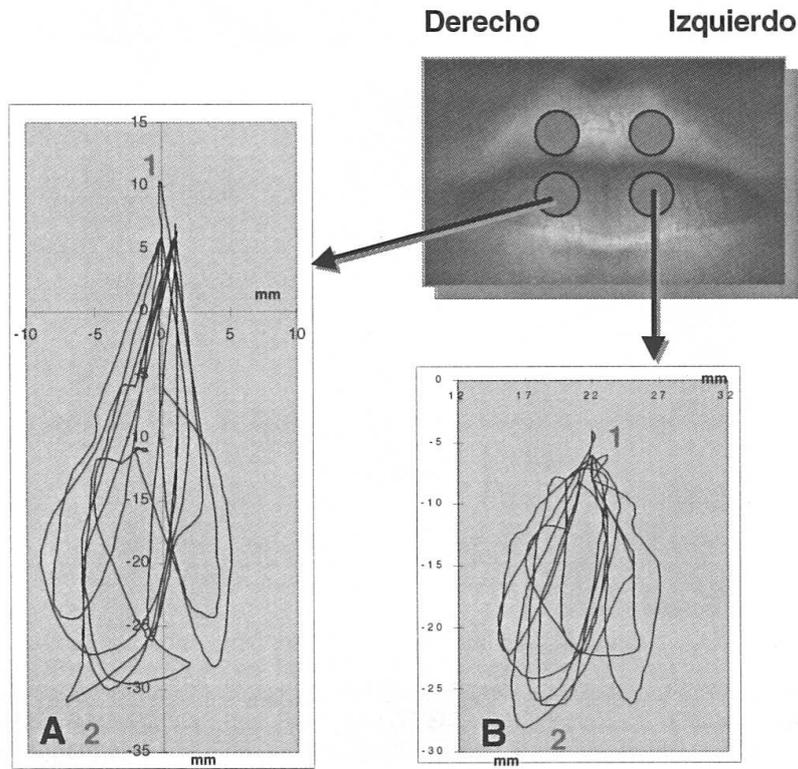


FIG. 1. DESPLAZAMIENTO MANDIBULAR EN EL PLANO FRONTAL DURANTE LA MASTICACION DE ZANAHORIA REGISTRADO POR LOS DIODOS EMISORES DE LUZ (LEDs) DERECHO (A) E IZQUIERDO (B). CICLOS MASTICATORIOS. Los valores en el eje x, corresponden al desplazamiento horizontal en milímetros y en el eje y al desplazamiento vertical en milímetros. Máxima intercuspidadación en 1, máxima apertura en 2. Las trayectorias de la figura 3A, presentan magnificación debido a la longitud del LED derecho. Por la localización de los LEDs en el espacio (esquema 3 y 4), la gráfica 3B no comienza en la coordenada (0,0)

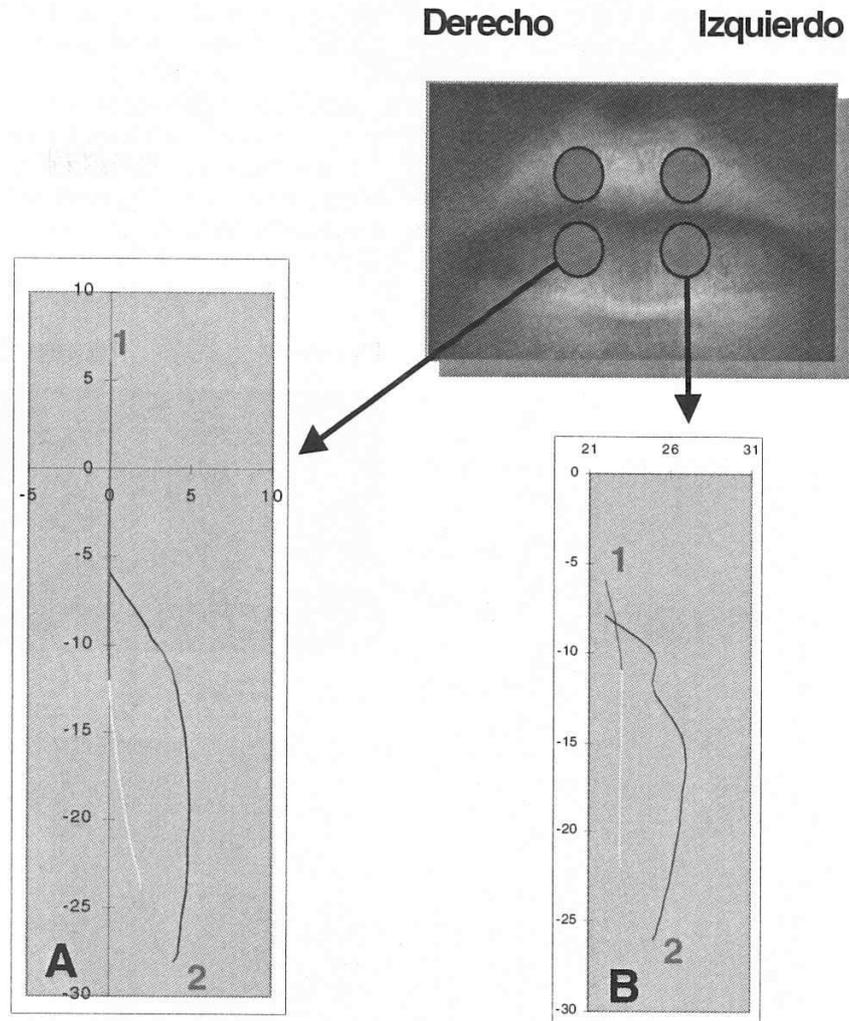


FIG. 2. DESPLAZAMIENTO MANDIBULAR EN EL PLANO FRONTAL DURANTE LA MASTICACION DE ZANAHORIA REGISTRADO POR LOS DIODOS EMISORES DE LUZ (LEDs) DERECHO (A) E IZQUIERDO (B). REGISTRO DEL ULTIMO CICLO. Los valores en el eje x, corresponden al desplazamiento horizontal en milímetros y en el eje y al desplazamiento vertical en milímetros. Los diferentes colores indican la distancia existente entre punto y punto. Máxima intercuspidadación en 1, máxima apertura en 2. Las trayectorias de la figura 6A, presentan magnificación debido a la longitud del LED derecho. Por la localización de los LEDs en el espacio (esquema 3 y 4), la gráfica 6B no comienza en la coordenada (0,0).

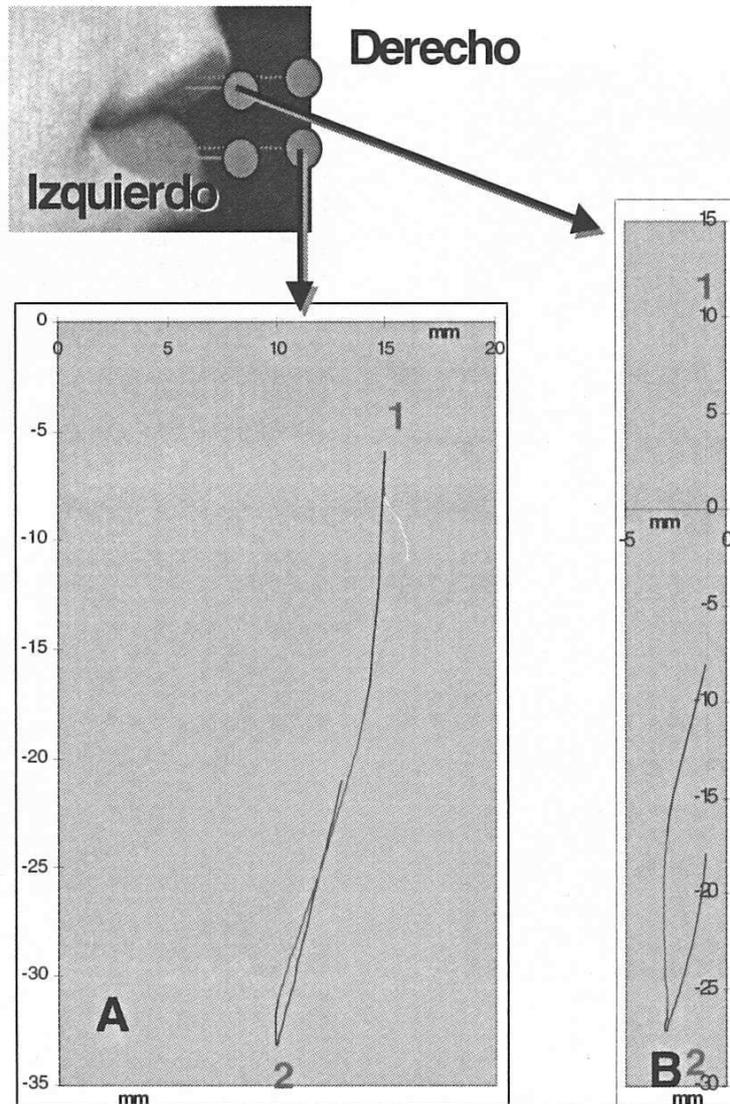


FIG. 3. DESPLAZAMIENTO MANDIBULAR EN EL PLANO SAGITAL DURANTE LA MASTICACION DE CHICLE REGISTRADO POR LOS DIODOS EMISORES DE LUZ (LEDs) DERECHO (A) E IZQUIERDO (B). REGISTRO DEL CICLO INTERMEDIO. Los valores en el eje x, corresponden al desplazamiento horizontal en milímetros y en el eje y al desplazamiento vertical en milímetros. Los diferentes colores indican la distancia existente entre punto y punto. Máxima intercuspidadación en 1, máxima apertura en 2. Observe que la magnificación ocurrida por el LED derecho ocurre en dirección anteroposterior. El inicio del movimiento en la figura 18B, se observa más posterior al eje y debido a la longitud del LED izquierdo. La diferencia en posición de máxima intercuspidadación en el eje y, se debe a movimientos mediolaterales de la cabeza.

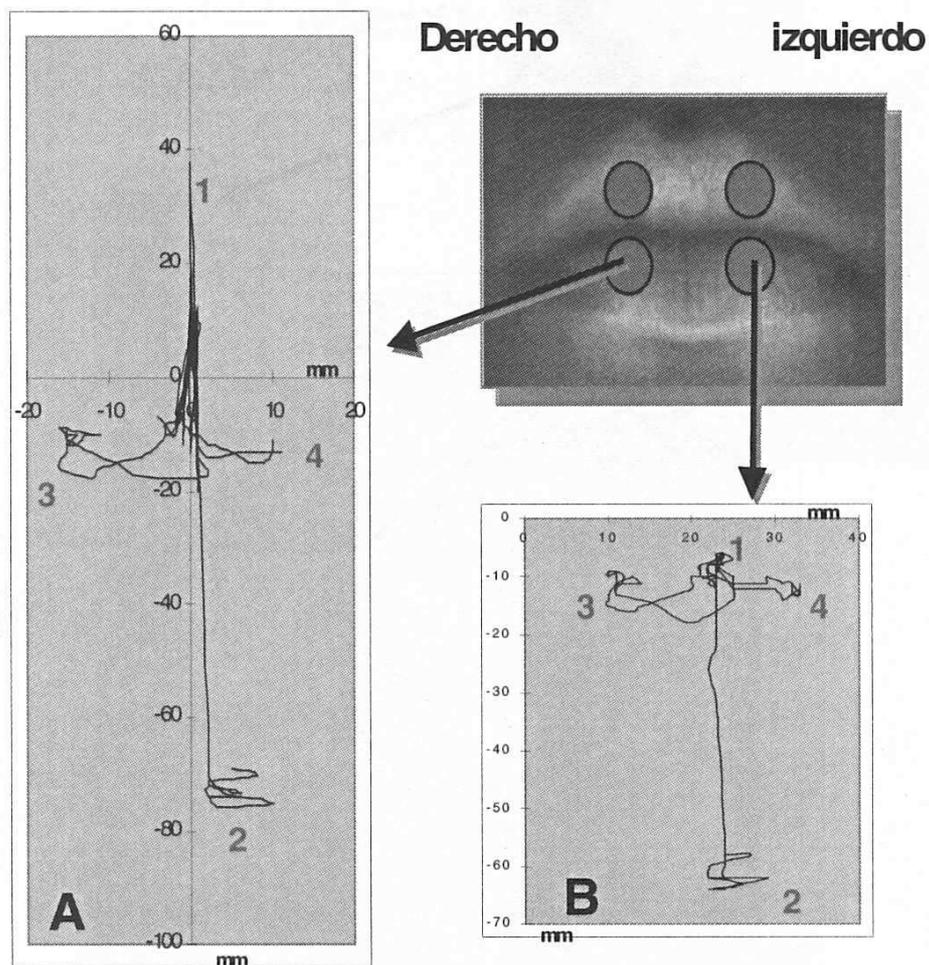
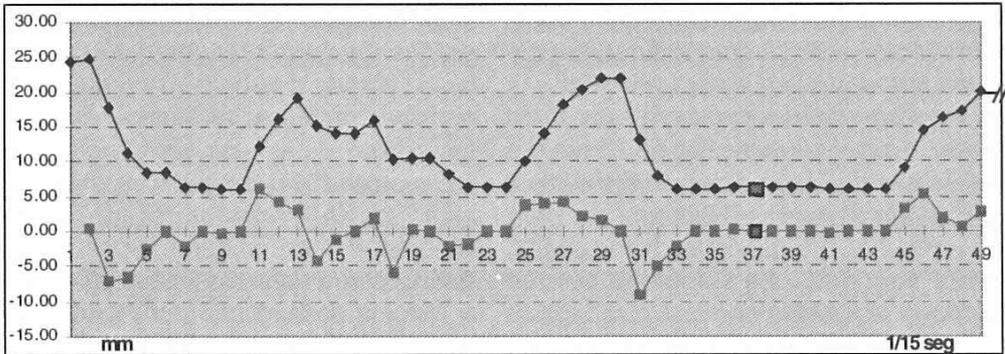
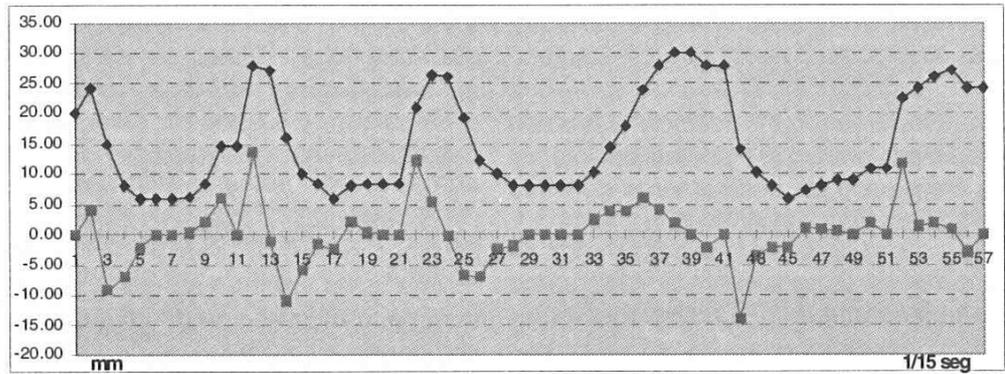


FIG. 1. DESPLAZAMIENTO MANDIBULAR EN EL PLANO FRONTAL DURANTE LOS MOVIMIENTOS BORDEANTES REGISTRADO POR LOS DIODOS EMISORES DE LUZ (LEDs) DERECHO (A) E IZQUIERDO (B). Los valores en el eje x, corresponden al desplazamiento horizontal en milímetros y en el eje y al desplazamiento vertical en milímetros. Máxima intercuspación en 1, máxima apertura en 2, máxima lateralidad derecha en 3 y máxima lateralidad izquierda en 4. Por la localización de los LEDs en el espacio (esquema 3 y 4), la gráfica 1B no comienza en la coordenada (0.0). Nótese la magnificación en la figura 1A debido a la longitud del LED derecho. Los desplazamientos observados en los movimientos de máxima apertura, lateralidades e intercuspación pueden ser corroborados con la grabación.



C



D

FIG. 5. VELOCIDAD ABSOLUTA (línea rosada) Y POSICION (línea azul) RESPECTO A UN PUNTO ARBITRARIO DEL MOVIMIENTO DEL DIODO EMISOR DE LUZ (LED) DERECHO (A, B) E IZQUIERDO (C, D) DURANTE LA MASTICACION DE CHICLE. Los valores en el eje x, corresponden al tiempo medido en 1/15 de segundo, en el eje y, a la posición ocupada por el LED en milímetros. La posición de máxima intercuspidad equivale a la línea en 1, máxima apertura en 2. Los puntos rosados sobre el eje x equivalen a pausas durante la masticación, la velocidad en esos momentos fue 0. La línea rosada de velocidad tiene valores positivos y negativos que corresponden a cada vez que el LED cambia de dirección del movimiento. Cada ascenso de la línea azul equivale a la apertura y cada descenso al cierre. El movimiento realizado por el LED derecho es de mayor magnitud al compararlo con el izquierdo debido a que el LED se encuentra más distante de la superficie vestibular.

Los ciclos masticatorios durante la masticación de chicle, demostraron un componente vertical mayor que el horizontal o el anteroposterior, cuando se comparó con la masticación de zanahoria, durante la última fase de apertura en sentido sagital, la mayoría de las veces se vió un desplazamiento posterior, que hizo que el cierre ocurriera posterior a la vía de apertura. Los movimientos laterales variaron en un rango de 14 mm y los verticales de 25mm. La duración del ciclo masticatorio obtenida fue de 0.68 segundos para la zanahoria y de 0.88 segundos para el chicle. La velocidad máxima obtenida fue de 225 milímetros por segundo. La velocidad que se observó fue mayor durante la apertura a excepción de un ciclo donde fue mayor durante el cierre.

No se analizó la deglución ni los movimientos de la cabeza.

DISCUSIÓN

Con este proyecto se logró establecer la relación de la mandíbula con el maxilar tridimensionalmente, mediante la colocación de dos cámaras de video permitiendo graficar el movimiento en los ejes x, y y z. Se consiguió que los datos fueran obtenidos de un amañera continua permitiendo un análisis de los componentes dinámicos de la función mandibular, realizando una grabación de 15 cuadros por segundo. En un futuro esta situación puede ser mejorada si se usa una cámara de alta velocidad con la cual se pueda obtener un mayor número de cuadros por segundo, que proporcionen una fidelidad más alta de la trayectoria del movimiento, al generar un espacio menor entre punto y punto. Se desarrolló un software que permite su utilización en otros computadores sin ser un sistema sofisticado. Con el sistema no pudimos lograr evitar el uso de alambres por fuera de la boca, los cuales pueden generar impulsos propioceptores, ni tampoco realizar medidas tan exactas que se encuentren por debajo de un margen de 0.1 mm (se trabajó con un margen de 1.2mm aproximadamente).

La aparatología intraoral fue simple y liviana, logrando una construcción fácil y un uso adecuado por parte del paciente. Posselt en 1957 y Gibbs y Lundeen en 1982, usaron soportes intraorales de gran tamaño que interfirieron con el movimiento. Nuestra aparatología extraoral no fue tan grande

como la utilizada por Karlsson en 1977 con diodos y monturas de gafas, o como la empleada en el kinesiógrafo con gafas y sensores que registran el magneto intraoral (Jankelsson y col., 1975), tampoco arcos faciales especiales como los del replicador gnático diseñado por Gibbs y Lundeen en 1982. Se buscó no fijar la cabeza mediante aditamentos que pudieran modificar el movimiento natural de ella como fue el caso de Kazazoglu y col en 1994. Karlsson en 1977, también con un LED de referencia anuló los movimientos de la cabeza. Gibbs y Lundeen en 1982 no fijaron la posición de la cabeza. Tampoco se invadieron los tejidos como ocurrió con el sistema desarrollado por Hickey en 1963, ni fue necesario irradiar al paciente para obtener la información como en los estudios de Nevakari en 1956 y de Berry y Hoffman en 1959. La señal emitida por este sistema es clara y está libre de interferencias magnéticas a diferencia del sirognatógrafo utilizado por Proschel y Hoffman en 1988. Los costos del sistema no son tan altos como el de equipos desarrollados y usados por Salomon y col. en 1979 basados en medicina nuclear.

Los resultados obtenidos con el sistema aquí propuesto están acorde con investigaciones realizadas en este campo. Los ciclos masticatorios durante la masticación de chicle, demostraron un componente vertical mayor que el anteroposterior o el horizontal cuando se comparó con la masticación de zanahoria, este hallazgo concuerda con lo observado por Neill y Howell en 1984, utilizando el kinesiógrafo, donde se encontró que con alimentos que solo debían ser triturados el movimiento ocurría en dirección vertical. Durante la última fase de apertura, en sentido sagital, la mayoría de las veces se vió un desplazamiento posterior, que hizo que el cierre ocurriera posterior a la vía de apertura, Neill y Howell en 1986 con el kinesiógrafo encontraron que la apertura se realizaba por delante del cierre soportando nuestro hallazgo. La duración del ciclo masticatorio fue de 0.68 segundos para zanahoria y de 0.88 segundos para chicle, los datos se encuentran dentro del rango encontrado por Neill y Howell que es de 0.73 a 0.86 segundos, además, ellos relatan que la duración del ciclo es mayor cuando se mastica chicle al compararlo con otros alimentos, los que también soporta nuestro hallazgo. La duración del ciclo encontrada por Jemt y Karlsson en 1982 fue de 0.47 con zanahoria y pan. Neill y

Howell, reportan pausas durante el movimiento de 0.11 a 0.16 segundos, en este estudio encontramos pausas entre 0.06 y 0.33 segundos mostrando un rango más amplio. La velocidad que encontraron Neill y Howell fue de 56 a 86 mm por segundo, aquí se encontró 225 milímetros por segundo, mucho mayor a la reportada.

El sistema aún tiene dificultades, el LED que se asemeja a la realidad es el izquierdo, sin embargo este se mueve entre 1 y 3 mm por encima de lo real.

CONCLUSIONES

El sistema propuesto y los resultados obtenidos de este estudio piloto hacen parte de una línea de investigación que busca obtener un análisis de los movimientos mandibulares y a su vez establecer patrones de movimiento.

* Se pudo obtener un análisis tridimensional del movimiento mandibular.

* Se logró el diseño de un aparato intraoral con mínimas interferencias en los movimientos mandibulares, con el cual fue posible obtener un registro aproximado de la trayectoria mandibular durante la masticación y los movimientos bordeantes.

* Se evitó el uso de aparatología extraoral grande, fijación de la cabeza, invasión de tejidos e irradiación.

* Se desarrolló un SOFTWARE, no sofisticado, que permite con el ingreso de un video del paciente, graficar el movimiento mandibular. Todo con señales claras libres de interferencias magnéticas. Este SOFTWARE hará parte del Centro de Fisiología Oral - CES.

* Debido a que los resultados se obtuvieron a partir de un solo paciente (estudio piloto), no podemos sacar conclusiones sobre la población general, aunque ellos estuvieron acorde con los resultados obtenidos en otras investigaciones.

* Durante la masticación de chicle se observó un mayor componente vertical que al masticar zanahoria.

* La duración promedio del ciclo masticatorio fue de 0.68 segundos para la zanahoria y de 0.88 segundos para el chicle.

* Se encontraron pausas en el movimiento de 0.06 a 0.33 segundos y una velocidad de 225 milímetros por segundo.

* El sistema, permitió realizar medidas con un rango de +1.2 milímetros.

SUGERENCIAS PARA ESTUDIOS FUTUROS

Es importante tener en cuenta en las sugerencias para estudios futuros las modificaciones al sistema que serían útiles para mejorarlo. Sugerimos lo siguiente.

Buscar un mejoramiento del soporte intraoral mediante algún sistema que permita realizar la grabación sin una elongación de la imagen del LED derecho, logrando así registros más cercanos a la realidad.

Realizar grabaciones de una población significativa en la que se pueda evaluar la reproducibilidad del sistema.

Evaluar el movimiento mandibular de grupos de pacientes asintomáticos a nivel articular y compararlos con el comportamiento de pacientes que presentan alguna sintomatología, con el objetivo de establecer patrones de movimiento que puedan ser utilizados como medida diagnóstica.

Obtener una proyección del movimiento a nivel condilar una vez se halla logrado mejorar la aparatología, de manera que no exista distorsión por la longitud de los LEDs, o se encuentre una fórmula matemática que lleve los resultados más a la realidad.

BIBLIOGRAFIA

1. DUBNER, R., SESSLE, B., STOREY, A.: The neural basis of oral and facial function. Plenum Press. New York and London, 1978.
2. SZENTPETERY, A.: Clinical utility of mandibular movement ranges. *J Orofacial Pain.*, 7: 163-168, 1993.
3. MURPHY, TR.: Timing and mechanism of human masticatory stroke. *Arch Oral Biol.*, 10: 981-993, 1965.
4. SESSLE, B.J.: How are mastication and swallowing programmed and regulated? En B.J. Sessle y A.G. Hannam (Eds.), *Mastication and Swallowing: Biological and clinical correlates*, Univ. Toronto Press, Toronto, pp. 161-171, 1976.
5. LUND, JP., DELLOW, PG.: The influence of interactive stimuli on rhythmical masticatory movements in rabbit. *Arch Oral Biol.*, 16: 215-223, 1971.
6. LUND, JP., OLSSON, KA.: Importancia de los reflejos y su control durante el movimiento mandibular. *DINS. Nov.* Pp. 458 - 463, 1983.
7. ROBINSON, MJ., STRACHAN, WF.: The relationship of tooth occlusion and position of the head in space to malfunction of the temporal mandibular joint. *American. Oste. Assoc.*, 64: 68-70, 1965.

8. OGAWA, T., KOYANO, K., SUETSUGU, T.: The relationship between inclination of the occlusal plane and jaw closing path. *J Prosthet Dent.* 76:576-580, 1996.

9. GIBBS, CH., LUNDEEN, HC.: Jaw movements and forces during chewing and swallowing and their clinical significance, 1982.

10. Mc FOLLUM, B, STUART, C. Research report 1955, south Pasadena, California. U.S.A. Cientific Press.

11. GYSI, A.: The problem of articulation. *Dent Cosmos*, 52: 1-19. 1910.

12. POSSELT, U.: Studies in the mobility of the human mandible, Copenhagen. *Acta Odont Scand.* 1952.

13. NEVAKARI, K.: Análisis del movimiento mandibular desde la posición oclusal a la posición de descanso. Tesis 1956. Helsinki.

14. POSSELT, U.: An analyzer for mandibular positions. *J prosthet Dent.* 7(3): 368-74, 1957.

15. POSSELT, U.: Movement areas of the mandible. *J Prosthet Dent.* 7(3): 375-385, 1957.

16. BERRY, HM., HOFMANN, FA.: Cineradiographic observations of temporomandibular joint function. *J Prosthet Dent.* 9(1): 21-33, 1959.

17. HICKEY, 1963.

18. JANKELSON, B., SWAIN, CW., CRANE, PF., RADKE, JC.: Kinesiometric instrumentation: A new technology. *JADA*, 90: 834-840. 1975.

19. NEILL, DJ., HOWELL, PGT.: Kinesiograph studies of jaw movement using the Commodore Pet Microcomputer for data storage and analysis. *Journal of Dentistry.* 12: 53-61. 1984.

20. NEILL, DJ., HOWELL, PGT.: Computerized linesiography in the study of mastication in dentate subjects. *J Prosthet Dent.* 55: 629-638. 1986.

21. KARLSSON, S.: Recording of mandibular movements by intraorally placed light emitting diodes. *Acta Odont Scand.* 35: 111-117, 1977.

22. SALOMON, JA., WAYSENSON, BD., WARSHAW, BD.: Computer-monitored radionuclide tracking of three-dimensional mandibular movements. Part II: Experimental setup and preliminary results - Posselt diagram. *J Prosthet Dent.* 41: 463-469, 1979.

23. JEMT, T., KARLSSON, S.: Computer-analysed movements in three dimensions recorded by light-emitting diodes. *J Oral Rehabil.* 9: 317-326, 1982.

24. MICHLER, L., BAKKE, M., MOLLER, E.: Graphic assessment of natural mandibular movements. *J Craniomandib Disord: Fac Oral Pain* 1: 97-114, 1987.

25. STOHLER, CS., MILLER, JAA., CARLSON, DS.: The effects of pain from the mandibular joint and muscles on masticatory motor behaviour in man. *Arch Oral Biol.* 33: 175-182, 1988.

26. PROSCHEL, P., HUFMAN, M. Patrones de masticación frontal desde un punto incisal y su dependencia sobre la resistencia de los alimentos y el tipo de oclusión. *JTD.* 59: 617-624, 1988.

27. THROCKMORTON, GS., TEENIER, TJ., ELLIS, E.: Reproducibility of mandibular motion and muscle activity levels using a commercial computer recording system. *J Prosthet Dent.* 68: 348-354, 1992.

28. KAZAZOGLU, E., HEATH, MR., FERMAN, AM., DAVIS, GR.: Recording mandibular movement: Technical and clinical limitations of the sirognathograph. *J Orofac pain.* 8: 165-177, 1994.

29. AIROLDI, RL., GALLO, LM., PALLA, S.: Precision of the Jaw Tracking System JAWS-3D. *J Orofac Pain.* 8: 155-164, 1994.

30. AKAMATSU, Y., MINAGI, S., SATO.: A new method for recording mandibular position during nocturnal bruxism. *J Oral Rehabil.* 23: 622-626, 1996.

31. EKFLDIT, A., KARLSSON, S.: Changes of masticatory movement characteristics after prosthodontic rehabilitation of individuals with extensive tooth wear. *Int J Prosthodont.* 9: 539-546, 1996.

32. SHI, CS., MAO, Y.: Extracting direction and curvature features of jaw movement traces with chain code. *J Oral Rehabil* 22: 237-239, 1995.

33. WILDING, RJC., SHAIKH, M.: Muscle activity and jaw movements as predictors of chewing performance. *J Orofac Pain* 11: 24-36, 1997.