

Monitoreo de la osteointegración primaria de implantes dentales

MARÍA EVANGELINA MONTIEL

Facultad de Medicina | Universidad Católica de Córdoba (UCC)

PABLO GERARDO VARELA

Facultad de Ingeniería | Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC)

RODRIGO ENZO DE PRADA

Facultad de Ingeniería | Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC)

LEANDRO DUILIO GIORGETTI

Facultad de Ingeniería | Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC)

DIEGO DANIEL GALLO

Facultad de Ingeniería | Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC)

JUAN CARLOS IBÁÑEZ

Facultad de Medicina | Universidad Católica de Córdoba (UCC)

RESUMEN

Objetivo: El presente trabajo propone la utilización de la técnica de Emisión Acústica (EA), para monitorear la estabilidad primaria de la interfase hueso-implante dental. Motivan este trabajo las fallas que todavía se producen en la integración del implante con el hueso. Materiales y métodos: Para alcanzar el objetivo, se efectuaron las siguientes tareas: Primeramente, se realizó la inserción de implantes en un material sintético con propiedades similares al maxilar: resina fenol-formaldehído; y seguidamente, se efectuó la comprobación de la estabilidad primaria de la interfase de dicho material sintético con cada implante, mediante la técnica de Emisión Acústica, aplicando para ello, una carga de compresión al conjunto. Posteriormente, en virtud de los buenos resultados obtenidos, se realizó la misma comprobación anterior, pero esta vez sobre un maxilar de material sintético, usualmente provisto por los fabricantes de implantes, para probar su inserción. Por último, también sustentado en resultados de las experiencias anteriores, se realizó la relacionada comprobación, esta vez empleando un trozo de costilla de cerdo fresca. Resultados: Se observó una muy interesante correlación entre la distancia de penetración del implante en el hueso, producto del esfuerzo aplicado, y los eventos de EA. Dichos eventos fueron registrados mucho antes de la distancia de penetración considerada por la literatura como extrema para la correcta integración del implante. Conclusión: Se comprueban las ventajas de la utilización de Emisión Acústica, puesto que permite el monitoreo de la actividad en la interfase hueso-implante dental, pudiendo determinar el instante donde ocurre un evento que atenta contra una buena integración, lo que permitirá, con trabajos futuros, establecer un sistema de alarma para el paciente, quien con un cambio de actividad, podrá prevenir una falla del implante debido a una mala integración.

PALABRAS CLAVE

Implante dental; osteointegración de implante; emisión acústica.

Introducción

La Emisión Acústica (EA) se ha utilizado como complemento de ensayos mecánicos, para la comparación entre diversas geometrías y distintas aleaciones de titanio empleadas en la fabricación de implantes (Atsumi, Park, & Wang, 2007). Únicamente, unos investigadores (Haïat, Wang, & Brunski, 2014) han aplicado los principios tradicionales de EA en un modo activo para monitorear la interfaz hueso-implante utilizando fuentes artificiales de EA en la boca. Se reconocen convencionalmente dos amplios regímenes de estabilidad de los implantes: primaria y secundaria (Lin *et al.*, 2010). La estabilidad primaria se logra en la inserción inicial mediante la aplicación de un torque adecuado a un tornillo, que logra contacto por compresión de hueso (principalmente cortical). Después de aproximadamente cuatro semanas, el hueso esponjoso crece alrededor del implante, dando lugar a la osteointegración completa, ocurriendo la estabilidad final o secundaria (Mavrogordato, Taylor, Taylor, & Browne, 2011).

Después de la inserción, la fijación del implante dental varía de la estabilidad primaria debido al acoplamiento mecánico entre el implante y el hueso (principalmente) cortical y esponjoso, hasta un equilibrio final donde el remodelado óseo (esponjoso) y la regeneración está completa. Tanto la estabilidad primaria como la estabilidad secundaria, así como las etapas intermedias, son específicas del paciente, por lo tanto, existe la necesidad de monitoreo para asegurar una integración aceptable. Otro factor de complicación es que el diseño del implante y la técnica quirúrgica y el seguimiento pueden afectar a la remodelación ósea debido a su respuesta a la carga ((Mavrogordato, Taylor, Taylor, & Browne, 2011).

La estabilidad del implante involucra variantes de métodos que han sido ampliamente utilizados en ingeniería y derivan en última instancia de lo que pueden sentir y oír tanto ingenieros como clínicos al probar la seguridad de una fijación. Todos implican la aplicación de una fuerza impulsiva o modulada al implante y la medición del movimiento resultante. Un método que se ha utilizado es el análisis de frecuencia de resonancia (Resonance Frequency Analysis, RFA), que utiliza la idea de que la frecuencia de resonancia del sistema formado por el implante, la superestructura adyacente y el hueso de soporte, depende de la rigidez

en la interfase hueso-implante. Suponiendo que los componentes del sistema permanecen constantes, los cambios en la frecuencia de resonancia indican cambios en la interfase (Ossi, Abdou, Reuben, & Ibbetson, 2012). El Osstell™ (Osstell, Göteborg, Suecia) es un instrumento disponible comercialmente basado en RFA que proporciona un cociente de estabilidad del implante (Implant Stability Quotient, ISQ), cuyos números más altos indican una mayor estabilidad. El Osstell™ es ampliamente utilizado clínicamente; sin embargo, tiene varias limitaciones: utiliza SmartPegs™ que debe ser conectado directamente al implante o pilar y no considera los componentes del sistema en la interpretación de la frecuencia de resonancia. Como resultado, el ISQ no es capaz de aislar las propiedades de interfase reales (Ossi, Abdou, Reuben, & Ibbetson, 2012 y Roques, Browne, Thompson, Rowland, & Taylor, 2004).

La EA pasiva de implantes requiere la presencia de un estímulo de la interfase, normalmente provocado por una carga artificial o natural. La reacción resultante en la interfase hueso-implante sólo puede monitorearse si conduce a algún tipo de evento degradativo, tal como microfisuración de hueso y/o cemento. La técnica se ha utilizado rutinariamente para examinar el comportamiento de nuevos materiales y diseños de implantes. Por ejemplo, Santulli & Billi (2002) evaluaron la resistencia a la adherencia del revestimiento de vidrio bioactivo en implantes de aleación de titanio oral y encontraron que EA es útil para indicar el tiempo y el grado de craqueo durante las pruebas de desplazamiento de fuerza. El área más grande y el uso de cemento en prótesis totales de cadera también han llevado a que se utilice EA para monitorear la interfase (Schrooten & Helsen, 2000).

Desarrollos más recientes (Westover, Faulkner, Hodgetts, & Raboud, 2016) incluyen diversas secuencias de carga de una forma de implante idealizada cementada en un material análogo óseo (Tufnol). Se utilizaron tanto sensores incorporados (en el implante) como de superficie (en el Tufnol) y los eventos indicados por los sensores EA y las micro-tomografías paralelas. Concluyeron (con cierta calificación) que los sensores embebidos daban mejores correlaciones con el daño observado por las tomografías computarizadas.

En razón de lo expuesto, surge que hay una gran cantidad de trabajos que investigan la estabilidad primaria, utilizando las mencionadas técnicas. Sin embargo, todavía queda mucho por investigar, específicamente en los aspectos relacionados con la implementación de las técnicas. El presente trabajo continúa con las investigaciones relacionadas con la implementación de la técnica de emisión acústica para verificar la estabilidad primaria de la interfase hueso-implante dental, a los efectos de ahondar en el conocimiento de su utilidad práctica.

Materiales y métodos

A los efectos de cumplir con el objetivo planteado, la parte experimental se dividió en tres partes:

Experimento 1: Cilindros de resina fenólica

Se elaboraron unos pequeños cilindros de resina, de 25 mm de diámetro y 15 mm de altura, aproximadamente. Fue utilizada una resina con una dureza similar a la del hueso mandibular, a los efectos de recrear condiciones similares a las existentes en la boca del ser humano. Sobre cada uno de dichos cilindros, fueron instalados sendos implantes dentales de titanio, empleando para ello el herramental específico, y siguiendo la secuencia de operaciones estandarizada al efecto. Dicho conjunto cilindro/implante, fue situado en una máquina universal de ensayos marca Amsler, modelo 6PZD 1406. El objeto de situar al conjunto en dicha máquina, es poder aplicar un esfuerzo de compresión, simulando así una condición similar a la que ocurre durante el proceso de la masticación en una boca humana. Para realizar los ensayos, el conjunto cilindro/implante, se sitúa entre dos platos de compresión de la máquina universal de ensayos.

Se procedió entonces a la realización de los ensayos de compresión, en cada montaje relacionado; y al mismo tiempo, la instrumentación del equipo de EA.

Para la obtención de señales de EA, fueron utilizados dos sensores comerciales de EA para este estudio, los modelos R15I y WDI de Physical Acoustics Corporation. Los sensores fueron anclados a la máquina de ensayo utilizando cera sintética para asegurar una fijación adecuada. Los sensores fueron conectados a un sistema de adquisición de datos para Emisión Acústica marca Physical Acoustics Corporation, modelo PCI-2 Based AE System. El sensor R15I fue conectado directamente a la placa, mientras que el sensor WDI requirió de un preamplificador externo.

Con esta configuración se pudo registrar, en un ordenador personal, el número de eventos, sus amplitudes y el número de ondas de cada evento. Las ondas elásticas generadas cuando la muestra reacciona a los efectos de disminuir su energía interna, viajan como señales acústicas en todas las direcciones y pueden detectarse por los sensores instalados, los cuales convierten las ondas acústicas en tensión eléctrica de baja amplitud. Las señales de ambos sensores fueron pre-amplificadas. El contenido no correlacionado debido a ruido asociado a defectos de acoplamiento en el montaje, vibraciones mecánicas de la máquina de ensayos, ruido electrónico y ambiente, etc., fue filtrado

El procesamiento de las señales de Emisión Acústica obtenidas fue realizado con el software AEWIN, que almacena los datos en forma digital, en función del tiempo. El sistema provee información sobre amplitud de *hit* y número de ondas por evento.

Cada evento se define cuando se cumplen las condiciones de superar el umbral de tensión establecido, y un tiempo muerto fijo (por ejemplo, el tiempo transcurrido sin superar el umbral de tensión, con el cual se evita la medición de reflexiones y ondas de arribo tardío, mientras que el cruce de umbral próximo define el comienzo de un nuevo evento). De esta manera cada vez que la señal de EA excede el umbral de tensión, se registra un evento, y el siguiente evento será registrado si dentro de la duración del *hit* establecida y del tiempo de rearmado del sistema de adquisición no hay otro cruce de umbral. El sistema tiene una memoria que cuenta y registra la cantidad de eventos, mientras que otra almacena las amplitudes máximas.

Experimento 2: Maxilar de material sintético

Para este estudio se utilizó un maxilar sintético, que proveen usualmente los fabricantes de implantes. Sobre dicho maxilar se insertaron implantes (Figura 1). Seguidamente, se realizaron las experiencias de aplicación de esfuerzo de compresión y registro de datos de EA, tal como se ha expresado precedentemente, en el experimento 1.



Figura 1: Maxilar de material sintético con dos implantes colocados

Experimento 3: Hueso de cerdo fresco

Para este estudio se utilizó un trozo de costilla fresca de animal porcino. Sobre dicho trozo de hueso se insertaron implantes (Figura 2). En ésta última figura se pueden apreciar los dispositivos de presión de la máquina de ensayos, así como los

dos sensores de Emisión Acústica que se utilizaron. Seguidamente, se realizaron las experiencias de aplicación de esfuerzo de compresión y registro de datos de EA, tal como se ha expresado precedentemente, en el experimento 1 y en el experimento 2.

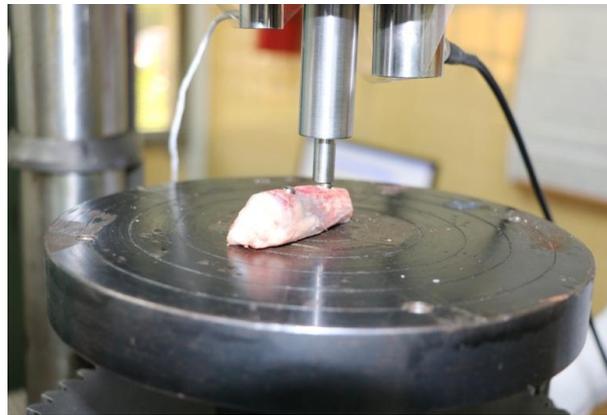


Figura 2: Costilla fresca de animal porcino con dos implantes colocados

Luego de realizadas varias experiencias, se comprobó que sería oportuno realizar una medición más precisa de la deformación (ver Figura 3), y en consecuencia, se instrumentó un extensómetro de precisión, el cual se conectó con una celda de carga de la misma máquina universal de ensayos, y ésta a su vez, a un sistema de adquisición de datos marca Cole-Parmer, modelo 18200-00, que cuenta con una resolución de 12 bits, y éste último a su vez, fue conectado a un ordenador personal, donde estaba instalado el software LabVIEW, necesario para el funcionamiento del sistema de adquisición de datos.

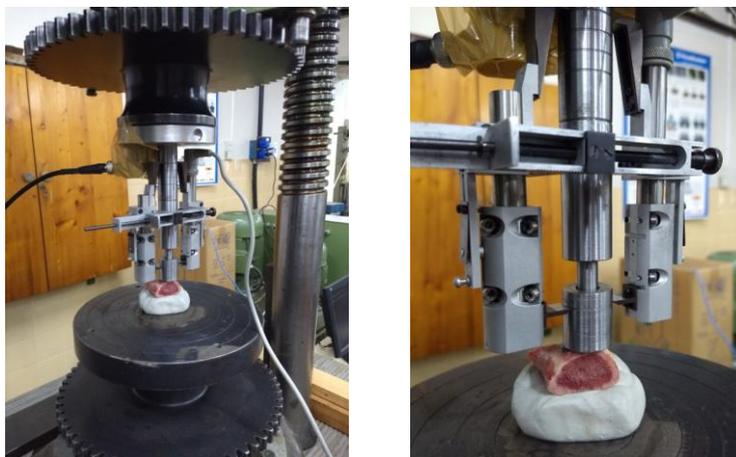


Figura 3: Disposición de extensómetro en la máquina de ensayos. Izq.: vista general. Der.: vista ampliada del instrumento y del hueso

Resultados

Experimento 1: Cilindros de resina fenólica

Con la configuración ya mencionada, fueron registradas las actividades de Emisión Acústica producidas por la carga de las probetas. El monitoreo de los eventos de EA de las muestras bajo carga, puede dividirse en dos etapas. En la primera etapa, el daño (una discontinuidad activa) dentro de la muestra produce un evento acústico (la emisión de energía acústica) que propaga a través del material y llega al transductor (sensor). En la segunda etapa, la onda acústica se convierte en una señal electrónica equivalente, y finalmente en una cuenta de EA. Se supone que en el caso de estos conjuntos analizados, que están conformados por dos materiales diferentes: el implante que es metálico, y el cilindro donde está alojado, que es de material polimérico, la tensión mínima para la cual comienza la actividad acústica, coincide con el comienzo de fractura del material polimérico, en alguna interfase con el metal del implante.

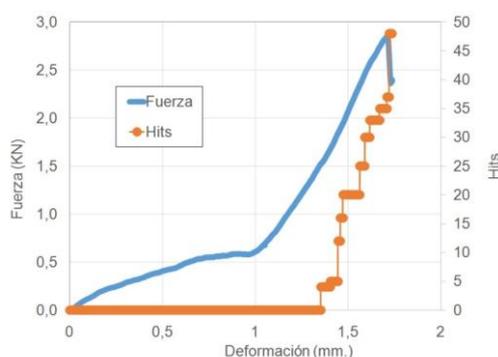


Figura 4: Curvas esfuerzo/deformación; y eventos de Emisión Acústica (hits) acumulados vs. deformación, para cilindro de resina fenólica

La máquina universal de ensayos, por la compresión del conjunto cilindro de resina/implante dental, permite obtener las curvas de esfuerzo/deformación correspondientes. Al mismo tiempo, el equipo de Emisión Acústica permite registrar los eventos de EA (hits) acumulados (Figura 4).

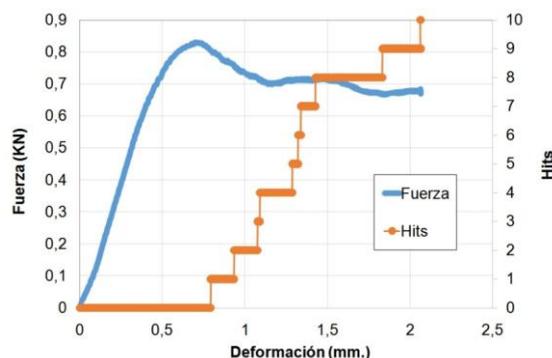


Figura 5: Curvas esfuerzo/deformación; y eventos de Emisión Acústica (hits) acumulados vs. deformación, para Maxilar de material sintético

Experimento 2: Maxilar de material sintético

Procediendo de manera similar al caso anterior, fueron aplicadas cargas de compresión sobre implantes insertados en maxilar de material sintético, obteniéndose las curvas de ensayo correspondientes (Figura 5).

Experimento 3: Hueso de cerdo fresco

Como en los dos casos anteriores, se procedió de igual manera, aplicando esfuerzos de compresión sobre implantes insertados en hueso fresco de costilla porcina, y utilizando el extensómetro de precisión para una medición más precisa de la deformación, obteniéndose también las curvas de ensayo correspondientes (Figura 6).

Discusión

Examinando los resultados de Emisión Acústica, y comparándolos con las curvas obtenidas por la máquina universal de ensayos (Figuras 3, 4 y 5), apoya la hipótesis de que cuando se produce una disminución de la estabilidad en la interfaz hueso-implante, dando lugar a una pérdida de la osteointegración primaria en este caso, comienzan a aparecer eventos de emisión acústica, los cuales pueden ser detectados. Dichos eventos fueron generados por el estado tensional interno, el cual a su vez se originó por la carga externa aplicada en una configuración de compresión. El número de eventos crece, conforme crece la aplicación de la carga.

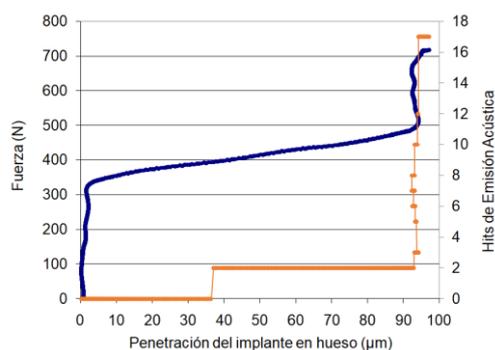


Figura 6: Curvas esfuerzo y eventos de EA (hits) acumulados vs. distancia de penetración del implante en hueso de cerdo fresco

Analizando cuidadosamente las curvas (Figuras 3, 4 y 5), puede apreciarse que los eventos de emisión acústica comienzan a aparecer en coincidencia con un pequeño cambio en el valor del esfuerzo aplicado en ese momento. Los demás eventos de emisión acústica también aparecen en puntos donde varía el esfuerzo en forma momentánea, indicando la aparición o propagación de fisuras en la interfase implante/material de ensayo, aunque son menos notorios que en el primer caso. En el momento de la rotura máxima, que es el instante donde se produce el despegado del implante de su sistema de fijación, es donde se produce la mayor concentración de eventos de EA, con la más alta energía asociada a ellos.

Cada tipo de material ensayado evidencia comportamientos diferentes en cuanto a su curva de carga en compresión (esfuerzo/deformación), y sin embargo evidencian todas ellas comportamientos similares de Emisión Acústica.

Conclusiones

Han sido ensayadas a compresión diferentes muestras, sobre las cuales fueron insertados implantes dentales de titanio, y simultáneamente se ha registrado la actividad de Emisión Acústica que dichas probetas generaban.

En todos los casos, se encontró un importante número de eventos previo al colapso del conjunto, evidenciando su pérdida de estabilidad, eventos relacionados con la disminución en la osteointegración primaria del implante.

Se comprueba las ventajas de la utilización de EA, puesto que dicha técnica permite determinar la pérdida de estabilidad del conjunto hueso-implante dental, producida, por ejemplo, por la actividad de masticación, o el bruxismo de un paciente.

En la actualidad, existen sensores pequeños de Emisión Acústica, y equipos portátiles de detección de bolsillo, lo cual permitirá en trabajos futuros, que se pueda instalar un sensor de EA en la cara del paciente, sobre la piel; y en el caso de producirse un determinado suceso, se accionarán alarmas, entonces el paciente podrá saber hasta dónde puede exigir un implante durante su vida cotidiana, específicamente durante el momento de la masticación, y el tiempo de su descanso. En consecuencia, dicho paciente, con un cambio momentáneo de ritmo en su vida cotidiana, podrá prevenir una falla del implante debido a una mala integración primaria. En resumen, con un monitoreo durante un determinado período, el paciente está en condiciones de mejorar su calidad de vida, debido a que aumenta la probabilidad de éxito de los implantes recién colocados.

Bibliografía

- ATSUMI, M., PARK, S.-H., & WANG, H.-L. (2007). Methods used to assess implant stability: Current status. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 22(5), 743-754.
- HAIAT, G., WANG, H.-L., & BRUNSKI, J. (2014). Effects of Biomechanical Properties of the Bone–Implant Interface on Dental Implant Stability: From In Silico Approaches to the Patient’s Mouth. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 16(1), 187-213. DOI: <<https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071813-104854>>
- LIN, D., LI, Q., LI, W., DUCKMANTON, N., & SWAIN, M. (2010). Mandibular bone remodeling induced by dental implant. *Journal of Biomechanics*, 43(2), 287-293. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.08.024>>
- MAVROGORDATO, M., TAYLOR, M., TAYLOR, A., & BROWNE, M. (2011). Real time monitoring of progressive damage during loading of a simplified total hip stem construct using embedded acoustic emission sensors. *Medical Engineering & Physics*, 33(4), 395-406. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2010.10.025>>
- OSSI, Z., ABDOU, W., REUBEN, R. L., & IBBETSON, R. J. (2012). In vitro assessment of bone–implant interface using an acoustic emission transmission test. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 226(1), 63-69. DOI: <<https://doi.org/10.1177/0954411911428696>>
- ROQUES, A., BROWNE, M., THOMPSON, J., ROWLAND, C., & TAYLOR, A. (2004). Investigation of fatigue crack growth in acrylic bone cement using the acoustic emission technique. *Biomaterials*, 25(5), 769-778. DOI: <[https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(03\)00581-7](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(03)00581-7)>
- SANTULLI, C., & BILLI, F. (2002). Normal and off-axis compression tests of biocompatible titanium dental implants monitored by acoustic emission. *Journal of Materials Science Letters*, 21(9), 727-730. DOI: <<https://doi.org/10.1023/A:1015793223749>>
- SCHROOTEN, J., & HELSEN, J. A. (2000). Adhesion of bioactive glass coating to Ti6Al4V oral implant. *Biomaterials*, 21(14), 1461-1469. DOI: <[https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(00\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(00)00027-2)>

WESTOVER, L., FAULKNER, G., HODGETTS, W., & RABOUD, D. (2016). Advanced System for Implant Stability Testing (ASIST). *Journal of Biomechanics*, 49(15), 3651-3659. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.09.043>>