

Las tecnologías de prototipado rápido en la cirugía

Rapid prototyping technologies in surgery

Dr. Ramón González Santos

Centro de Neurociencias de Cuba. La Habana, Cuba.

RESUMEN

Los avances en la tecnología informática, de las diferentes técnicas de imagenología como la tomografía computarizada, las imágenes por resonancia magnética etc. Así como su rápida introducción en la práctica social han creado nuevas posibilidades en la cirugía reconstructiva y de sustitución de tejidos y órganos. En el presente artículo se exponen de manera muy resumida los avances en el uso de estas técnicas con algunos ejemplos de su aplicación en la cirugía reconstructiva. Con el objetivo de actualizar a los especialistas sobre las potencialidades de estas tecnologías en este campo. Mientras el diseño por computadoras permite modelar las diferentes características y propiedades de los tejidos, los datos que se obtienen mediante el procesamiento digital de las imágenes médicas revelan con elevada precisión la forma y dimensiones de diferentes partes del cuerpo humano a reconstruir o sustituir. El uso combinado de estas tecnologías conocidas como tecnologías de prototipado rápido ha revolucionado la cirugía reconstructiva de tejidos y órganos, permitiendo no solo fabricar diferentes tipos de implantes personalizados o «a medida» sino que posibilitan actuar desde el entrenamiento hasta la planificación de la propia cirugía.

Palabras clave: prototipado rápido, diseño asistido por computadora, cirugía reconstructiva, cirugía maxilofacial.

ABSTRACT

Advances in computer technology and the different medical images techniques such as computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI) and others, as well as its rapid introduction into social practice have created new possibilities in

reconstructive surgery and replacement of tissues and organs. This article sets out very briefly the developments in the use of these techniques with some examples of their application in reconstructive surgery, in order to upgrade specialists about the potential of these technologies in this field. While the computer design allows modeling the different characteristics and properties of tissues, the data obtained by digital processing of medical images reveal, with high resolution, the shape and dimensions of different parts of the human body to repair or replace. The combined use of these technologies known as rapid prototyping technologies (RPT) has revolutionized reconstructive surgery of tissues and organs, allowing not only the manufacture of different types of custom implants but allowing action from training to planning the surgery itself.

Keywords: Rapid prototyping, computer aided design, reconstructive surgery, maxillofacial surgery.

TECNOLOGÍAS DE PROTOTIPADO RÁPIDO (TPR)

Las Tecnologías de Prototipado Rápido (TPR) o Tecnologías de Fabricación Rápida (TFR) surgen en los últimos años de la década de los 80 del siglo pasado cuando se introdujo la primera máquina capaz de lograr la impresión digital en tres dimensiones a partir de una imagen tridimensional de un objeto, mediante el proceso conocido como estereolitografía¹. A partir de 1992 esta máquina comenzó a ser adquirida por varios centros de diseño e ingeniería de diferentes países del mundo. Comenzó así una nueva era en la fabricación de piezas, instrumentos y una gran variedad de productos. A partir de entonces se han producido importantes cambios en el prototipado rápido con la aparición de un sinnúmero de tecnologías, empresas y firmas comerciales que han introducido, de forma ininterrumpida desde 1992, diversas estrategias y avances tecnológicos que han dado lugar al desarrollo de nuevos equipos y procesos.

Hoy se conoce como Tecnologías de Prototipado Rápido al conjunto de procesos de fabricación capaces de generar productos, partes y piezas totalmente terminadas a partir de un modelo tridimensional (3D) de los mismos. Estos modelos pueden ser generados por programas de diseño por computadoras (CAD) o pueden ser copiados por métodos de ingeniería inversa para obtener una forma geométrica sólida. Una vez obtenida o diseñada la imagen, esta se imprime directamente en la impresora 3D. Por esta razón también se conocen estos sistemas de fabricación como CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing).

La mayoría de los métodos de Fabricación Rápida están basados en la deposición de los materiales por capas, planos o secciones hasta conseguir o construir el objeto final, por esta razón se conocen también genéricamente como tecnologías aditivas. Existen diferentes impresoras o técnicas de impresión que se diferencian en el principio de trabajo, como por ejemplo: la sinterización por láser, el curado o fotopolimerizado, la fusión de polvos.

Los cambios ocurridos en estos años han sido tan rápidos y dinámicos que resulta difícil seguir el desarrollo y el estado del arte en esta área del conocimiento debido al incremento notable de publicaciones y patentes (Fig.1).

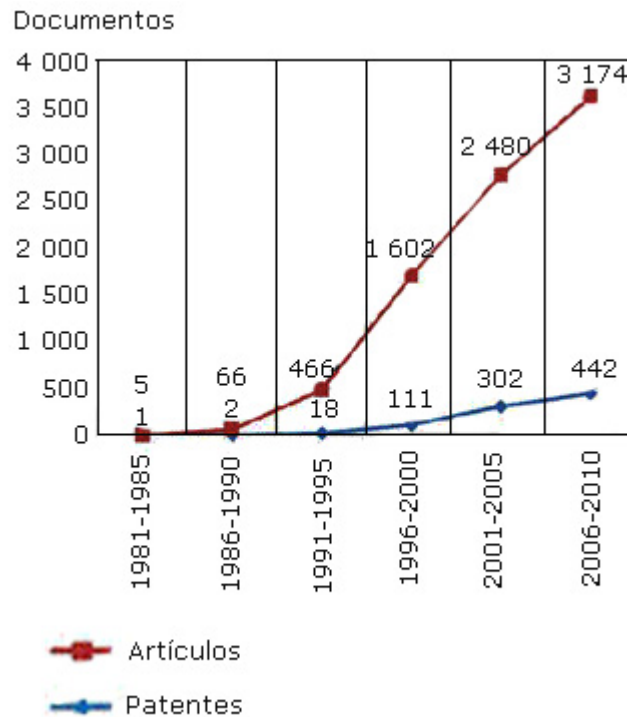


Fig. 1. Incremento de publicaciones y patentes.

Evolución del número de artículos científicos y de patentes relacionadas con los temas de prototipado rápido y fabricación rápida durante los últimos tres decenios. Los datos son de Thomson Reuters's Web of KnowledgeSM database, Enero de 2011.

Mientras un importante número de investigaciones se mantienen focalizadas hacia el prototipado, la industria fue moviéndose hacia la fabricación, creándose toda una red de asociaciones de industrias y socios comerciales dirigidos a encontrar nichos de aplicaciones. Así fueron apareciendo nuevos modelos de negocios alrededor del mundo basados en las inusuales capacidades de estas nuevas tecnologías.

La principal ventaja de las TFR es su capacidad para crear casi cualquier forma o característica geométrica y reproducirla con gran exactitud. Estas técnicas logran resoluciones que están en el orden de los μm y más recientemente se ha anunciado un nuevo sistema de impresión por fotopolimerización con doble fotón que logra resoluciones muy altas cercanas a los 200 nm. Se abre así también el camino hacia la aplicación de las nanotecnologías con estas técnicas.

Una de las limitaciones más importante que se señalan hoy día para estas tecnologías consiste en que la opción de materiales a utilizar es muy reducida, limitándose a algunos polímeros y fotopolímeros, algunos metales, ceras y cerámicas. Es por ello que teniendo en cuenta las ventajas de las TFR, se dedica una gran atención a investigar, probar e introducir un mayor número de materiales en esta industria, pero los resultados obtenidos se consideran todavía limitados y han tenido poco efecto o impacto comercial.

TECNOLOGÍAS DE PROTOTIPADO RÁPIDO EN MEDICINA Y CIRUGÍA

Los avances de las nuevas tecnologías de fabricación rápida llegaron inmediatamente a la medicina y en particular tienen un impacto importante en la cirugía reconstructiva de tejidos y órganos principalmente por la combinación de tres fenómenos:

1. Los avances en la computación y la explosión en el conocimiento, desarrollo y aplicaciones de las técnicas de imagenología (TAC, USS, IRM).
2. Mediante las técnicas de CAD/CAM puede reproducirse con exactitud micrométrica la forma, dimensiones y morfología de los tejidos y órganos a reparar o sustituir.
3. Varios de los materiales ensayados y que funcionan con estas tecnologías (RMT) presentan una biocompatibilidad probada.

Del conjunto de aplicaciones de estas técnicas, las relacionadas con la ingeniería biomédica ocupan ya el tercer lugar con un 15 %² y se aplican en áreas que van desde el entrenamiento, planificación y procedimientos en cirugía hasta la fabricación de las prótesis e implantes, tanto para reconstruir el tejido blando (arterias, músculos, tendones, etc.) como también para la reconstrucción del tejido óseo y la fabricación de diversos tipos de implantes. En este sentido vale aclarar que son muy útiles tanto en la fabricación de somato-prótesis (reconstrucción de defectos externos de la anatomía) como también de los diferentes tipos de prótesis y dispositivos implantables.

Los usos más extendidos de las tecnologías de prototipado rápido en medicina se concentran en el desarrollo de modelos para el diagnóstico, para el entrenamiento y la planificación quirúrgica, así como en la fabricación directa de implantes para la reconstrucción ósea, todos los cuales representan casi el 60% de las aplicaciones. Aproximadamente 14% de las investigaciones se refieren al desarrollo de prototipos para la ingeniería de tejidos, el cual aparece actualmente como el campo de aplicación más relevante con el 40% de los artículos científicos publicados en los últimos cinco años sobre el uso del prototipado rápido en la bioingeniería.³

Dentro de la Ingeniería Biomédica, las especialidades en que más se aplican son la radiología, imágenes médicas, anatomía, cirugía, ortopedia y odontología, las cuales ocupan el 50 % del total.^{2,3}

APLICACIONES DEL PROTOTIPADO RÁPIDO EN CIRUGÍA ORAL Y MAXILOFACIAL

Las aplicaciones de estas tecnologías en cirugía oral y maxilofacial abarcan un amplio espectro de posibilidades en la elaboración de prótesis, implantes dentales, etc. que incluyen el uso de diferentes materiales tanto para la fabricación del cuerpo o pieza de los implantes como para realizar los recubrimientos o acabados superficiales, lo cual se logra con una gran calidad y efecto estético.⁴ También en esta especialidad estas tecnologías ofrecen grandes ventajas al permitir explorar, conocer y reproducir con gran exactitud las características de los huesos de esta zona. Son múltiples los ejemplos de aplicación en: reconstrucciones de las orbitas, incluyendo el piso y el techo, reconstrucción de las paredes del canal auditivo,

sustitución de los huesos del oído, rinoplastias, reconstrucciones de huesos frontales, craneales, de maxila y mandíbula.⁵

Una de las ventajas importantes de las TFR consiste en que se pueden fabricar implantes personalizados, es decir, por ejemplo en el caso de defectos óseos se puede fabricar el implante según la forma y dimensiones del defecto a restaurar o realizar la planificación de la cirugía de implantes dentales. Esta característica ha permitido dar saltos importantes en la reconstrucción de defectos cráneo-faciales que ha sido siempre muy difícil.⁵

En el proceso de modelación se han introducido técnicas que permiten incluso diseñar la morfología del biomaterial, consiguiendo estructuras más o menos porosas según las necesidades y exigencias del sitio de implantación.⁶

En el campo de la implantología moderna también se aprecia una tendencia creciente a la introducción del prototipado rápido no solo en el proceso de fabricación de diferentes tipos de implantes sino en la realización de la propia cirugía. Es que, por ejemplo, los resultados de la cirugía de implantes dentales por lo general dependen de los criterios o juicios y de la experiencia clínica de odontólogos y cirujanos. Para tratar de minimizar los errores y asegurar mejores resultados, se introduce las TPR para planificar y simular la cirugía. Recientemente se ha reportado una metodología mediante el uso de técnicas de prototipado rápido para la planificación y realización de la cirugía de implantes dentales que contempla la construcción del modelo mandibular real⁷. En este caso, los datos de la tomografía computarizada (TC) de la mandíbula se convirtieron primero en un modelo CAD con los vasos, los nervios, la orientación de los pilares y plataformas de indexación mediante un software para procesamiento de imágenes médicas. Las técnicas de prototipado rápido se utilizaron entonces para obtener un modelo 3D real que permite la planificación y simulación quirúrgica previa.⁷

Con el uso de las tecnologías de prototipado rápido se puede copiar prácticamente cualquier parte dañada del cuerpo humano y reproducirla en un biomaterial capaz de reconstruirla o repararla, los esfuerzos no se detienen ahí, sino que también se desarrollan nuevas tecnologías que combinadas con las TPR permiten incorporar sustancias adicionales como fármacos para el tratamiento de diferentes patologías, células madres, factores osteoinductores y muchos otros.

Actualmente se trabaja en nuevas estrategias como por ejemplo la que utiliza células madres específicas, capaces de poder diferenciarse en cementoblastos, fibroblastos y osteoblastos que soportadas sobre andamios tridimensionales constituidos por materiales biocompatibles, puedan acelerar la regeneración del tejido óseo. Tal es el caso de la combinación de estas técnicas para el tratamiento de los defectos periodontales.

En este caso, el andamio construido «a medida» se combina con las células madres genéticamente modificadas para producir excelentes resultados en el tratamiento de defectos periodontales intrincados.⁸ Alternativamente, las células vivas también pueden ser incorporadas al proceso de fabricación del implante si se trabaja en condiciones de esterilidad bajo flujo laminar para generar directamente la combinación células-implante para la cirugía periodontal.

El impacto de estas técnicas es tal que se plantea que la impresión digital tridimensional puede cambiar el mundo como lo hizo la invención de la imprenta en su momento.⁹

La introducción de las TPR en la medicina y en particular en la cirugía reconstructiva representa un salto cualitativo y cuantitativo importante, pues presentan entre otras las siguientes ventajas: una elevada productividad, gran precisión y resolución, excelente calidad en la terminación, elevada reproducibilidad, bajos costos y sobre todo, son producciones muy limpias. Todavía constituye un problema la limitación en el número de materiales que pueden ser utilizados y si a esto le añadimos que estos deben cumplir todas las exigencias de los biomateriales implantables para estas aplicaciones, el número se reduce considerablemente. Por esta razón, hoy día, muchos de los temas de investigación en este campo están dirigidos al desarrollo de biomateriales implantables que puedan funcionar con estas tecnologías.

En el Centro de Neurociencias de Cuba se está trabajando en la introducción del prototipado rápido para la fabricación de somato-prótesis, de biomateriales y de diferentes dispositivos implantables para la ingeniería de tejidos y otras aplicaciones médicas (Fig. 2 A, B ,C y D). Con estos proyectos se espera brindar un apoyo importante y mejorar el impacto de la cirugía reconstructiva de tejidos y órganos en la calidad de vida y la salud de nuestra población.



Fig. 2. Impresión del cráneo de un paciente que presenta lesión con pérdida ósea en la órbita y el arco cigomático (arriba) A y B. Este modelo se usó en la fabricación del implante y su reconstrucción en el Centro de PBMF del CIMEQ. Abajo se muestra la calidad lograda en la fabricación de moldes para prótesis auditivas mediante TPR (derecha) D con respecto a los métodos tradicionales (izquierda) C.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. McGurk M, Amis A.A, Potamianos P, Goodger N M. Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. *Ann R Coll Surg Engl* 1997; 79:169-74.
2. Thomson Reuters's Web of KnowledgeSM database, Enero de 2011. http://thomsonreuters.com/products_services/science/science_products/a-z/web_of_science/
3. Diaz A, Lafont P. Rapid Prototyping for Biomedical Engineering: Current Capabilities and Challenges *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 2012;14:3-96.
4. Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyping Journal.* 2009;15(3):21625.

5. Drstvenssek I, Ihan N, Strojnik T, Brajliah T, Valentan B, Pogacar V, et. all. Applications of Rapid Prototyping in Cranio-Maxilofacial Surgery Procedures. International Journal Of Biology And Biomedical Engineering. 2008;1(2);29-38.
6. Espalin D, Arcaute K, Rodriguez D, Medina F. Fused deposition modeling of patient-specific polymethylmethacrylate implants. Rapid Prototyping Journal. 2010;16(3):164-73.
7. Yih-Lin Ch, Yi-Tsung L, Kan-Shan S. Rapid Prototyping Mandible Model for Dental Implant Surgery Simulation. Computer-Aided Design & Applications. 2012;9(2):177-85.
8. Huixia H, Junkai C, Dongsheng W, Bing G, Hong G, Hongchen L. Gene-Modified Stem Cells Combined with Rapid Prototyping Techniques: A Novel Strategy for Periodontal Regeneration. Stem Cell Rev and Rep. 2010;6:137-41.
9. Print preview The printing press changed the world;three-dimensional printing could do the same. Nature: 2012 july5;487(6):. Disponible en: <http://www.nature.com/nature/journal/v487/n7405/full/487006a.html>
doi:10.1038/487006a

Recibido: 16 de julio de 2013.
Aprobado: 17 de septiembre de 2013.

Dr. *Ramón González Santos*. Centro de Neurociencias de Cuba. Ave. 25 y 158, Playa. La Habana, Cuba. Correo electrónico: ramon.gonzalez@cneuro.edu.cu