

# Exactitud de los sistemas de cirugía guiada para implantología oral.

## Revisión sistemática

Rodríguez Sánchez,  
J. Alberto

### Accuracy in computer-aided implant dentistry. A systematic review

Rodríguez Sánchez, J. Alberto\*

Cuesta Frechoso, Susana\*\*

Tobias, Aurelio\*\*\*

Sicilia Felechosa, Alberto\*\*\*\*

\* Máster en Periodontología. Sección de Periodoncia. Escuela de Estomatología. Universidad de Oviedo.

\*\* Profesora Asociada de Periodoncia. Sección de Periodoncia. Escuela de Estomatología. Universidad de Oviedo.

\*\*\* Investigador Científico CSIC. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA)

\*\*\*\* Profesor Titular de Periodoncia. Sección de Periodoncia. Escuela de Estomatología. Universidad de Oviedo.

#### Correspondencia

J. Alberto Rodríguez Sánchez  
Sección de Periodoncia. Escuela de Estomatología. Univer.de Oviedo.  
Catedrático José Serrano s/n.  
33006 Oviedo. Asturias  
E-mail: alb.rod@telefonica.net

**Resumen:** *Fundamento:* Los sistemas de cirugía guiada están siendo introducidos hoy en día en la práctica clínica habitual, aunque la información sobre su eficacia y precisión aún es limitada. El objetivo de la revisión es valorar la evidencia disponible en la literatura acerca de la exactitud de los sistemas de cirugía guiada para implantología oral, analizada mediante un meta-análisis. *Material y Método:* Se realiza una búsqueda sistemática mediante el buscador PubMed de artículos en inglés publicados hasta Septiembre del 2009 que revelen información acerca de la exactitud de los sistemas de cirugía guiada. Se analiza mediante un modelo de efectos aleatorios la media ( $\Delta$ ) de desviación medida en el punto de entrada de la fresa o del implante. Se realiza un análisis por subgrupos en función del sistema utilizado, tipo de localizaciones medidas o diseño del estudio. *Resultado:* En los 20 estudios seleccionados, la desviación media en el punto de entrada de la fresa es de 0,73 mm. (IC 95%: 0,59-0,86) con un máximo de 3,4 mm. *Conclusiones:* Debido a las diferencias en el diseño de los estudios no es posible identificar un sistema superior a otro. Será necesario realizar más estudios clínicos sobretodo en sistemas de navegación.

**Palabras clave:** Implantes dentales, Exactitud, precisión, Cirugía guiada, Navegación, Guía quirúrgica.

**Abstract:** *Fundamentals:* Nowadays, guided surgery systems are being introduced in the common clinical practice, though information about its efficiency and accuracy is yet limited. Using a meta-analysis, this review is aimed at assessing the available evidence in literature about the accuracy of oral implantology guided surgery systems. *Material and Methods:* PubMed engine is used to carry out a systematic search for English articles published no later than September 2009 with information about the accuracy of guided surgery systems. The mean average ( $\Delta$ ) obtained at the drill or implant entry points is analyzed following a random effects model. Subgroups are made and analyzed based on the system used, type of measured area or design of the study. *Results:* In the 20 studies selected, the mean deviation at the drill entry point is 0.73 mm. (IC 95%: 0.59-0.86), 3.4 mm maximum. *Conclusions:* Differences in the studies design do not make it possible to identify a system that is superior to the rest. Further clinical studies are required, especially regarding navigation systems.

**Key words:** Dental implants, Accuracy, Exactness, Computer-aided guide, Navigation, Surgical guide, Surgical template.

BIBLID [1138-123X (2010)15:3; julio-septiembre xxx-xxx]

Rodríguez Sánchez JA, Cuesta Frechoso S, Tobias A, Sicilia Felechosa A. Exactitud de los sistemas de cirugía guiada para implantología oral. Revisión sistemática. RCOE 2010;15(2):xxx-xxx.

## Introducción

La osteointegración de implantes dentales es, hoy en día, un procedimiento altamente predecible<sup>1,2</sup>. Incluso en aquellos pacientes con limitaciones en la disponibilidad ósea, la utilización de técnicas de regeneración nos permite colocar los implantes de acuerdo con un criterio protésico ideal<sup>3</sup>.

Tradicionalmente se realiza una planificación previa basada en el estudio de radiografías convencionales, donde se evalúa la disponibilidad ósea y la ubicación de las estructuras anatómicas más relevantes<sup>4</sup>. Como complemento, se pueden realizar guías quirúrgicas basadas en un encerado diagnóstico que nos permiten transmitir la información obtenida durante la planificación al campo quirúrgico<sup>5,6</sup>. Sin embargo, ni las radiografías ni las guías quirúrgicas convencionales permiten combinar la información de la anatomía del paciente y de la futura restauración, por lo que incluso cuando hay una buena integración de los implantes la localización de los mismos puede no coincidir con los requerimientos protésicos<sup>7</sup>.

Para superar estas limitaciones, se han desarrollado sistemas que proporcionan un posicionamiento tridimensional adecuado del implante con respecto a parámetros protésicos y anatómicos. La introducción de la tomografía computerizada (TC) en la planificación implantológica estimuló el desarrollo de programas informáticos que proporcionaron la posibilidad de realizar una planificación virtual previa a la cirugía. Mediante estos programas, podemos seleccionar tanto la localización de los implantes como la

longitud y el diámetro de los mismos. El desarrollo de la TC de haz de cono permite salvar los inconvenientes de la tomografía convencional, pudiendo obtener imágenes de alta calidad en 3D con una dosis de radiación razonablemente baja<sup>8</sup>.

Para poder transmitir la información de la planificación al campo quirúrgico se desarrollan dos sistemas. Los sistemas estáticos utilizan guías quirúrgicas fabricadas en laboratorio mediante máquinas de fresado o bien guías esterolitográficas realizadas gracias a la tecnología CAD-CAM (computer-aided design/ computer-assisted manufacturing)<sup>9</sup>. Los sistemas dinámicos son sistemas de navegación que permiten ver en "tiempo real" la posición de la pieza de mano con respecto a las estructuras anatómicas del paciente, dirigiendo el fresado de acuerdo con la trayectoria planificada previamente<sup>10</sup>.

La cirugía guiada es una tecnología accesible hoy en día, con un amplio número de estudios recogidos en la literatura. Algunos de los sistemas estudiados están presentes ya en la práctica clínica y otros están en el camino de convertirse en una opción de tratamiento rutinaria. En dichos estudios los autores informan acerca de la exactitud de la posición de los implantes comparada con la planificación previa virtual. Widman define la exactitud de los procedimientos de cirugía guiada como: "desviación en la localización o en el ángulo de la planificación cuando lo comparamos con el resultado, que incluye todos los posibles errores individuales desde la adquisición de la imagen hasta el posicionamiento quirúrgico del implante. Los errores son acumulativos e inte-

ractivos"<sup>7</sup>. Por lo tanto, aunque la cirugía guiada es una tecnología que potencialmente nos va a permitir realizar intervenciones más predecibles y menos invasivas, es necesario realizar un análisis crítico de la literatura y valorar si la exactitud que presentan estos sistemas es suficiente para avalar su uso de manera habitual en la práctica clínica.

El objetivo de esta revisión es valorar la evidencia disponible en la literatura acerca de la exactitud de los sistemas de cirugía guiada para implantología oral y cuantificar el grado de exactitud que presentan hoy en día dichos sistemas.

## Material y Método

Se realiza una búsqueda bibliográfica mediante el buscador PubMed realizada por un único revisor, recopilando artículos publicados en inglés entre enero de 1965 y septiembre del 2009. La estrategia de búsqueda incluye una combinación de vocabulario controlado (términos Mesh) junto con texto libre. Los términos utilizados son *dental implants (Mesh)*, *dental implantation (Mesh)*, *implantology*, *compute\**, *guide\**, *navigat\**, *accuracy*, *precisión*, *exactness*. Está búsqueda se completa con una selección manual de artículos encontrados en la bibliografía de los estudios seleccionados.

### Criterios de Inclusión

Se incluyen en esta revisión todos aquellos estudios que cuantifican la exactitud de los sistemas de cirugía guiada por ordenador, tanto in vitro (modelos), in vivo (estudio sobre

pacientes) o ex vivo (estudios realizados sobre cadáver), además de los principales artículos de revisión.

Los estudios seleccionados deben medir como variable respuesta principal la desviación en sentido horizontal del punto de entrada de la fresa o del cuello del implante con respecto a la posición en el estudio preoperatorio, medida en mm (Imagen 1).

### Criterios de Exclusión

Todos aquellos estudios que no cumplan los criterios de inclusión, así como los estudios realizados con implantes cigomáticos, implantes pterigoideos o mini implantes para uso ortodóncico, son excluidos de esta revisión.

### Análisis Estadístico

El análisis estadístico incluye la realización de un meta-análisis para comparar las desviaciones observadas en los estudios seleccionados. Para la realización del meta-análisis se necesita conocer el valor de la media ( $\Delta$ ) y del error estándar (ES), para poder calcular, mediante la inversa de la varianza, los resultados gracias a un modelo de efectos aleatorios. El ES se obtiene a partir de la desviación estándar (DE) mediante la fórmula

$$ES = \frac{DE}{\sqrt{N}}$$

donde N es el número de observaciones del estudio. En aquellos estudios que no referencian ni la media ni la DE pueden calcularse estos valores mediante las fórmulas publicadas por Hozo y cols<sup>11</sup>.

La heterogeneidad encontrada entre los estudios se mide mediante el estadístico  $I^2$  que representa la media de la variación total debida a la

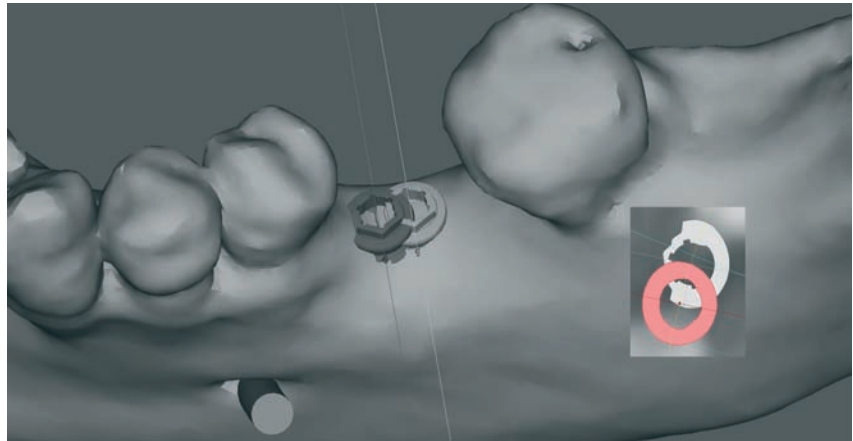


Imagen 1.

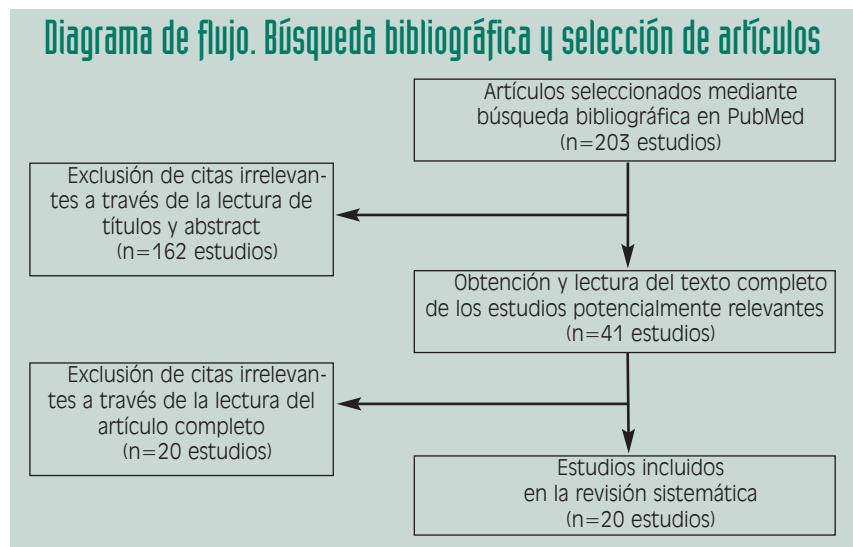


Figura 1.

heterogeneidad. Valores de  $I^2$  del 25, 50 y 75 % se consideran valores de baja, moderada y alta heterogeneidad respectivamente. ( $p < 0,05$ ).

Se realiza un análisis por meta-regresión para valorar si existen diferencias significativas en la exactitud que presentan los distintos grupos estudiados. Todos los resultados se estiman con un intervalo de confianza al 95%. El análisis se realiza con el programa Stata (Stata Corp.) versión 10.

## Resultados

Se recopilan un total de 203 artículos mediante búsqueda bibliográfica. En una primera fase se recopilan artículos mediante la lectura de títulos y abstract, seleccionando un total de 41 artículos, los cuales son analizados en una segunda fase mediante lectura completa. Se seleccionan 20 estudios que cumplen los criterios de inclusión (Figura 1).

**Tabla 1. Distribución localizaciones y estudios en función del tipo de estudio**

	Número de localizaciones	Número de estudios
Cadáver	231	6
Humanos	339	6
Modelos	644	8
TOTAL	1214	20

**Tabla 2. Distribución localizaciones y estudios en función del tipo de mediciones**

	Número de localizaciones	Número de estudios
Implante	570	12
Alvéolo	644	8
TOTAL	1214	20

Los 20 estudios seleccionados son publicados entre 2001 y 2009, realizados por 16 grupos de trabajo de 10 países distintos. 8 de los estudios fueron realizados sobre modelos, preferiblemente modelos acrílicos, con un total de 644 localizaciones, 6 fueron realizados sobre cadáver con un total de 231 localizaciones, los 6 restantes fueron realizados sobre 80 pacientes donde se colocaron 339 implantes (Tabla 1).

De los 12 sistemas analizados, 4 de ellos están basados en el uso de guías quirúrgicas (sistemas estáticos), los 8

**Tabla 3. Tabla de recogida de datos**

Nº	Autor	Año	Sistema	Principio	Diseño estudio	Modo de posicionamiento	Nº Localizaciones	Dirección	Media error entrada fresa (mm)	SD entrada fresa (mm)	Error max. entrada fresa
1	Al-Harbi, S.A <sup>15</sup>	2009	Simplant	guía	humanos	implante	40	mesio-distal bucal-lingual	0,20	0,36	1,20
2	Brief J. <sup>28</sup>	2001	IGI, Denx	navegación	modelos	alvéolo	38	eje X	0,50		1,10
								eje Y	0,30		0,90
				navegación	modelos	alvéolo	8	eje X	0,30		0,60
								eje Y	0,20		0,50
3	Brief J. <sup>14</sup>	2005	Robodent	navegación	modelos	alvéolo	15		0,35	0,17	0,75
			IGI, Denx	navegación	modelos	alvéolo	15		0,65	0,58	2,37
4	Chiu, W.K <sup>15</sup>	2006	IGI, Denx	navegación	modelos	alvéolo	80		0,43	0,56	2,23
5	Di Giacomo, G.A <sup>22</sup>	2005	Simplant	guía	humanos	implante	21		0,54	0,36	1,1
6	Hoffman, J <sup>17</sup>	2005	Vector Vision	navegación	modelos	alvéolo	240		0,95	0,25	
7	Kusumoto N <sup>12</sup>	2006	Phantom	navegación	modelos	alvéolo	6	eje X	0,12	0,06	
								eje Y	0,20	0,18	
8	Sarment, D.P <sup>24</sup>	2003	Simplant	guía	modelos	alvéolo	50		0,90	0,50	1,20
9	Van Assche, N <sup>25</sup>	2007	Nobel	guía	cadaver	implante	12		1,10	0,70	2,30
10	Van Steenberghe <sup>29</sup>	2002	Nobel	guía	cadaver	implante	16		0,80	0,30	1,10
11	Wagner, A <sup>21</sup>	2003	VISIT	navegación	humanos	implante	32	lingual	1,00	0,50	2,60
								bucal	0,80	0,30	2,10
12	Wanschitz, F <sup>27</sup>	2002	VISIT	navegación	cadaver	implante	20	bucal	0,55	0,31	1,50
								lingual	0,49	0,38	1,40
13	Wanschitz, F <sup>30</sup>	2002	VISIT	navegación	cadaver	implante	15	bucal	0,58	0,40	1,40
								lingual	0,57	0,49	1,80
14	Widman, G	2005	TREON	navegación	modelos	alvéolo	112		0,42	0,26	1,00
15	Wittwer, C <sup>19</sup>	2007	VISIT	navegación	humanos	implante	32	bucal	1,00	0,50	2,00
								lingual	0,70	0,30	1,20
			TREON	navegación	humanos	implante	32	bucal	1,00	0,50	2,40
								lingual	1,20	0,80	3,40
16	Wittwer, C <sup>20</sup>	2006	TREON	navegación	humanos	implante	80		1,20	0,80	3,40
17	Eggers, G <sup>16</sup>	2009	Med 3D	navegación	modelos	alvéolo	30		0,45	0,22	0,91
			Simplant	guía	cadaver	implante	40		1,5	0,80	
18	Ruppig, J <sup>18</sup>	2008	Robodent	navegación	cadaver	implante	40		1	0,50	
			Artma Virtual	navegación	cadaver	implante	40		1,2	0,60	
			Stent Cad	guía	humanos	implante	110		1,1	0,70	
19	Ozan, O <sup>26</sup>	2009	Stent Cad	guía	humanos	implante	110		1,1	0,70	
20	Kalt, G <sup>31</sup>	2008	Med 3D	guía	cadaver	implante	48		0,83	0,49	1,69

restantes se basan en sistemas de navegación, de estos sólo uno de ellos, se basa en el uso de un sistema táctil (Phantom®)<sup>12</sup>.

De un total de 1214 localizaciones medidas, 570 son medidas en implante (231 en cadáveres y 339 en pacientes). Las 644 localizaciones restantes son medidas sobre alveolos fresados en modelos (Tabla 2).

En 15 estudios se compara la TC previa y posterior mediante distintos programas de ordenador. Sólo en 1 estudio se calcula la desviación en los alveolos fresados o en los implantes medida directamente sobre el modelo<sup>13</sup>. En los 4 estudios restantes se mide la desviación en los alveolos fresados mediante una máquina de mediciones coordinadas<sup>14-17</sup>.

## Resultados del Meta-análisis

El valor medio de la desviación en el punto de entrada de la fresa o del implante en sentido horizontal es de 0,73 mm (IC al 95%: 0,59-0,86) con un máximo de 3,4 mm. La heterogeneidad encontrada entre los estudios es alta ( $I^2=97,6\%$ ). Para intentar explicar esta heterogeneidad se realiza un análisis por subgrupos (sistema, diseño del estudio y localizaciones).

En aquellos estudios que utilizan guías quirúrgicas el valor medio de la desviación es de 0,81 mm (IC al 95%: 0,57-1,05) mm (valor max. 2,30 mm) en el punto de entrada. Para los estudios que utilizan sistemas de navegación la desviación media es de 0,68 (IC al 95%: 0,51-0,85) mm (max 3,40 mm). La desviación es 0,13 mm menor para los estudios que utilizan sistemas de navegación en comparación con los que utilizan guías quirúrgicas, esta

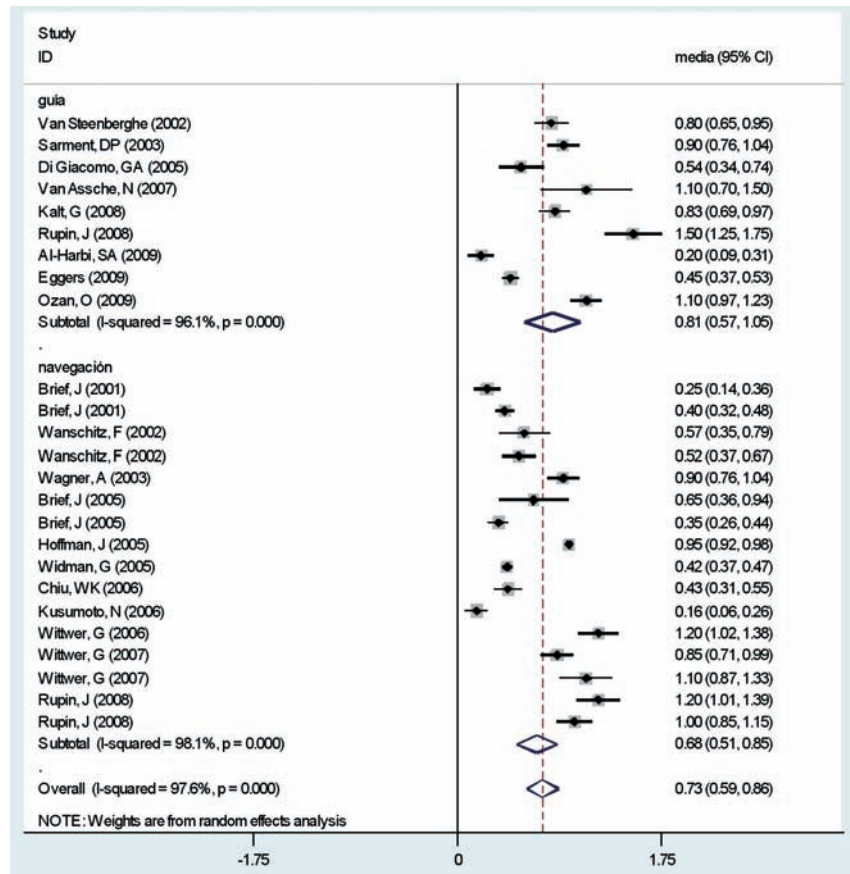


Figura 2.

diferencia no es estadísticamente significativa ( $p=0,395$ ) (Figura 2).

Si atendemos al diseño de los estudios, aquellos realizados sobre pacientes presentan una media de desviación de 0,84 (IC al 95%: 0,54-1,14) mm (max: 3,40 mm), 0,93 (IC al 95%: 0,72-1,13) mm (max: 2,30 mm) para aquellos realizados sobre cadáver y de 0,49 (IC al 95 %: 0,28-0,71) mm (max: 2,37 mm) para los realizados sobre modelos in vitro. No existen diferencias significativas entre los estudios realizados sobre cadáver y aquellos realizados sobre pacientes ( $p=0,615$ ),

sin embargo, esta diferencia sí es significativa cuando se comparan los estudios en modelos con respecto a los otros dos ( $p=0,015$ ) (Figura 3).

La media de la desviación en los estudios que miden la posición de los implantes es de 0,73 (IC al 95%: 0,59-0,86) mm (max: 3,40 mm). La media encontrada en aquellos estudios que miden la desviación en alveolos fresados es de 0,49 (IC al 95%: 0,28-0,71) mm (max: 2,37 mm). La diferencia es estadísticamente significativa a favor de los estudios que miden la desviación en los implantes ( $p=0,01$ ) (Figura 4).



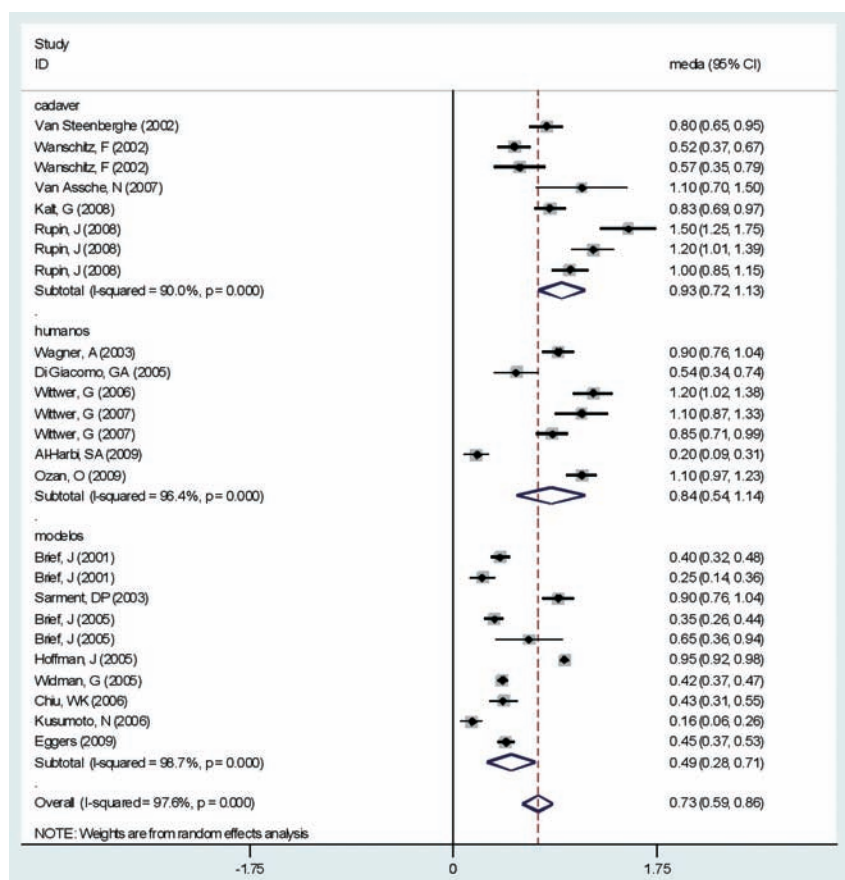


Figura 3.

## Discusión

La cirugía guiada amenudo se recomienda para realizar procedimientos de cirugía sin colgajo, para aquellos en los que la cantidad de hueso es limitada o la ubicación de los implantes es cercana a estructuras anatómicas. Por ello es importante conocer el grado de exactitud que otorgan este tipo de sistemas y saber cuáles son los márgenes entre los que podemos desenvolvernos con seguridad.

Para la realización de esta revisión y del posterior meta-análisis se han

tenido en cuenta aquellos estudios en los que se analiza la exactitud de un determinado sistema medida como la desviación en sentido horizontal en el punto de entrada del alvéolo o del implante con respecto a la planificación previa. Por tanto, aquellos sistemas que presentan una menor desviación con respecto a la planificación se considera que presentan una mayor exactitud. No han sido considerados para esta revisión aquellos estudios en los que se analiza la exactitud como un valor de la desviación en sentido vertical o en el eje mayor del implante, ni tampoco los datos referentes a la desviación en el ápice

del alveolo fresado o del implante.

La desviación media que muestran los estudios es de 0,73 mm en el punto de entrada del alvéolo fresado o del implante. En los estudios seleccionados esa distancia ha sido medida mediante distintos métodos. Lo más habitual es realizar una TC posterior para comparar la posición final de los implantes con la posición inicial prevista, pero existen estudios en los que se realizan mediciones directas sobre modelos<sup>13</sup> o utilizan una máquina de mediciones coordinadas<sup>14,15</sup>. Además, se seleccionan estudios clínicos y preclínicos lo cual explica en gran medida la alta heterogeneidad encontrada en los estudios ( $I^2=97,6\%$ ).

No existen diferencias estadísticamente significativas al comparar sistemas dinámicos con sistemas estáticos, aunque en general se encuentra una desviación menor en aquellos estudios que valoran sistemas de navegación. Esta tendencia coincide con la encontrada por Ruppín y cols en un estudio realizado sobre cadáver donde analizan la utilización de un sistema basado en guías esterolitográficas (Simplant®) con otros dos basados en sistemas de navegación (Robodent® y Arta Virtual®)<sup>18</sup>. La mayor exactitud que parecen tener los sistemas de navegación podría explicarse por la utilización de modelos in vitro en la mayoría de los estudios que valoran estos sistemas así, en los estudios realizados sobre pacientes, encontramos una desviación media considerablemente mayor en comparación con el resto<sup>19-21</sup>. Al comparar la exactitud obtenida en los estudios realizados en humanos y en los realizados sobre cadáver no se aprecian diferencias estadísticamente significativas, sin

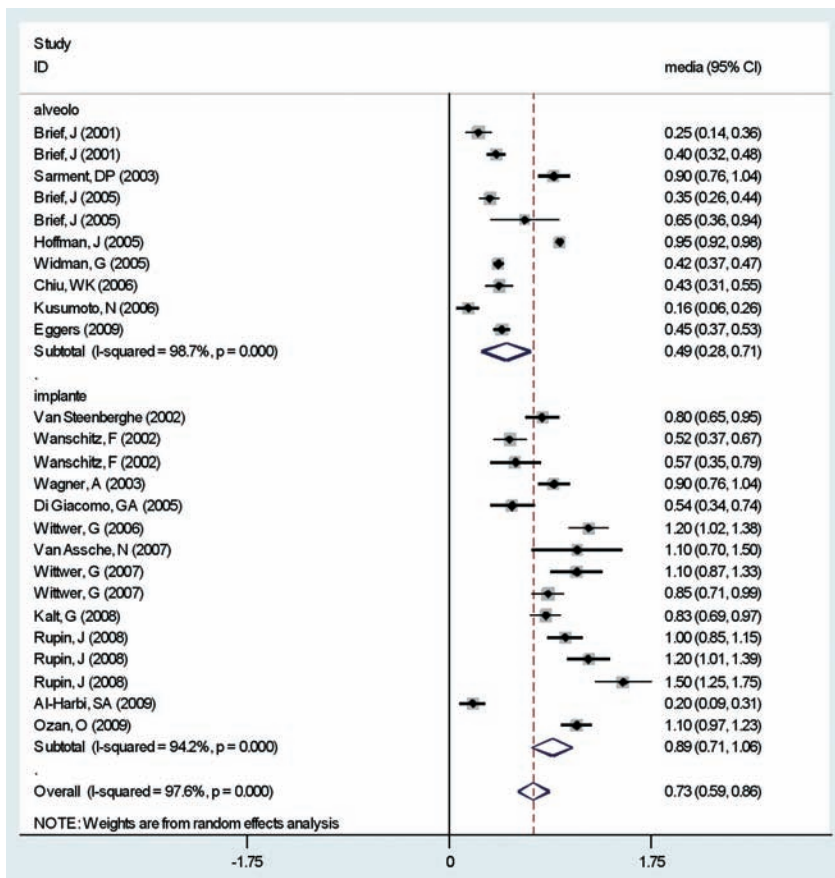


Figura 4.

embargo, hay una mayor exactitud en los estudios realizados sobre modelos *in vitro* al compararlos con los dos anteriores. La exactitud en los estudios que miden la desviación sobre alveolos fresados es significativamente mayor que en los estudios sobre implantes. Como podemos observar, los valores de exactitud más altos se corresponden con aquellos grupos en los que la mayoría de los estudios se han realizado sobre modelos *in vitro*. Este dato podría explicarse por el mejor acceso y mayor control visual que presentan estos modelos en comparación con los otros dos (cadáver y humanos). En los modelos *in*

*vitro* no hay movimiento del paciente ni intervención de sangre y saliva a la hora del fresado o de la colocación del implante, por lo que las desviaciones son menores. Atendiendo a los resultados encontrados, sería recomendable la realización de estudios clínicos, sobretodo en sistemas dinámicos, para poder valorar en su justa medida la exactitud de estos sistemas.

La desviación máxima es un valor a tener en cuenta para establecer el margen de seguridad que tenemos a la hora de utilizar este tipo de sistemas. La desviación máxima encontrada es de 4,5 mm, en el estudio de Di Giacomo y cols, donde se analiza la

exactitud de 6 guías esterolitográficas (Simplant®) sobre 4 pacientes colocando 21 implantes<sup>22</sup>. Si analizamos el estudio, todos los valores de desviación que se recogen para el paciente número 4 están visiblemente alejados de los valores que se observan en los otros tres pacientes. Los propios autores explican estos valores como anómalos al no poder estabilizar la guía en el paciente número 4. Se han desestimado, por tanto, los datos referentes al paciente 4 del estudio de Di Giacomo por considerar que no han sido recogidos bajo unas condiciones adecuadas y se ha recalculado la media y la desviación estándar para incluir los resultados del estudio en el meta-análisis.

Como hemos dicho anteriormente, la media de error en el punto de entrada de la fresa es de 0,73 mm al utilizar sistemas de cirugía guiada, sin embargo, si queremos valorar adecuadamente este valor es necesario compararlo con la exactitud que presentaría la preparación de un implante de manera manual. Sólo encontramos dos estudios donde se compara la utilización de cirugía guiada con la preparación manual de un implante. Brief y cols comparan la utilización de dos sistemas de navegación (Robodent® e IGI DenX®) con la colocación de implantes de manera manual sobre modelos acrílicos obteniendo una desviación entre 0,35 y 0,65 mm para los sistemas de navegación y de 1,35 mm en la preparación manual encontrando éstas diferencias estadísticamente significativas<sup>14</sup>. El otro estudio es el realizado por Kramer y cols donde se analiza la colocación de un implante unitario mediante un sistema de navegación (IGI DenX®) y una

preparación tradicional encontrando una desviación de 0,6 mm cuando utilizan el sistema de navegación y de 0,8 mm cuando no es utilizado<sup>23</sup>. Sin embargo, no hemos encontrado estudios que valoren la utilización de un sistema estático con la colocación de implantes de manera manual ni tampoco estudios que valoren la utilización de un sistema de cirugía guiada con la preparación manual de implantes en pacientes ya sea parcial o totalmente edéntulos.

La exactitud de un determinado sistema viene determinada por la acumulación de errores que se producen durante el proceso, desde la adquisición de la imagen hasta la colocación de los implantes<sup>7</sup>. Es muy importante minimizar al máximo estos errores. Por ello, son varios los autores que aconsejan el uso de la tecnología de haz de cono en la captación de las imágenes ya que permite una mayor calidad de imagen con dosis de radiación más bajas<sup>16,24,25</sup>. En los sistemas de cirugía guiada la calidad de la imagen influye en el resultado final de dos maneras. Por un lado, el cirujano realiza la planificación utilizando las imágenes obtenidas, evaluando la situación anatómica y decidiendo la posición de los implantes. Por otro, la calidad de la imagen afecta a la localización de los marcadores, parte indispensable para un registro exacto de las imágenes del paciente<sup>14</sup>. Estos marcadores son imprescindibles para fiar la imagen y permitir que el programa convierta las imágenes del escáner en su imagen correspondiente en 3D. Hoy en día, la mayoría de los sistemas utilizan férulas de registro con marcadores radiopacos. Estas férulas introdu-

cen un elemento más de posibles errores. Para obtener el máximo de exactitud se requieren excelentes impresiones y modelos de la boca del paciente, así como evitar cualquier movimiento de la férula a la hora de realizar la TC.

La mayoría de los autores señalan como fuente de error principal el movimiento de la guía durante la cirugía tanto en sistemas estáticos como en sistemas dinámicos. Van Assche y cols en un estudio realizado sobre cadáveres con un sistema estático (Nobel Guide®), valoran como factor crucial el movimiento de la guía, señalando que ésta debe ser rígida y estable en una sola posición aconsejando para el caso de pacientes edéntulos la utilización de pins anclados en el reborde<sup>25</sup>. En este sentido es importante destacar el estudio de Ozan y cols donde se analiza la exactitud de 110 implantes colocados mediante una guía esterolitográfica (Stent Cad®)<sup>26</sup>. En el estudio se diferencian 3 tipos de guía en función de que tengan soporte óseo, dentario o mucoso sin encontrar diferencias significativas al comparar las desviaciones medidas en el cuello del implante. Sin embargo, sí se encuentran diferencias al comparar las desviaciones medidas en el ápice del implante entre las dento-soportadas y las otras dos. Los autores del estudio atribuyen estas diferencias a los micromovimientos en la guía que se producen durante el proceso quirúrgico que son mayores en aquellas que no están ancladas sobre el reborde. En el caso de los sistemas de navegación, intervienen otros factores en la exactitud final que podemos conseguir. Por un lado, la exactitud de la cámara. Las cámaras de infrarrojos,

que son las más utilizadas, presentan una exactitud de 0,3 mm aproximadamente<sup>7,14</sup>. Por otro, una posible fuente de error señalada por varios autores depende de la habilidad del cirujano para interpretar los datos de la posición de la fresa en la pantalla del ordenador. Son necesarios varios ciclos de fresado para preparar el alveolo y en la utilización de cada una de las fresas aumenta las posibilidades de desviación<sup>19,21,27</sup>. Sin embargo, Hoffman y cols realizan un estudio sobre modelos de acrílico evaluando 224 alveolos fresados mediante un sistema de navegación (Vector Vision®) realizados por dos cirujanos, uno novel y otro con diez años de experiencia. No encontraron diferencias significativas en función de la experiencia del operador<sup>17</sup>.

Aunque el resultado del meta-análisis arroja diferencias significativas entre alguno de los subgrupos estudiados, es importante valorar la alta heterogeneidad existente. Para reducir la heterogeneidad es necesario conseguir subgrupos más homogéneos, para ello se podrían clasificar los estudios analizados en función del sistema utilizado para realizar las mediciones. Otro criterio a tener en cuenta podría ser el sistema comercial utilizado o el año de publicación del estudio, ya que la cirugía guiada es un campo nuevo que está experimentando un rápido desarrollo mejorando las propiedades clínicas y la exactitud. Así, los sistemas usados hoy en día pueden revelar mayor exactitud que las versiones más tempranas. Aumentar el número de variables tales como la desviación en el ápice del implante, en sentido vertical o en el eje mayor del implante, nos permitirá conseguir



resultados más significativos en futuras revisiones. Debido a las diferencias en el diseño de los estudios, no es

posible identificar un sistema superior a otro. Será necesario realizar más estudios clínicos, sobretudo en siste-

mas de navegación, para cuantificar adecuadamente la exactitud de estos sistemas.

## Bibliografía recomendada

Para profundizar en la lectura de este tema, el/los autor/es considera/an interesantes los artículos que aparecen señalados del siguiente modo: \*de interés \*\*de especial interés.

- Brånemark PI, Hansson BO, et al. **Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period.** Scand J Plast Reconstr Surg Suppl 16: 1-132. Scand J Plast Reconstr Surg 1977;Suppl 16:1-132.
- Van SD, Lekholm U, Bolender C, Folmer T, Henry P, Herrmann I, et al. **Applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism: a prospective multicenter study on 558 fixtures.** Int J Oral Maxillofac Implants 1990;5(3):272-81.
- Chiapasco M, Zaniboni M, Boisco M. **Augmentation procedures for the rehabilitation of deficient edentulous ridges with oral implants.** Clin Oral Implants Res 2006 Oct;17 Suppl 2:136-59.
- Tal H, Moses O. **A comparison of panoramic radiography with computed tomography in the planning of implant surgery.** Dentomaxillofac Radiol 1991 Feb;20(1):40-2.
- Sicilia A, Noguero B, Cobo J, Zabalegui I. **Profile surgical template: a systematic approach to precise implant placement. A technical note.** Int J Oral Maxillofac Implants 1998 Jan;13(1):109-14.
- Edge MJ, Medina TV. **Surgical location guide for use with osseointegrating implants.** Mil Med 1988 Nov;153(11):585-6.
- Widmann G, Bale RJ. **Accuracy in computer-aided implant surgery—a review.** Int J Oral Maxillofac Implants 2006 Mar;21(2): 305-13.
- Loubele M, Maes F, Schutyser F, Marchal G, Jacobs R, Suetens P. **Assessment of bone segmentation quality of cone-beam CT versus multislice spiral CT: a pilot study.** Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2006 Aug;102(2):225-34.
- Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung RE. **A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry.** Clin Oral Implants Res 2009 Sep;20 Suppl 4:73-86.
- Jung RE, Schneider D, Ganeles J, Wismeijer D, Zwahlen M, Hammerle CH, et al. **Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review.** Int J Oral Maxillofac Implants 2009;24 Suppl:92-109.
- Hozo SP, Djulbegovic B, Hozo I. **Estimating the mean and variance from the median, range, and the size of a sample.** BMC Med Res Methodol 2005;5(1):13.
- Kusumoto N, Sohmura T, Yamada S, Wakabayashi K, Nakamura T, Yatani H. **Application of virtual reality force feedback haptic device for oral implant surgery.** Clin Oral Implants Res 2006 Dec;17(6):708-13.
- Chiu WK, Luk WK, Cheung LK. **Three-dimensional accuracy of implant placement in a computer-assisted navigation system.** Int J Oral Maxillofac Implants 2006 May;21(3): 465-70.
- Brief J, Edinger D, Hassfeld S, Eggers G. **Accuracy of image-guided implantology.** Clin Oral Implants Res 2005 Aug;16(4):495-501.
- Al-Harbi SA, Sun AY. **Implant placement accuracy when using stereolithographic template as a surgical guide: preliminary results.** Implant Dent 2009 Feb;18(1):46-56.
- Eggers G, Patellis E, Muhling J. **Accuracy of template-based dental implant placement.** Int J Oral Maxillofac Implants 2009 May;24(3): 447-54.
- Hoffmann J, Westendorff C, Schneider M, Reinert S. **Accuracy assessment of image-guided implant surgery: an experimental study.** Int J Oral Maxillofac Implants 2005 May;20(3):382-6.
- Rupp J, Popovic A, Strauss M, Spuntrup E, Steiner A, Stoll C. **Evaluation of the accuracy of three different computer-aided surgery systems in dental implantology: optical tracking vs. stereolithographic splint systems.** Clin Oral Implants Res 2008 Jul;19(7):709-16.
- Wittwer G, Adeyemo WL, Schicho K, Birkfellner W, Enislidis G. **Prospective randomized clinical comparison of 2 dental implant navigation systems.** Int J Oral Maxillofac Implants 2007 Sep;22(5):785-90.
- Wittwer G, Adeyemo WL, Schicho K, Gigovic N, Turhani D, Enislidis G. **Computer-guided flapless transmucosal implant placement in the mandible: a new combination of two innovative techniques.** Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2006 Jun; 101(6):718-23.
- Wagner A, Wanschitz F, Birkfellner W, Zauza K, Klug C, Schicho K, et al. **Computer-aided placement of endosseous oral implants in patients after ablative tumour surgery: assessment of accuracy.** Clin Oral Implants Res 2003 Jun;14(3):340-8.
- Di Giacomo GA, Cury PR, de Araujo NS, Sendyk WR, Sendyk CL. **Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: preliminary results.** J Periodontol 2005 Apr;76(4):503-7.
- Kramer FJ, Baethge C, Swennen G, Rosahl S. **Navigated vs. conventional implant insertion for maxillary single tooth replacement.** Clin Oral Implants Res 2005 Feb;16(1):60-8.
- Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. **Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide.** Int J Oral Maxillofac Implants 2003 Jul;18(4):571-7.
- Van AN, van SD, Guerrero ME, Hirsch E, Schutyser F, Quirynen M, et al. **Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images: a pilot study.** J Clin Periodontol 2007 Sep;34(9):816-21.
- Ozan O, Turkyilmaz I, Ersoy AE, McGlumphy EA, Rosenstiel SF. **Clinical accuracy of 3 different types of computed tomography-derived stereolithographic surgical guides in implant placement.** J Oral Maxillofac Surg 2009 Feb;67(2):394-401.
- Wanschitz F, Birkfellner W, Watzinger F, Schopper C, Patruta S, Kainberger F, et al. **Evaluation of accuracy of computer-aided intraoperative positioning of endosseous oral implants in the edentulous mandible.** Clin Oral Implants Res 2002 Feb;13(1):59-64.
- Brief J, Hassfeld S, Sonnenfeld U, Persky N, Krempien R, Treiber M, et al. **Computer-guided insertion of dental implants—a clinical evaluation.** Int Congr Ser 2001 Jan 20;739-47.
- Van SD, Naert I, Andersson M, Brajnovic I, Van CJ, Suetens P. **A custom template and definitive prosthesis allowing immediate implant loading in the maxilla: a clinical report.** Int J Oral Maxillofac Implants 2002 Sep;17(5):663-70.
- Wanschitz F, Birkfellner W, Figl M, Patruta S, Wagner A, Watzinger F, et al. **Computer-enhanced stereoscopic vision in a head-mounted display for oral implant surgery.** Clin Oral Implants Res 2002 Dec;13(6):610-6.
- Kalt G, Gehrke P. **Transfer precision of three-dimensional implant planning with CT assisted offline navigation.** Int J Comput Dent 2008;11(3-4):213-25.