

TECNOLOGÍA DE SIMULACIÓN TRIDIMENSIONAL PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN DE ENDOPRÓTESIS TRAQUEALES

José Luis López Villalobos¹, Ángel Ginel Cañamaque¹, Amaya Pérez del Palomar Aldea², Olfa Trabelsi², Miguel Ángel González Ballester³, Francisco Rodríguez Panadero⁴, José Luis López-Campos⁴.

⁽¹⁾Unidad Médico-Quirúrgica de Enfermedades Respiratorias. Cirugía Torácica. Hospitales Universitarios Virgen del Rocío ⁽²⁾Grupo de Mecánica Estructural y modelado de Materiales (GEMM). Universidad de Zaragoza. ⁽³⁾Alma IT Systems. Barcelona. ⁽⁴⁾Unidad Médico-Quirúrgica de Enfermedades Respiratorias. Neumología. Hospitales Universitarios Virgen del Rocío.

Estudio subvencionado por proyecto de investigación Neumosur (nº 4/2006).

Resumen:

Objetivo: se ha realizado un estudio observacional sobre pacientes con estenosis de la vía aérea principal con el objetivo de demostrar la mejora en los resultados del tratamiento mediante broncoscopia rígida al realizar una planificación preoperatoria con una herramienta de simulación informática.

Material y método: se incluyeron 23 pacientes con estenosis de diferente etiología. A partir de las imágenes de tomografía computarizada se realizaron reconstrucciones tridimensionales de la estructura laringo-traqueal sobre las cuales se simuló la colocación de una endoprótesis. Los resultados obtenidos tras la intervención se compararon con un grupo de control histórico formado por 156 pacientes, intervenidos previamente en nuestro centro. Se tomó como variable principal la necesidad de realización de procedimientos adicionales. Como variables secundarias se utilizaron el grado de mejoría clínica y la concordancia entre la prótesis seleccionada con la simulación y la implantada.

Resultados: en el grupo de pacientes en los cuales se realizó la simulación de la implantación de la endoprótesis fue precisa la realización de procedimientos adicionales en el 11,7%, frente al 25,6% en el grupo de controles históricos ($p < 0,05$). La concordancia entre la prótesis seleccionada y la implantada fue del 100% y existió una significativa mejoría clínica, en cuanto a la función ventilatoria, en todos los pacientes intervenidos.

Discusión: la utilización de técnicas de simulación en la planificación preoperatoria permite mejorar los resultados quirúrgicos demostrando ser de utilidad en los pacientes con estenosis de la vía aérea principal que son sometidos a intervenciones mediante broncoscopia rígida con implantación de endoprótesis.

Palabras clave: Tráquea, broncoscopia, estenosis traqueal, stent, prótesis traqueal, tridimensional.

Three-dimensional simulation technology for planning tracheal stenting

Abstract

Objective: An observational study was made of patients with stenosis of the main airway in order to demonstrate the improved results of treatment by rigid bronchoscopy to perform preoperative planning with computer simulation software.

Material and Methods: Twenty-three patients were included with stenosis of different aetiologies. Computerized tomography images were used to make three-dimensional reconstructions of the laryngotracheal structure in which the stent placement was simulated. The results after surgery were compared with an historical control group consisting of 156 patients, who had undergone previous surgery in our centre. The need to perform additional procedures was taken as the main variable. Secondary variables were the degree of clinical improvement and the correlation between the prosthesis selected with the simulation, and that implanted.

Results: In the stenting simulation group additional procedures were necessary in 11.7% versus 25.6% in the historical control group ($p < 0.05$). The correlation between the selected prosthesis and that implanted was 100%, and there was a significant clinical improvement in terms of ventilatory function in all patients undergoing surgery.

Conclusions: The use of simulation techniques in preoperative planning can improve surgical outcomes, proving useful in patients with stenosis of the main airway who undergo interventions by rigid bronchoscopy with stenting.

Keywords: Trachea, bronchoscopy, tracheal stenosis, stent, tracheal prosthesis, three-dimensional.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las lesiones que implican la laringe subglótica y primer segmento traqueal supone un reto para los cirujanos torácicos y los neumólogos. Las particularidades anatómicas y funcionales de esta región, así como la complejidad de las técnicas quirúrgicas ocasionaron que, hasta la década de los 60, la mayoría de las estenosis traqueales se solucionasen mediante la realización de una traqueotomía y la colocación de una cánula de traqueostomía. Sólo en casos muy seleccionados se realizaba resección quirúrgica del segmento afectado y su posterior reconstrucción¹.

En 1965 Montgomery diseñó la primera endoprótesis traqueal^{2,3}, que en la actualidad continúa utilizándose con escasas modificaciones. Esta prótesis

fue ideada como elemento de soporte sobre el cual se modela el proceso de cicatrización tras intervenciones de resección laringo-traqueal o dilataciones de áreas estenóticas subglóticas y el extremo superior de la tráquea. Posteriormente, en la década de los 90 se han desarrollado otro tipo de endoprótesis, basadas en el diseño de las prótesis endovasculares, autoexpandibles y cuya fijación se debe a la presión que ejercen sobre la pared traqueal^{4,5,6}.

Si bien la aparición de las endoprótesis supuso un importante avance en el tratamiento de las estenosis traqueo-bronquiales, su colocación no está exenta de riesgos, describiéndose una tasa de aparición de complicaciones de entre el 15 y el 42%^{7,8,9}. Entre las más

Recibido: 19 de octubre de 2010. Aceptado: 9 de mayo de 2011.

José Luis López Villalobos
jose.l.lopez.villalobos.sspa@juntadeandalucia.es

frecuentes de estas complicaciones encontramos la migración, la aparición de granulomas y la obstrucción por secreciones^{10, 11, 12, 13}.

En la mayoría de los casos es posible atribuir la aparición de estas complicaciones a una mala elección de la endoprótesis (modelo y dimensiones) o a una mala ubicación de la misma. Por otro lado, con excepción de la endoprótesis Dynamic®¹⁴, todas las prótesis existentes en el mercado son cilíndricas y con escaso o nulo coeficiente de deformabilidad, por lo que su colocación dificulta los movimientos de constricción traqueo-bronquial, ocasionando que la tos sea efectiva, al mismo tiempo que interrumpe el tapiz mucociliar, que constituye un importante mecanismo de limpieza de la vía aérea^{15, 16, 17}. En este sentido, el grado de dificultad para la eliminación de las secreciones se encuentra en relación directa con la longitud del stent colocado.

Actualmente, la planificación preoperatoria previa a la implantación de una endoprótesis traqueal se basa en la experiencia del cirujano, el material disponible y en las imágenes de TAC o resonancia magnética realizadas al paciente. Sin embargo, el reciente desarrollo de tecnologías computacionales permite realizar una simulación virtual previa a la cirugía permitiendo una planificación quirúrgica acorde a cada caso.

Desde la aparición de los primeros simuladores quirúrgicos basados en la tecnología informática, hace ya más de 20 años¹⁸, se ha producido un gran avance en la calidad y realismo de los mismos de forma que los últimos sistemas utilizan imágenes médicas de pacientes reales en la generación del modelo tridimensional. De esta forma la simulación se realiza con casos específicos, permitiendo la realización "virtual" de la intervención quirúrgica previamente a llevarla a cabo en el quirófano, evaluando las distintas opciones terapéuticas, ensayándolas y seleccionando la más adecuada para cada caso concreto. Actualmente, existen simuladores de este tipo ya completamente validados en diversos terrenos como la cirugía plástica^{19, 20, 21} o la cirugía hepatobiliar²² y en la actualidad se están desarrollando en otras áreas de la medicina. A pesar de esto, existen pocos simuladores de este tipo en el ámbito de la cirugía torácica y ninguno para la planificación de técnicas intervencionistas en la vía aérea.

El objetivo de este estudio fue la valoración de los resultados de la planificación quirúrgica de las estenosis traqueales con la asistencia de un visualizador de imágenes médicas que permite la posibilidad de reconstrucción pre-quirúrgica tridimensional de la estructura laringo-traqueal a intervenir.

MATERIAL Y MÉTODOS

Pacientes

El estudio se diseñó como un estudio observacional analítico de casos y controles. En ambos grupos de incluyeron pacientes con estenosis traqueales de diferentes etiologías, tanto benignas como malignas,

subsidiarios de tratamiento endoscópico, es decir, con luz traqueal inferior al 30% o que presentaban clínica de disnea o hemoptisis importante. Se incluyeron casos que precisaban bien tratamiento quirúrgico de la lesión o colocación de endoprótesis. La indicación de colocación de endoprótesis se realizó en aquellos pacientes con inestabilidad de la vía aérea tras la re-permeabilización de la misma.

Se excluyeron a aquellos pacientes que no pudieron ser sometidos a anestesia general por su comorbilidad asociada, aquellos con extensa afectación de la vía aérea no abarcable con endoprótesis, lesiones con afectación a menos de un centímetro de cuerdas vocales y estenosis con indicación de resección quirúrgica traqueal abierta.

El grupo de casos se obtuvo de manera prospectiva y en ellos se realizó una planificación prequirúrgica con el software de reconstrucción tridimensional a partir de las imágenes de TAC multicorte. A partir de dicho estudio se realizaron las reconstrucciones multiplanares y tridimensionales de la vía aérea, realizándose una simulación previa a la intervención, tanto del tipo de cirugía en sí como de la endoprótesis a emplear en los casos en que fue precisa su colocación. La decisión definitiva en cuanto a la realización de cirugía abierta o broncoscopia rígida, así como el tipo y calibre de la endoprótesis colocada, no se encontró condicionada por la realización de este estudio, existiendo la posibilidad de modificar la actitud ante la aparición de cualquier tipo de discordancia entre la intervención planificada y la intervención que, a criterio del cirujano, realmente precisara el paciente.

El grupo de controles consistió en una cohorte histórica de pacientes intervenidos en nuestro centro por patología estenosante traqueo-bronquial de distintas etiologías entre junio del 2000 y noviembre del 2005. En estos controles, la aproximación terapéutica fue la misma, pero sin la evaluación pre-quirúrgica tridimensional.

Como variables para el análisis del modelo tridimensional se determinó el calibre máximo de la vía aérea y la longitud del segmento afecto, de importancia para la elección del calibre y la longitud de la endoprótesis. Se analizó la naturaleza, el tipo, el grado y la localización de la estenosis. Igualmente se midió la distancia existente desde las cuerdas vocales al inicio de la estenosis para establecer la localización del extremo proximal de la prótesis.

La variable resultado principal fue la necesidad de realización de procedimientos adicionales, es decir, nuevas intervenciones mediante fibrobroncoscopia, broncoscopia rígida o nueva intervención quirúrgica tras la intervención inicial. Para este fin, se consideraron todos aquellos procedimientos realizados mediante broncoscopia rígida bajo anestesia general como son la recolocación o sustitución de endoprótesis, dilatación, tratamiento láser, electrocoagulación o criocoagulación. Se consideraron también los procedimientos fibrobroncoscópicos realizados bajo

anestesia local y sedación consciente como son la criocoagulación o coagulación láser, tanto de lesiones benignas como malignas y, en algunos casos seleccionados, la recolocación de endoprótesis. Sin embargo, se excluyeron aquellos procedimientos realizados mediante fibrobroncoscopia que no implicasen intervencionismo directo sobre la vía aérea, como son las revisiones rutinarias o limpieza de las secreciones adheridas a la endoprótesis.

Los resultados secundarios se estudiaron en el grupo de casos, evaluando la eficacia clínica y la concordancia entre la prótesis elegida con los datos del software y la finalmente colocada en el acto quirúrgico. La eficacia clínica se evaluó estudiando el grado de disnea preoperatorio y la mejoría postoperatoria experimentada por el paciente, utilizando como referencia la escala de la New York Heart Association (NYHA)²³. La concordancia de la prótesis se estudió comparando el número de casos en los que la prótesis elegida por el cirujano y la seleccionada con los datos del software coincidían.

El estudio contaba con la aprobación del comité ético y de investigación clínica del hospital, existiendo un formato de consentimiento informado específico que fue cumplimentado por el paciente de forma previa al tratamiento.

Software utilizado

Para la simulación de tratamiento de estenosis de la vía aérea principal se utilizó el visualizador multimodalidad de imágenes médicas Alma3D, desarrollado por la empresa AlmaIT® Systems (Barcelona, España), que permite exploraciones radiológicas principalmente de tomografía computarizada (CT), pero también radiografía convencional, resonancia magnética, mamografía y ecografía. La versión inicial del software permitía la visualización de imágenes en las proyecciones convencionales (axial, sagital y coronal), la realización de reconstrucciones multiplanares (oblicuas) y la creación de modelos interactivos de volumen tridimensional.

Con el objetivo de aislar la estructura laríngeo-traqueal en el modelo tridimensional se generaron una serie de patrones de segmentación automatizados para las diferentes estructuras de interés. Estos patrones se establecieron en función de la densidad radiológica de los tejidos a estudiar, incluyendo las partes blandas, cartílagos laríngeo-traqueales y la columna de aire de la luz traqueal. De este modo fue posible independizar la vía aérea, de una forma rápida, para una mejor visualización de las lesiones, así como para facilitar la toma de medidas anatómicas y la posterior planificación del tratamiento quirúrgico a realizar.

Se generó, además, una librería o catálogo de endoprótesis, diseñadas en tres dimensiones en función de los modelos reales. En esta versión de la herramienta informática existe únicamente la posibilidad de superponerlas sobre las reconstruc-

ciones axial, coronal, sagital, oblicua y tridimensional, a modo de indicación acerca de cómo sería su posición real en la vía aérea del paciente (figura 1). De este modo, de forma indirecta, es posible predecir posibles complicaciones derivadas de su colocación, como puntos de máxima presión o rozamiento entre la prótesis y la vía aérea, colisión con cricoides o cuerdas vocales, desplazamiento en caso de ser de calibre incorrecto, etc. Se incluyeron endoprótesis de tipo Dumon y Montgomery de los calibres y longitudes disponibles comercialmente.

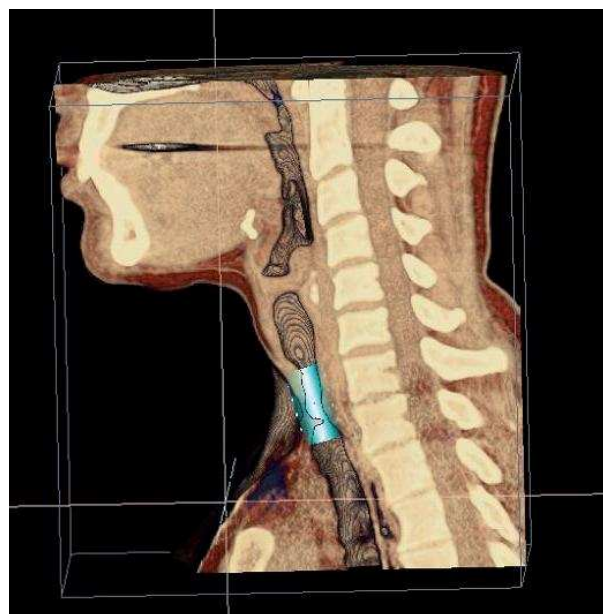


Figura 1: ejemplo de simulación de implantación de endoprótesis en el modelo tridimensional del paciente. En este caso se ha colocado una prótesis de Dumon a nivel del tercio medio traqueal.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante la creación de una hoja de datos en Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmon, Washington, Estados Unidos). Para la descripción de las variables se emplearon la media y la desviación estándar de las variables cuantitativas y las frecuencias absolutas y relativas de cada categoría en el caso de las cualitativas. Las comparaciones entre ambos grupos se realizaron mediante el test de la Chi-cuadrado para variables cualitativas. El error alfa se fijó en 0,05.

RESULTADOS

a) Descripción de la muestra

El grupo de casos se compuso de 23 pacientes, 16 hombres y 7 mujeres, con una edad media de $52,17 \pm 14,53$ años con rango entre los 21 y los 69 años. Los controles fueron 156 sujetos, 107 hombres y 49 mujeres, con una edad media de $61,25 \pm 10,71$ con un rango entre 16 y 82 años. La etiología de las estenosis se resume en la tabla 1. El porcentaje de estenosis benignas y malignas fue de 17 (73,9%) y 6 (26,1%)

respectivamente en el grupo de casos y 57 (36,5%) y 99 (63,5%) en el de controles. En ambos grupos el origen más frecuente en las lesiones benignas fue la intubación orotraqueal prolongada y el carcinoma broncopulmonar con extensión a la vía aérea en las malignas.

Respecto al nivel de producción de la estenosis, resumida en la tabla 2, la localización más frecuente en patología benigna fue la subglotis y el tercio proximal traqueal. En las estenosis malignas la carina traqueal fue el segmento de la vía aérea afectado en el mayor número de los casos.

La morfología de las lesiones se detalla en la tabla 3. Las estenosis traqueales benignas eran en su mayoría complejas o mixtas, es decir, que combinaban varios tipos de lesiones como, por ejemplo, áreas de retracción cicatricial con crecimiento fibroso conjuntamente con áreas de tejido inflamatorio granulomatoso o zonas de destrucción del cartílago traqueal con malacia. En las lesiones malignas la morfología más frecuentemente observada fue el crecimiento exofítico con o sin compresión extrínseca asociada.

De los 23 pacientes en el grupo de casos, en 17 pacientes (73,9%) se empleó la reconstrucción tridimensional a partir de las imágenes tomográficas para la planificación de la broncoscopia rígida con colocación de distintas endoprótesis traqueales, detalladas en la tabla 4. En los otros 6 pacientes se trataba de estenosis benignas. En 3 casos se decidió la realización de cirugía resectiva traqueal con posterior reconstruc-

ción mediante anastomosis término-terminal, un caso con estenosis benigna de tercio medio traqueal por granulomatosis de Wegener presentaba enfermedad activa en el momento del estudio y se decidió realizar únicamente un cambio de cánula de traqueostomía por una de mayor calibre y longitud, otro caso presentaba una estenosis traqueal benigna de tipo membranoso que se trató mediante sección de la misma con láser y dilatación, sin colocación de endoprótesis y el sexto caso fue un granuloma inflamatorio de cara posterior de la subglotis, se decidió la realización de resección láser del mismo sin colocación de endoprótesis al quedar una adecuada luz subglótica con estabilidad del área y sin sangrado significativo.

De los 156 controles, se empleó la colocación de una endoprótesis en 145 (92,9%) casos. De los 11 casos en los que no se empleó prótesis, 4 eran estenosis benignas y 7 malignas. En estos pacientes se realizó resección láser con o sin dilatación, pero sin posterior colocación de prótesis.

En ambos grupos las endoprótesis de Montgomery y Dumon fueron las más utilizadas en las estenosis benignas. En las malignas fue la de Dumon seguida, en el grupo de los controles, por la Polyflex. En los pacientes del grupo de los casos en los cuales se colocaron endoprótesis tipo Silmet y Aero la simulación se realizó como si se hubiese implantado la de Dumon ya que, por el momento, no se encuentran disponibles sus modelos informáticos.

Tabla 1: etiología de las estenosis en el grupo de casos y controles, separadas según el origen benigno o maligno. Se indican los valores en números absolutos y porcentajes referidos respecto al número total en cada grupo.

	Casos (n=23)	Controles (n=156)
Estenosis Benignas		
Postintubación	11 (47,83%)	30 (19,24%)
Postquirúrgicas	4 (17,39%)	8 (5,14%)
Traumáticas	–	5 (3,2%)
Infecciosas	–	3 (1,92%)
Enfermedades Inflamatorias sistémicas	2 (8,69%)	3 (1,92%)
Otras	–	8 (5,14%)
Estenosis Malignas		
Carcinoma broncopulmonar	5 (21,74%)	84 (53,84%)
Tumores primarios traqueales	–	5 (3,2%)
Afectación tumoral secundaria	–	5 (3,2%)
Linfoma	–	5 (3,2%)
Otras	1 (4,35%)	–

Tabla 2: localización de la estenosis en los dos grupos del estudio. Se indica el nivel de la estenosis según el origen maligno o benigno. Se indican los valores en números absolutos y en porcentajes referidos respecto al número total en cada grupo.

Localización	Casos Benignas (n=17)	Casos Malignas (n=6)	Benignas Controles (n=57)	Malignas Controles (n=99)
Subglotis	8 (47,05%)		32 (56,15%)	9 (9,09%)
Tercio proximal traqueal	8 (47,05%)	2 (33,33%)	15 (26,31%)	15 (15,15%)
Tercio medio traqueal	1 (5,88%)		6 (10,52%)	17 (17,17%)
Carina traqueal con o sin uno o los dos BP.		3 (50%)	2 (3,5%)	35 (35,35%)
Bronquio principal derecho		1 (16,67%)	2 (3,5%)	12 (12,12%)
Bronquio principal izquierdo				8 (8,08%)
Bronquio intermediario				3 (3,03%)

Tabla 3: morfología de las lesiones en ambos grupos.

	Casos (n=23)	Controles (n=156)
Benignas		
Diafragmática	2 (8,69%)	4 (2,56%)
Infundibular	2 (8,69%)	13 (8,33%)
Granulomas	3 (13,04%)	21 (13,46%)
Compleja o mixta	10 (52,17%)	19 (12,18%)
Malignas		
Crecimiento exofítico	4 (17,39%)	69 (44,23%)
Compresión extrínseca	2 (8,69%)	23 (14,74%)
Fístula por recidiva en muñón		4 (2,56%)
Fístula tráqueo-esofágica		3 (1,92%)

Tabla 4: endoprótesis colocadas según la naturaleza de la estenosis en el grupo de casos y el de controles.

Endoprótesis	Casos Benignas (n=11)	Casos Malignas (n=6)	Controles Benignas (n=53)	Controles Malignas (n=92)
Montgomery	6 (54,54%)		24 (45,28%)	3 (3,26%)
Dumon	4 (36,36%)	2 (33,33%)	19 (35,85%)	47 (51,08%)
Dumon Bifurcada		3 (50%)		
Polyflex			7 (13,2%)	31 (33,69%)
Ultraflex			3 (5,66%)	
Freitag				11 (11,95%)
Aero	1 (9,1%)			
Silmet		1 (16,66%)		

b) Objetivo primario

En el grupo de los pacientes en los que se utilizó la herramienta informática fue precisa la realización de procedimientos adicionales a la cirugía de colocación de la endoprótesis en 2 de los 17 pacientes (11,7%) siendo necesario el recambio de una endoprótesis de Montgomery por una cánula de traqueostomía por obstrucción por coágulo y la sustitución de una endoprótesis Dumon por otro de mayor calibre. En el grupo de control fue preciso realizar procedimientos adicionales en 40 de los 156 individuos, lo que representa un 25,6%. Esta diferencia fue significativa con un valor de $p < 0,05$.

c) Objetivos secundarios

La concordancia entre la prótesis elegida de forma preoperatoria en base a la reconstrucción tridimensional y la colocada una vez valorado el paciente de forma intraoperatoria fue del 100% tanto para el calibre como para la longitud, tanto en las estenosis benignas como en las malignas.

Existió mejoría clínica en el 100% de los individuos, encontrándose todos ellos en los dos primeros grados de la NYHA (0 y I) tras la intervención quirúrgica.

Existieron complicaciones leves en 3 pacientes a modo de sangrado leve en dos casos y obstrucción parcial de la endoprótesis por secreciones espesas en el otro.

CONCLUSIONES

El presente trabajo describe la aplicación práctica de un modelo de reconstrucción tridimensional para la elección de endoprótesis traqueales. A pesar de no tener una elevada incidencia, la patología estenosante de la vía aérea se presenta con una relativa frecuencia en la práctica clínica del cirujano torácico y del neumólogo, pudiendo ocasionar complicaciones importantes, que requieren un alto grado de entrenamiento y especialización para lograr una orientación diagnóstica rápida y un manejo clínico adecuado.

El empleo de modelos computacionales para la simulación pre-quirúrgica no es novedoso en medicina. Desde hace más de 30 años se utiliza la simulación en la cirugía, inicialmente con modelos simples (cajas de simulación de laparoscopia, modelos animales), y posteriormente más complejos (modelos de realidad virtual), concebidos como instrumentos para la docencia. Estos métodos están actualmente comenzando a ganar importancia en el diagnóstico y tratamiento de diversas patologías. Nuestro modelo es el primero que se aplica a la cirugía traqueal del ser humano con buenos resultados en la selección de endoprótesis traqueales como muestran los resultados del presente trabajo.

La creación de herramientas que hacen posible el realizar una simulación de forma virtual del tratamiento que posteriormente se realizará en el paciente real no solo supone la posibilidad de planificar la in-

tervención previamente a la intervención a realizar en el quirófano, sino que también permite probar varias opciones terapéuticas en el mismo paciente, comprobando el resultado teórico que tendría cada una en caso de realizarse. Es decir, con herramientas de este tipo se pueden realizar distintas intervenciones sobre la lesión que presenta el paciente, valorando cuál de ellas es la que tiene mejor resultado en el paciente concreto, eligiéndola posteriormente para su realización.

La experiencia preliminar aquí descrita muestra unos resultados prometedores con el uso de la planificación virtual previa de la intervención. En el grupo de pacientes en los que se realizó la simulación 3D existe una importante disminución en el número de procedimientos adicionales necesarios tras la cirugía de colocación de endoprótesis, respecto al grupo de control de pacientes intervenidos de forma "tradicional". Del mismo modo, hemos observado una mejoría en el grado de disnea en el grupo de casos. Por otro lado, el bajo número de complicaciones quirúrgicas importantes parece ser un dato indicativo que la planificación prequirúrgica no influye únicamente en una mejora de la tolerancia a las endoprótesis sino que, probablemente, también mejora la propia técnica quirúrgica. Esto es debido, probablemente, a que se consigue una disminución de la necesidad de improvisar ante los hallazgos en el campo operatorio.

Las estenosis traqueales benignas observadas eran en su mayoría complejas o mixtas, es decir, que combinaban varios tipos de lesiones como, por ejemplo, áreas de retracción cicatricial con crecimiento fibroso conjuntamente con áreas de tejido inflamatorio granulomatoso o zonas de destrucción del cartílago traqueal con malacia. Esto es debido a que en muchos de los casos los pacientes habían sido sometidos previamente otros procedimientos endoscópicos como dilataciones neumáticas o resección láser. Estos tratamientos distorsionan la morfología inicial de la estenosis y, en algunos casos, aumentan la longitud de la misma.

A pesar de los satisfactorios resultados iniciales en el uso de este tipo de herramienta de simulación quirúrgica virtual, existen algunas limitaciones de nuestro estudio que deben ser tenidas en cuenta a la hora de la interpretación de nuestros resultados. En primer lugar, debido a la heterogeneidad de la muestra de pacientes analizada en este trabajo, tanto en etiología como en localización y severidad de las lesiones, la muestra resulta de tamaño insuficiente para analizar resultados entre grupos. En este sentido, nuestros resultados pueden ser utilizados como base para el cálculo del tamaño muestral adecuado para futuros estudios. En segundo lugar, el desarrollo tecnológico que precisa esta planificación se encuentra actualmente en su fase inicial, de modo que las posibilidades finales están aún por explorarse. Probablemente, posteriores versiones del programa informático consigan mejorar los resultados aquí expuestos.

La estructura anatómica constituida por la laringe y el árbol tráqueo-bronquial es un conjunto sometido de forma continua a movimientos fisiológicos como la deglución, tos, fonación o los giros y flexo-extensión del cuello. Este tipo de herramienta informática permite conocer cómo quedará una endoprótesis traqueal una vez colocada en la posición elegida, pero se encuentra limitada a la hora de predecir qué tipo de interacción se producirá con las distintas estructuras durante estos movimientos, lo que sin duda constitui-

rá algunas de las áreas de mejora en la implementación de este tipo de planificación pre-quirúrgica.

En definitiva, el presente trabajo aporta por primera vez datos de la eficacia y seguridad de la planificación pre quirúrgica en la colocación de endoprótesis traqueales. Nuestros resultados abren un campo de trabajo que servirá para la mejoría de este planteamiento pre-quirúrgico que haga en el futuro el uso de esta tecnología como parte indispensable de la valoración pre-quirúrgica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Grillo HC. Circumferential resection and reconstruction of the mediastinal and cervical trachea. *Ann Surg* 1965;162(3):374-88.
2. Montgomery WW. T-Tube tracheal stent. *Arch Otolaryngol* 1965;82:320-1.
3. Montgomery WW, Montgomery SK. Manual for use of Montgomery laryngeal, tracheal and esophageal prostheses: update 1990. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1990;150:2-28.
4. Wood DE. Airway stenting. *Chest Surg Clin N Am* 2001;11(4):841-60.
5. Tsang V, Goldstraw P. Self-expanding metal stents for tracheobronchial strictures. *Eur J Cardiothorac Surg* 1992;6:555-560.
6. Hramiec JE, O'Shea MA, Quinlan RM. Expandable metallic esophageal stents in benign disease: a cause for concern. *Surg Laparosc Endosc* 1998;8:40-43.
7. Lemaire A, Burfeind WR, Toloza E, Balderson S, Petersen RP, Harpole DH Jr et al. Outcomes of tracheobronchial stents in patients with malignant airway disease. *Ann Thorac Surg* 2005;80:434-7.
8. Shin JH, Song H, Young Ko, Shim TS, Kim SW, Cho YK et al. Treatment of tracheobronchial obstruction with a polytetrafluoroethylene-covered retrievable expandable nitinol stent. *J Vasc Interv Radiol* 2006;17:657-63.
9. Cosano Povedano A, Muñoz Cabrera L, Cosano Povedano FJ, Rubio Sánchez J, Pascual Martínez N, Escribano Dueñas A. Endoscopic treatment of central airway stenosis: five years' experience. *Arch Bronconeumol* 2005;41:322-7.
10. Freitag L. Airway stents. *Eur Respir Mon* 2010;18:190-217.
11. Herth FJF. Endobronchial management of central cancers. *Eur Respir Mon* 2010;10:336-348.
12. Bolliger CT, Sutedja TG, Strausz J, Freitag L. Therapeutic bronchoscopy with immediate effect: laser, electrocautery, argon plasma coagulation and stents. *Eur Respir J* 2006;27:1258-71.
13. Fernando HC, Sherwood JT, Krimsky W. Endoscopic Therapies and Stents for Benign Airway Disorders: Where Are We, and Where Are We Heading? *Ann Thorac Surg* 2010;89:2183-2187.
14. Freitag L, Tekolf E, Grechuschna D. Development of a new insertion technique and a new device for the placement of bifurcated airway stents. *Surg Endosc* 1994;8(12):1409-11.
15. Madden BP, Park JE, Sheth A. Medium-term follow-up after deployment of ultraflex expandable metallic stents to manage endobronchial pathology. *Ann Thorac Surg* 2004;78(6):1898-902.
16. Dumon MC, Dumon JF, Perin C, Blaive B. Silicone tracheobronchial endoprosthesis. *Rev Mal Respir* 1999;16(4 Pt 2):641-51.
17. Martínez-Ballarín JJ, Díaz-Jiménez JP, Castro MJ, Moya JA. Silicone stents in the management of benign tracheobronchial stenoses. Tolerance and early results in 63 patients. *Chest* 1996;109(3):626-9.
18. Satava RM. Historical review of surgical simulation. A personal perspective. *World J Surg* 2008;32:141-148.
19. Calvente JJ, Muñoz AJ, Parra C, González PL, De la Higuera JM. Realidad virtual aplicada a la optimización de los procesos quirúrgicos. [Consulta: 03 sept 2008]. < <http://taylor.us.es/ph/downloads/HPM/5.pdf>>.
20. Fernández D. El ratón se come al bisturí. Proyecto VIRSSPA: aprender cirugía en 3D. *XL-Semanal* [en línea]. 14-20 de enero del 2007, nº 1003. [Consulta: 03 Sept 2008]. < http://www.xlsemanal.com/web/articulo.php?id_edicion=1707&id=12497>.
21. Rodríguez D. Andalucía. El simulador quirúrgico del Hospital Virgen del Rocío "recibe el alta" médica. *El Diario Médico.com* [en línea]. 11 Sept 2008. [Consulta: 20 Sept 2008]. < http://www.diariomedico.com/edicion/diario_medico/gestion/es/desarrollo/1163311.html>.
22. Meinzer HP, Thorn M, Cardenas C. Computerized Planning of Liver Surgery: An Overview. *Computers and Graphics* 2002;26:569-576.
23. The Criteria Committee for the New York Heart Association. Nomenclature and Criteria for Diagnosis of Diseases of the Heart and Great Vessels Ninth Edition. Little Brown and Company. 1994. pages 253-255.