



11231

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS DE
BRONCOSCOPIA VIRTUAL, TOMOGRAFIA HELICOIDAL,
BRONCOSCOPIA REAL Y ESTEREOLITOGRAFIA EN
PATOLOGIA DE LA VIA AEREA, EXPERIENCIA EN EL
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE

LA ESPECIALIDAD EN NEUMOLOGIA

P R E S E N T A :

DRA. GITTAIM PAMMELA TORRES SAN MIGUEL

ASESOR: DRA. VICTORIA FALCON SOLIS
COASESOR: DR. CARLOS NUÑEZ PEREZ-REDONDO



MÉXICO, D. F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Introducción.....	1
• Conceptos generales de la Broncoscopio Virtual y Estereolitografía.....	2
• Definiciones.....	7
• Conceptos generales.....	8
Delimitación del problema.....	11
• Hipótesis	
• Objetivos	
• Justificación	
Diseño del estudio.....	12
• Consideraciones Eticas	
Metodología.....	13
Resultados.....	15
Conclusiones.....	17
Propuestas.....	18
• Glosario	
• Bibliografía	
Enlaces Relacionados.....	23
Anexos.....	25
• Imágenes	
• Carta Consentimiento	

AGRADECIMIENTOS

A MI FAMILIA:

A mis Madre que con su ejemplo y su dedicacion ha forjado en mi el espiritu de lucha,

A mi Padre por darme su apoyo en todos los aspectos de mi vida, asi como su ejemplo singular.

A mi hermano Jovan que pese a su edad con sus platicas y comentarios ha dejado en mi su huella invaluable

A mi hermano Christopher que con su carácter y tenacidad ha sido como mi hermano mayor.

A mi estrategia favorito, que gracias a su lluvia de ideas, comprensión ,apoyo incondicional y amor, se logro este objetivo, gracias Benito.

A mi hija por su amor inocente,comprensivo y leal.

AL INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS:

Por haberme dado el privilegio de formarme.

AL DR. CARLOS NUNEZ PEREZ-REDONDO:

Por ser Maestro y amigo.

A DRA. VICTORIA FALCON SOLIS:

Por su amistad, gran ayuda, apoyo y esmero a este trabajo.

A LOS MEDICOS AMIGOS Y MAESTROS:

Por sus comentarios y aportaciones a este trabajo. A Cristina Cuaya por su apoyo y amistad.

“Cuando se presenta un evento nuevo a la cultura científica , el espíritu no es nunca joven. Es incluso muy viejo , pues tiene la edad de los prejuicios”.

Gaston Bachelard (1884-1962), Ingeniero y pensador francés.

DR. FERNANDO CANO VALLE
DIRECTOR GENERAL
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

DR. JESUS VILLALPANDO CASAS
Director de Enseñanza
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

DR. JORGE SALAS HERNANDEZ
Subdirector de Enseñanza
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

DRA. RENATA BAEZ SALDANA
POSGRADO
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

DRA. VICTORIA FALCON SOLIS
JEFE DEL SERVICIO DE IMAGENOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

DR. CARLOS NUÑEZ PEREZ-REDONDO
JEFE DEL SERVICIO DE BRONCOSCOPIA
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

INER



**INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES
RESPIRATORIAS**
DIRECCION DE ENSEÑANZA

SUBDIRECCION DE ENSEÑANZA
DIVISION DE ENSEÑANZA POSGRADO
FACULTAD DE MEDICINA
U.N.A.M.

INTRODUCCION.

Los avances tecnológicos y los constantes cambios en la medicina han propiciado que la broncoscopia sea modernizada a grados superiores de especialización que permiten un análisis más detallado de los hallazgos con un mayor grado de exactitud y resolución. La tomografía helicoidal dio la pauta al desarrollo de nuevas técnicas como la broncoscopia virtual y la estereolitografía que son útiles como auxiliares a las herramientas catalogadas como estándar de oro en la exploración del árbol traqueo bronquial como lo es la broncoscopia.^{1,2,3,4,25} Sin embargo, todos estos métodos diagnósticos aún no se utilizan en forma generalizada para obtener una resolución tridimensional palpable y por lo general, ésta sólo la obtiene el cirujano durante la intervención quirúrgica al tener en sus manos la lesión torácica que acaba de reseca a su paciente, y cuantas veces se habrá preguntado, me hubiera gustado haberla tenido en mis manos antes de la cirugía, palpar su volumen, sus dimensiones, su forma, escudriñar físicamente la anatomía con la que está íntimamente relacionada y haber hecho un mejor plan de abordaje. En el presente trabajo se pretende reunir la evidencia y sentar las bases para obtener la experiencia necesaria lo suficientemente sólida para mostrarle al cirujano de tórax que su inquietud y otras aplicaciones sobre todo en broncoscopia, tienen una respuesta positiva muy prometedora.

Era el verano de 1964 cuando Shigeto Ikeda solicitó a la compañía Machida producir un prototipo de broncoscopio flexible utilizando fibras de vidrio compuestas por un centro cubierto por una capa de vidrio de diferente índice de refracción seguramente no imaginó el alcance que tendría al ordenarlas coherentemente para transmitir una imagen con " píxeles ". Después de diversas modificaciones el Dr. Ikeda finalmente presentó durante la celebración del IX Congreso Internacional de Enfermedades del Tórax en Copenhague en agosto de 1966 el primer prototipo de fibrobroncoscopio. A partir de entonces el avance tecnológico se desarrolla con un ritmo acelerado sobre todo si lo comparamos con la evolución que tuvo la broncoscopia rígida desde 1897 cuando Gustav Killian de la Universidad de Freiburg combina la tecnología de punta de su época y utiliza la anestesia local, la electricidad como fuente de luz y un tubo metálico para iniciar la exploración rígida del árbol bronquial. Con el descubrimiento del Dispositivo de Carga Acoplada o CCD por sus siglas en inglés como se le conoce ampliamente (Coupled Charge Device), se inicia la videobroncoscopia. Durante la evolución de la broncoscopia, siempre se ha buscado mejorar las herramientas para realizar con mayor seguridad y precisión diagnósticos y tratamientos, de ahí sus múltiples modelos y accesorios. En forma paralela, la evolución de las técnicas de diagnóstico por imágenes utilizando en el periodo victoriano del siglo XX los primitivos equipos de rayos X por Roentgen hasta 1991 en que la obtención de imágenes a través de la tomografía con apoyo de programas cada vez mas complejos de cómputo que permiten la reconstrucción en varias dimensiones de prototipos anatómicos utilizando la información de los cortes topográficos.^{1,2,3,4,5,6} En 1993 se desarrolla el primer programa de computo que interpreta secuencias de cortes topográficos dejando a un lado la reconstrucción mental que hace el radiólogo cuando interpreta los cortes en forma aislada.⁸ Actualmente han surgido muchas controversias cuando se pretende comparar la

videobroncoscopia (VBC) con la broncoscopia virtual (BV), la mayoría de las comunicaciones han demostrado hasta ahora que los dos procedimientos se complementan y son útiles en conjunto y no son equiparables en muchos aspectos. Mc Lenan y colaboradores. Demostraron la utilidad de la BV como estudio previo a la broncoscopia que permite planear la estrategia para realizar dilataciones traqueales en casos de estenosis de la vía aérea. 9

La broncoscopia virtual ha demostrado su utilidad en la información espacial en estenosis de la vía aérea central, cáncer bronco génico, alteraciones anatómicas adquiridas o congénitas de mediastino que involucren las vías aéreas centrales. 10 Como se sabe, la tomografía computada por pulsos de electrones así como la tomografía helicoidal, permiten una rápida adquisición de imágenes de alta resolución en una sola fase de la respiración, es decir, durante una inspiración o espiración sostenidas por espacio de 30 segundos. Una vez obtenida la tomografía, se eligen las imágenes de interés, ya sea vía aérea central, ganglios mediastinales o los vasos. Las imágenes aisladas son cortes en pequeñas rebanadas (512 x 512 secciones, de 3 mm de grosor, con orientación axial y con una resolución de 0.41 mm) 11 que servirán para definir puntos de referencia por donde se hará el viaje virtual a través del método " Keyframing" .12 después se genera en cada segmento la superficie intraluminal (las imágenes endoscopias virtuales) y sus estructuras extraluminales dando imágenes que pueden verse en sus 3 dimensiones básicas largo, ancho y profundo. 13 La unión de las imágenes aisladas (rebanadas) en secuencia ordenada que a su vez une los puntos de referencia escogidos constituye la broncoscopia virtual. Los espacios vacíos (es decir que no contienen información del paciente) entre una rebanada y otra, son reconstruidos por información almacenada en la memoria de la computadora y programada para dar la apariencia de continuidad como se vería en una broncoscopia real.

Las ventajas de la broncoscopia virtual son: Poder repetir el estudio en forma ilimitada, exploración extraluminal (en busca de ganglios o lesiones contiguas a las vías aéreas o vasos importantes). Exploración mas allá de lesiones que en la realidad no sería posible hacerlo con el broncoscopio por no poder pasarlo a través de la lesión o de una luz reducida en casos de estenosis y ver las características de la traquea o bronquios distales a la lesión, este último aspecto es particularmente importante cuando se planea hacer una o varias sesiones de resección con LASER únicamente o combinarlas con dilataciones u otros procedimientos endoscopios y/o quirúrgicos. 14, 15, 16,17.

Actualmente se identifican las siguientes entidades en las cuales la BV tiene utilidad: Traqueo malasia, estenosis traqueales (Figura 1), anillos vasculares congénitos, lesiones tumorales de cuerdas vocales, variantes anatómicas centrales, granulomatosis de Wegener endobronquial, cavidades pulmonares, bronquiectasias, fístula de las vías aéreas, cáncer bronco génico, metástasis pulmonares, valoración posquirúrgica de suturas traqueales o bronquiales. 21



Figura 1. broncoscopia Virtual, visión externa del árbol bronquial, paciente con estenosis traqueal.

Las limitaciones son las siguientes: No detecta lesiones sutiles, no es útil en lesiones intraluminales de las vías aéreas distantes a los bronquios terciarios, dificultad para diferenciar las estructuras mediastinales y las vías aéreas, poca resolución para la superficie interna o características de la mucosa traqueo bronquial como color textura, edema infiltración etc. Y la más importante no es posible tomar muestras como lavado cepillado o biopsias.

Actualmente continúan los esfuerzos por superar el mayor número de limitantes de la broncoscopia virtual como es el caso del movimiento, hasta hace poco únicamente se podían valorar en forma tridimensional y estática ciertas estructuras como la carina principal, recientemente es posible valorar el movimiento lo cual para algunos autores consideran que al añadir el tiempo para documentar movimiento representa una dimensión adicional o broncoscopia en 4 dimensiones.²²

Otros avances que empiezan a dar resultados en este año por ejemplo en la Universidad de Viena se creó el hipercubo, denominándose así a la estructura; compuesta por 2 cubos uno en el interior del otro. La idea primaria es; si todo figura geométrica su concepto final es el círculo, entonces podemos generar imágenes a partir de este hipercubo el cual se introduce en la punta del broncoscopio por el canal de trabajo y cada cara de cada uno de los cubos fotografiará en milisegundos sus imágenes para después convertirse en imágenes tridimensionales con movimiento con un ángulo de visión esférico que no contiene puntos ciegos, usando un programa de computadora se genera una vista coherente (como estamos acostumbrados a observar las imágenes).

El primer experimento fue en un pasillo de una oficina generándose las imágenes con éxito, posteriormente se trasladó la técnica a broncoscopia por medio de un broncoscopio flexible (Figura 2).²³

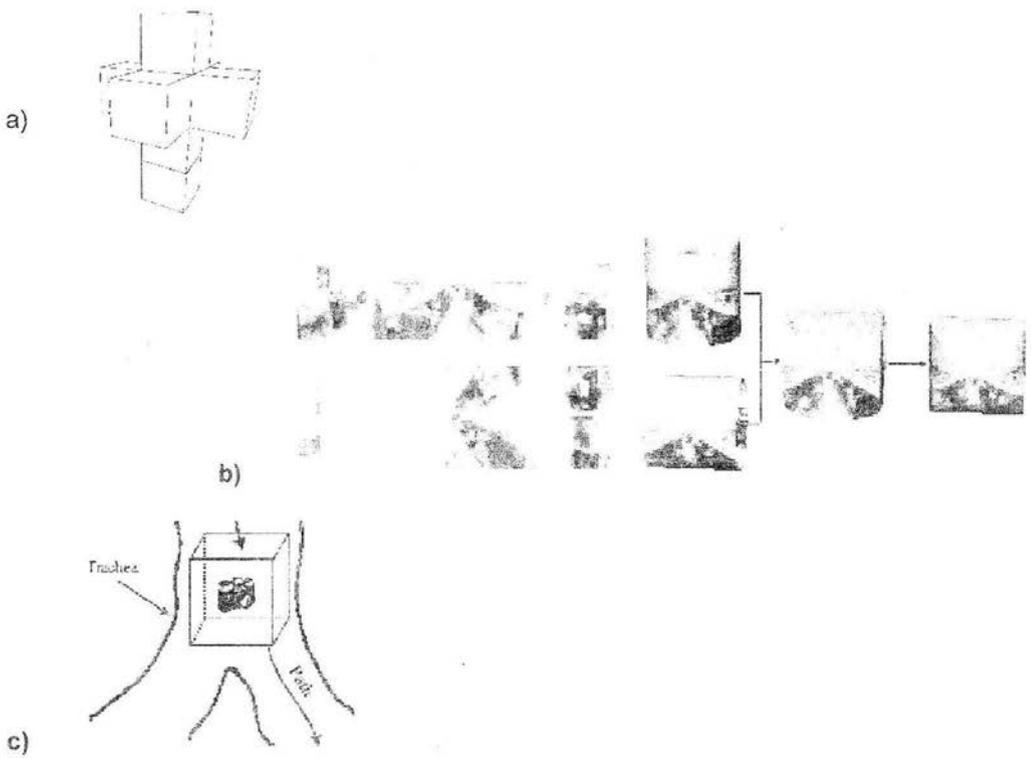


Figura 2. Imágenes de Broncoscopia Virtual 4ª dimensión. a) Estructura de hiper-cubo, b) Pasillo en movimiento; es decir puede viajar en su interior en varias direcciones, c) Hiper-cubo en broncoscopia.

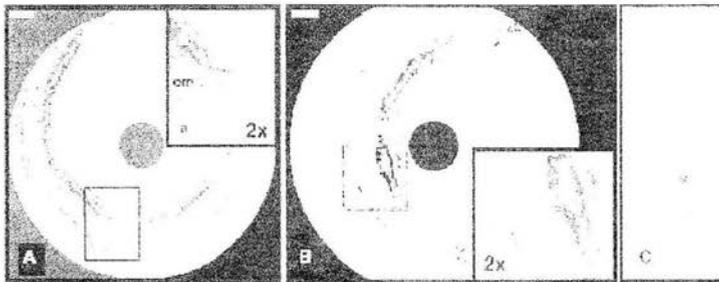


Figura 3. Imágenes obtenidas por tomografía de coherencia óptica. **A.** Se observa displasia intrabronquial, **B.** acercamiento y **C.** corresponde al corte histopatológico.



Figura 4. Censor de tomografía de coherencia óptica. El cual se coloca en la punta del broncoscopio.

La utilidad que ofrece aún está en fase de experimentación a nivel mundial, sin embargo, es interesante esta rama ya que se planea complementarse con la tomografía de coherencia óptica, protocolo elaborado por el doctor Henry Colt en la Universidad de Irving, California, Estados Unidos. La cual capta imágenes de medidas de nanómetros, generando una visión celular (Figura 3 y 4), con excelente definición de la mucosa como ya se había mencionado, punto álgido de la broncoscopia virtual.²⁴ También se ha tratado de visualizar tumores con sus vascularidades de acuerdo a la diferencia entre densidades Hausnfield, generado por Vivendi® (Figura 4).²⁵



Figura 5. Broncoscopia Virtual 3ª dimensión donde se observa de verde el tumor y de rojo la vascularización.

Otro de los puntos que se ha explorado en la 3ª dimensión es la creación de modelos a prototipos reales generados por Estereolitografía.

Desde finales de los 80s y principios de los 90s, la descripción del uso de digitalizadores tridimensionales para realizar la localización de objetos reales tridimensionales, en conjunto con imágenes y la obtención de objetos usando métodos de prototipado rápido tales como la estereolitografía, se esta reportando otra vez con mayor frecuencia.^{26,28}

La primera demostración de estereolitografías fue en 1984, y fue aplicada primero comercialmente por una industria de automóviles en 1989. En medicina, esta fue aplicada inicialmente para prótesis maxilofaciales en los finales de los 80s y fue usada para implantes craneales a mediados de los 90s. Un avance en esta técnica fue en 1991, cuando un cuerpo momificado congelado fue descubierto después de ser liberado del hielo del glaciar Similaun en los alpes Tirolean. En ese momento, para mantener bien conservado el cuerpo frágil, se le realizaron

estudios no invasivos y no-destructivos, para el conocimiento completo del espécimen. La duplicación del cráneo fue realizado mediante estereolitografía, así como otras técnicas radiográficas, incluyendo radiografía convencional, radiografía digital y tomografía computada.^{25, 28}

En este ejemplo, la TAC obtiene la información digitalizada del cráneo y extrae su imagen tridimensional en múltiples planos o rebanadas bidimensionales que organiza un ordenador a través de diversos programas de cómputo para construir primero una imagen tridimensional y luego reconstruir un objeto sólido, la copia fiel del cráneo de la momia sin siquiera tocarla. Esta reconstrucción de objetos sólidos se lleva a cabo por la impresión laminada tridimensional utilizando resinas que se solidifican rápidamente o esculpiendo en diversos tipos de materiales sólidos o semisólidos que posteriormente se endurecen. Lo mismo puede hacerse con otras estructuras anatómicas como puede ser el cerebro, los pulmones, el árbol bronquial, hígado, corazón etc. En el Servicio de broncoscopia hemos llamado coloquialmente a este proceso "clonación topográfica" para resaltar la exactitud de los detalles anatómicos que hemos obtenido.

La estereolitografía como su nombre lo define proviene del griego "stereos" que significa dimensión, "lito" piedra y finalmente "grafos" dibujo³⁰. Las bases de los métodos de simulación para procedimientos quirúrgicos nacieron en 1973, cuando Hounsfield inventó la tomografía. De esta tecnología se generó los moldes en tercera dimensión. Los primeros en generar este tipo de planeación quirúrgica fueron los Ortopedistas y los Cirujanos Plásticos^{25, 26, 27, 28}. En nuestro país el primero en introducirlo fue el área de la cirugía plástica reconstructiva. El doctor Urrutia y nosotros en el arreadle aparato respiratorio particularmente en bronquios²⁶. En el XIII Congreso Mundial de Broncoscopia celebrado en Barcelona España del 20 al 23 de Junio de 2004 tuve el privilegio de presentar por primera vez a la comunidad científica la experiencia que el Servicio de Broncoscopia del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias está obteniendo al utilizar la Broncoscopia Virtual y la Estereolitografía como tecnologías de apoyo para planear estrategias diagnósticas y terapéuticas en broncoscopia. Adicionalmente también tocamos aspectos que pueden aplicarse con el mismo propósito en cirugía tóraco-pulmonar.

Esta tecnología a su vez tiene dos métodos para simulación quirúrgica basados en moldes: El primero es un método que genera moldes físicos. Esta idea surgió desde 1980. Los moldes son generados a través de la digitalización de imágenes obtenidas por tomografía, resonancia magnética y recientemente radiografías, las cuales son introducidos al programa de computadora llamado Mimics® 8.03 el cual genera los moldes en tercera dimensión. Los datos obtenidos son utilizados por la impresora en tercera dimensión^{24,26,28}. Capas finas son impresas una tras de la otra generando el molde físico. Para los cirujanos el tener moldes reales de la paciente previa su operación permitió generar una idea tridimensional de la cirugía a realizar. Por lo que respectivamente en nuestro medio La utilidad de estos moldes en broncoscopia, permitirá escoger, diseñar pero sobre todo fabricar prótesis traqueó bronquiales hechas a la medida de un

sitio específico para cada paciente, incluso colocarlo en el molde obtenido por "clonación topográfica" y comprobar si se ajusta al espacio correctamente.

para los cirujanos cardiotorácico generó una visión tridimensional verdadera del problema así como de sus relaciones anatómicas, dejando jugar a los cirujanos con un verdadero rompecabezas anatómico. Con las piezas que incluyen las estructuras a diseccionar como son los vasos, bronquios y sus relaciones en el hilio, ganglios linfáticos, parénquima pulmonar y sobre todo la extensión de la(s) lesión(es) ^{24,25}.

El segundo método es la simulación por imagen. Este método es realmente más rápido. Los moldes por computadora son más versátiles que los moldes físicos y nos pueden proveer más información en caso de tumores en la caja torácica, sobre su consistencia cálcica, su volumen y densidad, agregando las propiedades de real ubicación anatómica ^{26, 27 28}.

DEFINICIONES

Debido a lo reciente de la información, es necesario definir conceptos que nos parecen importantes para el desarrollo de nuestro trabajo:

Endoscopio virtual (EDV): Programa de cómputo mediante el cual se reconstruye la anatomía interna bronquial a partir de una información digital generada por cortes axiales de tomografía helicoidal preferentemente 3mm o menos.

Lamparear: Se denomina así a la técnica que se usa solo en el programa de computadora de broncoscopia virtual, donde se puede pasar de la visión interna de un bronquio a la visión externa hasta llegar a un bronquio casi en paralelo pasando por las estructuras que se encuentran entre ellos y visualizándolas.

Broncoscopia Virtual: Animación de imágenes obtenidas por el broncoscopio virtual de acuerdo a la ruta trazada.

Prototipado Rápido: Conjunto de técnicas y programas de cómputo, capaces de generar objetos físicos directamente desde los datos obtenidos por rayos X u otro método de estudio de imagen ³¹. Ejemplos de ellos son programas de computadora como el Mimics®.

Estereolitografía (STL): Tecnología de prototipado rápido, que permite la construcción de un objeto sólido a partir de información digital obtenida de las imágenes de una tomografía computada (TC), convirtiéndolas en 3 dimensiones (3D), con la finalidad de construir modelos o prototipos en un plazo muy breve, mediante el uso de un sistema láser ^{31,32,33,34,35}. Es decir la imagen tridimensional generada por computadora y una impresora láser, que utiliza en lugar de tinta polímero que imprime un molde en tercera dimensión.

Molde Virtual: Aquel molde tridimensional que fue generado por computadora a partir de cortes tomográficos. El cual no es palpable.

Molde Real: Aquel molde que fue generado por computadora a partir de cortes tomográficos y procesados en una impresora, generando un molde palpable.

Prototipo: Primer molde en el que se fabrica una figura o cara.

Conceptos generales.

La tecnología del prototipado rápido está basada principalmente en las llamadas Técnicas de Fabricación por Capas (Layer Manufacturing Technologies), éstas parten del modelo matemático en 3 dimensiones de un objeto generado en una TAC. La definición del objeto se obtiene por aproximación poliédrica de su superficie, con una determinada tolerancia, esta malla de triángulos constituye el archivo para la estereolitografía.

Los moldes generados por estereolitografía tienen una gran aceptación a partir de los años 80's a 90's. Los primeros en utilizar estos moldes fue la industria automotriz en 1989. El inicio de esta técnica en la medicina fue en antropología ya que el cuerpo momificado por el frío de un Neardental en 1991 mediante la estereolitografía se estudió a este espécimen sin invadirlo.⁴²

Posteriormente la aplicación de la estereolitografía en la medicina se inició en ortopedia y cirugía maxilo-facial.³¹ Dujoy noy fue el primero en describir la realización de una cráneo plastia apoyándose en la estereolitografía en un paciente con un gran defecto bifrontal. Posteriormente demostró reducción significativa del tiempo quirúrgico, excelente trabajo cosmético y su costo efectividad en la realización y prefabricación de implantes en cráneo plastias.³⁴ También generó un neuronavegador con el fin de tener una perspectiva de la cirugía previo al evento, punto de principal importancia en áreas anatómicas muy cambiantes de paciente a paciente como son tubérculo yugular, condilo occipital y foramen yugular.³⁰

Actualmente, los materiales más comúnmente usados para las reconstrucciones son injertos óseos, injertos minerales, injertos metálicos e injertos polímeros. Todos estos tienen diferentes ventajas y desventajas, pero las principales características de esos materiales incluyen: accesibilidad, precio razonable, biocompatibilidad, no biodegradable, no carcinogénico, no tóxico, no magnético, conductancia no térmica/no eléctrica, luz no corrosiva/no ionizable, con la capacidad de ser esterilizable, resistencia de alto impacto, compatibilidad con imágenes de diagnóstico y pueden usarse por estereolitografía^{27,35}. Muchas prótesis de polímeros actualmente son hechas de polimetilmetacrilato, o metilmetacrilato e incluso de cemento de hidroxapatita^{26, 27,28}.

En el caso de la planeación de la cirugía craneofacial, la estereolitografía proporciona importante información adicional, en los casos de características dismórficas incluyendo hipertelorismo, asimetrías severas de las estructuras craneales, sinostosis craneal compleja, grandes defectos del cráneo, y paladar hendido. En el caso de la sinostosis craneal, usando un modelo plástico, puede realizarse la cirugía en el modelo para hacer las marcas precisas sobre el cráneo y después identificarlas en el paciente; esto puede aplicarse tanto en procedimientos abiertos como endoscópicos³¹.

En oftalmología dio un gran avance para las prótesis en patologías como tumores y fractura de órbita.³²

En cirugía oro-maxilo-facial mejoró el pronóstico en la cirugía de trauma, cirugía de tumor, y condiciones como paladar hendido, atrofia alveolar y malformaciones congénitas son beneficiadas por el uso de estereolitografía como una herramienta auxiliar^{33,34}. Prótesis dentales son confiables con estereolitografía ya que tienen buen soporte y las medidas tienen un rango de error del 10 al 25%.²⁵

Otras propuestas son el uso de modelos generados por estereolitografía generando claramente dientes, encías, y senos maxilares. Se puede fabricar puentes con las características anatómicas del interior del hueso y la superficie dental. El modelo es un instrumento promisorio para guiar la colocación de mini implantes adyacentes a las raíces de los dientes y al maxilar^{26, 27}.

El uso de modelos de estereolitografía en cirugía maxilofacial es limitado por la dificultad en la consideración de las osteotomías faciales y la oclusión dental al mismo tiempo. Existen diferentes técnicas que permiten al cirujano realizar los moldes dentales y requieren el colocar las prótesis en un primer evento quirúrgico y posteriormente observar si la oclusión dental del paciente fue la ideal, al utilizar moldes de alta precisión generados por estereolitografía, permite sólo realizar un solo evento quirúrgico. Los modelos pueden realizarse de silicón (puede ser usado para disminuir el movimiento mandibular durante la TAC) o bien de yeso^{28, 29,30}.

Una forma de valorar los cambios óseos que ocurren con la edad en el maxilar, llamado; crecimiento diferencial continuo. Se miden los ángulos de la pared maxilar y la apertura piriforme relacionada a la nasión. El ángulo principal decrece a través de la vida y es llamado cambio angular. También existen interesantes análisis de curvas y contornos de la cara^{31,32,33}. En este aspecto, la estereolitografía puede jugar un importante papel en la cirugía facial reconstructiva, en investigaciones policíacas, medicina forense y arqueología. Recientemente los casos de "Las mujeres de Juárez", denominado así a todos los casos de mujeres asesinadas y violadas durante una década, en Ciudad Juárez, En 2003, mediante estereolitografía se lograron realizar moldes reales para la investigación de medicina forense de cuerpos en descomposición.^{45,46} La creación de modelos faciales usando estereolitografía y TC para la medicina forense es un método útil en la investigación policíaca. Para implicaciones legales y judiciales, la estereolitografía ayuda al entendimiento del caso, a través de la reconstrucción de partes dañadas del cuerpo, o la trayectoria de cuchillos y balas, huesos rotos y muchas otras estructuras^{48, 49,50}.

Otras aplicaciones son en realizar replicas de oído interno y externo con el fin de tener prótesis a la medida exacta del paciente. Modelos realizados sobre resina fotopolimerizada^{34,35}. El entrenamiento en microcirugía de oído medio y la región coclear requiere disecciones hábiles, las cuales ahora pueden realizarse con modelos obtenidos por estereolitografía. Los cráneos de cadáveres humanos son difíciles de obtener en muchos centros, por lo que pueden ser sustituidos por modelos creados por SLT. La práctica en esos modelos es equivalente a la realizada en especímenes humanos, en términos de características del material y detalles anatómicos^{36, 37, 38,39}. También es posible reconstruir los cráneos, tomando en cuenta las características de los tejidos faciales de la población americana por raza, también se pueden incluir otras variables como el sexo, el grado de obesidad o emaciación y la forma de la nariz, creando finalmente la cara.⁴⁷

En Antropología se han reconstruido especímenes tales como el hombre de hielo Tyrolean, homo-neandertal, australopitecus, entre otros^{42, 43,44}. Con estos moldes se ha logrado reconstruir volumen cerebral y morfología endocraneal. También se pueden hacer descripciones de estructuras morfológicas usando

morfometría geométrica, y muchos otros especímenes históricos también pueden ser replicados.

La creación de moldes de tejidos blandos ha generado grandes logros dentro de los que se encuentran; pacientes en estado post-laringectomía, la creación de modelos de la tráquea y de la traqueotomía, son de gran ayuda para las mediciones y para el prototipo de las prótesis y el desarrollo del método de fijación endotraqueal de las valvas de la traqueostomía^{40,41}. Modelos vasculares, con la ventaja de que pueden trabajarse con anastomosis (injerto-arteria y arteria-arteria).^{51,52} Sin embargo para elaborar modelos vasculares se requiere la utilización del Doppler láser y los materiales que se emplean son goma, caucho y Glicerol/NaCl^{53,54}. También pueden obtenerse imágenes de estructuras cerebro vasculares, incluyendo aneurismas cerebrales y casos seleccionados de malformaciones arteriovenosas por estereolitografía, sin embargo es frecuente encontrar limitaciones en la interpretación de imágenes de ARM, y comúnmente, se recomienda el angiograma cerebral o angioTC para clarificar la forma del aneurisma cerebral y sus relaciones.⁵⁵ Este método ha sido interesante en la simulación de procedimientos quirúrgicos, diseñando nuevos injertos y calibrando modalidades de imágenes, usando modelos experimentales para la creación de una arteria de calibre del tamaño y conformación real, así como de aneurismas. Esto ha sido posible para aneurismas aórticos y cerebrales. Para los aórticos, la exactitud de la replica es satisfactoria con 0.4mm o menos de diferencia en las mediciones entre el aneurisma aórtico real y las réplicas. Las aplicaciones para la valoración de la distribución del flujo preclínico en valvas cardíacas mecánicas, son posibles usando visualización de flujo, para reducir complicaciones trombóticas relacionadas a la fabricación de esas valvas; se aplica el mismo principio a estudios de flujo dinámicos en estenosis mitral. Los modelos de estereolitografía obtenidos por imágenes de eco cardiografía hacen posible crear la anatomía y patología de la valva mitral, en pacientes estudiados con eco transesofágico. También es posible la descripción de las arterias coronarias^{56,57,58}.

La reconstrucción embrionaria ha hecho posible la creación de modelos que muestran el desarrollo de la anatomía interna y externa. Esto facilita la educación usando la morfología del crecimiento etapa por etapa, porque la estereolitografía es capaz de incrementar el tamaño de la imagen original^{59,60}. Se han generado corazones embrionarios a partir de esta técnica utilizando un analizador de etapas hemodinámicas específicas. Dichos modelos fueron generados del espacio sanguíneo cardíaco de reconstrucciones digitalizadas de 4 imágenes de embriones humanos de la Colección Carnegie en el Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas. Para crear los modelos por STL su utilizaron estudios dinámicos de flujo. Estos estudios pueden ayudarnos a entender la formación normal y aberrante del corazón^{61,62}.

Su máximo propósito demostrado es la creación de endoprótesis monocondilares y bicondilares en ortopedia hechas con alta precisión de las articulaciones de las rodillas, permitiendo la reducción de resecciones óseas durante la cirugía y da un perfil exacto de la interfase hueso-implante.^{66,65,64} Se logra mejor alineación y fusión de las estructuras óseas involucradas, incluyendo casos de fracturas acetabulares y pélvicas complejas, osteotomía periacetabular,

sobre posición de cadera, cadera displásica y fracturas de calcáneos^{62,63}. La subluxación occipital-atlantoidea requiere un conocimiento preciso de la forma y desplazamiento del área para planear un dispositivo de fusión varilla-alambre adecuadas. Determinando el tamaño y los elementos involucrados en la estenosis espinal, permite al cirujano tener una mejor exploración microquirúrgica y descompresión del área.^{67, 68}

DELIMITACION E IDENTIFICACION DEL PROBLEMA:

EL PROBLEMA POR INVESTIGAR ES:

¿Cuál es la utilidad de generar moldes reales y virtuales en tercera dimensión en patología de la vía aérea central en la practica broncoscópica y del cirujano de tórax?

PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS:

Si el uso de broncoscopia virtual junto con la estereolitografía como medio preliminar de evaluación de patología de la vía aérea mejora la forma de plantear un procedimiento en la broncoscopia real, entonces son estudios complementarios para el diagnostico y tratamiento de pacientes con alteraciones de la vía aérea. En México no existe ninguna publicación que trate de correlacionar la broncoscopia virtual con la broncoscopia real y a nivel mundial no existe trabajos comparativos con estereolitografía. La única comparación que ha sido realizada es la tomografía lineal con la broncoscopia real, en estenosis traqueales.

OBJETIVOS:

*Observar patología de la vía aérea en broncoscopia real, broncoscopia virtual, tomografía helicoidal y estereolitografía; en los casos de:

- 1.-Estenosis en la economía del árbol bronquial.
- 2.-Tumores endobronquiales así como lesiones endobronquiales.
- 3.-Traqueo malasia.
- 4.-Malformaciones Congénitas.

*Enseñanza de la patología de la vía aérea a partir de moldes bronquiales generados por estereolitografía para la planeación de procedimientos broncoscopicos según sea el caso.

JUSTIFICACIÓN.

No existe en México, ningún trabajo que nos hable sobre las ventajas y limitaciones de la broncoscopia virtual, broncoscopia real, teniendo como apoyo la estereolitografía en patología de la vía aérea.

DISEÑO DEL ESTUDIO:

Se realizará un estudio descriptivo en el Servicio de Broncoscopia e Imagenología del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, no experimental y biomédico.

Se captarán los pacientes hospitalizados en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, a quienes se les realice videobroncoscopia y tomografía computada como parte del protocolo de estudio de su enfermedad. Durante el periodo comprendido de marzo 2003 a julio del año 2004.

-Indicaciones de Tomografía helicoidal:

Hemoptisis, estenosis de vía aérea central, de cuerpo extraño, neumonía de lenta resolución, sospecha de malignidad central, estadificación tumoral, valoración de vía aérea central pre y post estenotica/tumoral, malacias y variantes anatómicas.

Indicaciones de VBC:

Este procedimiento conlleva la facultad de realizar valoración de la mucosa, toma de muestras (lavado bronquial/ bronquiolo alveolar, biopsia tumoral y transmural, y maniobras de hemostasia en las circunstancias diagnósticas ya enunciadas en las indicaciones para tomografía.

Contraindicaciones de Videofibrobroncoscopia :

Trombocitopenia menor de 50,000, sangrado no corregido, creatinina mayor de 2 gramos, cirrosis, hipertensión pulmonar severa, obstrucción de vena cava superior, hipoxémia menor de 60 mmHg, alérgico al anestésico, o que no acepte el procedimiento.

Contraindicaciones de Tomografía computada:

Embarazo, o bien que no acepte el estudio el paciente.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Todos los pacientes incluidos se les realizarán los estudios de broncoscopia real y tomografía helicoidal de acuerdo a la valoración de su patología lo requiera, a ninguno de los casos se le solicitara por razón del protocolo de tesis.

METODOLOGIA.

1. Universo del estudio:

Población que acude al Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Servicio de Broncoscopia y Radiología con indicaciones para tomografía y broncoscopia real, el paciente será candidato cuando los dos estudios coexistan, para de ahí derivar la estereolitografía.

2. Tamaño de la muestra:

25 casos.

3. Forma de asignación de sujetos:

Secuencial (ningún caso se solicitara tomografía o broncoscopia real para fines protocolo).

4.1 Criterios de inclusión

Paciente que tenga indicado videobroncoscopia y tomografía computada solicitados como parte de estudio de su enfermedad.

5.-Criterios de exclusión

-No reúnan los dos estudios.

-No reúnan los criterios de aceptabilidad para realizarse videobroncoscopia o tomografía helicoidal:

*Tomografía helicoidal.

6. Variables:

-Valoración broncoscópica

-Valoración radiológica

7. Parámetros de medición:

No hay parámetros de medición ya que es un estudio observacional y no comparativo.

Broncoscopia.

Las broncoscopias reales convencionales fueron desarrolladas por cirujanos cardiorácicos, Neumólogos certificados y Neumólogos en entrenamiento bajo supervisión del nuestro jefe del departamento de Broncoscopia. Aparte de la utilización de las 25 videobroncoscopias se utilizó el reporte escrito de cada una de ellas y se seleccionó un diagrama para cada una de ellas con el fin de tener bien identificadas cada una de las alteraciones

encontradas de acuerdo al sitio anatómico. Equipo utilizado: Broncoscopio (OLYMPUS XT-160).

Tomografía Helicoidal.

Se realizó para cada uno de los casos tomografía helicoidal (Tomógrafo Multicorte SIMMENS), no se requirió medio de contraste. Los niveles seleccionados fueron desde glotis hasta diafragma, obtenidos al final de la espiración. La técnica de adquisición fue usando colimación de 3 mm a 1 mm.

Los parámetros de reconstrucción fueron con los cortes de 3 mm de 50-85 imágenes y con cortes de 1 mm el total de cortes fueron de 100-500 cortes.

Procesamiento de la Imagen.

Posterior a ello se realizó la broncoscopia virtual a través de la estación de trabajo de gráficos (Silicón Graphics®), obteniéndose la endoscopia virtual teniendo de guía nuestro diagrama generado en broncoscopia real. La endoscopia virtual era desarrollada por el Neumólogo en entrenamiento bajo supervisión de nuestro jefe del departamento de Imagenología.

Los cortes topográficos se incrustaron al software Mimics® 8.03 para realizarse los moldes virtuales de estereolitografía.

Método de Análisis de las Imágenes.

Los videobroncoscopias fueron digitalizadas de formato VHS a CD-R a partir del programa de computadora Dazzel®. El tamaño de los videos en tiempo análogo máximo digital grabado fue de 25 segundos, posteriormente fueron incrustados a Power-Point® para poder ser comparados.

Las broncoscopias virtuales de su formato DICOM fueron digitalizadas a partir de Osiris® generando formatos MPG y posteriormente Dazzel® para generar videos no mayores a 25 segundos. Posteriormente eran insertados en Power-Point® en la misma diapositiva perteneciente al caso de videobroncoscopia.

Los moldes virtuales generados a partir de Mimics® se insertaron como imagen en la diapositiva correspondiente a cada caso. Los 5 casos seleccionados para moldes reales se les tomo fotografía como archivo y se incrustaron como imagen en su diapositiva correspondiente. Cada molde se le dio a el cirujano cardiorráccico, posteriormente solicitamos su opinión en cuanto si hubo alguna mejoría en la forma de abordar durante el procedimiento quirúrgico.

RESULTADOS.

Población de pacientes.

Estudio prospectivo, longitudinal. Formado por 25 pacientes aceptados en nuestro Instituto con patología de la vía aérea central que por su misma condición se les realizó tomografía helicoidal con cortes finos (3 -1mm) y broncoscopia real. Los pacientes incluían a 12 mujeres y 13 hombres, con rango de edad entre 35 +/- 5 años. El tiempo de evolución de la enfermedad se encontraba entre los 5 +/-10 años. Para todos nuestros pacientes se les realizó una broncoscopia convencional. El intervalo entre la realización de la tomografía helicoidal y la broncoscopia fue de 3 a 5 días. Los 25 casos se les realizó broncoscopia virtual y moldes virtuales por Estereolitografía. Sólo se seleccionaron 5 casos para la realización de moldes reales con la impresora de estereolitografía. Nuestro estudio fue desarrollado con la aprobación del Comité de Ciencia y Bioética de nuestro Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (Código de proyecto asignado por el comité: C15-04), así como bajo consentimiento informado de cada uno de nuestros pacientes.

Broncoscopia real.

Considerada como estándar de oro para todos nuestros casos.

En uno de los 2 casos de estenosis traqueal, no pudo pasar el broncoscopio a través de la estenosis, ya que el área permeable era de 1mm (de acuerdo al estudio topográfico).

En los 21 casos de tumor endobronquial que ocluía del 80-90% de la luz del bronquio, sólo en un caso con oclusión del 80%, el broncoscopio pudo pasar más allá del tumor. (Figura 6 y 8).

De los tumores sólo uno fue de localización traqueal, el cual pudo researse al 100%, y explorar en su totalidad el árbol bronquial (Figura 7).

El paciente estudiado por hemoptisis secundaria a tuberculosis pulmonar, con coagulo residual en bronquio principal izquierdo y oclusión del 100%, durante la broncoscopia se retiró, sin evidenciar otras alteraciones localizadas en vía aérea central

En el caso de la variante anatómica del bronquio traqueal se observó estenosis concéntrica previa al nacimiento del bronquio traqueal y a la carina principal (Figura 9).

Broncoscopia Virtual.

En los 2 casos de estenosis traqueal se pudo explorar y valorar la totalidad del árbol traqueo bronquial, incluyendo el área de estenosis y tener una visión retrógrada de la misma estenosis (Figura 11).

En los 21 casos de tumor endobronquial que ocluía del 80-90% de la luz del bronquio, sólo en un caso con oclusión del 80%, el broncoscopio pudo pasar más allá del tumor. (Figura 6 y 8).

Nuestro endoscopio virtual nos permitió realizar maniobras, "lamparear", con las cuales podíamos pasar del bronquio principal derecho al izquierdo observando el espacio subcarinal, sin tener que realizar retroceso y nueva ruta de un bronquio a otro

En el caso del coágulo que obstruía el 100 % de la luz del tercio medio del bronquio principal izquierdo la broncoscopia virtual sugirió un tumor endobronquial como causa de la obstrucción, lo cual como ya se mencionó, se descartó por broncoscopia quien lo identificó como un coágulo al cual removió, quedando permeable el resto del árbol bronquial izquierdo, el origen del sangrado que drenaba a través del segmento apico posterior se identificó en arterias bronquiales de este segmento afectadas por bronquiectasias. El paciente fue manejado con embolización. Lo anterior confirma una de las principales limitantes de la broncoscopia virtual, no poder discriminar con exactitud las características de la superficie de lesiones o sustancias intraluminales.

Por otra parte para variantes anatómicas detectamos que presenta una definición muy similar a la de la broncoscopia real ya que la visión obtenida en la broncoscopia real versus la virtual era idéntica.(Figura 12 y 13).

Estereolitografía

En los 2 casos de estenosis traqueal se pudo evidenciar físicamente las características de las mismas (Figura 14), realizar mediciones tanto de la estenosis como de sus relaciones anatómicas y planear alternativas terapéuticas ya sea para resección quirúrgica y anastomosis termino-terminal, resección broncoscópica con LASER Nd-Yag o dilataciones con broncoscopio rígido, cánulas o balón o bien combinación de resección LASER y dilataciones.

En los casos de tumores endobronquiales, sólo uno fue candidato a cirugía, para el cual se generó un modelo virtual, un rompecabezas tridimensional, al cual se le realizaron las mediciones pertinentes, evidenciando sus relaciones anatómicas, conveniente para el planteamiento quirúrgico, adecuada selección del tipo de broncoscopio y procedimiento (Figura 15).

En otro caso, en el modelo virtual se marcaron ganglios mediastinales de acuerdo a su densidad Hounsfield para planear biopsia transbronquial (Figura 16)

CONCLUSIONES

-Indicaciones de Tomografía helicoidal:

Hemoptisis, estenosis de vía aérea central, de cuerpo extraño, neumonía de lenta resolución, sospecha de malignidad central, estadificación tumoral, valoración de vía aérea central pre y post estenótica/tumoral, malacias y variantes anatómicas.

Indicaciones de VBC:

Este procedimiento conlleva la facultad de realizar valoración de la mucosa, toma de muestras (lavado bronquial/ bronquiolo alveolar, biopsia tumoral y transmural, y maniobras de hemostasia en las circunstancias diagnósticas ya enunciadas en las indicaciones para tomografía.

Broncoscopia Real

En nuestro estudio confirmamos, que hoy por hoy, las ventajas sustanciales de la broncoscopia real son permitir definición de la mucosa, visualización en 4ta. dimensión, aplicación de técnicas diagnósticas inmediatas "toma de muestras", así como medidas terapéuticas (resección tumoral, colocación de prótesis, maniobras de hemostasia).

Entre sus limitantes debe mencionarse el tamaño del lumen permeable de la vía aérea (sana o patológica) en relación al calibre del broncoscopia, y por tanto la imposibilidad de visualizar mas allá.

Que requiere métodos de apoyo (estudios de imagen) para realizar procedimientos invasivos.

Broncoscopia Virtual.

Corroboramos las virtudes de nuestro estudio con lo reportado a nivel mundial. La broncoscopia virtual es útil en casos de estenosis de la vía aérea central, así como tumores endobronquiales y variantes anatómicas. Lográndose visiones retrogradas de las estenosis y explorar con movimientos oscilatorios en sentido lateral, antero posterior y oblicuos " lamparear " que nos permiten valorar estructuras adyacentes a las vías aéreas pero que están fuera de estas y por lo tanto inaccesibles al fibrobroncoscopio.

Los programas de cómputo que en la actualidad permiten la reconstrucción de la superficie de la vía aérea se encuentran aun en fase de investigación continua y requieren mayor desarrollo tecnológico para que puedan generar imágenes mas cercanas a la realidad, característica que define la calidad de lo virtual y ser con el paso del tiempo mas confiables.

El programa de broncoscopia virtual del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias genera imágenes de alta calidad equiparables a las internacionales.

La instrucción y la experiencia adquirida en broncoscopia virtual permite al neumólogo ampliar su visión para la realización de broncoscopias reales. Pensamos que es el tipo de entrenamiento que se debe añadir al programa de estudio del neumólogo bronoscopista en formación, así como también sería esencial incluir el adiestramiento en broncoscopia real para el radiólogo especialista en tórax .

Estereolitografía

No encontramos reportes en la literatura que analicen la utilidad de la estereolitografía para apoyar protocolos diagnósticos y terapéuticos en broncoscopia y cirugía de tórax.

La visualización de estructuras anatómicas en los modelos de estereolitografía generó un pensamiento más estructurado para un planteamiento quirúrgico y/o broncoscópico.

Nuestro estudio lo consideramos fase 1, ya que pensamos que en un futuro estaremos presentándoles a ustedes la realización de prótesis de medidas exactas en pacientes con patología traqueobronquial que lo requiera, aún en tumores inoperables en los que la prótesis generada ya sea por tomografía/estereolitografía, mejore la obstrucción como tratamiento paliativo con repercusión en la calidad de vida de nuestro paciente.

Las limitaciones en nuestro estudio por el momento estriban en que las necesidades son multidisciplinarias y el coste de los estudios requeridos, los materiales, y equipos necesarios para los modelos aún no son accesibles a la población general del México de hoy.

Es importante resaltar que en nuestro protocolo se trabajó con tecnología de reciente creación y aplicación sobre todo a nivel de la patología torácica, por lo que es necesaria una mayor difusión de estas aplicaciones y generar la experiencia suficiente en el grupo médico interdisciplinario para beneficio de nuestros pacientes.

PROPUESTAS

Con la experiencia adquirida es necesario realizar las siguientes propuestas:

1. INDICACIONES DE LA BRONCOSCOPIA VIRTUAL:

- ❑ Tumor.
- ❑ Estenosis Traqueal.
- ❑ Variantes anatómicas.
- ❑ Planeación de eventos broncoscopicos y quirúrgicos.
- ❑ Enseñanza.

2.- INDICACIONES DE ESTEREOLITOGRAFÍA

- ❑ Estenosis en vía aérea central.
- ❑ Variantes anatómicas.
- ❑ Planeación de eventos broncoscopicos y quirúrgicos
- ❑ Enseñanza.
- ❑ Diseño de prótesis.

3.-DISEÑO DEL PERFIL DEL NUEVO BRONCOSCOPISTA Y RADIOLOGO ESPECIALISTA EN TORAX.

- Manejo apropiado del programa por computadora de Broncoscopia Virtual y Real.
- Utilizar las ventajas de los modelos de Estereolitografía.
- Enseñanza.

GLOSARIO.

Broncoscopia Virtual: Animación de imágenes obtenidas por el broncoscopio virtual de acuerdo a la ruta trazada.

CAD: (computer aided design - diseños auxiliados por computadora) Actualmente el término CAD significa proceso de diseño que utiliza sofisticadas técnicas gráficas de ordenador apoyadas en paquetes de software para ayuda en todos los problemas asociados con el diseño.

Endoscopio virtual (EDV): Programa de cómputo mediante la cual se reconstruye la anatomía interna bronquial a partir de una información digital generado por cortes axiales de tomografía helicoidal preferentemente 3mm ó menos.

Estereolitografía (STL): Tecnología de prototipado rápido, que permite la construcción de un objeto sólido a partir de información digital obtenida de las imágenes de una tomografía computada (TC), convirtiéndolas en 3 dimensiones (3D), con la finalidad de construir modelos ó prototipos en un plazo muy breve, mediante el uso de un sistema láser^{31,32,33,34,35}. Es decir la imagen tridimensional generada por computadora y una impresora láser, que utiliza en lugar de tinta polímero que imprime un molde en tercera dimensión.

Fichero STL: se introduce en el ordenador del equipo de fabricación de prototipos donde se orienta, se escala (en previsión de contracciones durante y después del proceso) y se rebana, convirtiendo la geometría 3D del objeto en una serie de capas de geometría 2D. A continuación el sistema de fabricación es capaz de producir el objeto físico por apilamiento de las capas así definidas.

Lamparear: Se denomina así a la técnica que se usa solo en el programa de computadora de broncoscopia virtual, donde se puede pasar de la visión interna de un bronquio a la visión externa hasta llegar a un bronquio casi en paralelo pasando por las estructuras que se encuentran entre ellos y visualizándolas.

Molde Virtual: Aquel molde tridimensional que fue generado por computadora a partir de cortes topográficos. El cual no es palpable.

Molde Real: Aquel molde que fue generado por computadora a partir de cortes topográficos y procesados en una impresora, generando un molde palpable.

Postcurado: Foto polimerización de resinas mediante lámpara UV.

Prototipo: Primer molde en el que se fabrica una figura ó cara.

Prototipado Rápido : Conjunto de técnicas y programas de cómputo, capaces de generar objetos físicos directamente desde los datos obtenidos por rayos X u otro método de estudio de imagen³¹. Ejemplos de ellos son programas de computadora como el Mimics®.

Real: Que tiene existencia verdadera.

Técnicas de Fabricación por Capas (Layer Manufacturing Technologies)

Estas técnicas de fabricación parten del modelo matemático en 3D de un objeto generado en un CAD. La definición del objeto se obtiene por aproximación poliédrica de su superficie, con una determinada tolerancia. Esta malla de triángulos constituye el fichero STL.

Virtual: Que tiene existencia aparente, que parece y no es.

BIBLIOGRAFIA.

1. Ikeda S, Yanai N, Ishikawa S: Flexible bronchofiberscope. Keio J Med 1968; 17:1-16.
2. Tsubi E, Ikeda S: Transbronchial biopsy smear for diagnosis of peripheral pulmonary carcinomas. Cancer 1967;20:687-698.
3. Edell ES, Sanderson DR :History of Bronchoscopy; in Prakash USB(ed):Bronchoscopy. New York, Raven,1994,pp 7-11.
4. Dumon JF, Reboud E, Garbe L, Aucome F, Meric B:Treatment of tracheobronchial lesions by laser photoresection.Chest 1982;81:278-284.

5. Ikeda S: The development and progress of endoscopes in the field of bronchoesophagology. *J Jap Bronchoesophagol Soc* 1998;39:85-96.
6. Vining, et al. "VIRTUAL BRONCHOSCOPY .Relationships of virtual reality endobronchial simulations to actual bronchoscopic findings". *CHEST* : 109;Feb 1996.
- 7.
8. Kenneth D. Hopper, et al. "Transbronchial biopsy with CT and Nodal Highlighting". *Radiology* 1998;209:689-695.
9. HP Mc Adams, et al. "Bronchial anastomotic complications in lung transplant recipients : for noninvasive assessment". *Radiology*,208:331-337.
10. RM Summers, et al. "Virtual bronchoscopy. segmentation method for real-time display". *Radiology* 1996;200:857-862.
11. HP McAdams, et al. "Bronchial anastomotic complications in lung transplant recipients: for noninvasive assessment". *Radiology* 209;689-95.
12. Phillip M, et al. " Recent Advances in central airway imaging". *CHEST* 2002, 121:1651-1660.
13. Henri G. Colt, et al. "Virtual Reality bronchoscopy simulation. A revolution in procedural training ". *CHEST* 2001;120:1333-1339.
14. Giilkeson RC, et al. "Tracheobronchomalacia: dynamic airway evaluation with multidetector CT". *AJR Am J Roentgenol*.2001;176:205-210.
15. Remy-Jardin, et al. " Volume rendering of the tracheobronchial tree: clinical evaluation of bronchographic images". *Radiology* 1998;208, 761-770.
16. Haponik et al. "Virtual bronchoscopy" *Clin Chest Med* 1999; 20:201-217.
17. Quit LE et al. "Stenosis of the central airways <.evaluation by using helical CT with multiplanar reconstructions" *Radiology* 1995:194:871-877.
18. Summers RM et al. " Polypoid lesions of airways: early experience with computer-assisted detection by using virtual bronchoscopy and surface curvature". *Radiology* 1998: 208, 331-337.
- 19.
20. Edward F. Haponik, Susane L. Aquino, David J. Vining. "Virtual Bronchoscopy". *Clinics Chest Med*;1999;20,201-206.
21. Chinn RJ, Yang GZ, Congleton J, Mellor J, Geddes DM, Hansell DM. "Three-dimensional computed tomography bronchoscopy using clinical datasets: a comparison with fiberoptic bronchoscopy". *Clinic Radiol* 1997;52:830-836.
22. Cisero S, Navarro F. "Tratamiento multidisciplinario de la obstruccion de la via aerea". *Gaceta Medica de Mexico*.2002;138:5,1-10.
23. Cooper Kenneth. *Rapid Prototyping Technology*. New York: Marcel Dekker, 2001.
24. Lu L, Fuh JYH, Wong YS. *Laser Induced Materials and Processes for Rapid Prototyping*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001
25. Leu Ming. *Handbook of Rapid Prototyping and Layered Manufacturing*. New York: American Society of Manufacturing Engineers, 2001

26. Lafont P. Prototipado Rápido e Ingeniería Inversa. Revista de Plásticos Modernos, Vol. 77 N° 574, Abril 1999.
27. Erazo D, Edu M. El proceso de estereolitografía de fabricación de modelos y prototipos. 1994. Imprenta México.
28. Vannier MW. Computer applications in radiology. Cur Opin Radiol 1991; 3: 258-266.
29. Dujovny M, Agner C. Computer tomography-assisted preformed prosthesis for repair of cranial defects. Atas of Neurosurgery, Vol VIII, Park Ridge, IL: AANS, 1999: 185-194.
30. Barker TM, Earwaker WJ. Integration of 3D medical imaging and rapid prototyping to create stereolithographic models. Australas Phys Eng Sci Med 1993; 16: 79-85.
31. Santler G, Karcher H. Stereolithography versus milled three-dimensional models: comparasion of production methodm indication, and accuracy. Comp Aid Surg 1998; 3: 248-256.
32. Poulsen M, Lindsay C. Stereolithographic modeling as an aid to orbital brachytherapy. Int J Radiat Oncol, Biol, Phys 1999; 44: 731-735.
33. Perez-Arjona E, Dujovny M. Stereolithography: Neurosurgical and medical implications. Neurological Research, 2003;25: 227-236.
34. Zur Nedden D, Knapp R. Skull of a 5,300-year-old mummy: Reproduction and investigation with CT-guided stereolithography. Radiology 1994; 193: 269-272.
35. Stereolithography: a potential new tool in forensic medicine. Dolz MS; Cina SJ; Smith R Joint Wilford Hall Medical Center/Brooke Army Medical Center Program, Lackland AFB, Texas, USA
36. Dujovny M, Fernandez P. Post-cranioplasty cerebral spinal fluid hydrodynamic changes: Magnetic resonance imaging quantitative analysis. Neurol Res 1997; 19: 311-316.
37. Dujovny M, Aviles A. Cranioplasty: Cosmetic or therapeutic? Surg Neurol 1997; 43: 238-241.
38. D'urso PS, Earwaker WJ. Custom cranioplasty using stereolithography and acrylic. Br J Plast Surg 2000; 53: 200-204.
39. Park HK, Dujovny M. Impact stimulation on pre-formed prosthesis for large cranial defect. Biomed Sci Instrument 2000; 36: 269-273.
40. Dujovny M, Aviles A. An innovative approach for cranioplasty using hidroxyapatite cement. Surg Neurol 1997; 43: 294-297.

41. Berry E, Brown JM. Preliminary experience with medical applications of rapid prototyping by selective laser sintering. *Med Eng Phys* 1997; 19: 90-96.
42. Agner C, Dujovny M, Evenhouse R. Stereolithography for posterior fossa cranioplasty. *Skull Base Surg* 1998; 8: 81-86.
43. Sailer HF, Haers PE. The value of stereolithographic models for preoperative diagnosis of craniofacial deformities and planning of surgical corrections. *Int J Oral Maxillofacial Surg* 1998; 27: 327-333.
44. Holck DE, Boyd EM. Benefits of stereolithography in orbital reconstruction. *Ophthalmology* 1999; 106: 1214-1218.
45. Holck DE, Boyd EM. Benefits of stereolithography in orbital reconstruction. *Ophthalmology* 1999; 106: 1214-1218.
46. Kermer C, Rasse M. Colour stereolithography for planning complex maxillofacial tumour surgery. *J Cranio-maxillo-facial Surg* 1998; 26: 360-362.
47. Heckmann SM; Winter W; Meyer M; Weber HP; Wichmann MG. Overdenture attachment selection and the loading of implant and denture-bearing area. Part 1: In vivo verification of stereolithographic model. *Clin Oral Implants Res* 2001 Dec;12(6):617-23
48. Kitai N; Yasuda Y; Takada K. A stent fabricated on a selectively colored stereolithographic model for placement of orthodontic mini-implants. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 2002;17(4):264-6.
49. Taha F; Testelin S; Deschepper B; Devauchelle B. Orthognathic surgery and stereolithographic models. A new technic of dental occlusion transfer. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 2000 Apr;101(2):65-71.
50. Hoffmann J; Schwaderer E; Dammann F. The use of hybrid stereolithographic models for the planning of complex craniofacial procedures. *Biomed Tech (Berl)* 2002; 47 Suppl 1 Pt 1:278-81.
51. Peckitt NS. Stereolithography and the manufacture of customized implants in facial reconstruction: A flapless surgical technique. *Brit J Oral Maxillofacial Surg* 1998; 36: 481.
52. Coward TJ, Watson RM. Fabrication of a wax ear by rapid-process modeling using stereolithography. *Int J Prosthodontics* 1999; 12: 20-27.
53. Begall K, Vorwerk U. Artificial petrous bone produced by stereolithography for microsurgical dissecting exercises. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1998; 60: 241-245.

54. Lopponen H, Holma T. Computed tomography data based rapid prototyping model of the temporal bone before cochlear implant surgery. *Acta OtoLaryngologica Supplement* 1998; 529: 47-49.
55. Grolman W, Schouwenburg PF. Three-dimensional models of the tracheostoma using stereolithography. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1995; 57: 338-342.
56. Hjalgrim H, Lynnerup N. Stereolithography: potential applications in anthropological studies. *Am J Phys Anthropol* 1995; 97: 329-333.
57. Vanezi P, Vanezis M. Facial reconstruction using 3D computer graphics. *Forens Sci Int* 2000; 108: 81-95.
58. Yourtee D; Emery J; Smith RE; Hodgson B. Stereolithographic models of biopolymers. *J Mol Graph Model* 2000 Feb;18(1):26-8, 59-60.
59. Binder TM, Moertl D. Stereolithographic biomodeling to create, tangible hard copies of cardiac structures from echocardiographic data: In vitro an in vivo validation. *J Am Coll Cardiol* 2000; 35: 230-237.
60. D'urso PS, Thompson RG. Cerebrovascular biomodelling: A technical note. *Sur Neurol* 1999; 52: 490-500.
61. Gilon D, Cape EG. Insights from three-dimensional echocardiographic laser stereolithography. Effect of leaflet funnel geometry on the coefficient of orifice contraction, pressure loss, and the Gorlin formula in mitral stenosis. *Circulation* 1996; 94: 452-459.
62. Kinoshita S, Konishi G. Stereovectorcardiogram made by stereolithography. *Cardiology* 1990; 77:269-271.
63. Pentecost JO, Icardo J. 3D Computer modeling of human cardiogenesis. *Comp Med Imag Graph* 1999; 23: 45-49.
64. Pentecost JO; Sahn DJ; Thornburg BL; Gharib M; Baptista A; Thornburg KL Graphical and stereolithographic models of the developing human heart lumen. *Comput Med Imaging Graph* 2001 Nov-Dec;25(6):459-63.
65. Kacel GM, Zannetti M. Rapid Prototyping (stereolithography) in the management of intra-articular calcaneal fractures. *Eur Radiol* 1997; 7: 187-191.
66. Migaud H, Cortet B. Value of a synthetic osseous model obtained by stereolithography for preoperative planning. Correction of a complex femoral deformity caused by fibrous dysplasia. *Revue de Chirurgie Orthopedique et Reparatrice de l'Appareil Moteur* 1997; 83: 156-159.

67. Thoma W, Schuster C. Custom-made knee endoprosthetics using subtraction data of 3-dimensional CT scans. A new approach. Orthopade 2000; 29: 641-644.

68. Stein R, Junger TH. The Giessen-Mainz-Frankfurt procedure: A new method for complex pelvic reconstruction for bladder exostrophy. J Urol 2001; 165: 1235-1239.

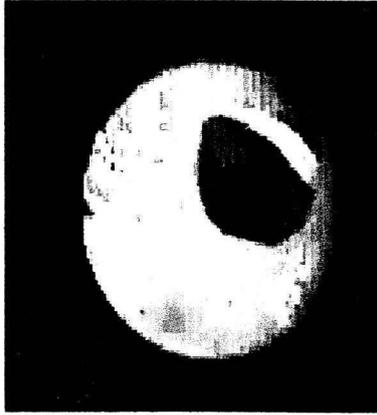
ENLACES RELACIONADOS:

- [Protorapid.com](#). Primer portal para el desarrollo rápido de productos
- [Rapad Prototyping Laboratory](#).
- [The Rapid Prototyping Home Page](#).
- [Worldwide Guide to Rapid Prototyping](#).

ANEXOS



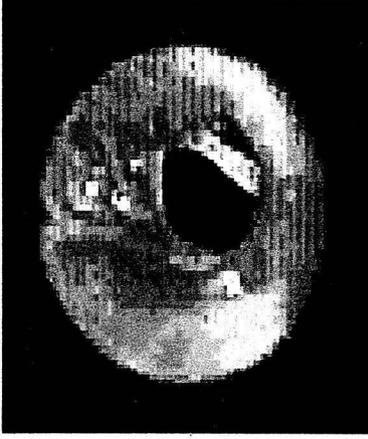
Figura 1. Broncospia Real de paciente con tumor carcinoide localizado en el segmento 6.



a



b



c

Figura 7. Broncoscopia Real de paciente con estenosis subglótica; a. Visio directa de la estenosis concentrica de diametro menor de 2 mm, b. Se intenta pasar con fibrobronoscopio XT 100 de 6 mm, c. No se logra pasar atraves de la estenosis.

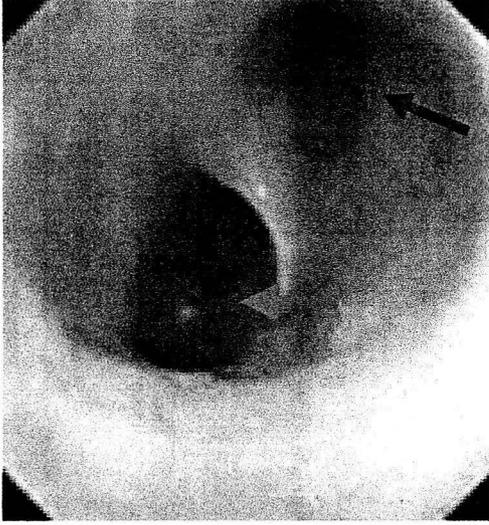
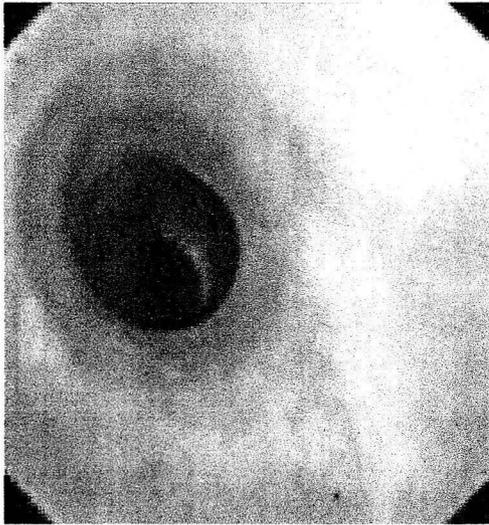


Figura 8. Broncoscopia Real de paciente con bronquio traqueal; **a.** Estenosis concentrica que antecede carina principal, **b.** Carina principal (señalada en rojo) y entrada del bronquio traqueal (marcado en azul), que origina el lobulo superior derecho.

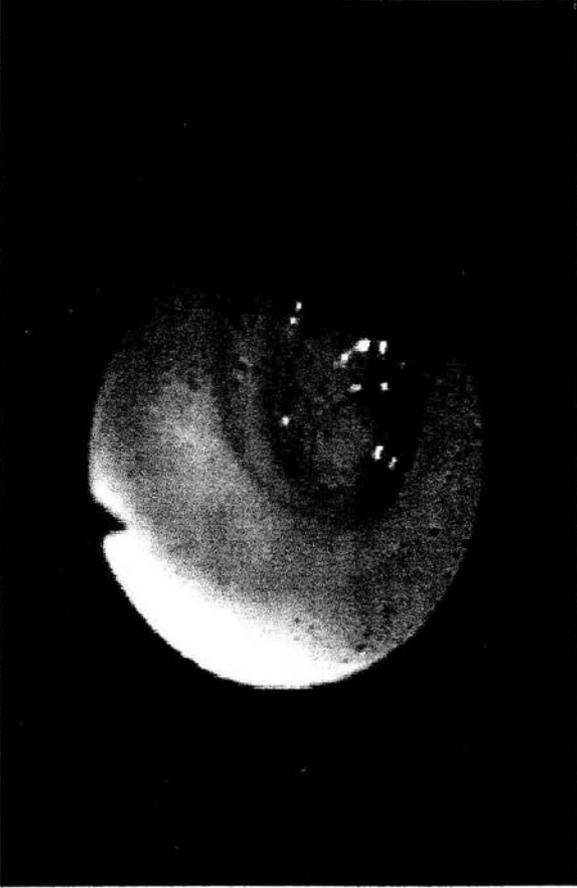


Figura 9. Broncoscopia real de paciente con tumor traqueal pediculado que obstruye el 70% de la luz.



a



b



c

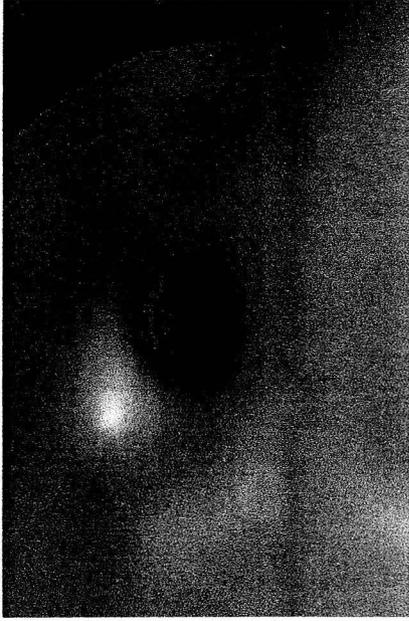


d

Figura 10: Broncoscopia Virtual 3a dimensión de Paciente con Adenocarcinoma, a. Tercio inferior de traquea y carina principal, b. Entrada de bronquio principal derecho, c. Paso a través del tumor, d. Se observa bronquio intermediario y bronquio del lobulo superior (flechas roja y azul respectivamente).



a



b



c

Figura 11. Broncoscopia Virtual 3a. dimensión de paciente con estenosis subglótica; a. Cuerdas Vocales, b. Estenosis subglótica, c. Traquea inferior.

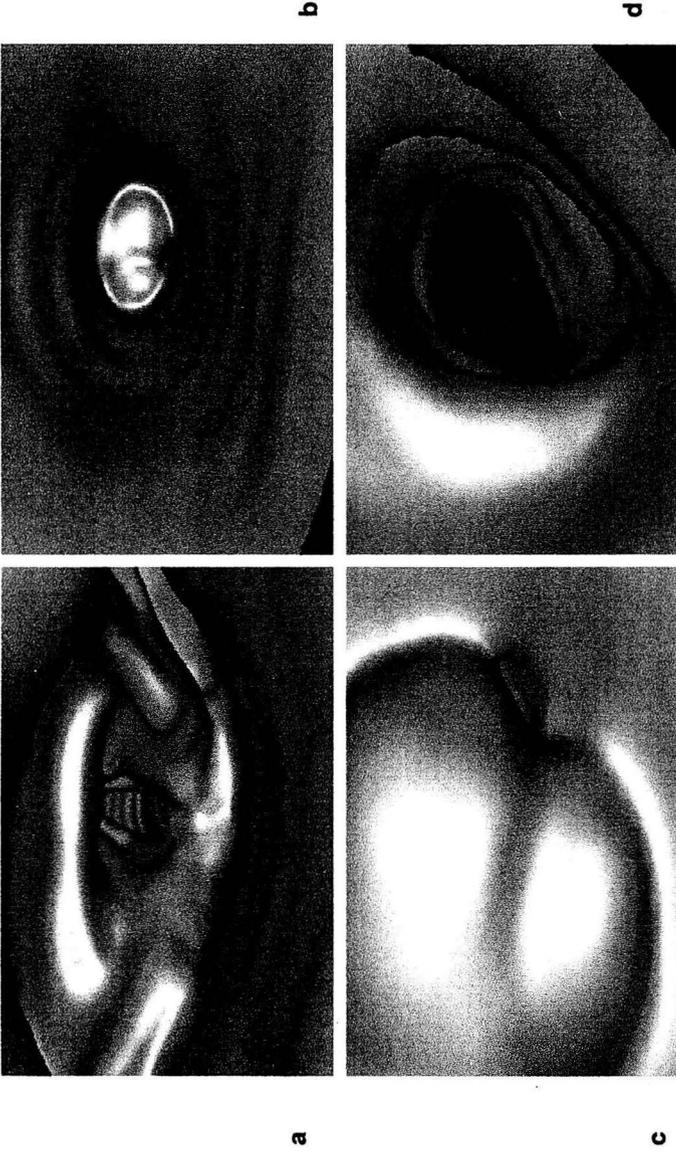


Figura 12. Broncoscopia virtual 3a dimensión de paciente con tumor traqueal pediculado; **a.** Cuerdas Vocales, **b.** Tumor traqueal pediculado, **c.** 70% de obstrucción de la luz, **d.** Vista posterior a pasar el tumor.



a

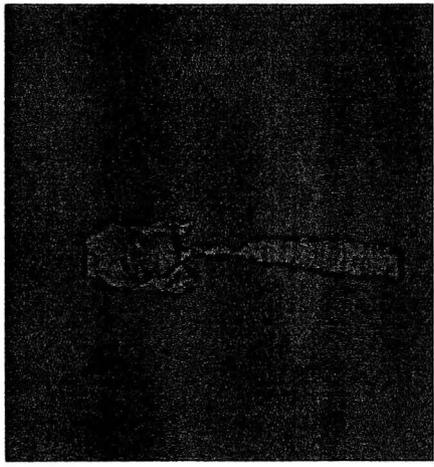


b

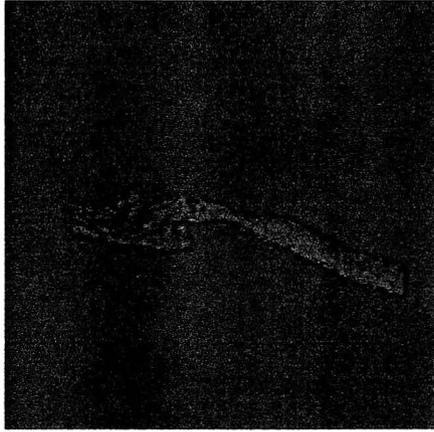


c

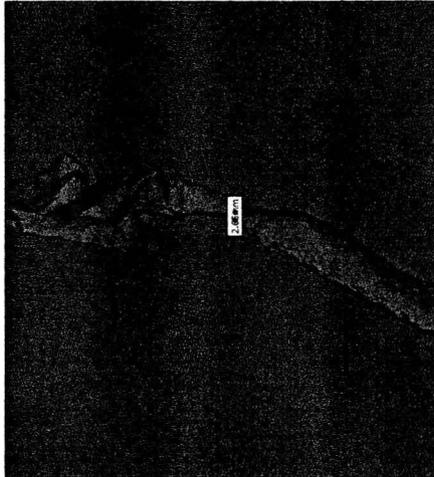
Figura 13. Broncoscopia Virtual de paciente con bronquio traqueal; **a.** Estenosis concentrica que antecede carina principal, **b.** Carina principal (señalada en rojo) y entrada del bronquio traqueal (marcado en azul), que origina el lobulo superior derecho, **c.** Carina de bronquio traqueal.



a



b



c

Figura 14. Molde virtual formado para Estereolitografía de paciente femenina de 34 años con estenosis traqueal. **a** Molde cara antero-posterior, **b** Molde cara lateral derecha, **c** Molde con medición de diámetro circunferencial de estenosis de 2. 68cm.



a



b



c

Figura 15. Molde real generado por estereolitografia de paciente con tumor traqueal;
a.Tamaño real, cuello y menton de la paciente,
b.Cara interna del molde , se observa via aerea superior, **c.** Se observa tumor traqueal.

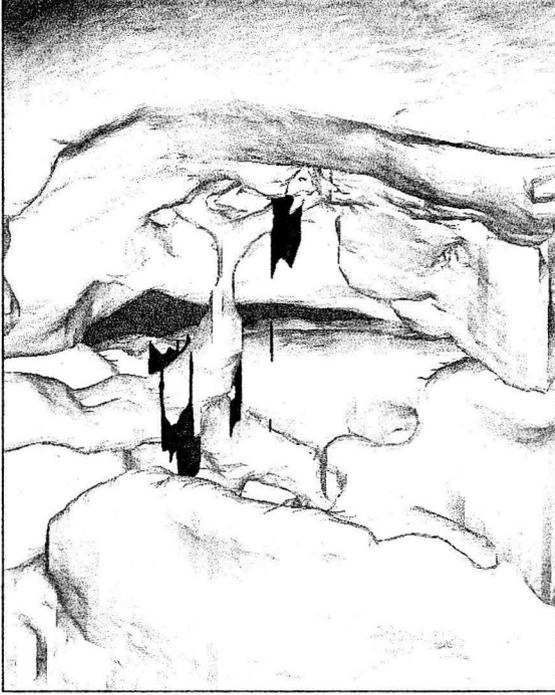
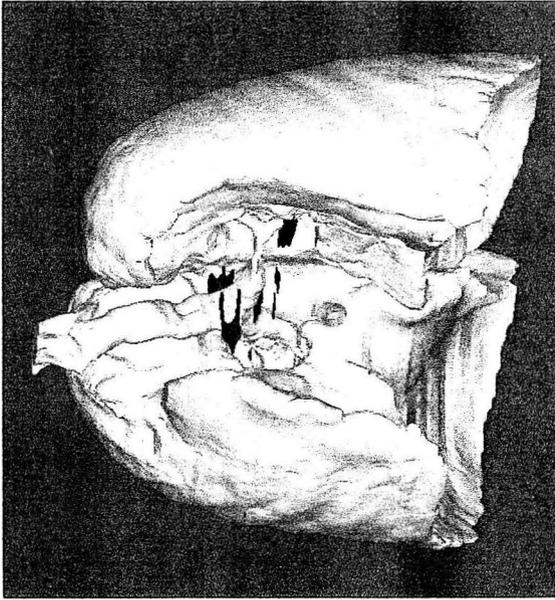
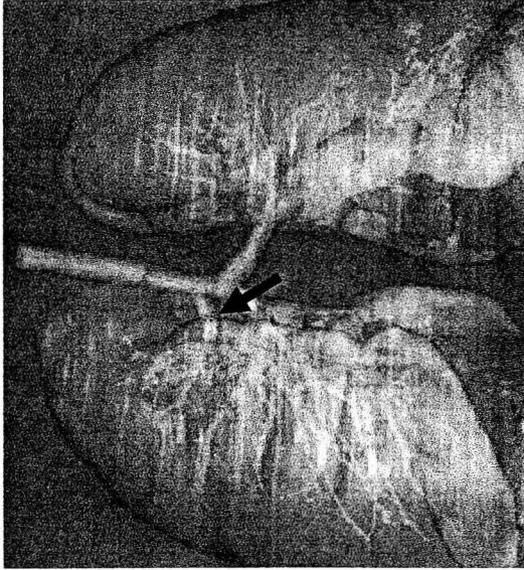
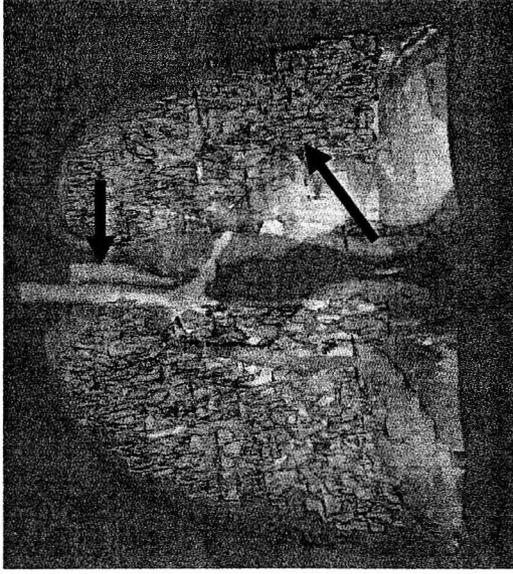


Figura 16. Estereolitografía con molde virtual. Paciente masculino de 56 años de edad con cancer epidermoide de pulmon. **a** Molde completo en lateral izquierda. **B** De amarillo parenquima pulmonar y de rojo marcaje de ganglios mediastinales.



a



b

Figura 17. Moldes virtuales generados por Mimics®, de paciente con bronquio traqueal: a. Se señala bronquio traqueal, b. Se observa esofago y vasculatura pulmonar.

OBSERVACION DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE BRONCOSCOPIA VIRTUAL, TOMOGRAFIA HELICOIDAL, BRONCOSCOPIA REAL Y ESTEREOLITOGRAFIA EN PATOLOGIA DE LA VIA AEREA, EXPERIENCIA EN EL INER

No de Proyecto Asignado
Comité INER: _____

Fecha: _____

CARTA CONSENTIMIENTO

Por medio de este conducto se me ha informado y doy mi consentimiento que los estudios a realizarme en beneficio de mi diagnóstico y tratamiento, los cuales son **Tomografía Helicoidal** sin uso de medio de contraste la cual como riesgos ó molestias puede presentarse durante el estudio son: ansiedad y angustia debido a que el estudio se realiza en un cuarto cerrado en el cual se me estarán vigilando y su duración es de 20 minutos, así como el nivel de radiación que se ejerce sobre mi cuerpo se encuentra ya normalizado de acuerdo a los equipos SIEMENS S.A. bajo estatutos, lo cual indica que no presenta riesgos agregados, así como el estudio de **Videobroncoscopia Óptica**, en el cual se me ha explicado que se introduce un videobroncoscopio por mi nariz o boca previa anestesia local con xilocaina al 2%, posteriormente se me acostará en una camilla y se me cubrirán los ojos ya que parte del procedimiento se realiza por arriba de mi cabeza y esta medida es para que no me caiga nada en mis ojos. El estudio dura 30 minutos y las molestias que sentiré serán "basuritas en las garganta", sensación de "falta de aire", pero me encontré vigilado y monitorizado por médicos expertos. Las complicaciones que pueden pasar en caso de que se me tome muestras son: Neumotórax y Hemoptisis. Los costos de ambos estudios serán cubiertos de acuerdo a mi clasificación que se establezca en Trabajo Social. La parte de los estudios que serán utilizados en el Protocolo de "OBSERVACION DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE BRONCOSCOPIA VIRTUAL, TOMOGRAFIA HELICOIDAL, BRONCOSCOPIA REAL Y ESTEREOLITOGRAFIA EN PATOLOGIA DE LA VIA AEREA, EXPERIENCIA EN EL INER", son el video de la videobroncoscopia y la digitalización de la imagen de la tomografía para ser comparados y posteriormente digitalizados con un nuevo software llamado Mimics para la realización del molde bronquial si se requiere para mi diagnóstico ó bien para mi tratamiento, el número de sujetos que se incluirán en dicho protocolo son 30 y tiene una duración 6 meses. Este último punto no tendrá costo alguno para mi. Quedando claro que tengo la garantía que se me informará de todo avance realizado así como el que de mi consentimiento para dicho protocolo permite el acceso a mi expediente médico a terceros, así como en caso de no aceptar colaborar no implica que nadie se enojará conmigo, no se tomarán represalias, ni perderé derechos como paciente INER.

Autorizo al Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias el uso del material correspondiente a estudios de imagenología y videos de endoscopia que fueron realizados en mi persona con fines de diagnóstico y tratamiento de mi enfermedad, para que sean utilizados con fines académicos y de investigación. En caso de dudas o preguntas sobre el protocolo favor de llamar a: Dra. Gittaim Pammela Torres San

Miguel Residente de Neumología encargada del protocolo INER(Telefono: 85-02-46-56 ó bien 04455-13-52-14-64) ó Dr. Carlos Nuñez Pérez-Redondo **Jefe del Servicio de Broncoscopia INER**(Teléfono : 5666-4539 ext 251) ó Dra. Victoria Falcón Solís **Jefe del Servicio de Imagenología INER** (Teléfono 5666-45-39 ext 191).

Autorizó:

Nombre: _____

Firma: _____

Dirección _____

Testigos:

Nombre: _____

Firma: _____

Dirección _____

Nombre: _____

Firma _____

Dirección _____

Número de Folio del Paciente: _____