

SISTEMAS DE ANASTOMOSIS AUTOMÁTICAS: ACTUALIZACIÓN Y EVALUACIÓN CRÍTICA

*AUTOMATIC ANASTOMOSIS SYSTEMS:
UPDATE AND CRITICAL EVALUATION*



Facultad de Medicina
Universidad Zaragoza

Autor/es:

Marcela K. Mejía Mondragón

Director/es:

Dr. Antonio Güemes Sánchez

RESUMEN

Desde la invención en 1902 de la técnica de sutura, ésta se ha convertido en el gold standard de la técnica quirúrgica. Sin embargo, a pesar de cumplir con la función de unión de dos vasos, cuenta con una serie de inconvenientes tales como alta curva de aprendizaje, traumatismo tisular, manipulación de los vasos o presencia de cuerpo extraño dentro del organismo; que ha hecho necesario la búsqueda de nuevas técnicas de anastomosis que suplan estos defectos.

Se han creado adhesivos tisulares que son menos atraumáticos, pero pueden producir reacciones de toxicidad; sistemas de grapado o multisutura más sofisticados con el mismo fundamento de los primeros ya creados, aunque con menor daño tisular; técnicas de láser que han quedado prácticamente relegadas por otros métodos más económicos; o dispositivos que funcionan gracias a campos magnéticos.

Aún con la gran diversidad de técnicas de anastomosis automáticas, ninguna de ellas ha conseguido demostrar una efectividad a largo plazo mayor que la sutura convencional. Sólo el tiempo y la continua investigación permitirá definir si la sutura tal y como la conocemos quedará en un segundo plano.

ABSTRACT

Since the invention of the suture technique in 1902, it has become the gold standard in surgical technique. However, in spite of fulfilling the function of joining two vessels, it has a series of disadvantages such as high learning curve, tissue trauma, manipulation of the vessels or the presence of a foreign body inside the organism, which has made it necessary to search for new anastomosis techniques to make up for these defects.

Tissue adhesives have been created that are less atraumatic, but can produce toxicity reactions; more sophisticated stapling or multisuture systems with the same basis as the first ones already created, although with less tissue damage; laser techniques that have been practically relegated by other more economical methods; or devices that work thanks to magnetic fields.

Even with the great diversity of automatic anastomosis techniques, none of them has managed to demonstrate greater long-term effectiveness than conventional suturing. Only time and continued research will define whether suturing as we know it will remain in the background.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	Pag 1-2
II.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	Pag 2-3
III.	RESULTADOS.....	Pag 3-32
IV.	DISCUSIÓN.....	Pag 32-34
V.	CONCLUSIONES.....	Pag 34-35
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	Pag 36- 40
VII.	ANEXO.....	Pag 40-45

I. INTRODUCCIÓN

Desde que en 1902 Alexis Carrel describiera la primera técnica verdaderamente eficaz para unir dos vasos, las suturas vasculares han evolucionado relativamente poco en el transcurso de los años y, aunque han mejorado los materiales todavía seguimos suturando los vasos con las maniobras básicas que introdujo Carrel.

La sutura ideal permite unir los extremos de un vaso sin tensión, sin producir isquemia, permitiendo un correcto desarrollo del proceso de cicatrización y manteniendo la estanqueidad. Las anastomosis vasculares son una maniobra básica quirúrgica que forman parte importante de prácticamente todas las especialidades quirúrgicas y por supuesto en todos los trasplantes de órganos vascularizados. Aunque los materiales de sutura han evolucionado y mejorado su calidad y diseño todavía siguen basándose en la aguja y el hilo, instrumentos con más de diez siglos de antigüedad.

Las suturas vasculares, a pesar de su dificultad y su sofisticación, no dejan de ser una maniobra quirúrgica repetitiva, muy operador dependiente y que necesita una larga curva de aprendizaje, lo que dificulta su estandarización y su control de resultados. Incluso las suturas microquirúrgicas que han alcanzado una enorme sofisticación llegando al límite de la discriminación visual y capacidad técnica, sigue basándose en las técnicas de sutura que ya instituyó Carrel. En ocasiones una sutura vascular, por la localización de los vasos a unir, por la dificultad del terreno donde asientan o simplemente la inaccesibilidad puede llegar a ser un procedimiento tremendamente complejo al alcance de pocos cirujanos tras largos periodos de entrenamiento.

Es por ello por lo que se han buscado otros métodos de anastomosis que suplan estos defectos, que sean más rápidas y menos traumáticas, tanto para el paciente como para el propio cirujano al reducir su curva de aprendizaje, que permitan estandarizar el procedimiento y que lo hagan al alcance de cirujanos con un mínimo de entrenamiento. Para ello se han venido diseñando los sistemas anastomosis automáticas. Entre ellos están los sistemas de grapado automático, materiales magnéticos, técnicas de láser, adhesivos tisulares, entre otros, que bien pueden ser usados individualmente o pueden servir como un complemento a la sutura convencional. Sin embargo, aunque son técnicas prometedoras que están siendo utilizadas en estudios animales y clínicos todavía no han alcanzado un perfeccionamiento en su diseño y no han logrado sustituir a la sutura convencional.

Entre los defectos mayores encontrados se encuentran: El grapado provoca traumatismo en el vaso, las grapas no penetrantes no son eficaces, el uso del láser requiere de una alta curva de

aprendizaje y puede provocar daños térmicos en el tejido circundante, y el uso de los adhesivos está relacionado con fugas anastomóticas y producción de pseudoaneurismas a largo plazo y reacciones inflamatorias. En ocasiones la aplicación del propio dispositivo es igual o más compleja que la realización de la propia sutura vascular. Es por lo cual que se hace necesario un rediseño de los instrumentos y aparatos de sutura automática, algunos grupos están trabajando en ello, y por supuesto partir de la base de las técnicas que disponemos en la actualidad para realizar una sutura vascular automática.

A. Justificación y objetivos

Este trabajo se encargará de hacer una revisión bibliográfica de las diferentes técnicas e instrumentos para realizar una anastomosis vascular automática o semiautomática de que disponemos hoy en día, haciendo una evaluación de la técnica y un análisis de las principales ventajas e inconvenientes de los mismos.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Mi trabajo de investigación se ha basado en la búsqueda de artículos en las bases bibliográficas de PubMed y Google Académico. Estos han sido publicados por la revista Elsevier y otras, como The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Scientific Reports, InterScience, The American Association for Thoracic Surgery.

En Google Académico se introdujeron los términos “Anastomosis automáticas” “técnicas de anastomosis automática” “Anastomosis en trasplante hepático” sin resultados específicos.

En una primera búsqueda en PubMed se introdujeron los términos clave “Vascular anastomosis”. Se delimitó la búsqueda en un intervalo de tiempo de últimos 10 años (2012-2022), resultando un total de 12.290 artículos. Acotando la búsqueda a “Free Full Text” y “Full Text” se redujo el número hasta 3.983 artículos, de ellos, resultó uno de suma utilidad. Se trataba de un artículo relacionado con dispositivos magnéticos usados en un ensayo experimental sobre animales. A raíz de este artículo, y buscando en la bibliografía mencionada en él, pude encontrar más artículos relacionados con otros métodos de anastomosis automática, y así sucesivamente, hasta encontrar un total de 13 artículos. Sin embargo, dos de ellos eran el mismo ensayo experimental, pero con una diferencia de un año, por lo que reduje el número a

12. Usan el término “sutureless anastomosis”, con los mismos criterios de búsqueda previos, se encontraron dos artículos de interés. Nuevamente se buscó en PubMed con los términos (Vascular anastomosis) AND (hepatic transplant) obteniendo un total de 173 resultados, con los mismos criterios de exclusión previos. Sin embargo, ninguno de los resultados obtenidos fue seleccionado, al no tener relación con mi búsqueda, o por ser poco específicos.

Gracias a artículos proporcionados por mi tutor puede, nuevamente, extraer nueva bibliografía, obteniendo un total de 10 artículos relacionados con diferentes técnicas de anastomosis automáticas.

A continuación, se exponen los resultados de la revisión bibliográfica.

III. RESULTADOS

Podemos hacer una clasificación de los dispositivos de anastomosis en función del mecanismo de acción, del material que los compone, del tipo de intervención: microquirúrgico o macroquirúrgico, de si se realizan a nivel arterial, venoso, veno-arterial, veno-linfático, vaso-prótesis, o del tipo de anastomosis: término-terminal, término-lateral o latero-lateral.

Para esta revisión se han tenido en cuenta todos estos términos clasificatorios, pero se ha decidido clasificarlas de forma global en anastomosis microquirúrgicas y anastomosis macroquirúrgicas.

-Anastomosis microquirúrgicas-

La microcirugía comporta una importante misión formadora del cirujano al proporcionar un adiestramiento básico en cirugía convencional. El trauma quirúrgico se reduce notablemente, ya que la precisión y la sensibilidad aumenta. Para el uso de esta técnica consideramos el uso de materiales adhesivos, técnicas de láser, injertos de materiales biológicos y/o sintéticos.

a. Anastomosis mediante materiales adhesivos

Típicamente, en las anastomosis vasculares hechas con pegamento, los dos extremos de un vaso se aproximan y se fijan con un pequeño número de puntos de sutura (por

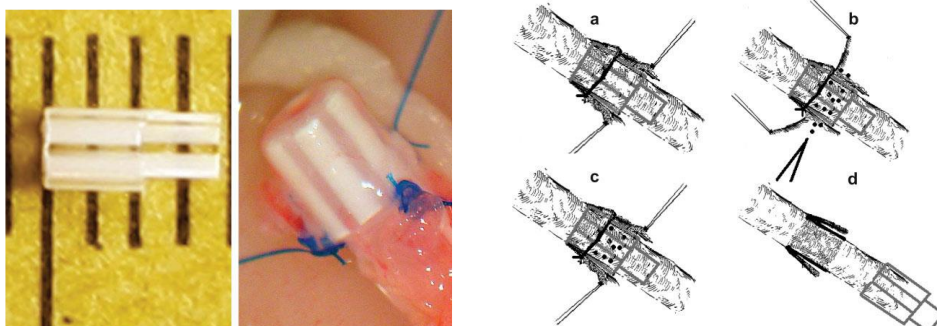
ejemplo, tres puntos a intervalos de 120° en la circunferencia), y luego se aplica pegamento en la interfaz de los dos extremos del vaso para unirlos y sellarlos ¹.

Los adhesivos tisulares se definen como cualquier sustancia que polimeriza en contacto con una superficie tisular creando una reacción exotérmica. Entre sus propiedades: permiten la formación local del coágulo contribuyendo a la hemostasia, sellado de tejidos evitando fugas, y liberación local de sustancias exógenas. Pueden ser biológicos, como los sellantes de fibrina, compuestos de albúmina; hidrogeles o colágenos; o bien pueden ser sintéticos: el *cianoacrilato* y sus derivados han tenido gran impacto gracias a su fácil aplicación, alta resistencia y elevado poder adhesivo. Sin embargo, su principal inconveniente, la citotoxicidad.

1. La técnica **CUFF-GLUE** se ha utilizado en numerosos ensayos experimentales, uno de ellos en ratas, aplicando cianoacrilato junto a un manguito de polietileno. Para ello se disecciona la vena cava infrarrenal hasta las venas ilíacas seccionándose con unas pinzas. Se introduce el margen distal de la vena en el manguito de polietileno y luego se everta, cubriendo así la pared exterior del manguito. El borde evertido se fija a la base del manguito con tres puntos de sutura equidistantes ².

Se introduce el manguito en el borde de la vena proximal y con una ligadura 6-0 envolvente se fijan ambos márgenes al manguito (Fig 1). Se desplaza el segmento de la vena proximal por debajo de la ligadura, evertiéndola, exponiendo ambas íntimas. Se seca las íntimas con hisopos de algodón y se coloca cuidadosamente cianoacrilato a nivel distal y proximal, alrededor de toda la superficie de anastomosis.

Posteriormente se desplaza el segmento proximal en sentido distal, colocando el pegamento entre las mucosas de los vasos proximales y distales para fijar los bordes, sellando así la anastomosis. Tras observar la adherencia se seccionan las ligaduras, se desconecta el manguito de la anastomosis y se libera de la vena.



(Fig. 1)
Proceso de
eversión y
sellado

Intra operatoriamente se observó que la anastomosis era permeable, libre de hemorragias, obstrucciones, trombosis o aneurisma. A la hora del desclampaje, el lugar de la anastomosis adquirió un color oscuro debido a una lesión térmica inducida por el cianoacrilato. Días después de la intervención se evidenciaron anastomosis no permeables y no funcionales. Se realizó un estudio histológico que confirmó necrosis en el margen proximal, y adhesión de tejidos circundantes a ésta (Fig. 2).

Ventajas de la técnica:

- Fácil de realizar, rápida, barata y efectiva.
- Puede ser aplicable en otro tipo de tejidos e intervenciones, tales como a nivel uretral, esófago, vía biliar y la tráquea.
- Fuerte adherencia del cianoacrilato, sin sangrado o escapes de fuga.

Desventajas: El cianoacrilato produce reacciones de toxicidad tisular.

A raíz de este estudio se pusieron en marcha diferentes estudios experimentales con diferentes tipos de pegamentos tisulares que causaban menos toxicidad que el cianoacrilato, no afectando a la adherencia de la anastomosis.

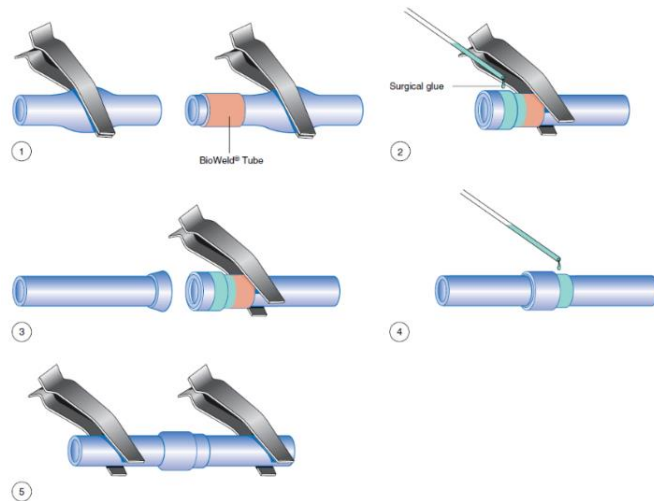
1. Otra variante de esta técnica, el **TUBO BIOWELD**, consta de un dispositivo implantable y biodegradable, fabricado con albumina que se desnaturaliza con el calor. Se preparó una concentración de pasta de albúmina disolviendo albúmina de suero de conejo en agua destilada estéril, se añadió a la formulación el verde de indocianina para mejorar las características de manipulación del producto final y se extruyó la albúmina en tubos mediante una prensa. Utilizando un microscopio quirúrgico se realizó una incisión en la línea media del cuello y se expuso la vena yugular².

El diámetro medio exterior del vaso estaba entre 2-2.75mm. Con una pinza Acland microvascular doble y unas macro tijeras se seccionó la vena yugular. Después de lavar los dos muñones del vaso con una solución de cloruro sódico al 0.9%, se eliminó el tejido conectivo circundante.

Con un aplicador de politetrafluoro-etileno, accionado por nitrógeno industrial, se adhirió el tubo BioWeld a la vena. El pegamento utilizado para el procedimiento fue un butil-2-cianoacrilato y el volumen de pegamento dispensado por disparo fue inferior a 0.1 µL. La parte proximal de la vena yugular del conejo se introdujo a través del tubo

BioWeld, y se evertió sobre el borde del tubo. Se aplicó pegamento en la interfaz entre el muñón del vaso evertido y el tubo BioWeld y se dejó secar el pegamento durante un mínimo de 1 minuto.

A continuación, se juntaron los dos brazos de la pinza doble, aproximando la vena, y se tiró suavemente del vaso distal sobre el vaso proximal unido al tubo BioWeld. Se aplicó



pegamento a la unión entre el muñón del vaso distal y el tubo BioWeld para crear una unión. El pegamento se dejó secar de nuevo durante un mínimo de 1 minuto (Fig. 3). La duración media de la isquemia fue de 12 min18s.

(Fig. 3). Técnica de anastomosis pegamento con Tubo BioWeld paso a paso.

La permeabilidad se evaluó con una prueba de ordeño inmediatamente después de retirar las pinzas vasculares. A la semana todos los animales sobrevivieron y todas las anastomosis eran permeables.

No hubo indicios de aneurisma ni de reacción de cuerpo extraño importante en el lugar de la anastomosis. El lumen del vaso estaba intacto y sin daños después de la recuperación. El tejido no se había replegado ni se había dilatado en exceso (Fig. 4).

Ventajas de la técnica:

- Fácil de realizar, rápida, barata y efectiva.
- Reduce el tiempo de isquemia, posibilidad de fuga y reacción inflamatoria, a la vez que mantiene el nivel de permeabilidad del vaso.

Desventajas:

- A pesar de que se ha creado una nueva generación de cianoacrilato (Butil-2-cianoacrilato), aún se producen reacciones de toxicidad, inflamación y necrosis en la zona de aplicación.
- Existe riesgo de fuga, que podría derivar en una oclusión parcial o total del lumen del vaso.

Este estudio demuestra la fiabilidad de la técnica, sin embargo, aún son necesarias nuevas líneas de investigación en tamaños muestrales mayores y con períodos de seguimiento más amplios que demuestren la eficacia de los adhesivos tisulares.

b. Anastomosis mediante técnica Láser

En 1970 se desarrolló un sistema de revascularización cerebral: se anastomosaba una rama de la arteria temporal superficial y una rama cortical de la arteria cerebral media, pero el bypass generado tenía poco flujo, por lo que se consideró ineficaz. Ante la prohibición de anastomosar con el tronco de una de las arterias cerebrales principales se postuló la realización de anastomosis mediante la técnica láser³. A continuación, se exponen dos variantes de la técnica:

1. La **TÉCNICA LAVA**⁴ se ha aplicado clínicamente en la realización de procedimientos de derivación extracraneal a intracraneal en sujetos humanos, y también en ensayos experimentales en animales. Se puede realizar con diferentes fuentes de energía, como el argón, el neodimio y dióxido de carbono (CO₂).

En este último caso hay constancia de la realización de un total de 113 anastomosis con la técnica láser LAVA y 78 anastomosis con sutura convencional en arterias femorales de ratas mediante técnica de micro aumento. La arteria se inmovilizó con una pinza de aproximación, se seccionó con una micro tijera y se irrigó con solución salina heparinizada (200IU/mL).

Se realizó una anastomosis de micro sutura convencional utilizando de 8 a 10 suturas (10-0) de nylon con agujas de 70µm. En el vaso contralateral, se realizó un LAVA utilizando un láser de CO₂ de 70 mili watios. Se diseccionó una pequeña cantidad de adventicia de los extremos cortados y se colocaron tres suturas de nailon 10-0 equidistantes para coaptar los extremos del vaso.

Se aplicaron múltiples descargas con un tamaño de punto objetivo de 150µm a los extremos de los vasos adyacentes, que se mantuvieron tensos entre las dos suturas. El procedimiento se repitió dos veces para sellar los otros dos sectores de forma similar.

Inmediatamente a ser sacrificados se disecaron las ingles de los animales para evaluar la permeabilidad de los vasos femorales y establecer o descartar la presencia de aneurismas macroscópicos. Tras la fijación, se extrajo la muestra arterial, se incrustó en parafina y se seccionó axial y/o longitudinalmente.

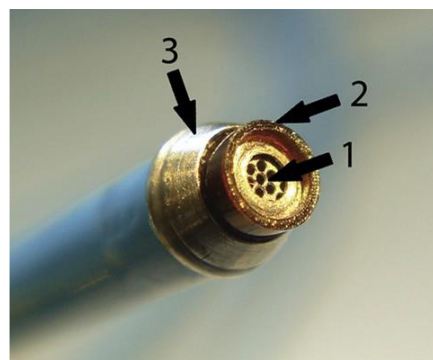
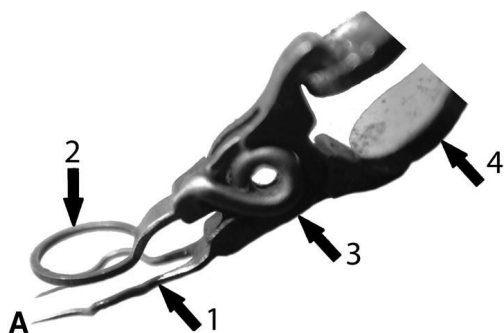
Se observó un total de 21 aneurismas, todos en el grupo del láser, posiblemente debido a que la pared de la arteria femoral de la rara es muy fina, por lo que el láser destruye todo el músculo y tejido adyacente. No se observaron aneurismas en los vasos anastomosados con la técnica de micro sutura convencional. Las diferencias fueron significativas ($p=0.001$)(Fig. 5).

Esta técnica no presentó ninguna ventaja, al contrario que inconvenientes: numerosos aneurismas cerebrales. Por ello, hoy en día, está actualmente en desuso.

2. Otra técnica, una anastomosis no oclusiva asistida por **LÁSER EXCIMER (ELANA)** ha surgido como una alternativa para la construcción de anastomosis coronarias, con el objetivo de tratamiento de aneurismas gigantes no pinzables intracraneales y oclusiones sintomáticas de la arteria carótida interna³.

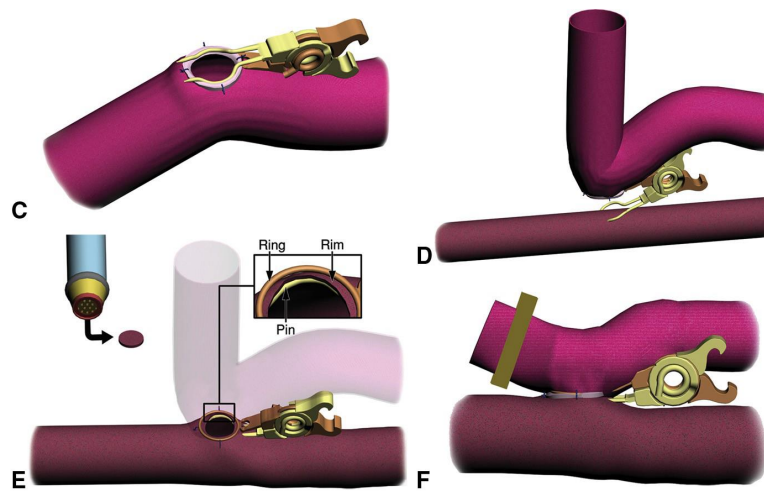
ELANA consta de un anillo y una horquilla con dos clavijas afiladas. Un muelle en la parte posterior del dispositivo permite que la horquilla y el anillo del conector se abran y cierren con el uso de un aplicador. El conector es de titanio. El catéter de láser Excimer, consistente en un anillo de fibras láser finas (60 μm) de dos capas de grosor, montado alrededor de un tubo fino. En su interior tiene una rejilla que hará la función de vacío. La punta del catéter es en forma de cono para mejor posicionamiento y más estabilidad con el conector anastomótico (Fig. 6).

(Fig. 6) (A) Conector coronario: (1) horquilla (2) anillo (3) muelle (4) aplicador. (B) Imagen del láser: (1) Rejilla. (2) Fibras de láser (3) Punta acabada en cono



El injerto de vena safena se monta en un anillo extravascular del conector abierto, utilizando puntos de prolene de 8-0, de manera que la capa íntima cubre por completo la superficie interna del anillo. Se utiliza un aplicador para insertar el conector. Las clavijas del conector perforan la pared del receptor. Cuando la punta del catéter toca la pared de la arteria receptora, se activa un dispositivo de succión de alto vacío durante 2 minutos, quedando firmemente adherida. A continuación, se activa el láser Excimer

durante 5 segundos a una frecuencia de 10 Hz 40, mJ/pulso. La punta penetra en el lumen de la arteria receptora, se retira el catéter láser y se ocluye la rama lateral artificial con un clip hemostático, completando así el procedimiento (Fig. 7).



(Fig. 7). Técnica láser ELANA

Se evaluó la viabilidad y la cicatrización anastomótica del conector prototipo de anastomosis coronaria no oclusiva asistida por láser

Excimer mejorado en un estudio agudo en conejo (*estudio 1*) y en un estudio de bypass coronario porcino sin circulación extracorpórea (*estudio 2*).

En el *Estudio 1* se construyeron 18 anastomosis en la aorta abdominal, todas ellas permeables. El análisis histológico mostró una unión sin deterioro de las paredes opuestas y laterales del receptor. Doce de estas anastomosis se sometieron a una prueba de presión con agua, resistiendo alrededor de 300mmHg.

En el *Estudio 2*, tras una esternotomía parcial se realizó la extracción de la arteria torácica interna izquierda, después se procedió a la heparinización parcial y se montó el anillo del conector en la torácica interna izquierda. Posteriormente, una vez inmovilizada la arteria descendente anterior con un estabilizador tisular Octopus se introdujo el conector de ELANA en la descendente anterior con los pines dirigidos hacia abajo.

Tras la construcción del bypass, se ligó la descendente anterior con 3 hemo clips medianos. Por último, se fijó la arteria torácica interna izquierda en el epicardio, utilizando prolene 6-0, y se cerró el pericardio. Antes del cierre del tórax, se monitorizó el flujo del injerto continuamente durante 90 minutos, a una presión arterial media de 90mmHg.

Se consiguió hemostasia completa en las anastomosis. Si bien había alguna mínima fuga está era insignificante. Hubo un solo error técnico del láser creando un borde en adventicia asimétrico expuesto intra luminalmente. A nivel histológico, a los 14 días se

había formado una neoíntima, a las 5 semanas la hiperplasia de la íntima había recubierto completamente la línea anastomótica sin causar obstrucción en la luz del vaso. Las clavijas del conector estaban perfectamente integradas en la pared superior de la descendente anterior (Fig. 8).

Ventajas de la técnica:

- No es necesario hacer incisiones o aplicar puntos, reduciendo la manipulación de la arteria coronaria.
- Se puede utilizar en procesos endoscópicos, reduciendo el trauma.
- No se evidencia formación de aneurismas.
- Al contar con un sistema de dos pasos, en caso de mala colocación y antes de hacer la arteriotomía se puede volver a recolocar.
- No hay obstrucción del bypass en zonas de difícil acceso al ser poco voluminoso.

Desventajas:

- El conector requiere de pasos de optimización antes de su introducción.

Se está en proceso de diseño de un nuevo dispositivo de menor tamaño, forma ovalada, menor diámetro externo y que podrá montarse sin necesidad de sutura.

c. Anastomosis mediante dispositivos magnéticos

En 1960, *Holt y Lewis* describieron por primera vez el uso de anillos anastomóticos emparejados con clavijas, ajustándose a los principios tercero y cuarto de la anastomosis de *Carrel*: alineación de ambas capas de la capa íntima y ausencia de material extraño intraluminal. En 1978, *Obora et al.* realizaron con éxito una anastomosis vascular termino terminal utilizando la fuerza magnética entre anillos magnéticos con un instrumento metálico hueco en forma de rueda dentada equipado con seis espuelas (*técnica MAC*). En 1984 *Ostrup y Berggren* introdujeron el sistema Unilink, que consiste en dos anillos de polietileno con espigas y orificios de acero inoxidable alternados⁵.

1. El **ANILLO MAGNÉTICO CON CLAVIJAS** descrito por *Holt y Lewis* ⁶, consiste en anillos magnéticos emparejados, de cuatro a seis agujeros espaciados de

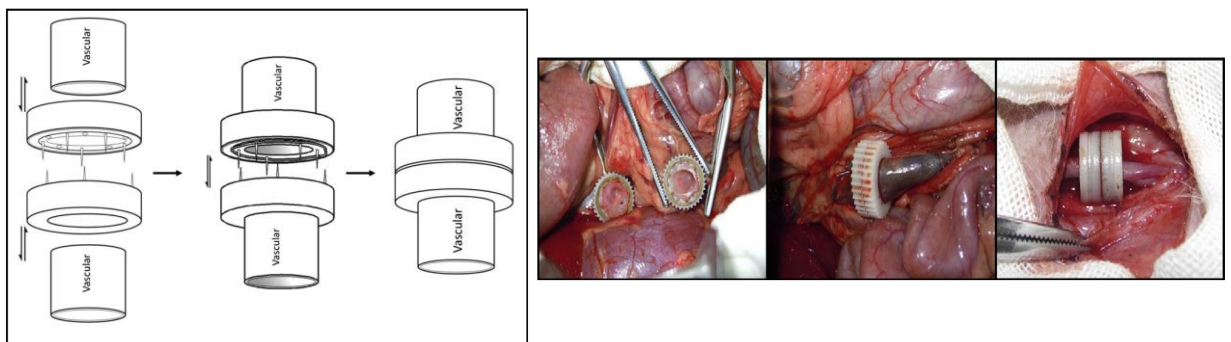
manera uniforme y alterna y, pasadores recubiertos de titanio (longitud, 2mm; diámetro, 0.3mm), que a su vez están incrustados en una carcasa de polipropileno. Se utilizaron dos tipos de dispositivos. Los utilizados para la anastomosis venosa tenían un diámetro interior de 11-15 mm y un diámetro exterior de 18-22 mm. Los diseñados para la anastomosis arterial tenían un diámetro interior de 2-5mm y un diámetro exterior de 8-12mm. Cada anillo tenía un grosor de 1.5mm (Fig. 9).

Se sometió a intervención a veintiocho perros. Fueron divididos en cuatro grupos: grupos I y II se sometieron a anastomosis de la arteria femoral usando el dispositivo magnético y sutura manual respectivamente. Los grupos III y IV se sometieron a anastomosis de la vena cava inferior utilizando el dispositivo magnético y sutura manual respectivamente.

En el ensayo experimental se expusieron la arteria femoral y la vena cava inferior, se les retiró la capa adventicia, se ocluyeron los vasos temporalmente con pinzas vasculares atraumáticas en los extremos proximal y distal. Se deslizó uno de los extremos del vaso a través de un anillo y sus bordes se evertieron, se fijaron con clavijas en la cara del pasador distribuyendo una tensión igual en toda la circunferencia.

Se realizó el mismo procedimiento con el extremo del otro vaso en el otro pasador. A continuación, se aproxima el par de anillos. La energía magnética une los dos anillos, asegura el contacto íntima-íntima y evita la creación de colgajos y el efecto purse-string. Los pasadores de aleación de titanio de un anillo magnético se combinaron con los orificios de las agujas del otro anillo magnético a lo largo de sus superficies aumentando así la estabilidad del estoma. Por último, se soltaron las pinzas arteriales y venosas (Fig 10).

(Fig. 10) Procedimiento final de la anastomosis



Las anastomosis terminales se concluyeron con éxito en aproximadamente 3 minutos gracias a las propiedades autoadhesivas y de auto alineación del dispositivo de anillo magnético. Por otro lado, el tiempo necesario para realizar la anastomosis con

sutura convencional osciló entre los 15-40min. Cuando se soltaron las pinzas oclusivas, el flujo sanguíneo pasó a través del estoma anastomótico, y no se observó ninguna turbulencia a través de la pared vascular adyacente a los sitios anastomóticos.

Se realizó evaluación ecográfica de la permeabilidad de la anastomosis con un sistema de ultrasonido. No hubo estenosis luminal ni a nivel arterial ni venoso en los procedimientos realizados con los anillos magnéticos. Sin embargo, se observaron ecográficamente dos estenosis lumbales en las anastomosis realizadas con sutura convencional, pero sin relevancia para el estudio.

Tras 24 semanas de postoperatorio se realizó una intervención exploratoria para valorar la permeabilidad. En la visualización directa de los anillos magnéticos, éstos no eran visibles debido al tejido fibrótico que los rodeaba. El extremo vascular estaba estructuralmente alineado y aproximado de forma recta y adecuada. No se observó ningún engrosamiento de la pared vascular ni distorsión del vaso alrededor del estoma. Además, no había indicios de formación de aneurismas o pseudoaneurismas.

Se realizó un análisis micro histológico, diseccionando los estomas y se retiraron los anillos magnéticos de la pared del vaso. En los vasos sanguíneos anastomosados con el dispositivo magnético, el endotelio de la superficie luminal de las estomas parecía liso, y las células endoteliales estaban regularmente alineadas con el flujo sanguíneo y tenían una morfología normal y uniforme. En los vasos sanguíneos anastomosados mediante el dispositivo magnético, aunque había algunas células inflamatorias, no había signos de necrosis por compresión ni de degradación de la pared del vaso (Fig 11).

En los vasos intervenidos mediante sutura convencional, las suturas que sobresalían en la superficie interna del vaso alteraban el flujo sanguíneo, haciéndose turbulento, y produciendo una disposición anormal de las células endoteliales.

Ventajas de la técnica:

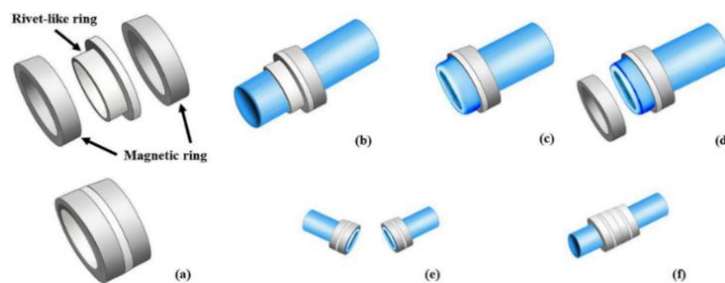
- Técnica simple, rápida, fiable y efectiva sin necesidad de suturas convencionales.
- Reduce el número de complicaciones post quirúrgicas al disminuir el daño isquemia-reperfusión, mejorando así el pronóstico.

Desventajas:

- Queda un cuerpo extraño en el interior de la luz del vaso, por lo que la realización de una resonancia magnética a nivel de abdomen superior podría ser peligrosa. No habría problema en otras localizaciones como cabeza, corazón, extremidades...

Se está estudiando la viabilidad y la seguridad de anillos de anastomosis compuestos de nanopartículas magnéticas que se degradan gradualmente después de su implantación en el cuerpo.

2. El prototipo creado por *Obora* (**MCA: MAGNETIC COMPRESSION ANASTOMOSIS**) ⁷consiste en dos pares de anillos magnéticos y dos anillos en forma de remache, así como de una estructura cilíndrica con superficie interior lisa. Los anillos magnéticos están hechos de materiales sintetizados de neodimio-hierro-boro (Ti-NdFeB). Los parámetros de los anillos magnéticos son: diámetro interior de 6 mm, diámetro exterior de 9 mm, espesor de 1 mm y peso de 0.35 g. Los anillos, impresos en 3D, tienen forma de remache y están hechos a base de polieterecetercetona (PEEK). La base anular tenía un diámetro de 9 mm, mientras que los parámetros de la estructura cilíndrica eran: diámetro exterior de 5.8 mm, diámetro interior de 4.8 mm y altura de 1mm. Esta estructura permitía que la pieza cilíndrica se deslizara dentro del anillo magnético (Fig. 12).

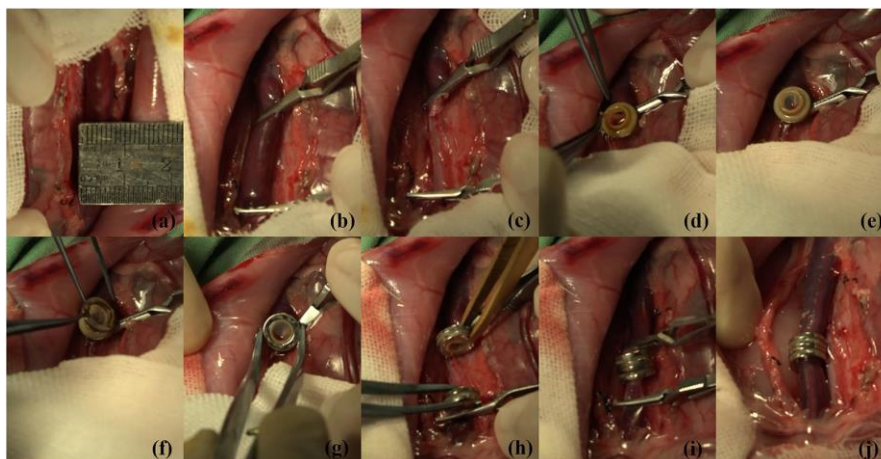


(Fig. 12)
Representación del
dispositivo magnético y del
proceso de acoplamiento.

El ensayo consistía de dos grupos de conejos: uno al que se le realizaría la MCA, y otro se procedería a realizar la anastomosis mediante sutura convencional. El mismo cirujano realizó ambas variantes de intervenciones. En el grupo de sutura convencional, la anastomosis se realizó utilizando la técnica de sutura interrumpida con prolene 7-0. La incisión abdominal se cerró con suturas de nylon 3-0 interrumpidas en dos capas.

En el grupo de MCA se comenzó con una incisión longitudinal de aproximadamente 7 cm realizada a lo largo de la línea mediana ventral. Se expuso la vena postcava después de abrir el peritoneo posterior y se aisló un segmento de 4-5 cm de la vena postcava. Se aplicaron clips hemostáticos en los extremos proximal y distal. A continuación, se realizó una anastomosis termino terminal de la vena post cava, explicado en la (Fig. 13).

(Fig. 13) Proceso de anastomosis MCA. (a) exposición de la vena post cava (b) Clampaje (c) desconexión post cava (d) introducción del extremo distal de la vena post cava a través del complejo magnético (e) eversión del extremo del vaso (f, g) conexión del par magnético (h) final de instalación en el otro extremo (i) atracción de los imanes. Fin de la anastomosis (j) recanalización del flujo



Se realizó una ecografía vascular abdominal para evaluar la permeabilidad del estoma en ambos grupos. La anastomosis termino terminal de la vena postcava tuvo éxito en ambos grupos de estudio. Todos los conejos sobrevivieron después de la cirugía y se recuperaron sin hemorragia anastomótica.

Como era de esperar, el tiempo de todo el procedimiento y de la anastomosis en el grupo MCA fue significativamente más corto en comparación con el grupo de sutura convencional ($\pm 52.5\text{min}$ vs $\pm 81\text{ min}$ y $\pm 3.10\text{ min}$ vs $\pm 29.4\text{min}$, respectivamente; ambos $p < 0,001$). No se observó ninguna obstrucción o estenosis anastomótica en el grupo MCA, mientras que se detectó estenosis anastomótica en 1 conejo y obstrucción anastomótica en otro conejo del grupo de sutura convencional. Sin embargo, no se encontraron diferencias en la obstrucción o estenosis anastomótica entre los dos grupos (todos $p > 0,05$). No se encontró ninguna obstrucción o fuga en el flujo venoso post cava. No se detectó ninguna obstrucción o estenosis anastomótica en el Grupo MCA.

En un corte histológico, en el grupo MCA, el dispositivo magnético estaba cubierto macroscópicamente por una fina capa de tejido fibroso, y la superficie endovascular del estoma estaba cubierta por capas de íntima y parecía estar completamente endotelizada. Además, no quedaba ningún cuerpo extraño en la luz del vaso. Sin embargo, en el grupo de sutura convencional, las suturas eran visibles desde el aspecto interno de la anastomosis, y la superficie interna de la anastomosis era áspera y desigual (Fig.14).

Ventajas de la técnica:

- Rapidez, facilidad, mayor seguridad.
- Menor trauma en el endotelio.
- Creación de una anastomosis contacto intima-intima.
- Se puede corregir la posición de los imanes o rotarlos, incluso cuando ambos ya están conectados.
- El material del que están hechos es considerado biocompatible.

Desventajas:

- Hoy en día se desconoce si esta técnica puede ser viable en arterias o en mamíferos de mayor tamaño, antes de poder aplicarlo en humanos.
- El tiempo de observación del estudio fue bastante corto, por lo que no se pueden sacar conclusiones a largo plazo.
- En este estudio no se evaluó el efecto de la técnica en la hemodinámica.

A pesar de ser un ensayo en animales, los resultados son prometedores, y no se descarta a largo plazo poder realizarlo en animales de mayor tamaño.

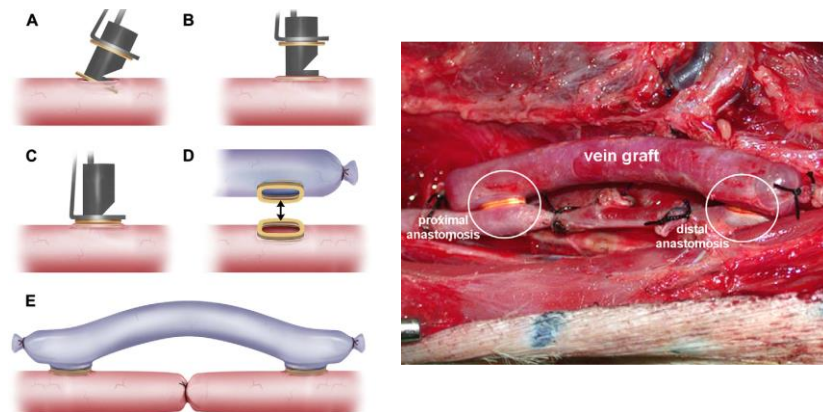
3. Otro diseño de imán se ha utilizado para el ensayo de anastomosis termino terminal en una **fístula arteriovenosa** ⁸.

Se aisló la arteria femoral común y la vena femoral de seis perros cazadores. La arteria femoral se ocluyó temporalmente con pinzas atraumáticas. Se realizó una arteriotomía longitudinal. Se contaba con un dispositivo de despliegue que mantenía el imán firmemente unido en la punta del dispositivo y otro imán idéntico 7mm por encima del primero con los dos imanes alineados. El imán de la punta se introdujo entonces a través de la arteriotomía en la arteria proximal.

Cuando se consiguió la alineación correcta se activó el gatillo del dispositivo de despliegue, los imanes se atrajeron y comprimieron la pared arterial formando un puerto vascular de dos imanes. Se creó un puerto idéntico de dos imanes cerca del extremo distal del segmento arterial ocluido. A continuación, la arteria se ocluyó permanentemente con al menos una sutura de nylon de 2-0 colocada entre los imanes proximal y distal. Se ligó la vena femoral. Se realizó una venotomía, se creó un puerto de dos imanes proximalmente y un segundo puerto distalmente. Posteriormente se

extirpó la vena femoral, se revertió y se aproximó a la arteria femoral para permitir la auto alineación de los puertos magnéticos, completando así las dos anastomosis (Fig.15).

(Fig. 15) Imagen ilustrativa e intraoperatoria tras la unión del injerto venoso.



A las 6 y a las 13 semanas de post operatorio los injertos se mostraron permeables. La pared del injerto venosos se engrosó hasta abarcar completamente los imanes y la pared del extremo ligado. Los imanes representaban sólo una quinta parte del grosor de la pared del vaso y estaban totalmente integrados en la pared del vaso.

El tejido era acelular y no había signos de necrosis por compresión ni de degradación de la pared. Solo se observaban unas pocas células inflamatorias, pero no había indicios de una reacción profunda a un cuerpo extraño (Fig. 16).

Ventajas de la técnica:

- Simplicidad y alta fiabilidad en el diseño.
- Permite realizar una anastomosis contacto intima-intima sin necesidad de causar trauma en tejidos circundantes.
- No produce alteración en el flujo sanguíneo, ni desencadena reacciones de trombosis.

No hay *desventajas* evidenciadas en este estudio.

Debido a sus favorecedoras características este diseño se podrá someter a futuros estudios en vasos de diferente localización, tamaño, pudiendo ser utilizado en cirugía mínimamente invasiva, cirugía vascular, traumática o cirugía plástica.

d. Anastomosis mediante dispositivos de encaje

1. El **NEW VASCULAR CONNECTOR (NVC)** es un dispositivo diseñado para realizar anastomosis termino terminal de varios conductos ⁹. Está compuesto por tres

partes, un tubo interior con extremos cónicos y dos anillos exteriores, que sirven para establecer y mantener la anastomosis vascular. Está fabricado con plástico polimerizado impreso mediante 3-D, lo que le permite reproducirse en función de las necesidades y de las diferentes dimensiones de los vasos a anastomosar. El diámetro del tubo interior va reduciéndose hasta obtener una forma cónica, lo que permite una mejor conexión de los vasos sanguíneos. Los anillos, denominados “masculino, 10mm” y “femenino, 15mm”, tienen tres dientes de tipo trinquete, que cuando se cierran entre sí con un deslizamiento axial, aseguran una conexión a prueba de fugas, o la formación de pseudoaneurismas tardíos (Fig 17).



(Fig. 17) Imagen ilustrativa del NVC

La primera parte del conector, el anillo distal, se sitúa en la pared distal del vaso. A continuación, el segundo anillo se sitúa en la parte proximal, para posteriormente proceder a la introducción del tubo interior fino con extremos cónicos en el vaso sanguíneo distal y proximal, de forma que el diámetro externo del tubo interior es proporcional al diámetro interno del vaso sanguíneo o del injerto vascular sintético (Fig. 17).

Se realizó un experimento ex vivo en cuatro arterias carótidas de ovejas recién disecadas. Se realizaron cuatro anastomosis con NVC (4,5-4,8mm) y otras cuatro con la sutura convencional, usando prolene 6-0 y aguja de 13mm. Se registró el tiempo de finalización de ambas anastomosis. Se comprobó la permeabilidad de los vasos y se aplicó una tensión mecánica en el sitio de anastomosis.

Comparado con la sutura convencional, el tiempo de intervención con NVC (23s) fue significativamente inferior ($p < 0.05$) comparado con la técnica de sutura convencional (583.2s). La sutura con NVC presenta, de forma significativa ($p < 0.05$), una mayor resistencia a la presión interna comparada con la sutura standard. En la prueba de separación, la fuerza de la anastomosis era de 18.75N, comparados con los 41.25N de la sutura manual. Según estos resultados, las anastomosis manuales presentan, significativamente ($p < 0.05$), una fuerza de resistencia a la tensión mucho mayor.

La evaluación de la fuga de la anastomosis con el NVC ex vivo se realizó mediante el uso de solución salina líquida, que no tiene las mismas características que la sangre, produciéndose fugas con mayor facilidad con la solución salina. Los resultados muestran un sellado perfecto con la solución salina al 0,9% a pesar de una presión muy

importante aplicada a todos los injertos vasculares. Las importantes fuerzas de estiramiento manual aplicadas inmediatamente después del procedimiento no comprometieron las anastomosis con el NVC. Las pruebas de resistencia a la tracción confirmaron la adecuada resistencia mecánica de las anastomosis, pero las anastomosis suturadas manualmente fueron significativamente más resistentes.

Ventajas de la técnica:

- Técnica segura, fiable, mucho más rápida, corta y simple que una sutura convencional.
- Se crea una anastomosis perfecta, con un mejor flujo sanguíneo, y con menor necesidad de transfusión sanguínea.
- Puede utilizarse en vasos de diferentes diámetros, incluso en cirugía mínimamente invasiva y laparoscopia con todo tipo de injertos: biológicos o protésicos.

No *desventajas* reflejadas en este estudio.

Debido a la brevedad de tiempo que requiere realizar la anastomosis con el New Vascular Connector, se espera reducir el tiempo de clampaje de los vasos. Está en línea de estudio crear una anastomosis en forma de letra “T”, con diferentes angulaciones, para poder realizar anastomosis terminales con esta técnica.

Es necesario evaluar la eficacia de la técnica en ensayos experimentales.

2. El **VASCULAR JOIN** permite realizar anastomosis terminales ¹⁰. Consiste en dos anillos de acero inoxidable rodeados a su vez de dos anillos poliméricos que se conectan mediante un sistema de encaje a modo de “broche a presión”, manteniendo la integridad del conducto cortado, y garantizando una conexión vascular capa a capa. El elemento clave que diferencia a este dispositivo es que no hay ningún material extraño dentro de la luz del vaso.

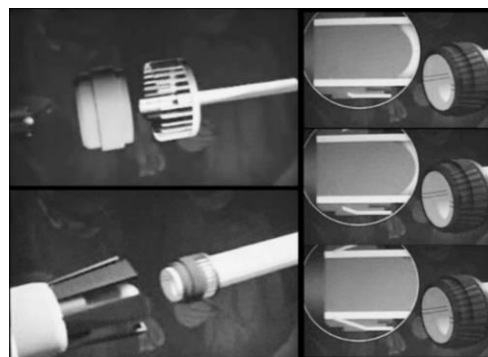
Dado que los anillos y el vaso permanecen fuera del vaso, la conexión entre los anillos y el vaso se realiza mediante clavijas (de 6-18 según el diámetro del vaso) que penetran dentro del vaso sin atravesarlo: de este modo las clavijas no están en contacto con el endotelio. Se disponen de diferentes tamaños, desde los 3mm hasta los 12mm de diámetro (Fig. 18).

Se sometieron a intervención a diez ovejas. Se realizaron un total de 20 anastomosis carótidas. Se aisló la arteria femoral y se insertó un catéter para la monitorización de

la presión arterial sistémica. Se aislaron ambas arterias carótidas. Posteriormente a la heparinización fueron pinzadas, seccionadas y anastomosadas con el Vascular Join. En primer lugar, los anillos metálicos y poliméricos se colocan alrededor del vaso.

A continuación, la punta lisa del soporte se introduce en el lumen del vaso para mantenerlo ampliamente abierto y en contacto con el anillo. Para mover las puntas metálicas dentro de la pared vascular, el soporte tiene un mecanismo que empuja el anillo metálico dentro del anillo polimérico durante 2mm. Durante este movimiento, el anillo polimérico y el vaso permanecen inmóviles mientras las puntas entran dentro de la pared vascular (Fig. 19)

(Fig. 19). Mecanismo que conecta el Vascular Join con el vaso.



En las 20 anastomosis con Vascular Join no se detectó ningún problema. Las anastomosis eran permeables al 100% y no se detectaron colgajos ni disecciones de la íntima, no se produjeron hemorragias ni estenosis ni oclusiones. El Doppler vascular confirmó también la presencia de un flujo laminar en el dispositivo y no se encontraron turbulencias sanguíneas. El estudio histológico mostró que las clavijas metálicas estaban dentro de la pared del vaso y no tocaban la capa íntima. No se detectó material extraño en la luz del vaso. No se detectaron signos de respuesta inflamatoria aguda en ninguna de las muestras.

Ventajas de la técnica:

- Se realiza la anastomosis en menos de 1min sin sangrados o hemorragias.
- Ausencia de material extraño en la luz del lumen, por lo que no intervienen en el flujo sanguíneo, se reduce la hiperplasia de la íntima y la posibilidad de formarse fenómenos trombóticos.
- Puede ser usado con materiales protésicos o biológicos.

Desventajas:

- Los componentes metálicos pueden llegar a modificar las propiedades elásticas del vaso.
- No hay evidencia de efectividad del dispositivo a largo plazo.

Se necesitan más estudios para poder determinar que el Vascular Join puede ser usado en todo tipo de vasos, incluso en los calcificados. También se está evaluando la necesidad de crear un prototipo que permita una anastomosis termino terminal, para lo cual se están creando nuevos ensayos.

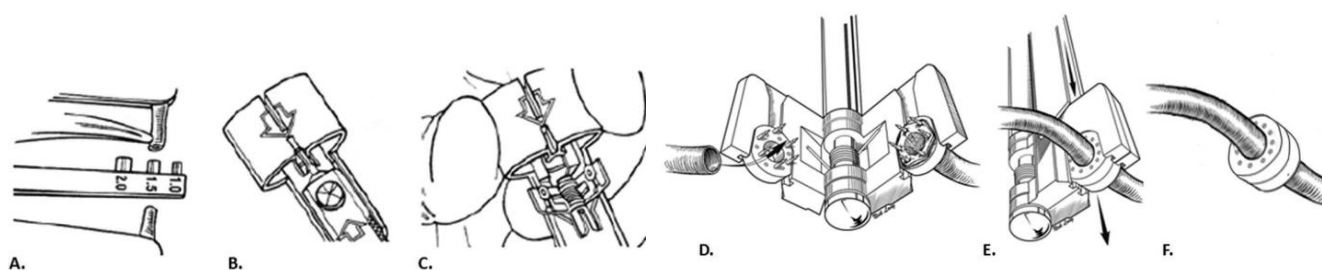
3. El **SISTEMA ACOPLADOR COUPLER®** es el más utilizado en microcirugía en la actualidad y está avalado por múltiples trabajos científicos ¹¹.

Un total de 48 colgajos libres con 48 anastomosis venosas utilizando el sistema Coupler® fueron realizado durante el período en estudio. El vaso venoso dador y receptor son irrigados con solución salina heparinizada y luego ocluidos con clamps vasculares, posicionados uno frente al otro. Sólo se realiza una mínima adventisectomía y regularización de los bordes. Con el medidor de diámetros (instrumento incorporado en la caja quirúrgica para aplicar el dispositivo), se mide el diámetro de los vasos para escoger el Coupler® del tamaño adecuado (si hay disparidad en los tamaños, se escoge el de menor diámetro).

Se coloca el Coupler® primero en el vaso donante (porque es más fácil de movilizar) evirtiendo el borde del mismo y enganchándolo en cada uno de los pins de las argollas del instrumento. Posteriormente, se realiza el mismo procedimiento con el vaso receptor. Ambos vasos son nuevamente irrigados con solución salina heparinizada. El dispositivo se cierra manualmente, aproximando los cabos de ambos vasos hasta su cierre hermético, reforzando la adhesión de ambas argollas mediante compresión externa con una pinza mosquito. Se abre el dispositivo, dejando los vasos con sus respectivas argollas unidas entre sí (Fig. 20).

(Fig. 20). *Secuencia de utilización del Coupler®*

A: Medición de los diámetros vasculares; **B y C:** Según el diámetro medido se selecciona el repuesto de anillos que se coloca en el instrumento acoplador siguiendo las flechas; **D:** Eversión de los bordes de los vasos dadores y receptores en los *pins* del acoplador; **E:** Cierre del acoplador en forma manual hasta que ambos anillos se contacten; **F:** Liberación de los anillos acoplados.



El tiempo promedio para la anastomosis arterial fue de $38,2 \pm 11,5$ min y para la anastomosis venosa fue de $13,5 \pm 7,3$ min. Ocurrieron un total de 6 eventos vasculares en el postoperatorio: 5 trombosis arteriales y 1 insuficiencia venosa. La única insuficiencia venosa ocurrida en la serie fue un colgajo DIEP, que presentó congestión venosa clínica, siendo re-intervenido a las 12 h postoperatorias. Se determinó buena permeabilidad de la vena con el *Coupler*® por lo que se solucionó realizando una segunda vena con sutura de nylon 9-0 a puntos separados, logrando rescatar el colgajo.

Ventajas de la técnica:

- Reproducible, seguro, rápido e igualmente efectivo a otras técnicas.
- La manipulación sobre la vena es mucho más fácil por lo que se reduce el tiempo de operación y los fallos derivados.
- Los cambios hemodinámicos son mínimos y semejantes a los obtenidos con la sutura convencional.
- La fuerza de tensión y la duración de esta es mucho mayor que en una sutura convencional.
- Curva de aprendizaje más corta y el método es técnicamente mucho más fácil.
- Mejora el contacto intima-intima, disminuyendo la exposición del subendotelio a cuerpos extraños y evita el colapso del lumen vascular.

Desventajas:

- Elevado coste económico
- No total disponibilidad en el mercado.
- A nivel arterial, es mucho más difícil evertir la arteria al ser más rígidas

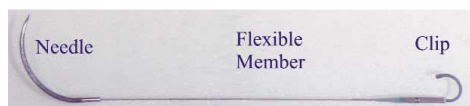
Debido a su baja curva de aprendizaje se ha hecho cada vez más popular en los centros microquirúrgicos.

e. Anastomosis microquirúrgicas con sistemas de grapado

En 1996 se describe el trabajo pionero de un cirujano húngaro, el profesor Hummer Hultl, de Budapest y el ingeniero alemán Víctor Fischer en 1908, quienes crearon un nuevo dispositivo de sutura mecánica automática que consistía en una grapadora con agujas finas de acero, las cuales tenían una disposición de doble hilera de grapas de acero en forma de B. Con ella realizaron la primera sutura mecánica gastroduodenal ¹².

1. El **U-CLIP** de nitinol, ha sido diseñado para facilitar la anastomosis microvascular a nivel coronario ^{13, 14}. Consiste en un clip de cierre automático fabricado con nitinol con memoria de forma que se une a una aguja de sutura convencional a través de un miembro de nitinol flexible similar a una sutura. El clip en U se coloca a través de una aguja convencional. Al apretar el mecanismo de liberación, que está inmediatamente adyacente al clip, con el portaagujas se separa el miembro y se libera el clip permitiendo que retroceda inmediatamente a su configuración de bucle cerrado. El alambre de nitinol, una vez desacoplado del miembro flexible, funciona para aproximar y mantener el tejido unido de forma similar a una sutura interrumpida.

Las propiedades super elásticas del alambre de nitinol se utilizan para permitir la entrega y el posicionamiento precisos del clip y producir una aproximación tisular fuerte pero atraumática (Fig. 21).



(Fig. 21) Imagen fotográfica del U-clip.

Se seleccionaron terneros para la realización de este ensayo experimental. Tras ser sometidos al proceso de anestesia general se les realizó una incisión de toracotomía en el quinto espacio intercostal. Se seleccionó el vaso objetivo, en este caso, la arteria torácica interna derecha, y se midió su diámetro interno. Se clampó la arteria coronaria. Las anastomosis se realizaron con dispositivos U-Clip de nitinol. Los clips se situaron agarrando la aguja de sutura curvada con agujas estándar y perforando secuencialmente la pared de cada vaso en el lugar deseado. Una vez aproximado el tejido, se tiró de la aguja y del miembro flexible a través de las paredes de los vasos hasta que se asentaron dentro del clip abierto en la posición deseada.

Se utilizó un portaagujas para comprimir un segmento de 1 mm de longitud del dispositivo al miembro flexible y al clip de nitinol, produciendo así el desprendimiento simultáneo de la aguja/miembro flexible del clip y el cierre automático en forma de U o de bucle cerrado. Una vez completadas todas las anastomosis la arteria coronaria injertada se ocluyó proximalmente a la anastomosis con una ligadura. Se observó que todos los clips proporcionaban una fuerza de cierre consistente y fiable para crear y mantener la aproximación tisular deseada para una anastomosis de alta calidad.

Todos los animales sobrevivieron a la intervención en buen estado de salud. Las anastomosis fueron totalmente permeables. Se observó un moderado estrechamiento en dos de las anastomosis, pero no guardaban ningún tipo de relación con el uso del U-Clip. Histológicamente, el dispositivo U-Clip de nitinol mostraba un resurgimiento neointimal suave en toda la circunferencia de la línea anastomótica interna. Las células endoteliales que cubrían los clips estaban orientadas en la dirección del flujo sanguíneo (Fig. 22).

Ventajas de la técnica:

- Es especialmente útil para los métodos endoscópicos y métodos robóticos de CABG.
- Rapidez de realización de suturas interrumpidas aplicado a micro anastomosis coronarias.
- Se reducen las complicaciones derivadas de la sutura continua: reducción de la capacidad de expansión en los vasos en crecimiento, reducción de la flexibilidad, estrechamiento anastomótico e irregularidad.

No hay *desventajas* apreciables en este estudio.

Los resultados sobre la alta efectividad de la técnica del U-Clip son altamente prometedores para la aplicación en cirugía vascular.

-Anastomosis macroquirúrgicas-

1. Anastomosis mecánicas

Desde su creación, la grapadora quirúrgica ha proporcionado un medio para crear anastomosis viscerales y vasculares seguras y eficaces.

El concepto de la grapadora quirúrgica fue desarrollado por primera vez por Humér Hultl, un profesor y cirujano húngaro, y diseñado por Victor Fischer, un empresario húngaro y diseñador de instrumentos quirúrgicos. El diseño fue muy aclamado; sin embargo, era voluminoso, engorroso y caro de fabricar. En 1920, Aladár Petz, alumno de Hultl, incorporó dos innovaciones a la grapadora de Fischer-Hultl para crear un modelo más ligero, que recibió el nombre de pinza Petz.

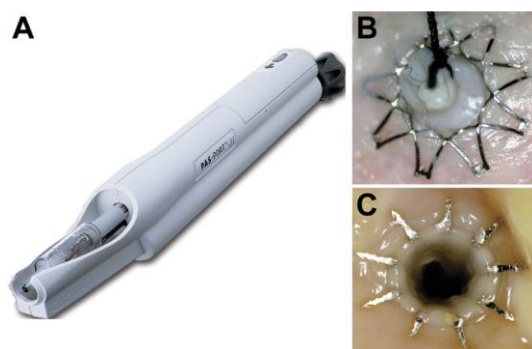
En 1934, Friedrich de Ulm diseñó la que sería la predecesora de la grapadora lineal actual. Gracias a la colaboración de Felicien Steichen, Mark Ravitch y Leon Hirsch, las grapadoras quirúrgicas se modificaron aún más para incorporar cartuchos

intercambiables con diversos diseños. Con la llegada de la cirugía mínimamente invasiva se inició la producción de grapadoras quirúrgicas laparoscópicas⁵.

i. Sistemas de grapado o multi sutura

1. El sistema **PAS-PORT** permite la conexión rápida de un injerto de vena safena con la aorta mediante un implante de acero inoxidable sin necesidad de pinzar la aorta ^{14, 15}. El dispositivo sigue el concepto "todo en uno". Realiza todos los pasos necesarios para la anastomosis mediante el simple giro de un mando de accionamiento. Un total de 100 pacientes, 82 varones y 18 mujeres se sometieron a un bypass coronario con al menos una anastomosis PAS-Port.

En el PAS-Port la exposición de cuerpo extraño a la sangre se minimiza y se limita a la interfaz entre el borde del injerto y el endotelio aórtico, donde las puntas interiores del implante penetran en la vena y tocan la capa interior de la aorta. En segundo lugar, la manipulación de la vena se limita a una simple eversión y a una fijación semiautomática al implante. Por último, la reducida altura del implante permite que el injerto adopte una variedad de ángulos de despegue y minimiza la probabilidad de que el injerto se retuerza (Fig. 23).



(Fig. 23) (A) Dispositivo PAS-Port (B) Imagen externa del implante (C) Imagen interna del implante.

La hemostasia en la anastomosis fue generalmente instantánea a pesar de la heparinización completa. Las suturas

hemostáticas adicionales no comprometieron la permeabilidad a los 6 meses. No hubo evidencia de estenosis del injerto en el lugar del implante.

Ventajas de la técnica:

- El tiempo de intervención se reduce.

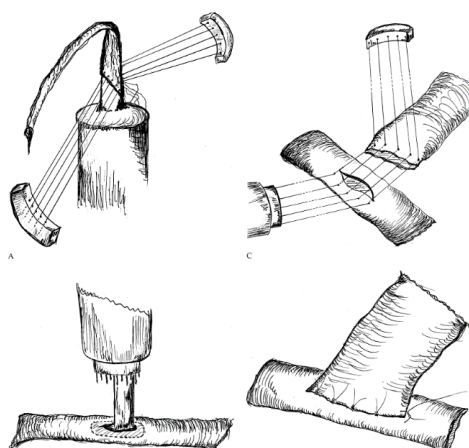
- Técnica segura y fiable, sobre todo en pacientes con una aorta ascendente hostil no modificable para la construcción de una anastomosis por vía convencional (sutura a mano).

No aparecen *desventajas* reflejadas en este estudio.

La efectividad a largo plazo de Pas-Port está aún pendiente de evaluación.

2. **THE HEARTFLO™** se considera como una de las herramientas quirúrgicas más prometedoras para facilitar las anastomosis de sutura interrumpida termino terminal y latero lateral para CABG (Cirugía de bypass coronario) ^{14,17}. Se trata de un dispositivo anastomótico multi sutura que se activa hidráulicamente, con dos brazos, que contienen agujas de sutura de 7-0 polipropileno. Se realiza la arteriotomía con unas tijeras que hacen una incisión de 4mm (Heartflo™) (Fig. 24).

El dispositivo primero entrega simultáneamente diez suturas de una rama a través de la pared del conducto del injerto y luego a través de la pared de la arteria coronaria a una distancia adecuada de los bordes de 1-2mm. A continuación, los extremos de las diez suturas se ordenan y tiran para aproximar el injerto a la arteria coronaria. El cirujano anuda manualmente las diez suturas para completar la anastomosis, de forma similar a una anastomosis interrumpida cosida a mano (Fig. 25).



(Fig. 25) *Procedimiento anastomótico.* Se inserta el injerto venoso en la aguja guía. Se inserta el dispositivo en la arteria coronaria. Se aproxima el injerto venoso y la arteria coronaria.

En un ensayo de viabilidad con animales, el tiempo medio necesario para la duración de la anastomosis fue de 22 minutos y 6 de las 8 anastomosis fueron hemostáticas, mientras que dos requirieron una sutura adicional. El éxito de este dispositivo está aún por establecer. Su principal limitación es conseguir una “captura” de tejido adecuada, algo que puede verse comprometido en función del tamaño de la incisión, si es muy grande, o si existen irregularidades

en la pared del vaso como depósitos y calcificaciones en la anastomosis. No se gana tiempo con este mecanismo, y la manipulación de las suturas es engorrosa.

Ventajas de la técnica: Menor curva de aprendizaje y menor tiempo de sutura.

Desventajas: Limitada acción a nivel endoscópico o en múltiples incisiones debido a las características del dispositivo.

Se considera una técnica muy prometedora en la anastomosis automática coronaria. Sin embargo, aún hay que realizar estudios en relación con el proceso de anudado.

2. *Anastomosis mediante aguja de punción*

El pinzamiento transversal y el pinzamiento tangencial de la aorta ascendente se utilizan generalmente durante las operaciones de bypass coronario con el uso del bypass cardiopulmonar (CEC). Estas manipulaciones de la aorta ascendente pueden provocar un traumatismo de la pared aórtica, como una disección aguda y una embolización local de partículas, y provocar una isquemia cerebral transitoria o un accidente cerebrovascular. Para evitar estos problemas durante las operaciones con CEC, el cirujano puede realizar la anastomosis proximal y distal del injerto de vena safena durante un único episodio de pinzamiento aórtico. A continuación, se proponen tres técnicas que utilizan el sistema de pinzado:

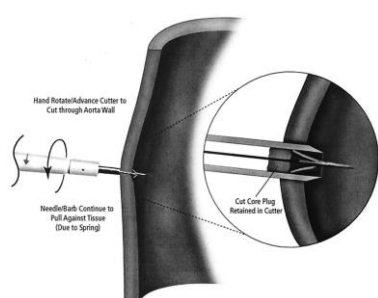
1. El Grupo de Tecnología Anastomótica de St Jude Medical (Minneapolis, Minn) ha desarrollado un nuevo dispositivo diseñado para crear anastomosis de injertos venosos proximales a la aorta en el injerto de bypass coronario. El **conector proximal aórtico Symmetry Bypass System de St Jude Medical** ^{14, 18} es nuevo sistema de anastomosis que consta de un conector de níquel-titanio (nitinol), un cortador aórtico (atraumático con una cuchilla giratoria para crear un orificio redondo de tamaño preciso sin necesidad de una pinza de oclusión parcial aórtica) y un dispositivo de entrega (Fig. 26).

Se realizaron 65 anastomosis de injertos venosos proximales con el sistema de conexión aórtica de St Jude Medical. Tras la extracción de la vena safena, se evaluó el diámetro externo del injerto para ajustarlo al tamaño más adecuado de los sistemas de conexión. Dado que primero había que realizar la anastomosis proximal, la longitud de la vena debía ser lo suficientemente larga como para alcanzar el lugar de anastomosis adecuado.

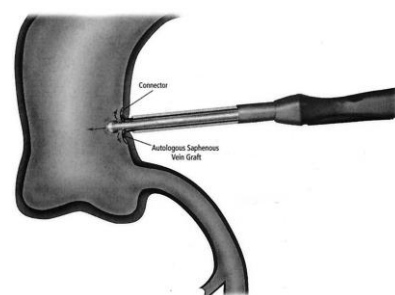
A continuación, se colocó la vena en una vaina de transferencia venosa para guiarla sobre el tubo de liberación hasta que entrara en contacto con el conector aórtico. Luego, la vena se distribuyó por igual en toda la circunferencia del conector aórtico. Con una pinza de punta fina, se llevó la vena por encima de los ganchos del conector y luego se perforó suavemente a través de siete ganchos del conector con el punzón de vena.

Tras verificar que cada gancho había atravesado todas las capas de la vena, se colocó el mango. Posteriormente, se deslizó la vaina de suministro para cubrir el injerto venoso y se colocó el cono nasal para cubrir los ganchos del conector. El conector aórtico estaba entonces listo para su despliegue y debía mantenerse húmedo para evitar que la vena se deshidratara.

El lugar de la aorta se limpió de la forma habitual. Con la aguja de punción se introdujo la fresa en un ángulo de 90°. A continuación, se soltó la aguja para que las púas hicieran retroceder la pared aórtica contra el cortador circular. Al girar la hoja del cortador circular, se realizó una aortotomía perfectamente redonda. A continuación, se retiró el cortador y se cubrió con un dedo el neostium para la posterior anastomosis del conector para controlar la hemorragia (Fig. 27).



(Fig. 27 y 28) Cortador aórtico con aguja de punción con púas y hoja de corte redonda y giratoria que crea un agujero a través de la aorta. Inserción del conector en el agujero aórtico.



Se introducen el sistema de conectores aórticos en el interior de la pared aórtica. Con el mango en un ángulo de 90°, se desplegaron los puntales internos del conector aórtico en el interior de la aorta pulsando el botón de la parte superior del mango. Al tirar del mango hacia atrás, perpendicularmente a la anastomosis, se desplegaron los puntales externos del conector aórtico y se retiraron todos los componentes del interior del injerto venoso. La anastomosis se completó en pocos segundos (Fig. 28).

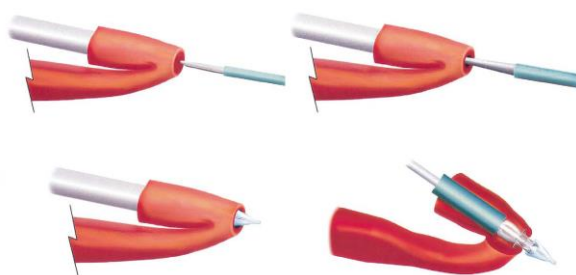
Todas las anastomosis de conectores se realizaron sin necesidad de pinza para clampaje de la aorta. Los tiempos para completar estas anastomosis mecánicas fueron inferiores a 10seg en todos los casos. La hemostasia fue instantánea en todos los casos, con sólo 3 fallos del sistema. Todos los injertos venosos eran patentes al final del procedimiento, y no hubo complicaciones intraoperatorias ni postoperatorias relacionadas con el dispositivo.

Ventajas de la técnica: Al reducir el tiempo de anastomosis, disminuye el tiempo de manipulación a la aorta y, por lo tanto, se reduce el riesgo de embolismo.

Desventajas: Alta incidencia de oclusiones en el sitio de la anastomosis.

Debido a las desventajas del producto se ha retiró del mercado.

2. El **conector distal**, fabricado de acero inoxidable y, diseñado por el grupo de St Jude Medical genera una anastomosis entre el injerto venoso y la arteria coronaria. El conector crea una anastomosis redonda, de lado a lado, cuyo diámetro coincide con el diámetro interno de la arteria coronaria objetivo ^{14, 19}. El conector está montado en un globo que, al ser presurizado, expande el dispositivo, creando así la anastomosis. Los ganchos coronarios se cubren con una nariz para proteger a la arteria de lesiones durante el suministro. El sistema de conectores se carga a través del extremo distal del injerto venoso con la ayuda de un microscopio. Los conectores sólo tienen que introducirse a través del orificio preformado en la vena. No es necesario perforar manualmente los ganchos a través de la pared de la vena, ya que el ángulo y la forma de los pequeños ganchos están adaptados para la auto fijación (Fig. 29).



(Fig. 29) *Proceso de carga.*

Se realiza un pequeño orificio con una cuchilla en la vena. El orificio se amplía con un dilatador. Se transfiere el conector montado, pasando el extremo distal de la vena por el orificio preparado.

El tiempo necesario para cargar el injerto venoso en el sistema de entrega fue significativamente más corto y fue inferior a 2 minutos en la mayoría de los pacientes. La carga se realizó siempre en el campo quirúrgico con la ayuda de un microscopio quirúrgico. El tiempo para crear la anastomosis mecánica en la zona coronaria fue inferior a 2min. En todos los casos se obtuvo una hemostasia instantánea excelente, y todas las anastomosis mecánicas eran permeables al final del procedimiento, según la evaluación del flujo intraoperatorio con el método del tiempo de tránsito.

Ventajas de la técnica:

- Reproducible, rápida y de alta calidad.

- Tiempo requerido para anastomosis corto.
- Poca curva de aprendizaje.
- Se puede utilizar tanto en ámbito de bypass en arteria coronaria como en otros vasos periféricos.

No hay *desventajas* apreciables en el estudio.

Todavía es un dispositivo en fase de investigación que no está disponible en el mercado.

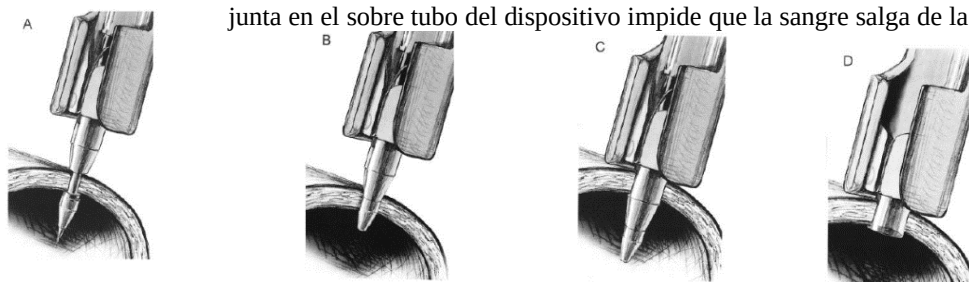
3. **THE CORLINK DEVICE**, que permite crear una anastomosis entre la aorta ascendente y un injerto de vena safena ^{14,20}.

El AAD es un dispositivo extraluminal autoexpandible de nitinol que consta de un cuerpo cilíndrico central formado por arcos elípticos interconectados y dos conjuntos de cinco clavijas que irradian desde cada extremo. El injerto se extrae a través del insertador mediante un lazo o una sutura 4-0 que se pasa a través de la adventicia. El injerto venoso tiene que ser revertido sobre el extremo distal del sistema

Los cinco pines de la íntima se despliegan desde el cartucho del sistema de entrega, haciendo que sobresalgan y penetren en el segmento evertido de la vena. La penetración completa de las agujas a través del tejido de la vena es una condición previa obligatoria para el éxito del procedimiento. Se inserta un instrumento de punción especial en el mango y se crea un orificio redondo en la aorta no pinzada (Fig. 30). El insertador, junto con el sobre tubo, se abre y libera el injerto venoso anastomosado (Fig. 31).

(Fig. 30) *Técnica de punción.*

- (A) Tras la punción, la pared aórtica queda alojada en el espacio subcutáneo del cono del punzón. (B) Se cierra el punzón y se extrae la parte de la pared aórtica designada. (C) El cono del punzón se introduce aún más en la pared aórtica girando el dispositivo 360° en ambas direcciones hasta que los hombros del mango presionen contra la adventicia aórtica y el sobre tubo del dispositivo quede alojado en el orificio de la pared aórtica. (D) El dispositivo de punción se retira del mango. Una junta en el sobre tubo del dispositivo impide que la sangre salga de la aorta.



En el ensayo de viabilidad inicial se seleccionaron 17 pacientes para recibir una anastomosis proximal con este dispositivo. En un paciente el dispositivo no se desplegó

y en 2 pacientes fue necesaria una sutura adicional para lograr una hemostasia perfecta. En esta serie no hubo mortalidad ni morbilidad relacionada con el dispositivo y en 6 pacientes la angiografía de control mostró una anastomosis permeable tras un seguimiento medio de 48 días con 10 pacientes de control. La tomografía computarizada multicorte mostró que todos los injertos eran permeables a los 6 meses.

La endoprótesis está completamente cubierta por la vena safena revertida, por lo tanto, no se espera ninguna hiperplasia de la íntima. Además, las clavijas interiores del dispositivo AAD están fijadas a la íntima de la pared aórtica interior y no dentro de la anastomosis proximal del injerto. Actualmente existen dos tamaños diferentes del dispositivo AAD, el pequeño y el grande. La presión que se aplicó en la punción fue de 60mmHg para reducir la tensión en pared de la aorta ascendente. Si se aplica una presión mayor, se ensancha el sitio de apertura por punción y aumenta el riesgo de ruptura.

Ventajas de la técnica:

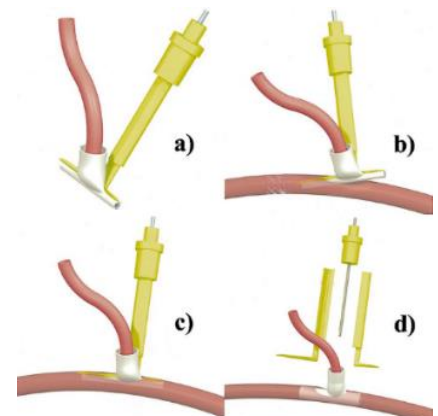
- Técnica segura, efectiva y rápida de realizar.
- Curva de aprendizaje corta.
- El dispositivo es fácil de manipular.
- Se puede usar en pequeñas incisiones torácicas.

Desventajas: Si se produce el pinzamiento con una presión alta se puede inducir a la formación de agujeros asimétricos, formándose sangrados.

Actualmente hay dos tamaños de este mismo dispositivo, y está en curso el desarrollo de un prototipo intermedio.

3. *Anastomosis mediante prótesis*

1. **EL SOLEM GRAFT CONNECTOR** se trata de un stent intracoronario de níquel-titanio recubierto de politetrafluoroetileno ^{14, 21}. Asimétricamente, el stent tiene una abertura en la circunferencia. La rama lateral, denominada torre, es el lugar donde se fijará el conducto. El manguito del Graft connector puede colocarse dentro del vaso coronario objetivo. La aleación metálica con memoria del manguito ejerce una fuerza radial que tiende a abrir el manguito. Esta fuerza se utiliza para fijar el conector dentro de la arteria coronaria una vez colocado (Fig. 32). Procedimiento de inserción



Se realizó un estudio de viabilidad con 26 ovejas, conectando la arteria torácica interna con la rama descendente izquierda de la arteria coronaria. Había dos grupos de animales, un grupo en el que se utilizó el Graft Connector y un grupo de control al que se le realizaron las anastomosis con la técnica de sutura tradicional.

La extrema sensibilidad del miocardio de las ovejas a la isquemia fue una causa recurrente de muerte y un final abrupto de los experimentos. El tiempo de isquemia antes de la aparición de la fibrilación ventricular (FV) era muy impredecible y se produjo tan pronto como después de 1.5 minutos en un caso. El tiempo más corto para completar la anastomosis en el grupo Graft Connector fue de 1.5 minutos y de 4.5 minutos en el grupo de control, respectivamente. El tiempo más largo para completar la anastomosis y la supervivencia en el grupo Graft Connector fue de 3.5 minutos y de 11 minutos en el grupo de control. En tres animales medimos el flujo nativo dando un flujo sorprendentemente bajo, a pesar de que los animales estaban bajo anestesia general.

Ventajas de la técnica:

- Reproducible con baja curva de aprendizaje.
- El tiempo de sutura es mucho más corto.
- Se puede utilizar en anastomosis endoscópicas.

Desventajas: Poca sensibilidad para cubrir las ramas laterales y, por supuesto, la introducción de material extraño.

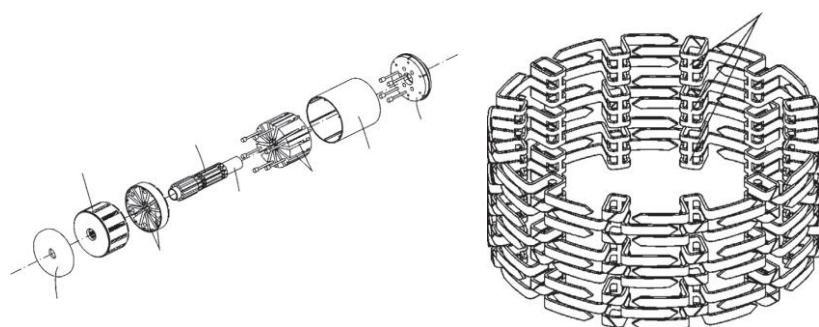
Los resultados a largo plazo juzgarán la efectividad de la técnica.

2. Se ha diseñado un nuevo modelo mecánico que permite un tipo de **anastomosis termino-terminal entre un vaso y una prótesis**, ya sea mediante cirugía abierta o laparoscopia, con gran seguridad y rapidez¹². Este consta de (Fig. 33): Una empuñadura en su extremo proximal, un dispositivo de accionamiento, una barra de eje curvo y un cabezal de grapado en el extremo distal que incorpora un cartucho de grapas quirúrgicas agrupadas formando anillos (Fig. 34 y 35).



(Fig. 33). Muestra una vista lateral del instrumento de grapado quirúrgico vascular.

(Fig. 34). Cabezal de grapado.
(Fig. 35) conjunto de 3 anillos de grapas.



Se desconocen *ventajas o desventajas* de la técnica debido a que es un prototipo de anastomosis, aún pendiente de llevarse a cabo a nivel experimental.

IV. DISCUSIÓN

Desde la invención de la sutura convencional para la unión de dos vasos poco ha cambiado la técnica, sigue siendo traumática a nivel tisular y ciertamente se han reducido el número de complicaciones post quirúrgicas, pero no precisamente por modificaciones en la técnica. Hoy en día hay un resurgir de nuevos dispositivos que permiten realizar una anastomosis de forma automática, eliminando así el problema de la varianza intra-cirujanos y la gran curva de aprendizaje que requiere la sutura clásica.

Si atendemos a una serie de características, los nuevos dispositivos de sutura tienen que contar con una técnica de anastomosis rápida, segura, fácil de aplicar y reproducible; deben tener una baja curva de aprendizaje que permita a cualquier cirujano realizarlas; no deben producir reacciones de toxicidad ni necrosis ni otras complicaciones derivadas; debería ser de un coste económico cuanto menos razonable, de forma que sea asequible su utilización; y lo más importante, debe cumplir con la función para la que ha sido diseñada.

Atendiendo a estas cualidades y una vez expuestos diferentes métodos de realización de una anastomosis, hay que hacer una evaluación crítica de los mismos.

Si comparásemos los adhesivos tisulares *Cuff Glue* y *BioWeld*, encontraríamos que ambos son bastante similares, la técnica es rápida de realizar, reproducible; requieren poco tiempo de manipulación de los vasos; la curva de aprendizaje es bastante baja; se ha conseguido reducir el riesgo de complicaciones como las fugas anastomóticas. El fundamento de ambas técnicas es el pegamento de cianoacrilato, fuerte y resistente, pero con ciertas reacciones de toxicidad que conducen a la necrosis tisular. Por otro lado, difieren en que el dispositivo de la técnica *BioWeld* consta de un tubo implantable y biodegradable que facilita la aplicación del adhesivo, evitando así una aplicación del adhesivo en zonas de tejido que no corresponde. Con los adhesivos aún queda mucho por investigar, se deben de utilizar nuevas variantes del cianoacrilato que permitan obtener la anastomosis ideal, sin riesgo de fuga o de necrosis.

A nivel de láser, ha quedado claro que la técnica *LAVA* ha quedado en desuso debido a la formación de aneurismas cerebrales en la fase de experimentación en animales. Por otra parte, la técnica *ELANA* se plantea como una técnica rápida, fácil, reproducible, en la que la curva de aprendizaje es baja; con respecto a su predecesora no se forman dilataciones en el sitio de la anastomosis ni otro tipo de complicaciones; y cuenta con la gran ventaja de que no queda un cuerpo extraño dentro del organismo, por lo que su utilización es sumamente prometedora. Por otro lado, su coste económico puede ser más elevado en comparación con otras técnicas.

En el ámbito de la microcirugía, y aún en líneas experimentales en animales, se han desarrollado *dispositivos magnéticos (MCA)*, *anillos emparejados con clavijas*, sistemas de encaje como el *New Vascular Connector*, el *Vascular Join* o el *sistema Coupler*, con el fin de reducir el trauma tisular y las complicaciones derivadas. Se ha buscado una técnica que fuese económica, sencilla, rápida de realizar, reproducible, segura y eficaz, y todas ellas lo han conseguido. No necesitan ningún tipo de sutura concomitante, y permiten una unión íntima-íntima, quedando así una anastomosis mucho más natural. El único inconveniente de estas técnicas, a excepción del *Vascular Join*, es que queda un cuerpo extraño en el interior del lumen, pero en todos estos casos se ve que se produce una mínima reacción inflamatoria y una consecuente reendotelización de la íntima, sin ninguna complicación derivada. Por todo ello, estas técnicas son ideales, y aunque aún no se hayan probado en humanos, su uso resulta muy alentador y abre las puertas a un nuevo tipo de cirugía mucho menos traumático, tanto para el tejido, como para el paciente, cómo para el propio cirujano que aplicará la técnica. El que parece tener resultados más prometedores es el *sistema Coupler*, que es avalado por la comunidad científica y por lo tanto, es el más utilizado en la microcirugía actual.

Dentro de los sistemas de grapado, el *U-Clip* a nivel microvascular; el *Endo Stapler*, el *HeartFlo* y el *Pas-Port* a nivel macrovascular, presentan poca ventaja con respecto a la sutura convencional. Generan trauma tisular, queda un cuerpo extraño dentro del organismo; y, la única ventaja con respecto a la sutura clásica es que se puede reducir el tiempo de intervención, al ser mucho más rápidos. Son reproducibles, y aunque generen daño tisular son seguros y eficaces y cumplen perfectamente su función. Se pueden usar en cirugías de Bypass coronario y en otros métodos endoscópicos. El coste económico puede ser elevado, al ser de un solo uso. A destacar es el nuevo diseño de un sistema de multigrapado que se encuentra aún en su fase de estudio y a la espera de poder aplicarlo en algún diseño experimental sobre animales.

Los *conectores* creados por el *St Jude Medical* se fundamentan en la punción de la aorta. Se presentaban como sumamente prometedores, sin embargo, el conector proximal que se diseñó y se usó en experimentos animales resultó muy difícil de manejar y la efectividad a largo plazo no era posible evaluarla. A pesar de la efectividad a corto plazo, que requería menor intervención y manipulación en el vaso se detuvo el proceso de investigación. Por otra parte, el sistema distal del *St Jude Medical* y el sistema *Corlink* si disponen de buenos resultados, son técnicas rápidas, fáciles de realizar, reproducibles y no requieren una curva de aprendizaje elevada.

En cuanto prótesis anastomóticas, el *Graft Connector* se presenta como una técnica rápida, reproducible y aplicable en prácticamente cualquier vaso de gran calibre, no es así en los vasos de ramas colaterales, donde se ve que no resulta efectivo. A su vez tiene el contra de que se introduciría y quedaría de forma permanente un cuerpo extraño en el organismo.

Así pues, se podría decir que los dispositivos que tienen un futuro más prometedor son los anillos magnéticos, anillos con clavijas o los dispositivos tipo encaje. Todos ellos son seguros, fiables, no producen complicaciones en el sitio de la anastomosis, rápidos y reproducibles. Entre ellos, el único destaca el *Vascular Join*, que además de tener las mismas características que los demás, no queda ningún cuerpo extraño dentro del organismo. Sin embargo, los demás dispositivos, parecen no mostrar ninguna complicación y cumplen con su función perfectamente. Aún queda saber si son efectivos a largo plazo, y lo más importante, si serán efectivos en el cuerpo humano y si desplazarán a la técnica de sutura convencional.

V. CONCLUSIONES

A pesar de que se han propuesto cientos de variantes de anastomosis automáticas en los últimos años, la sutura convencional sigue posicionándose como el gold standard de la técnica

quirúrgica, debido a que su efectividad a largo plazo no es comparable con ninguna otra. Sin embargo, toda sutura necesita de un período de aprendizaje previo, hay una gran variabilidad de una sutura de otra en función del cirujano que la realice, crea daño en la pared del vaso y puede generar complicaciones tales como inflamación o necrosis tisular. Es por ello, que se ha buscado continuamente un nuevo sistema de anastomosis automática que supla estas carencias.

Muchos de estos dispositivos de anastomosis son variantes de los sistemas de grapado o de multi sutura ya inventados e implementados previamente, pero que cuentan con la ventaja de que son mucho más rápidos, más seguros, su curva de aprendizaje es mucho menor, y muchos de ellos han conseguido reducir el trauma generado en el tejido. Sin embargo, en la gran mayoría de ellos la efectividad a largo plazo aún no está del todo clara.

Por otro lado, nos encontramos con los adhesivos, que bien pueden ser biológicos (no se producen reacciones de toxicidad, pero son menos resistentes que los sintéticos) o sintéticos, que gracias a la facilidad de aplicación reducen el tiempo de intervención, y que gracias a su bajo coste y alta reproducibilidad se postulaban como una técnica bastante prometedora. Sin embargo, se han descrito reacciones de toxicidad en los adhesivos sintéticos derivados de cianoacrilato, algo que está todavía en líneas de investigación.

El láser se planteó como un nuevo sistema rápido y eficaz, sin embargo, la curva de aprendizaje es alta, al igual que el coste, y hay casos en los que se describe la formación de aneurismas en la zona de la anastomosis.

Los dispositivos magnéticos, mecanismos tipo encaje, o los anillos con clavijas son los que a día de hoy tienen más posibilidades de desplazar a la sutura convencional. Su técnica es rápida, fiable, segura, reproducible, prácticamente atraumática, no hay datos de reacciones de inflamación o necrosis tisular y son de un coste económico muy rentable. La única desventaja que presentan, cómo prácticamente todos los dispositivos, y al igual que la sutura, es que queda un cuerpo extraño dentro del organismo, pero, en el caso de estos dispositivos no hay evidencia de que esto influya negativamente en el resultado de la técnica.

Así pues, podremos decir que hay numerosos dispositivos con un futuro prometedor, pero que será a través de la investigación y del desarrollo de estos sistemas, así como su implementación en humanos, y su posterior evaluación a largo plazo los que dictarán el devenir de los mismos y de si la sutura convencional quedará relegada a un segundo plano.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Galvão, F. H. F., Bacchella, T., & Machado, M. C. (2007). Cuff-glue sutureless microanastomosis. *Microsurgery*, 27(4), 271–276. <https://doi.org/10.1002/micr.20354>
2. Schwaiger, N., Wu, J., Wright, B., Morrissey, L., Harris, M., & Rohanizadeh, R. (2010). BioWeld® Tube and surgical glue for experimental sutureless venous microanastomosis. *British Journal of Surgery*, 97(12), 1825–1830. <https://doi.org/10.1002/bjs.7257>
3. R. Quigley, M., E. Bailes, J., C. Kwaan, H., J. Cerullo, L., & J. Thomas Brown. (1986). Aneurysm Formation after Low Power Carbon Dioxide Laser-assisted Vascular Anastomosis. *Congress of Neurological Surgeons*, 18(3), 292–298.
4. Stecher, D., van Slochteren, F. J., Hoefer, I. E., Pasterkamp, G., Tulleken, C. A. F., van Herwerden, L. A., & Buijsrogge, M. P. (2014). The nonocclusive laser-assisted coronary anastomotic connector in an off-pump porcine bypass model. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 147(4). <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2013.07.018>
5. Gaidry AD, Tremblay L, Nakayama D, Ignacio RC Jr. The History of Surgical Staplers: A Combination of Hungarian, Russian, and American Innovation. *Am Surg*. 2019 Jun 1;85(6):563-566. PMID: 31267894.
6. Liu, S. Q., Lei, P., Cao, Z. P., Lv, Y., Li, J. H., & Cui, X. H. (2012). Nonsuture anastomosis of arteries and veins using the magnetic pinned-ring device: A histologic and scanning electron microscopic study. *Annals of Vascular Surgery*, 26(7), 985–995. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2012.04.003>
7. Lu, Q., Liu, K., Zhang, W., Li, T., Shi, A. H., Ding, H. F., Yan, X. P., Zhang, X. F., Wu, R. Q., Lv, Y., & Wang, S. P. (2020). End-to-end vascular anastomosis using a novel magnetic compression device in rabbits: a preliminary study. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62936-6>
8. Heitmann, C., Khan, F. N., Erdmann, D., Olbrich, K. C., Adam Sharkawy, A., & Klitzman, B. (2007). Vein graft anastomoses with magnets. *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*, 60(12), 1296–1301. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2006.10.017>

9. Vokri, L., Krasniqi, X., Qavdarbasha, A., Hyseni, N., Cinquin, P., Porcu, P., & Sessa, C. (2014). The vascular connector, design of a new device for sutureless vascular anastomosis. *Annals of Surgical Innovation and Research*, 8(8). <https://doi.org/10.1186/s13022-014-0008-4>
10. Ferrari, E., Tozzi, P., & von Segesser, L. K. (2007). The Vascular Join: A new sutureless anastomotic device to perform end-to-end anastomosis. Preliminary results in an animal model. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, 6(1), 5–8. <https://doi.org/10.1510/icvts.2006.137943>
11. Andrades, P. C., Elsa Calderón, M. G., Danilla, S. E., Erazo, C. C., Benítez, S. S., & Sepúlveda, S. P. (2014). MICROANASTOMOSIS VENOSA MECÁNICA COUPLER ®. UN IMPORTANTE APOORTE TECNOLÓGICO A LA MICROCIURUGÍA VASCULAR* ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN. In *Rev Chil Cir* (Vol. 66, Issue 1).
12. Segura Iglesias, R. J. (2015). Vascular surgery stapling tool for making a mechanical suture between a blood vessel and a synthetic implant. *Angiologia*, 67(4), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2014.12.002>
13. Hill, A. C., Maroney, T. P., & Virmani, R. (2001). Facilitated coronary anastomosis using a nitinol U-Clip device: Bovine model. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 121(5), 859–870. <https://doi.org/10.1067/mtc.2001.112936>
14. Carrel, T. P., Eckstein, F. S., Englberger, L., Berdat, P. A., & Schmidli, J. (2004). Clinical Experience with Devices for Facilitated Anastomoses in Coronary Artery Bypass Surgery. In *Annals of Thoracic Surgery* (Vol. 77, Issue 3, pp. 1110–1120). Elsevier USA. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2003.08.017>
15. Demertzis, S., Trunfio, R., Faletra, F., Wytenbach, R., & Siclari, F. (2010). Sutureless proximal anastomosis using the PAS-port system: Six-month patency and five-year follow-up in “all-comers.” *Annals of Thoracic Surgery*, 90(5), 1507–1513. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.06.101>
16. Martens, S., Dietrich, M., Doss, M., Moritz, A., & Wimmer-Greinecker, G. (2002). *The Heartflo Device for Distal Coronary Anastomoses: Clinical Experiences in 60 Patients*.
17. Eckstein, F. S., Bonilla, L. F., Englberger, L., Immer, F. F., Berg, T. A., Schmidli, J., & Carrel, T. P. (2002). The St Jude Medical symmetry aortic connector system for proximal vein graft anastomoses in coronary artery bypass grafting. *Journal of*

- Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 123(4), 777–782.
<https://doi.org/10.1067/mtc.2002.119695>
18. Eckstein, F. S., Bonilla, L. F., Schaff, H., Englberger, L., Windecker, S., Hindrichs, P., & Carrel, T. P. (2002). *Two Generations of the St. Jude Medical ATG Coronary Connector Systems For Coronary Artery Anastomoses in Coronary Artery Bypass Grafting*.
19. Riess, F.-C., Helmold, H., Hilfer, I., Bader, R., Stripling, J., Loewer, C., Wesner, F., & Bleese, N. (2002). Clinical Experience with the CorLink Device for Proximal Anastomosis of the Saphenous Vein to the Aorta: A Clinical, Prospective, and Randomized study. *Forum Multimedia Publishing, LLC*, 5(4), 345–352.
www.hsforum.com/vol5/issue4/2002-71002.html
20. Solem, J. O., Boumzebra, D., Al-Buraiki, J., Nakeeb, S., Rafeh, W., & Al-Halees, Z. (n.d.). *Evaluation of a new device for quick sutureless coronary artery anastomosis in surviving sheep* q. www.elsevier.com/locate/ejcts

FIGURAS

Fig 1 y 2. Galvão, F. H. F., Bacchella, T., & Machado, M. C. (2007). Cuff-glue sutureless microanastomosis. *Microsurgery*, 27(4), 271–276.
<https://doi.org/10.1002/micr.20354>

Fig 3 y 4. Schwaiger, N., Wu, J., Wright, B., Morrissey, L., Harris, M., & Rohanizadeh, R. (2010). BioWeld® Tube and surgical glue for experimental sutureless venous microanastomosis. *British Journal of Surgery*, 97(12), 1825–1830.
<https://doi.org/10.1002/bjs.7257>

Fig 5. R. Quigley, M., E. Bailes, J., C. Kwaan, H., J. Cerullo, L., & J. Thomas Brown. (1986). Aneurysm Formation after Low Power Carbon Dioxide Laser-assisted Vascular Anastomosis. *Congress of Neurological Surgeons*, 18(3), 292–298.

Fig 6, 7 y 8. Stecher, D., van Slochteren, F. J., Hoefer, I. E., Pasterkamp, G., Tulleken, C. A. F., van Herwerden, L. A., & Buijsrogge, M. P. (2014). The nonocclusive laser-assisted coronary anastomotic connector in an off-pump porcine bypass model. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 147(4).
<https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2013.07.018>

Fig 9, 10 y 11. Liu, S. Q., Lei, P., Cao, Z. P., Lv, Y., Li, J. H., & Cui, X. H. (2012). Nonsuture anastomosis of arteries and veins using the magnetic pinned-ring device: A histologic and scanning electron microscopic study. *Annals of Vascular Surgery*, 26(7), 985–995. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2012.04.003>

Fig 12, 13 y 14. Lu, Q., Liu, K., Zhang, W., Li, T., Shi, A. H., Ding, H. F., Yan, X. P., Zhang, X. F., Wu, R. Q., Lv, Y., & Wang, S. P. (2020). End-to-end vascular anastomosis using a novel magnetic compression device in rabbits: a preliminary study. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62936-6>

Fig 15 y 16. Heitmann, C., Khan, F. N., Erdmann, D., Olbrich, K. C., Adam Sharkawy, A., & Klitzman, B. (2007). Vein graft anastomoses with magnets. *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*, 60(12), 1296–1301. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2006.10.017>

Fig 17. Vokrri, L., Krasniqi, X., Qavdarbasha, A., Hyseni, N., Cinquin, P., Porcu, P., & Sessa, C. (2014). The vascular connector, design of a new device for sutureless vascular anastomosis. *Annals of Surgical Innovation and Research*, 8(8). <https://doi.org/10.1186/s13022-014-0008-4>

Fig 18 y 19. Ferrari, E., Tozzi, P., & von Segesser, L. K. (2007). The Vascular Join: A new sutureless anastomotic device to perform end-to-end anastomosis. Preliminary results in an animal model. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, 6(1), 5–8. <https://doi.org/10.1510/icvts.2006.137943>

Fig 20. Andrades, P. C., Elsa Calderón, M. G., Danilla, S. E., Erazo, C. C., Benítez, S. S., & Sepúlveda, S. P. (2014). MICROANASTOMOSIS VENOSA MECÁNICA COUPLER ®. UN IMPORTANTE APOORTE TECNOLÓGICO A LA MICROCIRUGÍA VASCULAR* ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN. In *Rev Chil Cir* (Vol. 66, Issue 1).

Fig 21 y 22. Hill, A. C., Maroney, T. P., & Virmani, R. (2001). Facilitated coronary anastomosis using a nitinol U-Clip device: Bovine model. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 121(5), 859–870. <https://doi.org/10.1067/mtc.2001.112936>

Fig 23. Demertzis, S., Trunfio, R., Faletra, F., Wyttenbach, R., & Siclari, F. (2010). Sutureless proximal anastomosis using the PAS-port system: Six-month patency and five-year follow-up in “all-comers.” *Annals of Thoracic Surgery*, 90(5), 1507–1513. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.06.101>

Fig 24 y 25. Martens, S., Dietrich, M., Doss, M., Moritz, A., & Wimmer-Greinecker, G. (2002). *The Heartflo Device for Distal Coronary Anastomoses: Clinical Experiences in 60 Patients*.

Fig 26, 27 y 28. Eckstein, F. S., Bonilla, L. F., Englberger, L., Immer, F. F., Berg, T. A., Schmidli, J., & Carrel, T. P. (2002). The St Jude Medical symmetry aortic connector system for proximal vein graft anastomoses in coronary artery bypass grafting. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 123(4), 777–782. <https://doi.org/10.1067/mtc.2002.119695>

Fig 29. Eckstein, F. S., Bonilla, L. F., Schaff, H., Englberger, L., Windecker, S., Hindrichs, P., & Carrel, T. P. (2002). *Two Generations of the St. Jude Medical ATG Coronary Connector Systems For Coronary Artery Anastomoses in Coronary Artery Bypass Grafting*

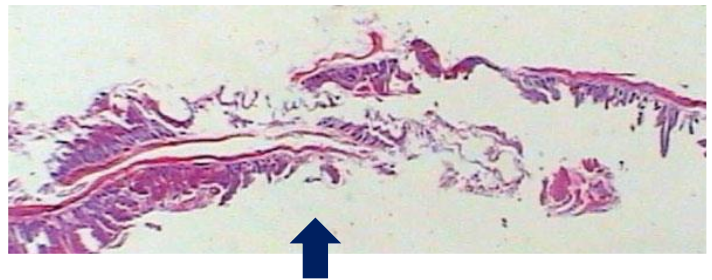
Fig 30 y 31. Riess, F.-C., Helmold, H., Hilfer, I., Bader, R., Stripling, J., Loewer, C., Wesner, F., & Bleese, N. (2002). Clinical Experience with the CorLink Device for Proximal Anastomosis of the Saphenous Vein to the Aorta: A Clinical, Prospective, and Randomized study. *Forum Multimedia Publishing, LLC*, 5(4), 345–352. www.hsforum.com/vol5/issue4/2002-71002.html

Fig 32. Solem, J. O., Boumzebra, D., Al-Buraiki, J., Nakeeb, S., Rafeh, W., & Al-Halees, Z. (n.d.). *Evaluation of a new device for quick sutureless coronary artery anastomosis in surviving sheep* q. www.elsevier.com/locate/ejcts

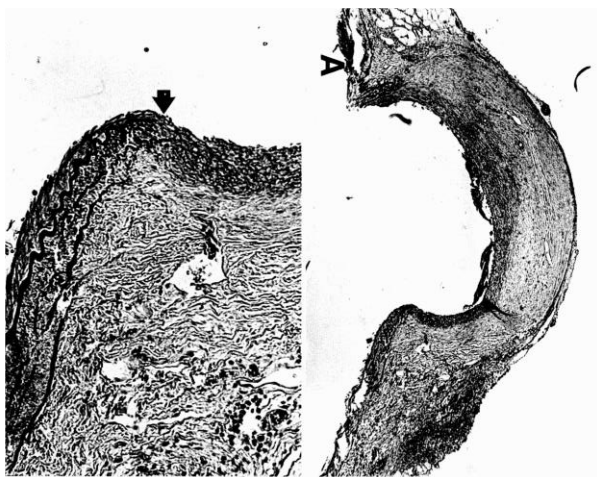
Fig 33, 34 y 35. Segura Iglesias, R. J. (2015). Vascular surgery stapling tool for making a mechanical suture between a blood vessel and a synthetic implant. *Angiologia*, 67(4), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2014.12.002>

VII. ANEXO

(Fig. 2) Imagen histológica con reacción tóxica de necrosis por cianocrilato (flecha)

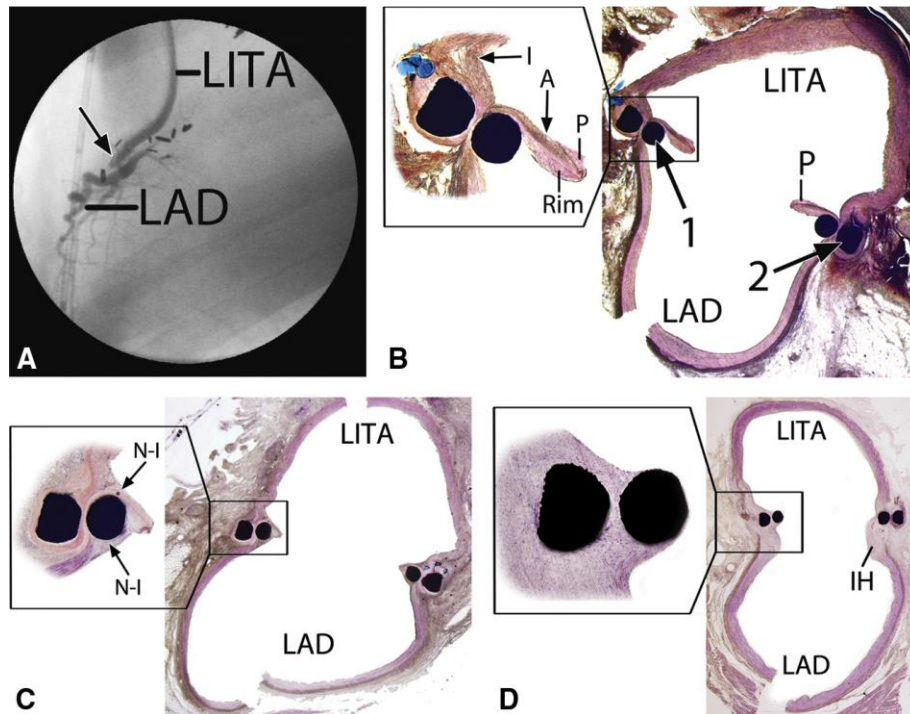


(Fig. 4) Imagen histológica del sitio de anastomosis. Se evidencia la interfaz creada entre el tubo BioWeld (flechas negras) y lo tejidos circundantes.

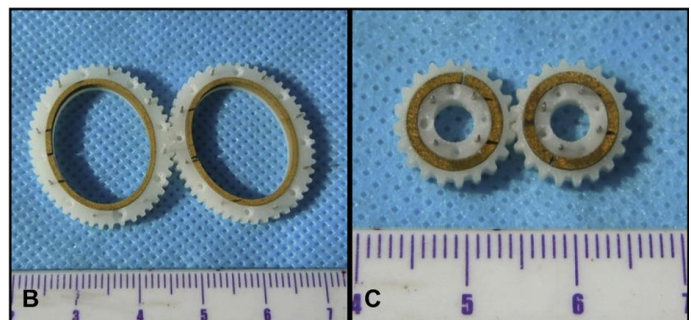
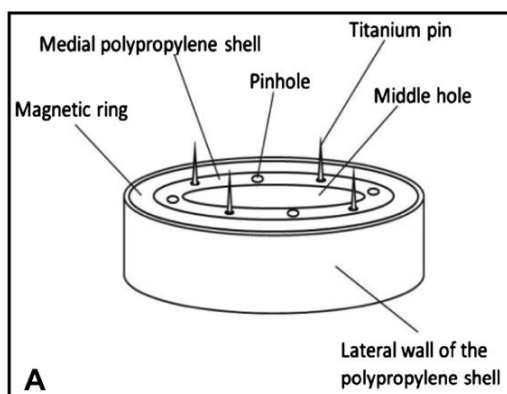


(Fig. 5) Corte longitudinal. Se aprecia aneurisma tras técnica LAVA. Flecha de la imagen derecha muestra el cese de la capa elástica del vaso.

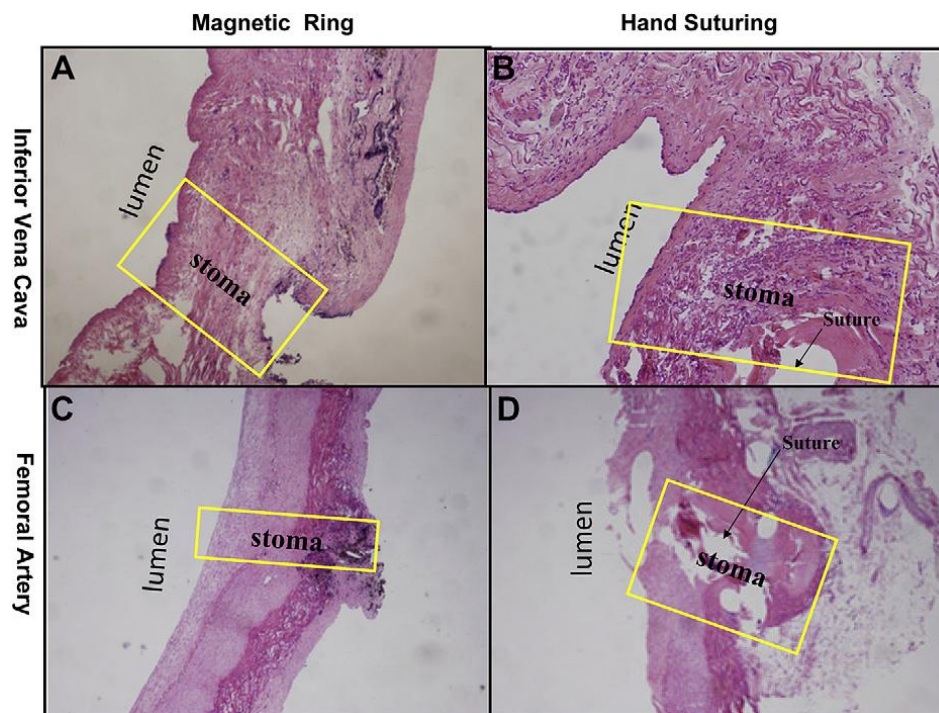
(Fig. 8). A: angiografía a los 6 meses, anastomosis (flechas). B: corte histológico a las 4 horas. C: corte histológico a los 10 días y D: corte histológico a los 6 meses, hiperplasia de la íntima, no hay necrosis, no reacción inflamatoria.



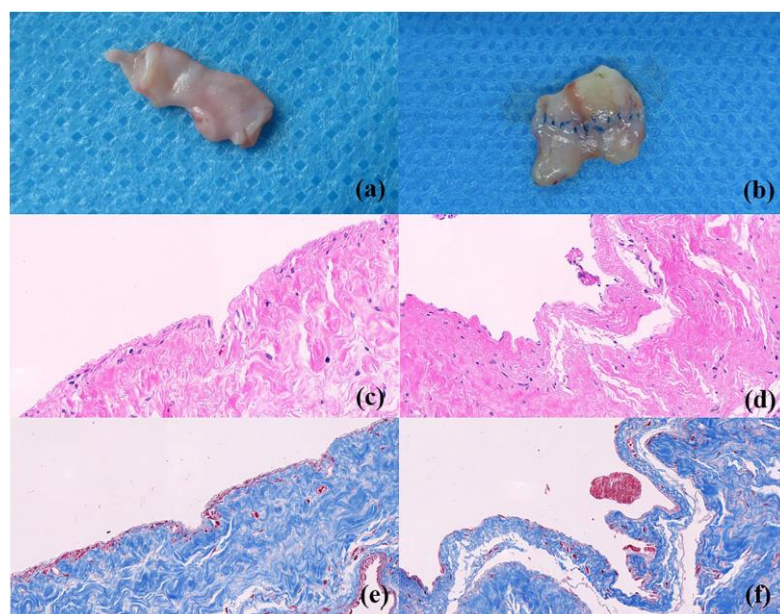
(Fig 9.) (A) Ilustración esquemática del dispositivo magnético. (B) Anillo de anastomosis para vena cava inferior. (C) Anillo de anastomosis para arteria femoral.



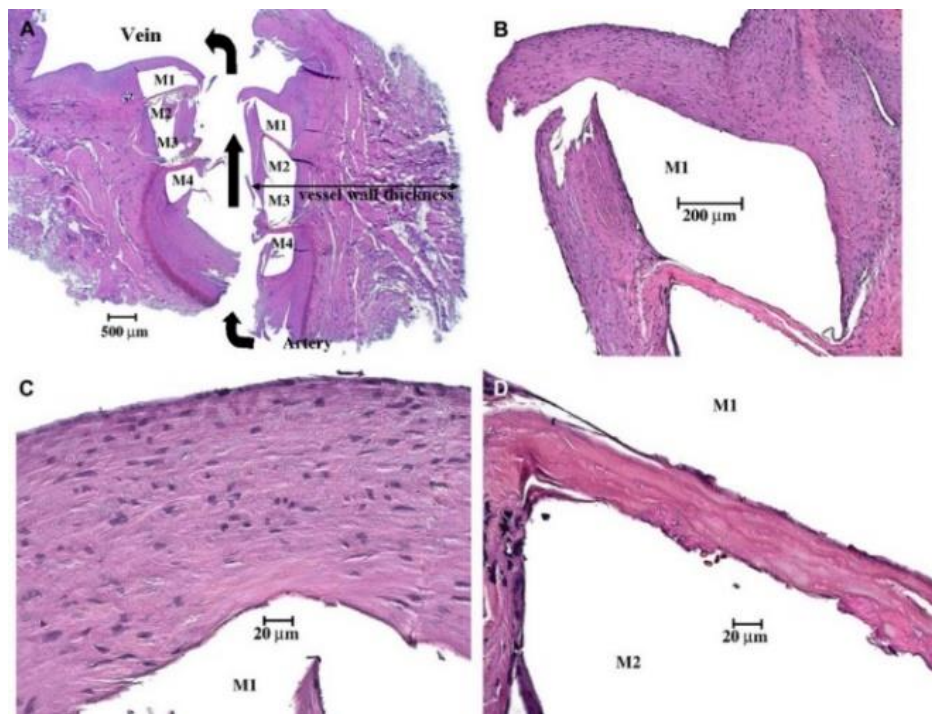
(Fig 11). Corte histológico a las 24 semanas. A la izquierda vemos las anastomosis realizadas con el dispositivo magnético, a la derecha las anastomosis de sutura convencional. En recuadro amarillo aparece señalizada la zona de la anastomosis.



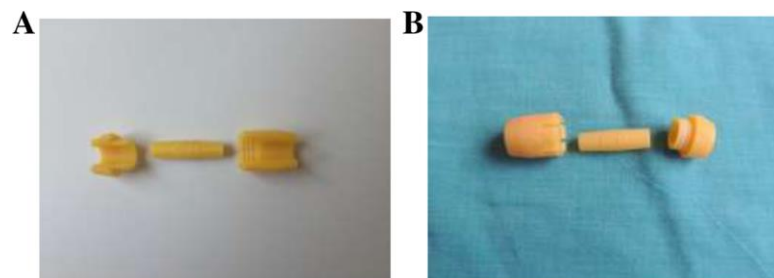
(Fig. 14) (a) Imagen macroscópica de la sutura MCA. (b) Imagen macroscópica de sutura convencional, CIS. (c-f) Imagen microscópica de MCA y CIS.



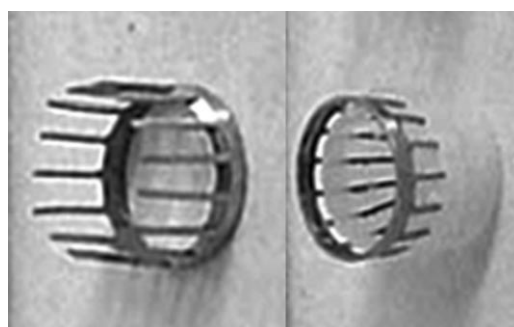
(Fig.16) Imagen microscópica de la anastomosis. Tejido acelular entre los dos imanes, sin necrosis aparente.



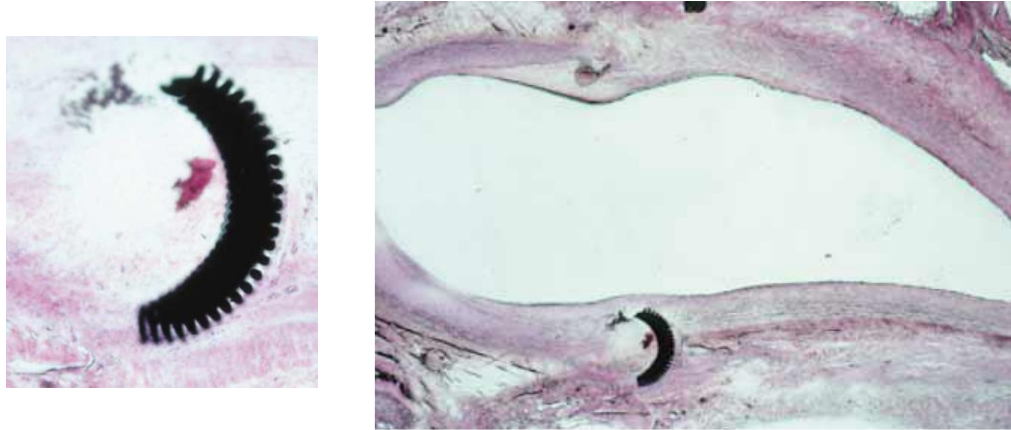
(Fig. 17) Visión macroscópica de NVC.



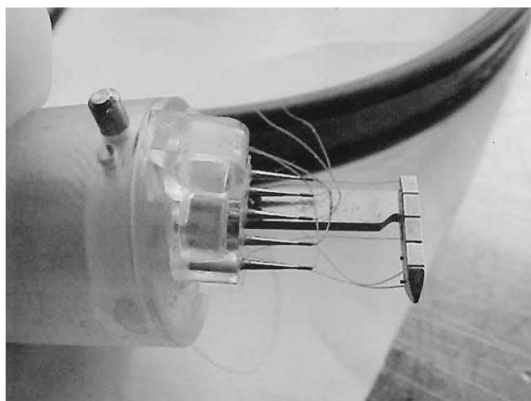
(Fig. 18). Imagen de la corona de acero inoxidable inserta en el anillo polimérico.



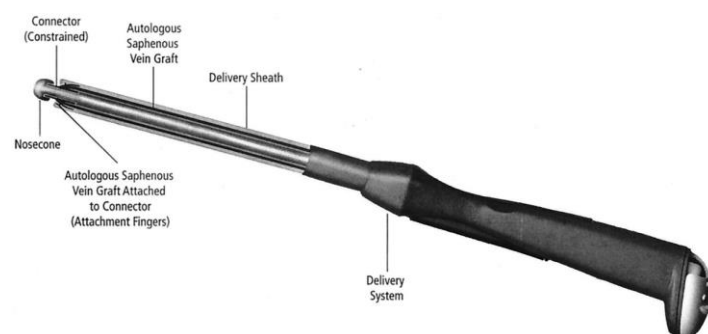
(Fig. 22) Imagen microscópica de la anastomosis coronaria. Muestra una reacción neointimal suave, sin necrosis tisular y con mínima inflamación.



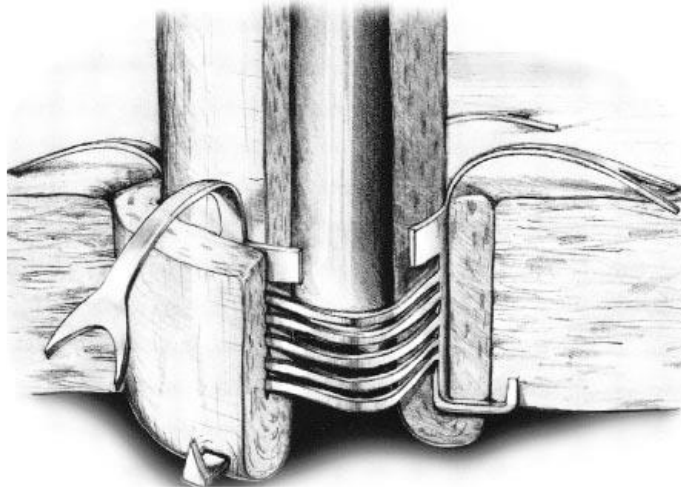
(Fig. 24). Dispositivo HeartFlo.



(Fig. 26) Conector aórtico con dispositivo de entrega



(Fig. 31) Arquitectura de la anastomosis proximal



(Fig. 32) Graft Connector. .

