

ORIGINAL

Estudio biomecánico comparativo entre punto de Adelaide y modificación local para lesiones de tendones flexores en modelo cadavérico

Gabriel Fernando Fletscher Covaleda^{a,*}, Ricardo Vega Caicedo^a,
Jairo Fernando Gómez^b y Víctor Alonso Panche^c

^aResidente Ortopedia y Traumatología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

^bOrtopedista y traumatólogo, Cirujano de Mano, Hospital El Tunal, Bogotá, Colombia

^cMédico y Cirujano, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Recibido el 22 de octubre de 2013; aceptado el 7 de marzo de 2014

PALABRAS CLAVE

Tendón flexor;
Tenorrafia;
Estudio biomecánico;
Punto de Adelaide

Resumen

Introducción: Las configuraciones bloqueadas ofrecen mayor fuerza tensil a la formación de espacios en el área de unión de los cabos seccionados de los tendones que las configuraciones con mayor agarre. El objetivo del estudio es evaluar el comportamiento biomecánico del punto de Adelaide doble cruzado-doble bloqueado) comparado con una modificación local (triple cruzado-doble bloqueado) en tendones de población colombiana.

Metodología: Se incluyeron en el estudio 10 tendones humanos obtenidos mediante disección cadavérica, 8 correspondientes al *flexor digitorum profundus* y 2 al *flexor pollicis longus*. Se realizó un corte transversal de cada uno en área correspondiente a zona II y tenorrafia mediante poliéster verde trenzado 3-0 (Ethibon). Las tenorrafias fueron sometidas a un test de carga de falla (máquina universal de ensayo Shimadzu; *software* Trapezium 2.0). Dos grupos, cada uno de 5 tendones, fueron sometidos para la comparación biomecánica del punto de Adelaide y modificación local.

Resultados: La tensión final de falla fue similar en ambos grupos de comparación. No se encontraron diferencias significativas en el punto de separación de la sutura a 2 mm, con valores promedio de 40 N en el punto de Adelaide y 39 N en la modificación local. En el 70% de los casos se produjo falla del material, sin que se perdiera la configuración del punto de sutura. Solo en el 30% de los casos la falla se debió a desgarro del tendón por la sutura.

Discusión: Los hallazgos muestran las ventajas biomecánicas de las suturas a cuatro hebras y su reproducibilidad. Los hallazgos de falla del material dirigen las investigaciones clínicas y biomecánicas actuales a la introducción de suturas más resistentes, más que a la búsqueda de modificaciones en la técnica quirúrgica.

© 2013 Sociedad Colombiana de Ortopedia y Traumatología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: fletscher@gmail.com (G.F. Fletscher Covaleda).

KEYWORDS

Flexor tendon;
Tenorrhaphy;
Biomechanical study;
Adelaide point

Comparative biomechanical study between the Adelaide suture and local modification for flexor tendon injuries in a cadaver model

Abstract

Background: Blocked configurations in tendon repair offer higher tensile strength to cavitation spaces in the area of attachment of sectioned tendon ends, when compared to configurations with more grip. The objective of this study is to evaluate the biomechanical behavior of the Adelaide stitch suture (double-double crossover blocked) compared to a local modification (triple cross-double locked) in the tendons of a Colombian population.

Methods: Ten human tendons obtained from a dissected cadaver, with eight corresponding to the flexor digitorum profundus and two of them to the flexor pollicis longus. A cross-section was performed on each tendon at zone II, followed by tenorrhaphy using 3-0 braided green polyester (Ethibon). Each tenorrhaphy was subjected to a failure load test (Universal Testing Machine Shimadzu, software: Trapezium 2.0). Two groups, each one with five tendons, were used to compare the biomechanical behavior between the Adelaide suture and the local modification.

Results: The final load failure was similar in both groups. No significant differences were found in the point of stitch suture dehiscence at 2 mm, with mean values of 40 N in the Adelaide suture and 39 N in the group with the local modification suture technique. In 70% of cases, a material failure occurred, without the loss of the suture configuration. Only in 30% of cases was the failure due to tear of the tendon suture.

Discussion: The findings showed biomechanical advantage to four strands of sutures, as well as their reproducibility over the surgical technique. The lack of findings on the material suggest that clinical research should focus on introducing stronger sutures rather than changing surgical techniques.

© 2013 Sociedad Colombiana de Ortopedia y Traumatología. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

Las lesiones de los tendones flexores revisten gran importancia por su alta frecuencia en nuestro medio, especialmente por la alta incidencia de lesiones producto de la violencia interpersonal y lesiones de índole ocupacional. Estas lesiones requieren manejo quirúrgico, por lo que se hace indispensable tener los adecuados conocimiento y comprensión de las características anatómicas propias del mecanismo flexor de la mano y el comportamiento biomecánico de los tendones a las diferentes fuerzas aplicadas en un momento dado.

Avicena fue el primero en realizar suturas tendinosas, técnica quirúrgica que se ha ido perfeccionando al comprenderse el mecanismo flexor y desarrollarse materiales más resistentes. En las lesiones primarias de los tendones flexores, se considera la tenorrafia terminoterminal como primera opción de manejo. La reparación ideal incluye suturas de fácil colocación y mínima formación de brechas, debe permitir movilidad rápida, minimizar la lesión a la vasculatura del tendón y evitar grandes volúmenes que imposibiliten el paso del tendón a través de la poleas¹.

Se ha demostrado que las configuraciones bloqueadas ofrecen mayor fuerza tensil a la formación de espacios en el área de unión de los cabos seccionados de los tendones que las configuraciones con mayor agarre. Sandow et al² realizan una modificación a la técnica de Savage y describen una técnica de reparación doble cruzada-doble bloqueada.

Teniendo en cuenta estos conceptos, se establece el protocolo Adelaide, estudiado en el *Royal Adelaide Hospital*, donde se propone y estudia una técnica con puntos cruzados de cuatro hebras, para otorgar mayor resistencia tensil a la tenorrafia e instaurar un protocolo de rehabilitación precoz. La literatura actual indica que esta no solo es más fuerte que otras técnicas de cuatro hebras, sino que también ofrece menor formación de brechas y disminuye el volumen de la tenorrafia^{3,4}.

El objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento biomecánico del punto de Adelaide (doble cruzado-doble bloqueado) comparado con una modificación local (triple cruzado-doble bloqueado) en tendones de población colombiana.

Metodología

Preparación tendinosa

Se obtuvieron 10 tendones flexores mediante disección en cadáver humano, sin antecedente de enfermedad osteomuscular ni evidencia macroscópica de anomalías en sistema flexor.

Se realizó disección de los 8 tendones del *flexor digitorum profundus* desde zona IV de Verdan hasta su inserción en falange proximal, así como disección bilateral del tendón del músculo *flexor pollicis longus* desde su origen miotendinoso

hasta su inserción distal. Los tendones obtenidos fueron colocados en solución salina normal tras su disección hasta el traslado a laboratorio de biomecánica.

Se dividió los tendones en dos grupos, cada uno de 5 tendones: 4 del *flexor digitorum profundus* y 1 del *flexor pollicis longus*. Todos los tendones fueron seccionados en segmento tendinoso correspondiente a zona II.

Reparación tendinosa

Los tendones pertenecientes al grupo 1 fueron reparados mediante punto de Adelaide (sutura de cuatro hebras, doble cruzado-doble bloqueado) (figura 1A) siguiendo las indicaciones dadas por la literatura y las recomendaciones de la sociedad de cirugía de mano; los del grupo 2 fueron reparados mediante modificación local (sutura de cuatro hebras, triple cruzado-doble bloqueado) (figura 1B).

Todas las tenorrafias fueron realizadas por un solo cirujano de mano con más de 20 años de experiencia utilizando poliéster verde trenzado 3-0 (Ethibon®, Johnson & Johnson). No se realizó sutura peritendinosa.

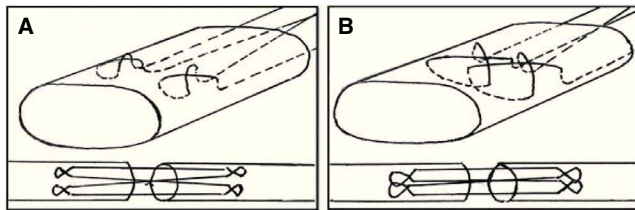


Figura 1 A: punto de Adelaide. B: modificación local.

Evaluación biomecánica de la fuerza del tendón

Se colocó cada tendón reparado en una máquina universal de ensayo Shimadzu (*software* Trapezium 2.0). Se aseguró a la máquina de prueba cada tendón reparado, a temperatura ambiente, mediante dos láminas de acero labradas para minimizar el deslizamiento de la muestra.

Después de aplicar 1 N precarga, los tendones fueron traccionados hasta conseguirse el fallo de la sutura a una velocidad de 2 mm/s. Se registró el desplazamiento mediante video. Se registró la fuerza final de falla y la fuerza a la que se produce una separación visible de 2 mm en el sitio de reparación. Además, analizamos el modo de fallo en cada muestra, discriminando entre falla del material de sutura o desgarro del tendón por el material de sutura (figura 2).

Análisis de datos

Se compararon los dos grupos respecto a los promedios obtenidos para fuerza final de falla (N), fuerza para 2 mm de separación y comparación entre causas de falla de las tenorrafias.

Resultados

Pruebas biomecánicas de las tenorrafias: fuerza final de falla y separación de 2 mm

En las suturas realizadas con punto de Adelaide, el promedio de fuerza final de falla fue de 64,5 N. El promedio de fuerza para obtener una separación de 2 mm fue de 40,3 N. En las tenorrafias realizadas con la modificación local, los valores obtenidos fueron 65,18 y 39,4 N respectivamente. No hay diferencias estadísticas con respecto a las dos técnicas de

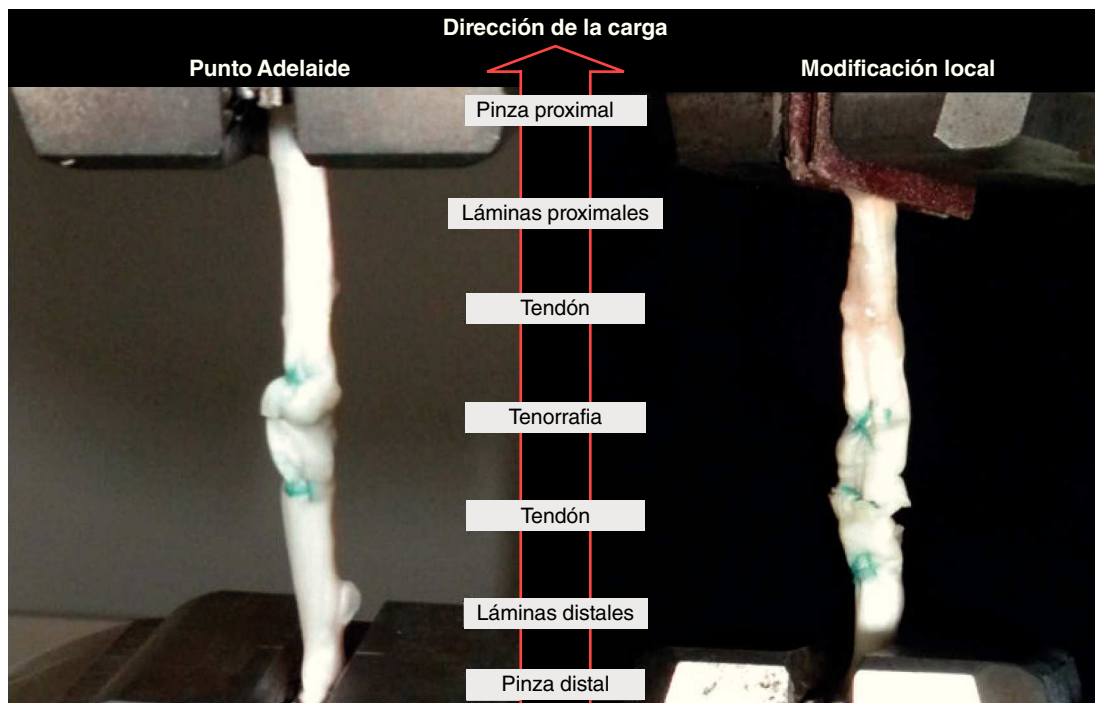


Figura 2 Montaje de estudio biomecánico. Máquina universal de ensayo Shimadzu con *software* Trapezium 2.0.

sutura. Los valores de fuerza final de falla y separación de 2 mm para cada uno de los tendones evaluados se presentan en la figura 3 y la tabla 1.

Causa de falla de sutura

Se encontraron dos causas principales de falla de la tenorrafia: rotura de la sutura y desgarramiento del tendón por los hilos de la tenorrafia. Del total de tendones reparados, en el 70% de los casos el fallo fue secundario a falla del material y solo en 3 casos a desgarramiento del tendón. No se encontró asociación entre la fuerza final de falla y la causa de falla de la tenorrafia (tabla 1).

Discusión

Existen en la literatura mundial diferentes técnicas de suturas tendinosas, las cuales han sido sometidas a estudios biomecánicos en modelos animales y artificiales para poder

determinar su eficiencia, enfocados en la evaluación de la fuerza necesaria para el fallo del material de sutura. Este trabajo es el primer estudio que evalúa el comportamiento biomecánico de las técnicas de sutura para lesión de tendones flexores en un modelo cadavérico humano colombiano.

Tras los trabajos clásicos de Gelberman, y luego de profundizar en el entendimiento de los procesos fisiológicos intrínsecos y extrínsecos involucrados en la cicatrización tendinosa, se han desarrollado técnicas que permiten instaurar protocolos de rehabilitación precoz, que disminuyen los periodos de ferulización, en los cuales se han determinado fuerzas de más de 50 N sobre el lugar de reparación, en pro de una recuperación funcional más efectiva y con menos formación de adherencias y contracturas en flexión de los dedos de la mano.

Las configuraciones de las lazadas en la sutura pueden considerarse cruzadas o bloqueadas. Las configuraciones bloqueadas muestran menos tendencia a fallar que las configuraciones de agarre simple. El punto de Adelaide es una sutura a cuatro hebras doble bloqueada-doble cruzada que

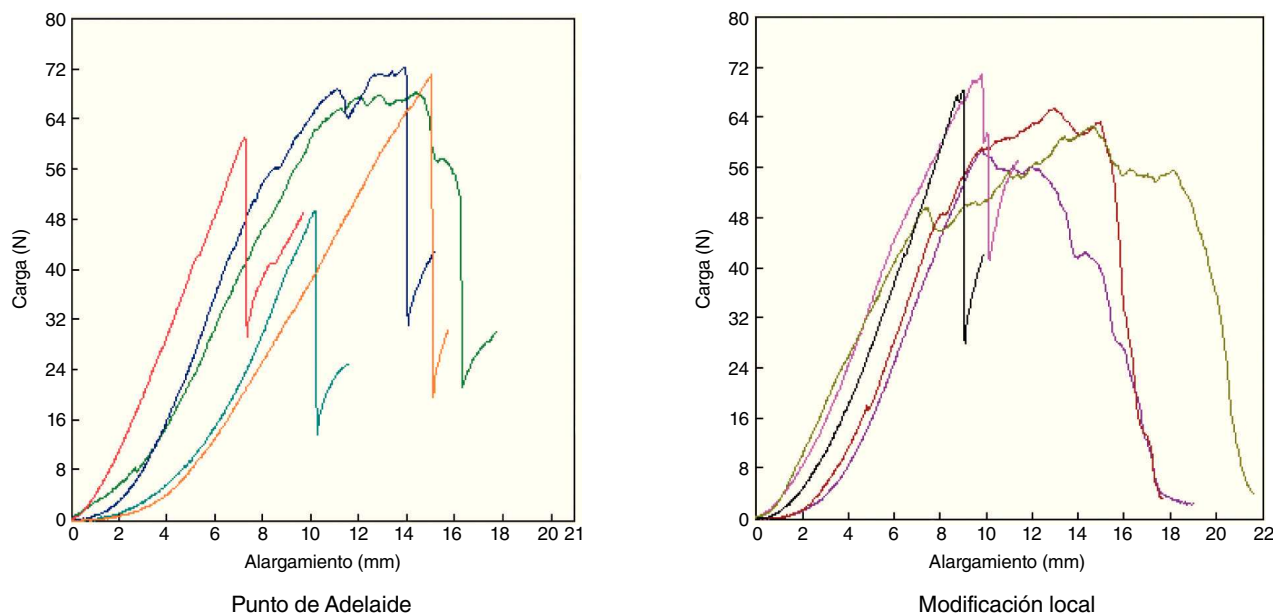


Figura 3 Curva de la fuerza tensil frente al alargamiento.

Tabla 1 Resultados del estudio biomecánico. Comparación entre punto de Adelaide y modificación local

	Doble cruzado-triple bloqueado					Promedio (N)
	FPL	<i>Flexor</i>	<i>Digitorum</i>	<i>Profundus</i>	N.º dedo	
<i>Modificación local</i>						
Fuerza (N)		2	3	4	5	
• Separación de 2 mm	28	53	48	29	39	39,4
• Falla final	58,6	62,7	70,9	68,3	65,4	65,18
Motivo de falla	Rotura de hilo	Desgarro	Rotura de hilo	Rotura de hilo	Desgarro	
<i>Punto de Adelaide</i>						
Fuerza (N)		2	3	4	5	
• Separación de 2 mm	8,9	65	54	32	42	40,38
• Falla final	68,3	72,4	61	71,2	49,6	64,5
Motivo de falla	Desgarro	Rotura de hilo	Rotura de hilo	Rotura de hilo	Rotura de hilo	

diferentes autores han sometido a pruebas biomecánicas; generalmente se han hallado fuerzas de falla de la sutura de más de 70 N⁵. Con el fin de aumentar la fuerza tensil en la tenorrafia, se modificó la configuración de la sutura a cuatro hebras añadiendo un bloqueo más en cada uno de los segmentos tendinosos, lo cual se consigue al cruzar las zonas de agarre en cada cabo del tendón. Con base en la literatura mundial, se utilizaron para el estudio biomecánico las medidas de análisis de la fuerza final de falla y la fuerza a la cual se produce una separación de 2 mm en el lugar de la tenorrafia.

Los resultados obtenidos no indican un aumento en la resistencia de la tenorrafia al realizar la modificación de la configuración. La tensión final de falla fue similar en ambos grupos de comparación, valores que a su vez son similares a los reportados en la literatura. Además, no se encontraron diferencias significativas en el punto de separación de la sutura a 2 mm, con valores promedio de 40 N en el punto de Adelaide y 39 N en la modificación local, valores que difieren de la literatura mundial, que reporta valores aproximados de 55 N. Los hallazgos demuestran las ventajas biomecánicas de las suturas a cuatro hebras y su reproducibilidad y pertinencia en protocolos de movilización activa temprana.

También hay discusión respecto al calibre de la sutura; se han encontrado mejores resultados cuando se utilizan hebras 3-0 que con las 4-0 independientemente de la configuración de la sutura, así como más eficacia de las suturas bloqueadas que las no bloqueadas, que pueden incrementar la resistencia en pruebas de 1 y 2 mm de separación luego de pruebas de tensión^{6,7}. Es relevante también resaltar el uso de la sutura peritendinosa, que puede incrementar el punto de falla en un 30%, incluso independientemente del tipo de sutura utilizada⁸. Es conocido que tenorrafias con suturas cruzadas con separaciones de 4 mm tienden a proporcionar una distribución de carga más central y mejor resistencia a la distancia que suturas cruzadas con separación entre suturas de 2 mm⁹.

Cuando se evalúa la causa de falla de la tenorrafia, se encuentra que en el 70% de los casos se produce por falla del material, sin que se perdiera la configuración del punto de sutura. Solo en el 30% de los casos la falla se debió a desgarramiento del tendón por la sutura. Las investigaciones clínicas y biomecánicas actuales están enfocadas en la introducción de suturas más resistentes, más que a la búsqueda de modificaciones en la técnica quirúrgica, considerando que las suturas de cuatro hebras dan el equilibrio entre el volumen de la sutura y la resistencia a la separación.

Bibliografía

1. Strickland JW. Flexor tendon injuries: Foundations of treatment. *J Am Acad Orthop Surg.* 1995;3:44-54.
2. Sandow MJ, McMahon MM. Single-cross grasp six-strand repair for acute flexor tenorrhaphy. Modified Savage technique. *Atlas Hand Clin.* 1996;1:41-64.
3. Angeles JG, Heminger H, Mass DP. Comparative biomechanical performances of 4-strand core suture repairs for zone II flexor tendon lacerations. *J Hand Surg Am.* 2002;27:508-17.
4. Croog A, Goldstein R, Nasser P, et al. Comparative biomechanical performance of locked cruciate four-strand flexor tendon repairs in an ex vivo porcine model. *J Hand Surg Am.* 2007;32:225-32.
5. Hirpara KM, Sullivan PJ, Raheem O, et al. A biomechanical analysis of multistrand repairs with the Silfverskiold peripheral cross-stitch. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89:1396-401.
6. Barrie KA, Tomak SL, Cholewicki J, et al. Effect of suture locking and suture caliber on fatigue strength of flexor tendon repairs. *J Hand Surg.* 2001;26A:340-6.
7. Barrie KA, Tomak SL, Cholewicki J, et al. The role of multiple strands and locking sutures on gap formation of flexor tendon repairs during cyclical loading. *J Hand Surg.* 2000;25A:714-20.
8. Wade PJF, Wetherell Rg, Amis AA. Flexor tendon repair: Significant gain in strength from the Halsted peripheral suture technique. *J Hand Surg.* 1989;14B:232-5.
9. Peltz TS, Haddad R, Scougall PJ. Influence of locking stitch size in a four-strand cross-locked cruciate flexor tendon repair. *J Hand Surg Am.* 2011;36:450-5.