

Reconstrucción de polea flexora A4 utilizando una bandeleta lateral de flexor digitorum superficialis en un modelo animal

(Premio al mejor trabajo, XXX Congreso Nacional de la Sociedad Colombiana de Cirugía de la Mano, Santa Marta, 2014)

RICARDO GALÁN SUÁREZ, MD, Ph.D*; DIEGO FERNANDO TERÁN RIOFRÍO, MD**;
 DIANA MARÍA CORREA BERNAL, MD***; ÓSCAR FERNANDO AVILÉS SÁNCHEZ, Ph.D****;
 DANIEL BECERRA PÉREZ*****; LUIS ALBERTO DELGADO ORTIZ*****

Palabras clave: Polea flexora, tendón flexor superficial.

Key words: Flexor tendon pulley, Flexor Digitorum Superficialis.

Resumen

Las lesiones de la polea A4 tienen un efecto negativo importante en la función del sistema flexor. El objetivo de este estudio fue comparar la biomecánica de la reconstrucción de la polea flexora A4 con una técnica de vector oblicuo (TVO) descrita por los autores, vs una técnica de vector transversal (TVT) actualmente usada, mediante pruebas biomecánicas en un modelo animal. **Materiales y métodos:** Inicialmente se determinó en 10 patas de gallina el efecto de la sección de la polea A4 en la fuerza y ángulo de flexión de la articulación IFD. Posteriormente a otras 32 patas se les realizó sección y posterior reconstrucción de la polea A4 del tercer dedo, a la mitad con TVO utilizando una bandeleta del FDS (n: 16), y a la otra mitad con TVT, utilizando asas de tendón (n: 16). Se utilizó un dispositivo especialmente diseñado y construido para medir el grado y la fuerza de flexión de la articulación IFD con la polea A4 intacta, seccionada y reconstruida. **Resultados:** Las patas con la polea intacta alcanzaron una flexión de 96.5° en promedio, con un incremento del ángulo (disminución en la flexión) de 19.8 % después de la sección de A4 (de 96,5° a 115,6°; $p < 0,001$). La fuerza de flexión de la IFD disminuyó un 15.2% después de la sección de la polea A4 (de 8,16 psi a 6.92 psi; $p < 0,001$). En las 32 patas intervenidas se encontraron diferencias en los ángulos de flexión de 1.23° ($p = 0,03$) y en la fuerza de flexión de 0,026 psi ($p = 0,6$) a favor de la TVO. **Conclusiones:** Dado el papel fundamental que la polea A4 juega en su función flexora, las patas de gallina son un modelo animal apropiado para evaluar dicha polea. La técnica de reconstrucción de la polea A4 con vector oblicuo descrita presenta un comportamiento biomecánico equivalente al que se obtiene con una reconstrucción con asa de vector transversal.

Abstract

Injuries at the A4 pulley have a significant negative effect in flexor tendon mechanism function. We aimed to develop an animal model to perform biomechanical tests and compare the biomechanics of A4 flexor tendon pulley reconstruction with an oblique vector technique (OVT) described by the authors with a currently used transverse vector technique (TVT). **Materials and Methods:** The effect of A4 pulley transection in DIP joint flexion strength and angles was determined in 10 chicken feet. Thirty-two long toe's A4 flexor pulleys were transected and reconstructed with either OVT, using one slip of the flexor digitorum superficialis (n: 16), or TVT using tendon loops (n: 16). We measured DIP joint flexion degree and strength with the intact, transected and reconstructed pulleys using a device specifically designed for this study. **Results:** Intact pulley feet were found to achieve a mean flexion of 96.5° at the DIP joint, with an increase in the angle (decrease in flexion) of 19.8% after A4 pulley section (96.5° to 115.6°; $p < 0.001$). DIP flexion strength decreased by 15.2% after A4 flexor pulley transection (from 8.16 psi to 6.92 psi; $p < 0.001$). In the 32 intervened chicken feet, differences in flexion angle of 1.23° ($p = 0.03$) and flexion strength of 0,026 psi ($p = 0.6$) in favor of OVT were found. **Conclusions:** Given the critical role the A4 pulley plays in their flexor function, chicken feet are an appropriate model to evaluate such pulley. The oblique vector reconstruction technique described provides biomechanical properties that are equivalent to those obtained with loop technique with a transverse vector.

* Cirujano plástico y de la mano. Profesor Emérito, Hospital Militar Central - Universidad Militar Nueva Granada. Docente Universidad El Bosque - Universidad Juan N Corpas. Cirujano de Mano, Hospital Militar Central, Hospital Central de la Policía Nacional y Clínica Colsubsidio. Bogotá, D.C. Colombia.
 ** Residente IV Hospital Militar Central - Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, D.C. Colombia.

*** Residente III Hospital Militar Central - Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, D.C. Colombia.
 **** Ingeniero Electrónico, PhD. Ingeniería Mecánica. Docente programa de Ingeniería Mecatrónica y director del grupo de investigación DaVinci, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, D.C. Colombia.
 ***** Estudiante Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, D.C. Colombia.

Introducción

Las lesiones de los tendones flexores de la mano son comunes en nuestro medio, secundarias a trauma por situaciones de violencia, así como lesiones de tipo laboral y accidental¹. La vaina osteofibrosa y el sistema de poleas también son frecuentemente afectados por estas lesiones^{1-3,6,9,10}. Las lesiones del sistema de poleas pueden producirse por traumatismos cerrados en actividades como escalada; sin embargo, la mayoría de las lesiones se producen por heridas del sistema flexor o durante su reparación, pues frecuentemente es necesario seccionar las poleas para realizar una reparación tendinosa adecuada^{2-5,13}.

El sistema de poleas de la vaina flexora (Figura 1) está compuesto por cinco poleas anulares que mantienen el tendón flexor estrechamente unido a los huesos subyacentes en relación con los ejes de las articulaciones, y tres poleas cruciformes intermedias que se comprimen para permitir que se produzca la flexión digital sin que se deformen las poleas anulares^{1-3,6,9}. Este, además de ser una cubierta protectora, facilita el deslizamiento del tendón maximizando la habilidad y eficiencia de los movimientos de las articulaciones interfalángicas^{1-3,6,9,11-14}. A mayor distancia del tendón a su eje de rotación articular, mayor es el brazo de palanca y menor el movimiento que genera la contracción muscular en dicha articulación. Contrariamente, un brazo de palanca más corto resultará en mayor rotación articular con la misma excursión tendinosa. El brazo de palanca, la excursión del tendón flexor y la rotación

de la articulación producida por ésta, están controlados por la integridad del sistema de poleas (Figura 2). Las poleas A2 (localizada sobre la falange proximal) y A4 (localizada sobre la falange media), son las más importantes biomecánicamente, fundamentales para la flexión de las articulaciones interfalángica proximal y distal, respectivamente^{2,10}. Si existe una lesión de dichas poleas el desempeño y eficiencia del tendón se ven afectados. Clínicamente esto se presenta como pérdida de fuerza, reducción en el rango de movimiento, inestabilidad local, dolor al agarre y deformidad en “cuerda de arco”²⁻⁴.

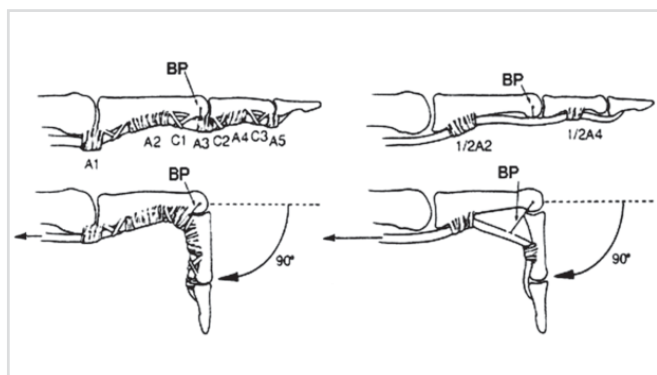


Figura 2. Relación entre el brazo de palanca (BP), controlado por la integridad de la polea, y la rotación de la articulación producida por la misma excursión tendinosa.¹⁰

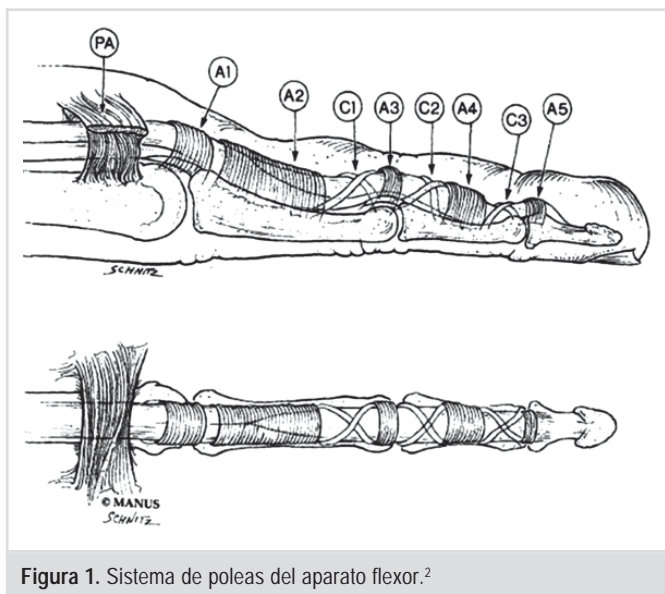


Figura 1. Sistema de poleas del aparato flexor.²

Debido a su importancia clínica, se han descrito en la literatura múltiples técnicas para la reconstrucción de las poleas flexoras, la mayoría de las cuales recrean sus fibras en una dirección transversa, como se encuentran originalmente¹². Tanto las poleas originales como las reconstruidas generan sobre el tendón una fuerza de fricción que influye en forma estática y dinámica sobre su deslizamiento¹⁵. El autor principal ha descrito una técnica de reconstrucción de la polea A4 que utiliza una bandeleta del Flexor Digitorum Superficialis (FDS), la cual se traspone y se orienta sobre la falange media en forma oblicua. Con esta técnica, la fuerza de fricción ejercida por la polea presenta un vector diferente al de las demás técnicas. No existen hasta el momento reportados en la literatura estudios que evalúen la biomecánica de la flexión con diferentes técnicas de reconstrucción de la polea A4. El presente estudio tiene como objeto evaluar en un modelo animal el efecto que tiene la sección aislada de la polea A4 en la biomecánica del mecanismo flexor, y comparar la función flexora después de su reconstrucción con vector oblicuo usando una bandeleta de FDS vs una técnica de reconstrucción con vector trasversal.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio biomecánico experimental usando un modelo animal con patas de cadáveres frescos de gallina (*Gallus gallus*), cuyas disecciones muestran la similitud del sistema flexor y de poleas con el de los dedos humanos

(Figuras 3 y 4). Los modelos fueron elaborados cortando las patas de gallina a nivel de la diáfisis del tarsometatarso inmediatamente después de su sacrificio, preservando proximalmente el tendón flexor profundo del tercer dedo. Para realizar las pruebas se diseñó un dispositivo especial, en

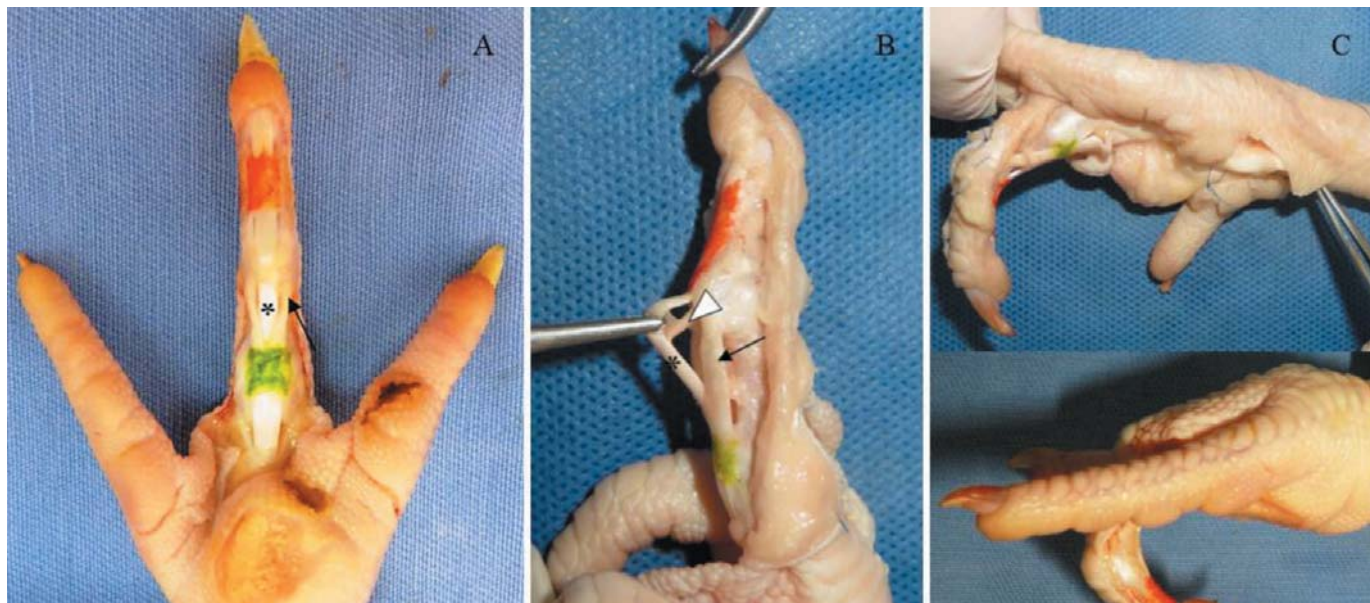


Figura 3. Mecanismo flexor y de poleas de una gallina y sus similitudes con los del ser humano. A. Vista frontal. B. Vista lateral. Flexor digitorum superficialis (Flecha). Flexor digitorum profundus (Asterisco). Vínculas (Punta de flecha). Polea A2 (Verde). Polea A4 (Naranja). C. Flexión de la articulación interfalángica proximal por el tendón flexor digitorum superficialis. D. Flexión de la articulación interfalángica proximal y distal por el tendón flexor digitorum profundus.



Figura 4. A. Sección de la polea A4. B. Efecto de cuerda de arco con pérdida de la capacidad de flexión de la articulación IFD, causados por la ausencia de polea A4.

conjunto con el grupo de investigación DaVinci del Departamento de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Militar Nueva Granada. Igualmente se diseñó un software adaptado a dicho dispositivo, para la captación y almacenamiento de los datos.

Inicialmente se les realizaron pruebas a las patas de 5 gallinas (n: 10) para determinar el efecto biomecánico de la sección de la polea A4 en la función del mecanismo flexor. A cada pata se le midió la fuerza y el ángulo de máxima flexión de la articulación interfalángica distal (IFD); Se seccionó longitudinalmente la polea localizada sobre la tercera falange (equivalente a la polea A4 en el humano) y se realizaron las mediciones nuevamente. Posteriormente se realizaron las mediciones comparativas entre las dos técnicas quirúrgicas. Se calculó la muestra de 32 patas (16 gallinas) usando el programada EPIDAT 3.1 para una p de 0,05 y una potencia del 80%. A dichas patas se les seccionó longitudinalmente la polea "A4". A una pata de cada gallina se le realizó la reconstrucción con vector oblicuo utilizando una bandeleta del FDS (n: 16), y a la pata contralateral con vector transversal utilizando dos asas elaboradas con injerto de tendón (n: 16). Igualmente se midieron la fuerza y ángulo de flexión máxima de la IFD.

Técnica quirúrgica

Las patas a las que se les realizó reconstrucción de la polea flexora A4 con vector oblicuo fueron operadas con la técnica descrita por el autor (Figuras 5 y 6), en la cual se identifica el tendón flexor superficial con sus dos bandeletas, que se insertan en la base de la falange media; se secciona una de las dos bandeletas a nivel de su origen proximal, preservando su inserción distal, y se rota 180° para suturarla al remanente de polea A4 con puntos en U de prolene vascular 5-0; se verifica la adecuada excursión del tendón por debajo de la polea A4 reconstruida, y la ausencia del efecto de cuerda de arco al flexionar el dedo. Por su parte, las patas a las que se les realizó reconstrucción con vector transversal fueron operadas con la técnica de injerto de tendón en asa descrita por Bunnell¹⁶ (Figura 7). Se construyeron 2 asas con injerto de tendón flexor superficial de otros dedos, las cuales se localizaron sobre la falange media, por la cara palmar profundas al paquete neurovascular, y por la cara dorsal superficiales al tendón extensor (Figura 8).

Los resultados de las mediciones se recopilaron con el software adaptado al dispositivo de medición y se analizaron utilizando el programa estadístico IMB SPSS 20. Se obtuvo una estadística

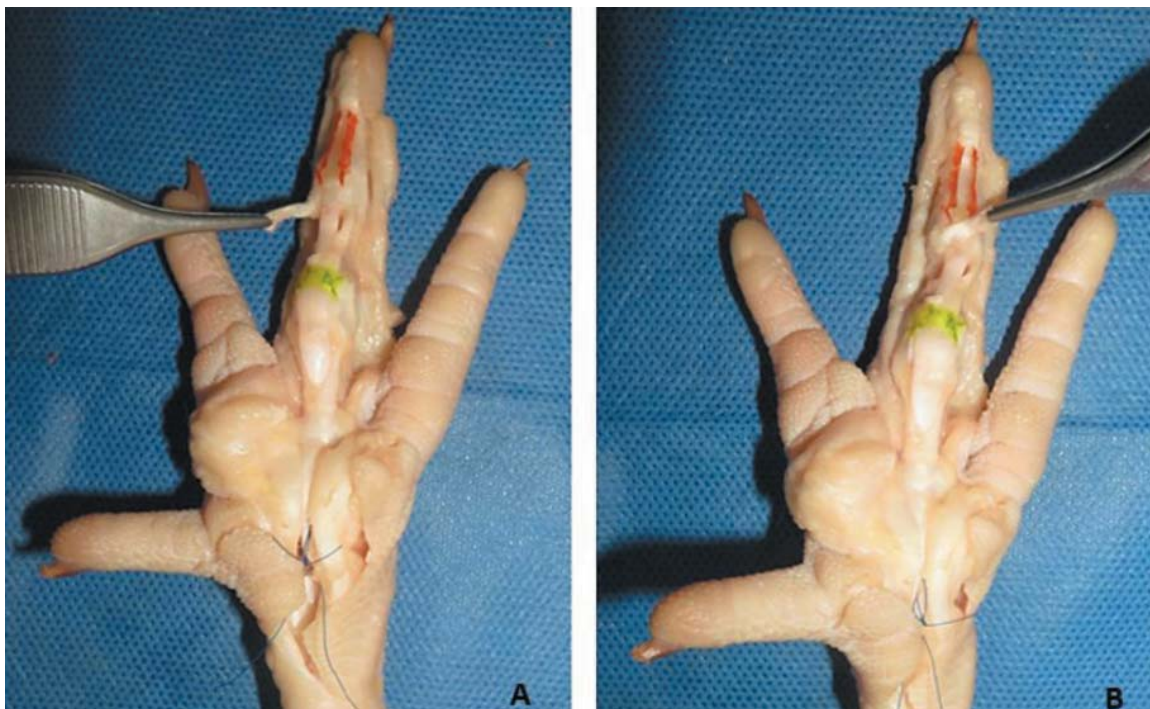


Figura 5. Reconstrucción de polea con vector oblicuo utilizando una bandeleta lateral del flexor digitorum superficialis.

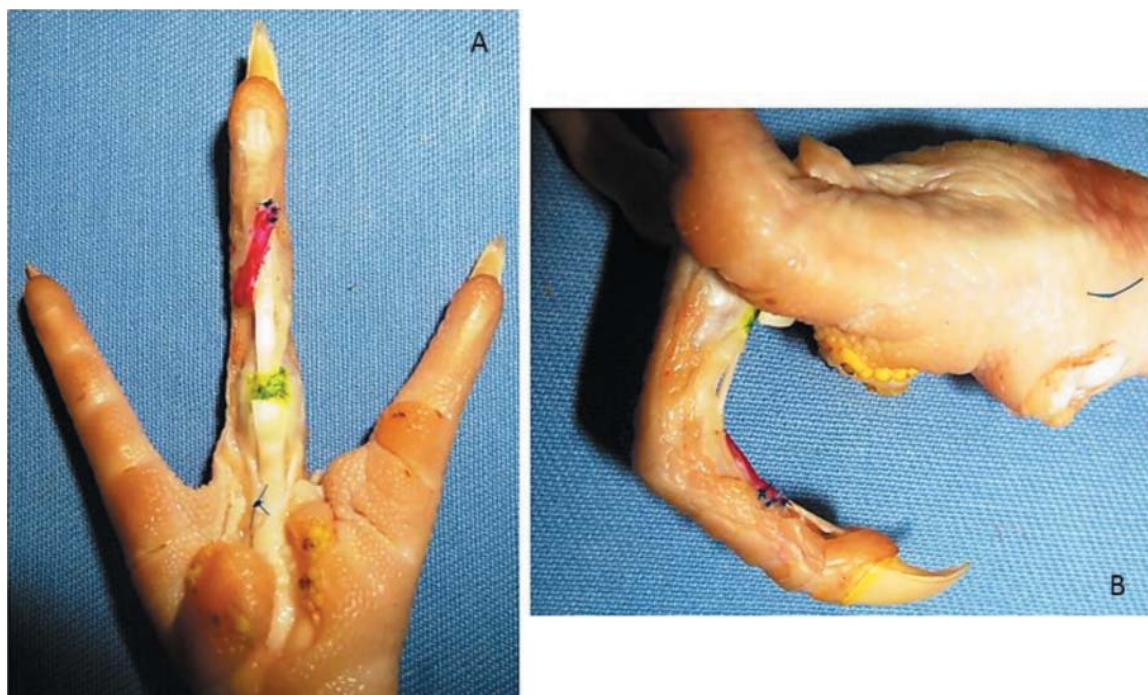


Figura 6. A. Polea A4 reconstruida (rojo). B. Corrección del efecto de cuerda de arco y recuperación de la capacidad de flexión de la articulación interfalángica distal, posterior a la reconstrucción de la polea A4.

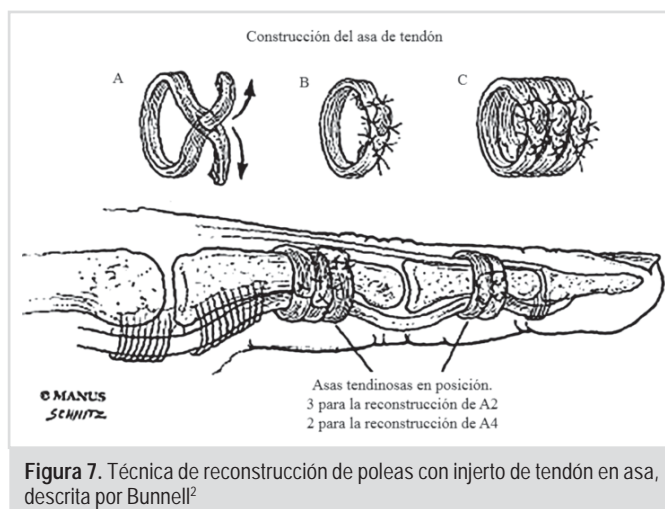


Figura 7. Técnica de reconstrucción de poleas con injerto de tendón en asa, descrita por Bunnell²



Figura 8. Reconstrucción de polea con vector transversal en patas de gallina, utilizando la técnica de Bunell.

descriptiva determinando medidas de tendencia central y dispersión. Para la comparación de los grupos de estudio se realizó un análisis de comparación de medias con prueba t de Student.

Resultados

Para realizar las pruebas fue diseñado y construido un dispositivo de medición (Figura 9) consistente en una base a la cual se fija la pata con clavos de Kirschner a nivel de la primera

y segunda falanges (equivalentes al metacarpiano y la falange proximal en los humanos, ya que los dedos de las aves tienen 4 falanges). El tendón flexor profundo se fija con una mordaza conectada a un piñón que lo tracciona proximalmente milímetro a milímetro, movido por un motor que está controlado por el



Figura 9. Dispositivo de medición.

software diseñado para el dispositivo. Para la medición de los ángulos se colocan marcas rojas en la cabeza de las falanges (alfileres), las cuales son captadas por la cámara e identificadas por el software, que calcula los ángulos formados por dichas marcas con precisión de $0,1^\circ$. Para la medición de la fuerza el dispositivo cuenta con un sensor que mide la fuerza de presión ejercida por la falange distal en el momento de flexión máxima.

Todos los datos son captados y almacenados instantáneamente por el software (Figura 10).

Se usaron en total 42 modelos (patas), provenientes de 21 gallinas adultas, de 8 semanas de vida. Las primeras 10 patas con la polea intacta alcanzaron un ángulo promedio de flexión máxima de la IFD de $96,5^\circ$ (desviación estándar $1,7^\circ$). Al



Figura 10. Interfaz del software adaptado al dispositivo de medición.

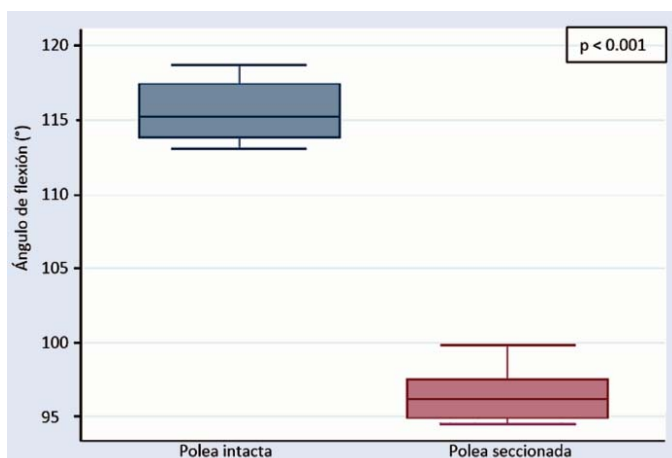


Figura 11. Comparación del ángulo de flexión de la IFD en patas con polea intacta y después de la sección de la misma.

seccionar la polea longitudinalmente se produjo un incremento en el ángulo (disminución de la flexión) de 19.8% en promedio (de 96,5° a 115,6°; $p < 0,001$) (Figura 11). Con respecto a la fuerza de flexión, se encontró una disminución de 15,2% después de la sección de la polea A4; desde un promedio de 8.16 psi con la polea intacta (desviación estándar 0,23 psi), a uno de 9,92 psi con la polea seccionada ($p < 0,001$) (Figura 12).

En cuanto a las 32 patas intervenidas, aquellas cuya polea fue reconstruida con vector transversal alcanzaron un ángulo de flexión máxima de la IFD de 98,13° en promedio (Figura 13), mientras que las reconstruidas con vector oblicuo alcanzaron un ángulo de 96.9°, con una diferencia de medias de 1.23° ($p = 0,03$). La fuerza (Figura 14) en el primer grupo de patas fue en promedio 8,119 psi y en el segundo grupo 8.093 psi, con una diferencia de medias de 0,026 psi ($p = 0,6$)

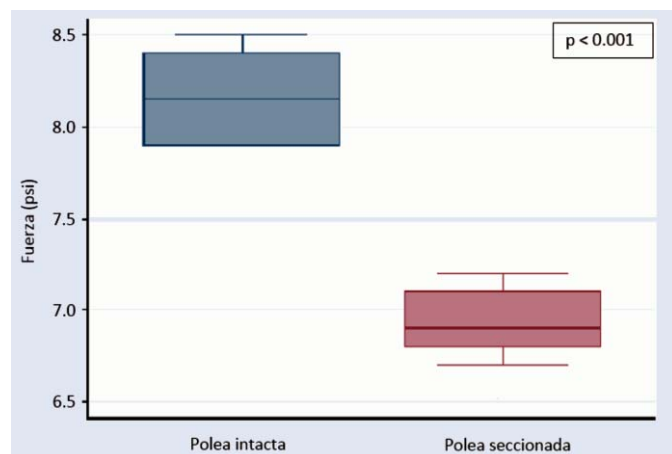


Figura 12. Comparación de la fuerza de flexión de la IFD en patas con polea A4 intacta y después de la sección de la misma.

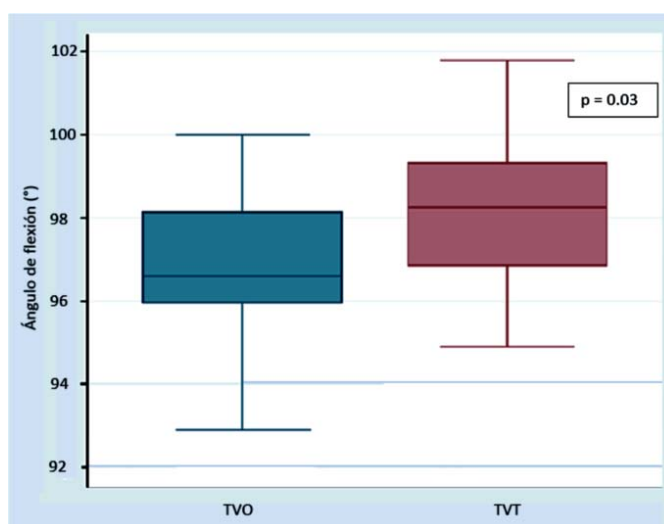


Figura 13. Comparación del ángulo de flexión de la IFD en patas con polea A4 reconstruida con técnica de vector oblicuo (TVO) y técnica de vector transversal (TVT).

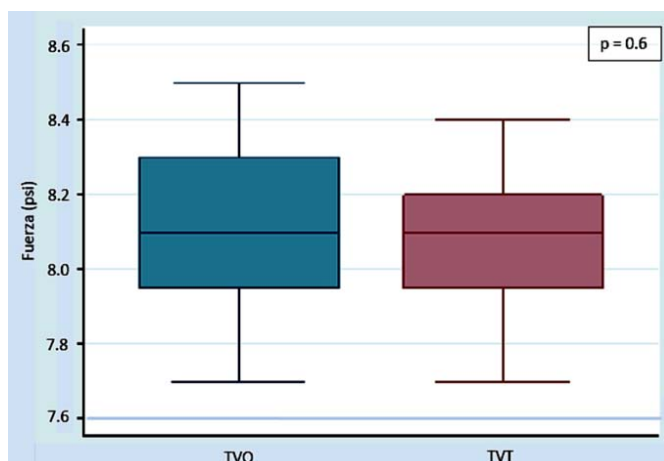


Figura 14. Comparación de la fuerza de flexión de la IFD en patas con polea A4 reconstruida con técnica de vector oblicuo (TVO) y técnica de vector transversal (TVT).

Discusión

La importancia de las poleas para el adecuado funcionamiento del mecanismo flexor, y la necesidad de reconstruirlas cuando éstas son lesionadas, ha sido demostrada en múltiples estudios clínicos y biomecánicos^{1-3,6,9,11-14}. Peterson y col¹⁷ hallaron en un estudio teórico que las poleas A2 y A4 son las más importantes y deben estar intactas para garantizar una función adecuada. Bowers y col¹⁸, en un estudio clínico, reportaron rangos de movimiento digital restringidos en un grupo de nueve pacientes con diagnóstico retardado de lesión de las poleas que requería reconstrucción.

En algunos casos seleccionados se puede realizar manejo no quirúrgico de las lesiones de poleas. Bollen^{19,20} reportó buenos resultados aplicando un protocolo de manejo conservador en 18 pacientes escaladores con lesiones de bajo grado y ruptura aislada de la polea A2, consistente en inmovilización de todos los dedos en la fase aguda y del dedo lesionado por encima de la polea A2 después de la remisión del dolor. Sin embargo, en pacientes con ruptura de múltiples poleas, dolor permanente, disminución del rango de movilidad del dedo, aumento de la deformidad en cuerda de arco, y limitación importante para las actividades deportivas o de la vida diaria, es necesario el manejo quirúrgico^{18,21-23}.

Se han descrito en la literatura numerosas técnicas para la reconstrucción de poleas, que incluyen la utilización de autoinjertos (flexor digitorum superficialis, palmaris longus, plantaris, fascia lata, remanentes del sistema de poleas y retináculo de los extensores)^{1,2,11,14}, o el uso de materiales sintéticos como teflón, silicona, dacrón, nylon o politetrafluoroetileno¹⁴. Entre las diferentes técnicas que se han descrito, una de las más usadas es la del Injerto de Tendón en Asa descrita por Bunnell¹⁶, en la que varias asas construidas con injerto tendinoso rodean la falange y el tendón flexor para reemplazar la polea. Lister propuso una técnica similar en la que en vez de injerto tendinoso, se usa una porción del retináculo extensor de la muñeca para la construcción del asa^{2,12}. Kleinert y Bennett, por su parte, describieron una técnica en la que se identifican los bordes radial y cubital del remanente de la polea flexora, y el material de injerto (tendón) se entrelaza uniendo ambos bordes²⁴. Gabl y col.²⁵ describieron una combinación de las técnicas descritas por Kleinert y Lister, en la que se usa un injerto del retináculo extensor pero no rodea la falange. Karev presentó una técnica en la cual se usa la placa volar en las articulaciones metacarpofalángica e interfalángica proximal, realizando sobre ésta dos incisiones paralelas transversas, y elevando este tejido para la creación de una polea que es similar a una asa^{2,12,26}.

Cada una de estas técnicas tiene ventajas y desventajas. Widstrom y col.²⁷ demostraron que la resistencia de las poleas reconstruidas con asas es proporcional al número de asas que rodean la falange. Lin y col.²⁸ establecieron que una reconstrucción con triple asa soporta la misma carga que una polea A2 normal, y Okutsu y col.²⁹ reportaron los resultados de 6 reconstrucciones con esta técnica después de un período de seguimiento de 21 meses, en el que hubo una mejoría notable del rango de movimiento de las articulaciones MCF,

IFP e IFD, con una función de agarre satisfactoria en todos los pacientes. Sin embargo, las técnicas que rodean la falange (envolventes) pueden interferir con el mecanismo extensor e incluso llevar a un bloqueo de este, como fue demostrado con pruebas de laboratorio por Widstrom y col.²⁷. Las técnicas no envolventes no presentan este problema. Gabl y col.³⁰ reportaron los resultados de 5 reconstrucciones de A2 con la técnica descrita por Kleinert y Bennett, con adecuados rangos de movimiento, función de agarre, y reducción de la deformidad en cuerda de arco después de 31 meses de seguimiento. Arora y col.¹ demostraron en un estudio retrospectivo que las técnicas no envolventes son satisfactorias para la reconstrucción de A2, con el beneficio de no interferir con el mecanismo extensor, sin embargo encontraron cierta limitación para la flexión de la IFP, que atribuyen principalmente al proceso de cicatrización. No existen, para nuestro conocimiento, estudios basados en técnicas no envolventes con tiempos de seguimiento más largos. Además, tampoco se han reportado en la literatura estudios clínicos o biomecánicos centrados específicamente en la reconstrucción de la polea A4.

El autor principal describió una técnica alternativa para la reconstrucción de la polea A4 que presenta varias ventajas teóricas con respecto a otras técnicas descritas previamente. En primer lugar, al tratarse de una técnica no envolvente no interfiere con el mecanismo extensor. En segundo lugar, requiere menor cantidad de suturas, lo que conlleva un menor riesgo de formación de adherencias. Por otro lado, se trata de un método más sencillo, que requiere un menor tiempo quirúrgico, y que no requiere la toma de injerto de un lugar distante, ya que se basa en una bandeleta del FDS presente la misma área quirúrgica, siempre que este no haya sido afectado por la lesión. La técnica descrita, a diferencia de la mayoría de las técnicas tradicionalmente usadas, reconstruye la polea A4 en una dirección oblicua. No existen hasta el momento estudios que comparen el efecto mecánico de la reconstrucción de una polea flexora usando una técnica transversal vs una técnica oblicua, y debido a las consideraciones éticas de realizar este tipo de estudios comparativos experimentales en humanos, se decidió usar un modelo animal cuya similitud con el humano ya ha sido demostrada en varios estudios previos: las gallinas^{7, 31-34}.

En el presente estudio se demuestra específicamente que la polea A4 en las gallinas, al igual que en los humanos, juega un papel fundamental en la función del sistema flexor, específicamente para la flexión de la articulación IFD. Al realizar

una sección de la polea se vio una disminución de la fuerza en un 15,2% y una alteración en el ángulo de flexión de la articulación IFD en un 19,8%. Lo anterior refuerza la idea de que dicho modelo animal es adecuado para realizar una comparación entre dos diferentes técnicas de reconstrucción de la polea A4. Con respecto a las técnicas quirúrgicas evaluadas, encontramos que no existe una diferencia significativa en la fuerza de flexión de la IFD después de realizar la reconstrucción de la polea A4 con técnica de vector oblicuo o transversal. En cuanto al análisis de los ángulos se encontró una diferencia estadísticamente significativa a favor de la técnica de reconstrucción con vector oblicuo, sin embargo la diferencia que se encontró fue de 1,23°, lo que no representa una diferencia clínicamente significativa. Se puede concluir entonces que el comportamiento biomecánico de una reconstrucción con vector oblicuo es igual al que se obtiene con una reconstrucción con vector transversal; es decir que la técnica descrita es, en términos biomecánicos, equivalente a la técnica de reconstrucción con asas actualmente usada.

Teniendo en cuenta las ventajas teóricas previamente mencionadas de la técnica descrita con vector oblicuo sobre la técnica de reconstrucción transversal con asas, se podría considerar que la primera es una mejor opción para la reconstrucción de la polea A4 en los casos en que sea posible aplicarla. Sin embargo, son necesarios estudios clínicos que evalúen los resultados funcionales a largo plazo para comprobar lo anterior. Consideramos que la reconstrucción de la polea A4 con una bandeleta lateral del FDS con vector oblicuo puede llevarse a cabo sin problema en el ser humano, pues desde el punto de vista biomecánico los hallazgos sugieren que no causará ninguna alteración funcional.

Conclusiones

La polea A4 en las gallinas, al igual que en los humanos, juega un papel fundamental en la función del sistema flexor, específicamente para la flexión de la articulación IFD, lo que hace que éste modelo animal sea apropiado para realizar estudios biomecánicos referentes a dicha polea. El comportamiento biomecánico de una reconstrucción de la polea A4 con la técnica descrita de vector oblicuo es equivalente al que se obtiene con una reconstrucción con asa de vector transversal.

Referencias

1. Arora R, Fritz D, Zimmermann R, Lutz M, Kamelger F, Klauser A, Gabl M. Reconstruction of the digital flexor pulley system: a

retrospective comparison of two methods of treatment. *The Journal of Hand Surgery*. February 2007;32e(1).

2. Mih A. Flexor tendon pulley reconstruction. *Operative techniques in orthopaedics*. April 1998;8(2):116-119.

3. Clark T, Skeete K, Amadio P. Flexor tendon pulley reconstruction. *The Journal of Hand Surgery*. October 2010; Vol. 35 A.

4. El-Sheikh Y, Wong I, Farrokhvar F, Thoma A. Diagnosis of finger flexor pulley injury in rock climbers: a systematic review. *Can J Plast Surg*. Winter 2006;14(4).

5. Mallo G, Sless Y, Hurst L, Wilson K. A2 and A4 flexor pulley biomechanical analysis: comparison among gender and digit. *Hand* 2008;3:13-16.

6. Amirouchea F, Gonzalez M, Koldoffb J, Tiococ J, Hamc K. A biomechanical study of the finger pulley system during repair. *Technology and Health Care* 10 2002; pp. 23-31.

7. Tang J, Xie R, Cao Y, Ke Z, Xu Y. A2 pulley incision or one slip of the superficialis improves flexor tendon repairs. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2006;456:121-127.

8. Paillard PJ, Amadio PC, Zhao C, Zobitz M.E, An K.N. pulley plasty versus resection of one slip of the flexor digitorum superficialis after repair of both flexor tendons in zone II. *The Journal of Bone & Joint Surgery (JBJS.Org)* November 2002;84-A(11).

9. Dona E, Walsh WR. Flexor tendon pulley V-Y plasty: an alternative to pulley venting or resection. *The Journal of Hand Surgery*. April 2006;31b(2).

10. Strickland JW. The scientific basis for advances in flexor tendon surgery. *J Hand Ther*. 2005;18:94-110.

11. Slesarenko Y. Minimally invasive technique for finger flexor pulley reconstruction. *Hand Surgery*, 2006;11(3):153-157.

12. Naidu SH, Rinkus K. Multiple-loop, uniform-tension flexor pulley reconstruction. *The Journal of Hand Surgery*. February 2007;32A(2).

13. Moutet F, Forli A, Voulliaume D. Pulley rupture and reconstruction in rock climbers. *Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery* 2004;8(3):149-155.

14. Oruç M, Ulusoy M.G, Kankaya Y, Koçer U, Serbetçi K, Hasirci N. Pulley reconstruction with different materials: experimental study. *Annals of Plastic Surgery*. August 2008;61(2).

15. Schweizer A, Moor B.K, Nagy L, Snedecker J.G. Static and dynamic human flexor tendon-pulley interaction. *Journal of Biomechanics*. 2009;42:1856-1861.

16. Bunnell S, Böhrer J. *Die chirurgie der hand*. Wein, Wilhem Maudrich Verlag, 1958; 1:533-643.

17. Peterson WW, Manske PR, Bollinger BA, Lesker PA, McCarthy JA. Effect of pulley excision on flexor tendon biomechanics. *Journal of Orthopedic Research* 1986;4:96-101.

18. Bowers WH, Kumza GR, Bynum DK. Closed rupture of finger flexor pulley. *Journal of Hand Surgery* 1994;14A:782-787.

19. Bollen SR. Upper limb injuries in elite rock climbers. *Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh*. 1990;35:18-20.

20. Bollen SR. Injury to the A2 pulley in rock climbers. *Journal of Hand Surgery* 1990;15B:268-270.
21. Moutet F, Guinard D, Gerard P, Mugnier C. Subcutaneous rupture of long finger flexor pulleys in rock climbers. 12 case reports. *Annales de chirurgie de la main et du membre superieur* 1993;12:182-188.
22. Moutet F. Flexor tendon pulley system: anatomy, pathology, treatment. *Chirurgie de la main* 2003;22:1-12.
23. Tropet Y, Menez D, Balmat P, Pem R, Vichard P. Closed traumatic rupture of the ring finger flexor tendon pulley. *Journal of Hand Surgery* 1990;15A:745-747.
24. Kleinert HE, Bennett JB. Digital pulley reconstruction employing the always present rim of the previous pulley. *Journal of Hand Surgery* 1978;3B:297-298.
25. Gabl M, Reinhart C, Lutz M, Bodner G, Angermann P, Pechlaner S. The use of a graft from the second extensor compartment to reconstruct the A2 Flexor pulley in the long finger. *Journal of Hand Surgery* 2000;25B:98-101.
26. Kerev A. The "belt loop" technique for reconstruction of pulleys in the first stage of Flexor tendon grafting. *Journal of Hand Surgery* 1984;9A:923-924.
27. Widstrom CJ, Johnson G, Doyle JR, Manske PR, Inhofe P. A mechanical study of six digital pulley reconstruction techniques. Part I. Mechanical effectiveness. *Journal of Hand Surgery*. 1989;14A:821-825.
28. Lin GT, Amadio PC, An KN, Cooney WP, Chao EY. Biomechanical analysis of finger pulley reconstruction. *Journal of Hand Surgery* 1989;14B:278-282.
29. Okutsu I, Ninomiya S, Hiraki S, Inanami H, Kuroshima N. Three-loop technique for A2 pulley reconstruction. *Journal of Hand Surgery* 1987;12A:790-794.
30. Gabl M, Rangger C, Lutz M, Fink C, Rudisch A, Pechlaner S. Disruption of the finger flexor pulley system in Elite Rock Climbers. *American Journal of Sports Medicine* 1998; 26:651-655.
31. Farkas LG, Thomson HG, Martin R. Some practical notes on the anatomy of the chicken toe for surgeon investigators. *Plast Reconstr Surg* 1974;54:452-458.
32. Peterson WW, Manske PR, Dunlap J, Horwitz DS, Kahn B. Effect of various methods of restoring flexor sheath integrity on the formation of adhesions after tendon surgery. *J Hand Surg Am* 1990;15:48-56.
33. Peterson WW, Manske PR, Kain CC, Lesker PA. Effect of flexor sheath integrity on tendon gliding: a biomechanical and histologic study. *J Orthop Res* 1986;4:458-465.
34. Xu Y, Tang JB. Effects of superficialis tendon repairs on lacerated profundus tendons within or proximal to the A2 pulley: an in vivo study in chickens. *J Hand Surg Am* 2003;28:994-1001.

Datos de contacto del autor

Ricardo Galán, MD
Cra. 14 No. 127- 11 Cons. 404. Bogotá, D.C. Colombia. Correo electrónico: ricgalan@gmail.com

Discusión

Reconstrucción de polea flexora A4 utilizando una bandeleta lateral de flexor digitorum superficialis en un modelo animal

Ricardo Galán Suárez, MD, Ph.D; Diego Fernando Terán Riofrío, MD; Diana María Correa Bernal, MD;
Óscar Fernando Avilés Sánchez, Ph.D; Daniel Becerra Pérez; Luis Alberto Delgado Ortiz

Por: Marco Ramírez Z, MD

El Sistema de poleas de la vaina flexora tiene por objeto poner en contacto directo los tendones flexores con los huesos; formarles una capa protectora y permitir su libre deslizamiento. Desde el punto de vista biomecánico las poleas más importantes y básicas de la mano son la A2 y la A4, localizadas a nivel de las falanges proximal y media. Dichas poleas permiten la flexión de las articulaciones interfalángicas proximal y distal.

Cuando se presenta una lesión de las poleas, se comprometen las funciones del tendón correspondiente. Se manifiesta por pérdida de fuerza, reducción de la movilidad, inestabilidad, dolor y deformidad en la cuerda del arco.

Con el advenimiento de la escalada, llamada *rock climbing* o *rock climbers*, se creó un nuevo deporte, una nueva cultura practicada en los llamados muros en Estados Unidos. Este deporte exige un magnífico estado físico, habilidad y fuerza prodigiosa en las manos, extremidades superiores e inferiores. Realmente las lesiones a las poleas de los tendones flexores eran escasas, pero a causa del *rock climbing* o *rock climbers*, se aumentaron considerablemente.

Bollen SR en *J Hand Surgery* en 1990, describió el primer caso documentado de ruptura de la polea A2 por traumatismo cerrado. El mismo año, Tropet y col en el mismo *Journal* presentaron otro caso similar. Rooks y col en *Sport Med* en 1997 afirmaron: el *rock climbing* es muy popular en Estados Unidos; las tres cuartas partes de los practicantes sufren lesiones. Del 30% al 50% en la región interfalángica proximal, el resto en la muñeca, el hombro y el codo. En 2004, Logan AJ y col en *Br J Sports*, informaron sobre 545 casos de *rock climbers*; el 8 % presentaron ruptura de la polea A2. En el año 2008, según Mallo G Ch y col, en *Hand*, 300.000 americanos asistieron a los conocidos muros para practicar el *rock climbing*, a mayor asistencia mayor es el número de lesionados. En casos menos severos reportó tratamiento conservador no quirúrgico, con buenos resultados.

El objetivo del doctor Ricardo Galán y cols. fue comparar en un modelo animal la reconstrucción de la polea flexora A4, con una técnica de vector oblicuo (TVO) descrita por ellos, con de vector transversal (TVT) actualmente usada por otros autores.

Inicialmente, en 10 patas de gallina solamente observaron el efecto causado al seccionar la polea A4, con relación a la fuerza y ángulo de flexión de la articulación IFD. Posteriormente, a 32 patas de gallina se les practicaron sección y reconstrucción de la polea A4 del tercer dedo; la mitad con TVO utilizando una bandeleta del FDS (n 16) y a la otra mitad, con TVT con asas de tendón (n 16), según la técnica de asas del Dr. Bunnell. Al utilizar la bandeleta del FDS, no es necesario emplear injertos. Por lo tanto, las posibilidades de fibrosis y contractura se reducen. La técnica no interfiere con el sistema extensor, se requieren pocas suturas y es un procedimiento de corta duración. La bandeleta del FDS conservada queda con dirección oblicua.

Se concluyó que el comportamiento de polea A4, reconstruida con la técnica TVO, es equivalente a la que se obtiene usando asas de reconstrucción transversal TVT. Debe destacarse que los resultados de las mediciones se recopilaron con el software adaptado al dispositivo de medición y se analizaron utilizando el programa estadístico IMB SPSS20, una importante y decisiva ayuda de verificación de hechos reales.

Considero que la técnica del Dr. Galán y colaboradores representa un valor científico de primer orden, teniendo el mérito de haberlo realizado a nivel experimental en patas de gallina, demostrando claramente las consecuencias de la sección de la polea A4 y luego la reconstrucción con su técnica TVO, comparándola con la TVT, la técnica de asas de Bunnell, con resultados similares. Por lo tanto la técnica descrita por el Dr. Galán y colaboradores puede realizarse con éxito en humanos, los cuales son cada vez más frecuentes.