



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Resultado de la tenodesis subpectoral del biceps Vs tenodesis a nivel subescapular en un modelo utilizando el método de elementos finitos**

**Juan Miguel Ramírez Flórez**

**Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Medicina  
Departamento de Cirugía  
Unidad de Ortopedia y Traumatología  
Bogotá, D.C.  
2015**



# **Resultado de la tenodesis subpectoral del biceps Vs tenodesis a nivel subescapular en un modelo utilizando el método de elementos finitos**

**Juan Miguel Ramírez Flórez**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ortopedia y Traumatología**

**Director  
Dr. Luis Fernando Calixto Ballesteros  
Médico ortopedista. Cirugía de hombro  
Coordinador Posgrado de Ortopedia y Traumatología  
Universidad Nacional de Colombia**

**Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Medicina  
Departamento de Cirugía  
Unidad de Ortopedia y Traumatología  
Bogotá, D.C.  
2015**



## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mi esposa, quien durante éstos 4 años, y a pesar de las dificultades y malos momentos, siempre se mantuvo a mi lado; aquella quien cada mañana, con su suave mano, su cálida sonrisa y un dulce beso, me daba el ánimo, el apoyo, las fuerzas y la más fuerte razón para recorrer y culminar ésta etapa tan importante en mi vida.

A mis docentes y/o tutores, que ahora veo como colegas y amigos, quienes con su esfuerzo, paciencia, consejos y dedicación, me guiaron por este camino, me enseñaron el que hacer ortopédico, pero más importante aún, me enseñaron a nunca olvidar quien soy, que puedo ser, y como puedo servir a los demás.

A todos mis compañeros y amigos con quienes recorrí éste camino, aquellos con quienes compartí buenos y malos momentos, tristezas y alegrías, aquellos que con sus conocimientos, experiencias, sus bromas, sus virtudes y defectos, hicieron de éste, un camino mucho más fácil y divertido de recorrer.



## Resumen

**Introducción:** Las cargas ejercidas sobre los tendones del bíceps braquial y su alteración cuando se realizan modificaciones estructurales mediante técnicas quirúrgicas no han sido suficientemente estudiadas.

Se desarrolló un modelo mediante el método de elementos finitos, evaluando las cargas que soportan estos tendones y las variaciones que presentan al practicarse procedimientos quirúrgicos.

**Materiales y métodos:** se desarrolló un modelo bidimensional mediante el método de elementos finitos del bíceps braquial; posteriormente se modelaron y analizaron técnicas quirúrgicas utilizadas para el tratamiento de las patologías sobre este músculo.

**Resultados:** el modelo normal, requiere 4.8Mpa, para producir una fuerza de 111,789N en la cabeza larga(46.8%), mientras se producen 126,977N en la cabeza corta(53.2%). Al modelar la tenodesis subescapular se produce una redistribución de cargas de 1.15%, teniendo 114,483N(47.95%) en la cabeza larga y 124,283N(52.05%) en la cabeza corta, evidenciándose un aumento de esfuerzo sobre la cabeza larga; en el caso de la tenodesis subpectoral, la redistribución de cargas es del 2.4%, presentando 117,485N(49.2%) en la cabeza larga y 121,281N(50.8%) sobre la cabeza corta. al realizar una tenotomía evidenciamos como el 100% de la carga, 238,766N se desplaza hacia la cabeza corta. adicionalmente se modela un escenario cualitativo observándose los aumentos de esfuerzos a nivel de la cabeza larga del bíceps, al realizar una elongación de  $\pm 6.1$  mm durante la tenotomía subescapular y la subpectoral.

**Discusión:** con las tenodesis observamos una redistribución de cargas, produciéndose un aumento de la carga en la cabeza larga del bíceps, con una disminución subsecuente sobre la cabeza corta; con la tenotomía todo el desplazamiento de la carga es hacia la cabeza corta, generando un aumento de esfuerzo sobre ésta; finalmente, se demuestra el sobreesfuerzo que genera una elongación tendinosa durante las tenodesis.

**Importancia Clínica:** Es el primer estudio que mide cargas a nivel del bíceps braquial y sus variaciones al modificar la estructura de los tendones con un modelo bidimensional mediante el método de elementos finitos. Este estudio contribuye al entendimiento del comportamiento biomecánico del bíceps y sus variaciones al someterlo a éstos procedimientos quirúrgicos.

**Palabras clave:** Tendones, Tenodesis, Tenotomía, Análisis de Elementos Finitos, Rotura opción "Bases de datos".

## Abstract

**Introduction:** The loads exerted on the tendons of the bíceps brachii and its alteration when structural modifications are made using surgical techniques not been sufficiently studied.

A model was developed using the finite elements method, assessing the loads exerted on these tendons and variations that provide surgical procedures performed.

**Materials and Methods:** A two-dimensional model of brachial bíceps was developed using the finite elements method; then surgical techniques used for the treatment of diseases of the muscle were modeled and analyzed.

**Results:** in the normal model, 4.8Mpa required to produce a force in the long head 111,789N (46.8%), while 126,977N occur in the short head (53.2%). By modeling the subscapularis tenodesis a redistribution of loads of 1.15% occurs, taking 114,483N (47.95%) in the long head and 124,283N (52.05%) in the short head, showing an increased effort on the long head; in the case of the subpectoral tenodesis, redistribution of loads is 2.4%, with 117,485N (49.2%) in the long head and 121,281N (50.8%) on the short head. when performing a tenotomy we show as 100% load, 238,766N moves the short head. a qualitative stage further increases being observed efforts at the long head of bíceps, when performing an elongation of  $\pm 6.1$  mm during the subscapularis tenodesis and subpectoral is modeled.

**Discussion:** tenodesis observed with a redistribution of charges, resulting in an increased load on the long head of the bíceps, with a subsequent decrease of the short head; with tenotomy whole load shifting is to the short head, causing increased stress on it; Finally, the overuse tendon elongation generated during tenodesis is demonstrated.

**Clinical Significance:** This is the first study to measure loads at the brachial bíceps and variations by modifying the structure of tendons with a two-dimensional model using the finite elements method. This study contributes to understand the biomechanical behavior of the bíceps and variations when it is subjected to these surgical procedures

**Keywords:** Tendons, Tenodesis, Tenotomy, Finite Element Analysis, Rupture

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>X</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos .....	3
<b>2. Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Marco teórico.....</b>	<b>7</b>
3.1 Anatomía.....	7
3.2 Biomecánica .....	9
3.3 Fisiopatología .....	9
3.4 Evaluación clínica .....	10
3.5 Tratamiento.....	11
<b>4. Materiales y métodos .....</b>	<b>15</b>
<b>5. Resultados.....</b>	<b>17</b>
<b>6. Discusión.....</b>	<b>25</b>
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>29</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>31</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Modelo del músculo bíceps braquial	16
<b>Figura 2.</b> Acercamiento de la parte proximal del modelo	18
<b>Figura 3.</b> Modelo del corte a nivel de una tenodesis subescapular artroscópica el tendón de la cabeza larga del bíceps braquial	19
<b>Figura 4.</b> Modelo de tenodesis subpectoral abierta de la cabeza larga del tendón del bíceps	20
<b>Figura 5.</b> Modelo de tenotomía de la cabeza larga del tendón del bíceps	21
<b>Figura 6.</b> Elongación del tendón en modelo de tenodesus subescapular	22
<b>Figura 7.</b> Elongación del tendón en modelo de tenodesus subpectoral	23

# Introducción

El músculo bíceps braquial, compuesto por su cabeza larga y cabeza corta, se considera, según estudios recientes, que contribuye con un 37 – 44% en la supinación y entre el 10 – 40% en la flexión del antebrazo<sup>1</sup>.

Las patologías del bíceps braquial, ya sean de origen traumático y/o degenerativo, son causa frecuente de dolor anterior de hombro.<sup>2-3-4-5</sup>.

Se han descrito diferentes técnicas quirúrgicas, como la tenotomía y/o la tenodesis de la cabeza larga del bíceps, ya sea a nivel subescapular o subpectoral de manera artroscópica o abierta respectivamente, para las lesiones de la cabeza larga del bíceps.<sup>4-12-13</sup>; sin que existan datos concluyentes sobre las ventajas o desventajas de dichas técnicas quirúrgicas<sup>13</sup>.

El propósito de este estudio es realizar un análisis de las fuerzas que se ejercen sobre el Bíceps braquial y las modificaciones que éstas presentan con algunos procedimientos quirúrgicos utilizados para el tratamiento de sus patologías, realizando una representación mediante un modelo bidimensional utilizando el método de elementos finitos.



# **1. Objetivos**

## **1.1 Objetivo general**

Realizar una comparación sobre las técnicas empleadas en el tratamiento de las patologías del tendón de la cabeza larga del bíceps, como lo son la tenodesis subescapular (artroscópica) y la tenodesis subpectoral (abierta) de la cabeza larga del bíceps mediante un modelo utilizando el método de elementos finitos.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar el modelamiento de un bíceps braquial utilizando el método de elementos finitos, teniendo en cuenta la anatomía normal y datos biomecánicos disponibles.
- Realizar el modelamiento del bíceps, posterior a la realización de algunas técnicas quirúrgicas como lo son la tenodesis subescapular y la tenodesis subpectoral de la cabeza larga del bíceps.
- Realizar la valoración de los cambios que se presentan en el tendón de la cabeza larga del bíceps posterior al modelamiento de cada una de las técnicas mencionadas.



## **2. Justificación**

Las patologías de la cabeza larga del bíceps son relativamente frecuentes, y se asocian a otras patologías del hombro como las lesiones del manguito rotador, la inestabilidad anteroposterior del labrum (SLAP) y el pinzamiento subacromial, entre otras.

Entre las opciones terapéuticas, cuando ha fallado el manejo médico, encontramos entre los procedimientos quirúrgicos la tenodesis subescapular, la tenodesis subpectoral y la tenotomía. Sin embargo, hasta la fecha no existe evidencia concluyente a cerca de las ventajas o desventajas, que incline la balanza hacia una u otra técnica.

Mediante la realización de éste estudio queremos contribuir con el conocimiento y la evidencia existente, con respecto al funcionamiento del bíceps braquial en su estado natural, y cuando ha sufrido cambios estructurales por la realización de algunas de éstas técnicas quirúrgicas.



## 3. Marco teórico

Se El músculo bíceps braquial, compuesto por su cabeza larga y cabeza corta, se considera, según estudios recientes, que contribuye con un 37 – 44% en la supinación y entre el 10 – 40% en la flexión del antebrazo<sup>1</sup>.

Las lesiones de la cabeza larga del bíceps, ya sean de origen traumático y/o degenerativo, son una causa común de dolor y disfunción del hombro<sup>2-3-4-17-19</sup>; existen múltiples entidades patológicas que afectan este tendón incluyendo la tendinitis, las lesiones parciales, y la inestabilidad<sup>4</sup>.

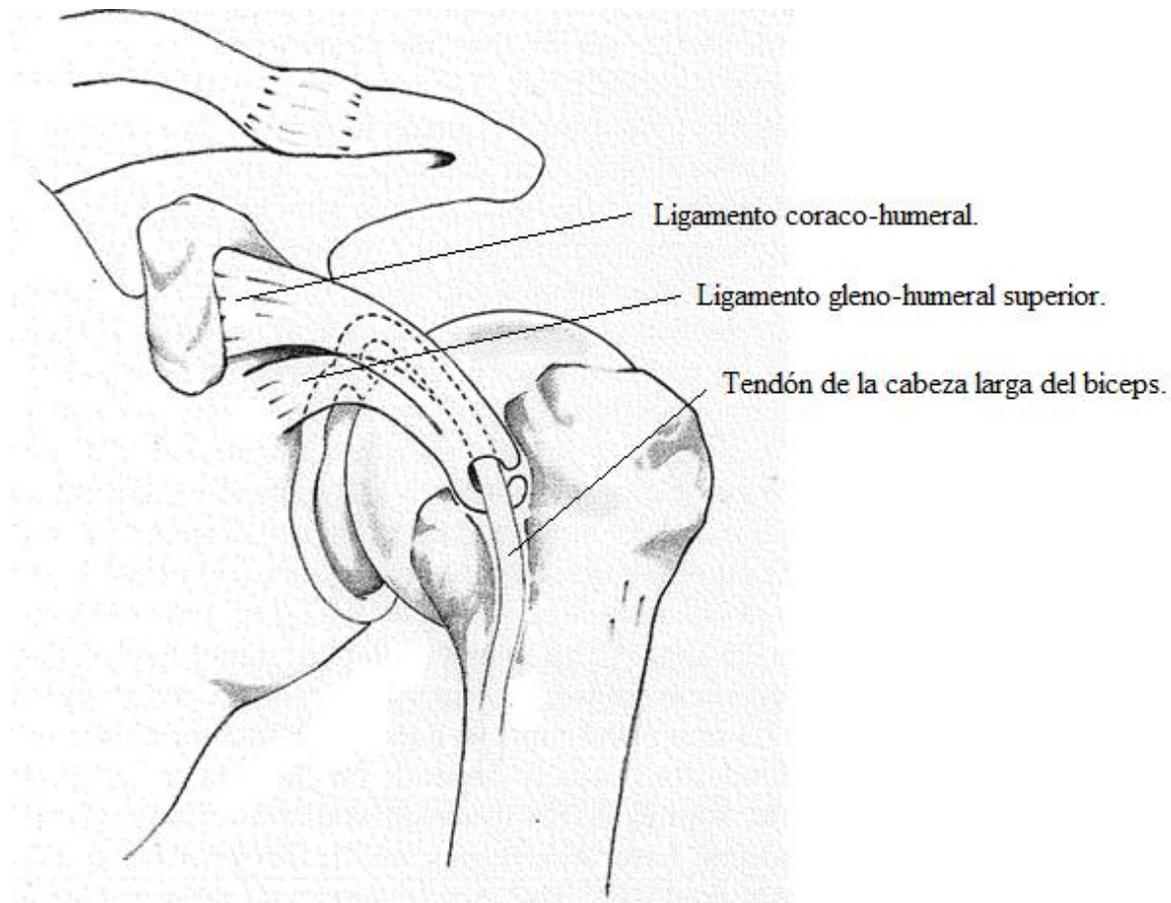
El rol exacto del tendón del bíceps dentro de la biomecánica del hombro sigue siendo poco entendida, algunos autores le atribuyen efectos sobre la depresión de la cabeza humeral y la estabilidad glenohumeral, mientras otros rechazan esta teoría<sup>5-7-8-14</sup>, sin embargo, la cabeza larga del tendón del bíceps es conocida por generar dolor y ser prono a patología, especialmente en el set de lesiones del manguito rotador y procesos de pinzamiento<sup>4</sup>.

### 3.1 Anatomía

La cabeza larga del tendón del bíceps, es una estructura presente en la articulación gleno-humeral, la cual es intra articular pero extra sinovial, que se origina desde el tubérculo supra glenoideo y se encuentra íntimamente relacionada con el labrum; esta corre a través de la corredera bicipital, hasta salir de la articulación; el tendón es estabilizado por un sistema de poleas justo proximal al surco, y por el ligamento humeral transverso en el surco bicipital. La cabeza corta se origina en la apófisis coracoides, y los vientres musculares de cada origen convergen para formar el músculo bíceps braquial, propiamente dicho. La inserción distal del bíceps se encuentra sobre el radio proximal en la tuberosidad bicipital<sup>5-6-7-12-13</sup>.

El sistema de estabilización de este tendón en el surco bicipital, está conformado por el ligamento coraco-humeral, el ligamento glenohumeral superior y por fibras provenientes de los tendones del subescapular y el supraespinoso<sup>6-7-13</sup>.

De acuerdo a los estudios de Hussain et al<sup>8</sup>. En 43 especímenes de cabezas largas del bíceps braquial, las longitudes promedio desde el origen del tendón en la tuberosidad supraglenoidea hasta los siguientes puntos de referencia son: 1. borde proximal del surco bicipital:  $2.8 \pm 0.6$  cm. 2. borde distal del surco bicipital:  $5.2 \pm 0.8$  cm. 3. Borde proximal de la inserción del pectoral mayor:  $8.1 \pm 1$  cm. 4. Unión mio- tendinosa:  $13.8 \pm 2.6$  cms. Sin encontrar diferencias significativas entre hombres y mujeres<sup>8</sup>.



## 3.2 Biomecánica

El rol preciso de la cabeza larga del tendón del bíceps sigue siendo controversial. Actualmente se ha considerado que puede actuar como un depresor de la cabeza humeral cuando el brazo se encuentra en rotación externa y abducción; y actúa como estabilizador anterior del hombro en una posición del brazo sobre la cabeza, sin embargo, éste no es activo durante la elevación del brazo<sup>3-4-5-6-7-8-12-13-17</sup>.

## 3.3 Fisiopatología

La patología de la cabeza larga del tendón de bíceps puede ser catalogada como inflamatoria, traumática o relacionada a inestabilidad; la causa de la patología se encuentra íntimamente relacionada a la anatomía del sistema de poleas y puede también estar relacionada a trauma mayor, micro-trauma repetitivo, o por cambios degenerativos relacionados con el envejecimiento<sup>2-3-4-5-6-7-12-13-14-15-17</sup>. Sin embargo, la patología de éste, es vista comúnmente en asociación con lesiones del labrum anteroposterior (SLAP) inestables, pinzamiento subacromial, lesión del manguito rotador y patología de la capsula anterior<sup>13-15</sup>.

Todos los 3 subtipos producen síntomas discapacitantes similares, y pueden sobreponerse.

**PATOLOGIA INFLAMATORIA:** éste es el tipo más común de patología, la inflamación sin evidencia de patología del hombro asociada, se ha denominado tenosinovitis primaria bicipital. Se presenta como resultado de la relación estrecha entre el tendón y su transcurso a través del sistema de poleas lo cual produce desgaste y posterior lesión del tendón; éste desgaste puede ser sustancial en personas que participan en deportes de la extremidad superior como lo son el tenis, el baseball y la natación o en aquellos trabajos en que se requiere movimientos repetitivos por encima de la cabeza, especialmente cuando se soportan cargas pesadas<sup>5-6-7-13</sup>.

Ciertas condiciones anatómicas pueden predisponer a la patología, como lo son el engrosamiento del surco bicipital, o cambios producidos por fracturas a nivel de dicho surco<sup>6</sup>.

Neer consideraba que la causa más común de la tendinitis bicipital era el pinzamiento subacromial, adicionalmente las condiciones hipertróficas sinoviales como las artritis inflamatorias y la sinovitis villonodular pigmentada, pueden producir hipertrofia sinovial en el surco bicipital y comprometer el tendón<sup>6</sup>.

**PATOLOGIA TRAUMATICA:** cualquier estructura en el cuerpo humano puede ser susceptible a una fuerza traumática; la causa más común de sobre esfuerzo del tendón del bíceps es la tracción longitudinal sobre el brazo, en la cual, la falla del tendón es el resultado de una sobrecarga de tensión excesiva; otra causa de falla del tendón es un trauma contundente directo producido por una caída sobre un brazo en extensión<sup>6</sup>.

El micro trauma repetitivo como el que se presenta en los deportistas de actividades sobre la cabeza o de trabajo pesado, también puede llevar a rupturas del tendón<sup>6</sup>.

**PATOLOGIA RELACIONADA A INESTABILIDAD:** la inestabilidad de la cabeza larga del tendón del bíceps es causada por una anomalía en el sistema de poleas, como resultado de una alteración en los tejidos blandos, y también puede estar relacionado a alteraciones propias del piso del sistema de poleas como el producido durante fracturas de 2, 3 o 4 fragmentos del húmero proximal que ha alterado el surco bicipital o sus paredes<sup>6</sup>. La inestabilidad más común es una subluxación antero inferior del tendón resultado de una lesión en la polea de reflexión generalmente por compromiso del ligamento gleno-humeral superior en su inserción en el surco bicipital<sup>6-12</sup>.

### **3.4 Evaluación clínica**

El dolor es el síntoma común en las patologías que involucran el tendón del bíceps; en la mayoría de pacientes con lesión de la cabeza larga del tendón del bíceps el dolor es confinado a la parte anterior del hombro iniciando en el surco bicipital e irradiado distalmente hasta el vientre muscular. Los pacientes con inestabilidad pueden reportar un clic doloroso o secuestro en el área del sistema poleas, especialmente con el brazo en rotación máxima especialmente cuando el brazo se encuentra elevado<sup>6-7-12-14</sup>.

Pacientes con dolor crónico por lesiones parciales del tendón, pueden experimentar alivio agudo del dolor, y calambres posterior a una ruptura completa espontánea. En este caso, se debe estar atento a la presencia de deformidad en Popeye aunque esta no se

presenta en todos los casos, y es más difícil de evidenciar en los pacientes con sobrepeso<sup>6</sup>.

El hallazgo más común es la hipersensibilidad sobre el surco bicipital, el surco es palpado con el brazo en rotación neutral, y de allí se realiza rotación interna y externa, palpando la tuberosidad mayor y la menor con el tendón de la cabeza larga del bíceps entre los dos<sup>6-7</sup>.

Los test de Speed (S: 67%, E: 61%), O'Brien (S: 67%, E: 64%) y Yergason han sido usados como ayuda para identificar pacientes con esta patología, sin embargo, estos presentan baja sensibilidad y una especificidad moderada, por lo cual se considera que afectan poco el diagnóstico<sup>6-7-12-15</sup>.

Las radiografías estándar son de ayuda en determinar fracturas o deformidades que comprometen el surco y el piso del sistema de poleas; la RMN es de ayuda en evaluar la anatomía de los tejidos blandos del sistema de poleas y la arquitectura ósea del surco, pero presenta una sensibilidad baja a moderada para determinar patología del tendón del bíceps, aunque la artroresonancia mejora la sensibilidad; la ecografía intra-articular también tiene solo una moderada sensibilidad y especificidad para la mayoría de las patologías del tendón y es operador dependiente; sin embargo, tanto la RMN como la ecografía son altamente sensibles en detectar las rupturas completas del tendón de la cabeza larga del bíceps<sup>6-7-12-15</sup>.

### 3.5 Tratamiento

El tratamiento inicial sigue siendo no quirúrgico en la mayoría de pacientes, incluyendo reposo, modificación de actividades, rehabilitación, anti-inflamatorios no esteroideos, e infiltraciones con cortico-esteroides. Si estos tratamientos fallan, o persiste la sintomatología por más de 3 meses, existe una indicación quirúrgica<sup>4-5-6-7-12-14-15-18</sup>.

Las indicaciones quirúrgicas varían entre autores, pero generalmente concuerdan en que el manejo quirúrgico está indicado en casos de lesión de la cabeza larga del tendón del bíceps mayores a 25 – 50% del diámetro, subluxación medial de éste y subluxación del tendón asociada a lesión del subescapular<sup>7-13-15-18</sup>.

Sigue existiendo debate acerca del tratamiento quirúrgico más adecuado, teniendo evidencia favorable tanto para la tenodesis como para la tenotomía<sup>4-13-14-15-17-18</sup>.

Actualmente no existe un consenso por falta de evidencia sobre las indicaciones para la elección entre éstos procedimientos, pero, de forma general, se ha sugerido que la tenotomía del bíceps está indicada en pacientes sobre los 55 a 60 años de edad; mientras que los pacientes menores de 50 años, o aquellos que desarrollan actividades de trabajo pesado pueden beneficiarse de la tenodesis<sup>4-7-14-15-17-19</sup>.

A favor de la tenotomía encontramos que es un procedimiento simple de realizar, bien tolerado, que requiere poca rehabilitación con un retorno rápido a la actividad, sin embargo, esta puede resultar en una deformidad cosmética denominada “signo de Popeye”, calambre o dolor por fatiga del bíceps<sup>3-4-5-7-12-13-18-19</sup>. Por otro lado, las tenodesis del bíceps son procedimientos técnicamente más demandantes, que requieren una rehabilitación más prolongada, pero mantiene una mejor relación longitud – tensión, mantiene el poder de flexión y supinación del codo, minimiza las deformidades cosméticas, y evita el calambre en el bíceps<sup>4-12-13</sup>.

Existe poca diferencia en los resultados, entre tenotomía y tenodesis cuando son usadas como tratamiento de lesión de la cabeza larga del bíceps, la rata de satisfacción fue similar con ambos procedimientos (77% en el grupo de tenotomía y 74% en el grupo de tenodesis)<sup>4-13-14-17</sup>. La única diferencia significativa consistente fue la deformidad cosmética “Popeye” en el grupo de tenotomía (42%) comparado con tenodesis (8%)<sup>4</sup>.

Hawkins y colaboradores evaluaron la fuerza muscular después de tenodesis y tenotomía de la cabeza larga del bíceps utilizando test de fuerzas isoquineticas y no encontró diferencias en las fuerzas de supinación del antebrazo ni en la flexión del codo<sup>4-13</sup>. Sin embargo, otros estudios han reportado una disminución de hasta 20% en el poder de flexión y supinación del antebrazo, después de tenotomía, al igual que, un incremento en la incidencia de dolor bicipital<sup>4-13</sup>.

La tenodesis proximal de bíceps braquial se ha vuelto una opción de tratamiento quirúrgico primario para los pacientes con dolor persistente o inestabilidad del tendón de la cabeza larga del bíceps<sup>5-10-12-13</sup>. Esta técnica intenta mantener una adecuada relación tensión-longitud, disminuyendo la deformidad cosmética “Popeye”, vista con la

tenotomía<sup>5-13</sup>. Sin embargo, la aproximación óptima y la ubicación adecuada del tendón en la tenodesis siguen siendo inciertas<sup>5</sup>

Las aproximaciones más comúnmente utilizadas para la tenodesis de la cabeza larga del bíceps son la subescapular artroscópica y la subpectoral abierta<sup>5-10-12-13-14</sup>. Una limitación principal para la amplia utilización de la tenodesis artroscópica es que puede existir dolor persistente y tendinopatía debido a la retención del tendón dentro del canal bicipital<sup>5</sup>.

Hasta el momento no se ha evaluado suficientemente la ubicación del tendón con relación al surco bicipital de la tenodesis subescapular artroscópica vs la subpectoral abierta<sup>5</sup>. Y no se ha establecido superioridad de alguna técnica de tenodesis según su ubicación, ya sea subescapular o subpectoral<sup>5-13-14-15</sup>. En los estudios realizados por Sanders en 2007<sup>16</sup>, encontró que las técnicas que dejan el tendón en el surco bicipital presentan una tasa de revisión de 12% comparadas con 2.7% para las técnicas distales a éste.

En un estudio realizado por Johannsen y colaboradores en 20 hombros de 10 cadáveres frescos congelados, al realizar comparaciones entre la técnica artroscópica y la abierta encontró que al realizar el análisis anatómico, en promedio el sitio de tenodesis subpectoral se encontraba a 2.2 cms distal al de la aproximación artroscópica<sup>5</sup>; Y que la localización artroscópica se encontraba siempre distal al surco bicipital<sup>5</sup>. En el análisis radiográfico se evidenció que en promedio el túnel subpectoral abierto se encontraba 2.1 cms distal al túnel realizado con técnica artroscópica; todos los túneles fueron ubicados distales al aspecto más medial de la tuberosidad menor en la radiografía lateral. En promedio el ancho del húmero era 8.5 mm mayor en el sitio de la tenodesis artroscópica; y el porcentaje del diámetro del túnel cuando se comparaba con el ancho del húmero en sitio del túnel era 25% menos con la aproximación artroscópica<sup>5</sup>. Y concluyen que con la técnica artroscópica se puede remover el tendón del bíceps del surco, como se evidenció en todos los especímenes<sup>5</sup>.

Dickens y colaboradores describen que el Nervio Musculocutáneo, el Nervio Radial y la Arteria Braquial se ponen en riesgo con la retracción medial que se realiza con la técnica abierta<sup>5</sup>. En adición a las complicaciones neurovasculares, se han reportado fracturas de húmero proximal posterior a tenodesis abierta, una ventaja potencial de la técnica artroscópica es que puede disminuir el riesgo de fractura iatrogénica en el sitio del túnel,

teniendo en cuenta que con la técnica artroscópica el ancho del húmero es 8.5 mm mayor y la relación del diámetro del túnel en comparación con el ancho del húmero en el sitio del túnel es 25% menor<sup>5</sup>.

En cuanto a las diferentes técnicas utilizadas para la fijación del tendón durante las tenodesis existen estudios que realizan pruebas de resistencia del constructo como el realizado por Ozalay y colaboradores<sup>2</sup>, en la cual se comparan 4 técnicas: 1. La técnica del túnel descrita por Snyder, 2. La técnica de tornillo de interferencia, 3. Técnica con suturas de anclajes y 4. Técnica del orificio clave (keyhole), encontrando fallas de los constructos a los  $229 \pm 44$  N para 1;  $243.3 \pm 72$  N para 2;  $129 \pm 16.6$  N para 3 y  $101.7 \pm 27.9$  para 4<sup>2-13</sup>.

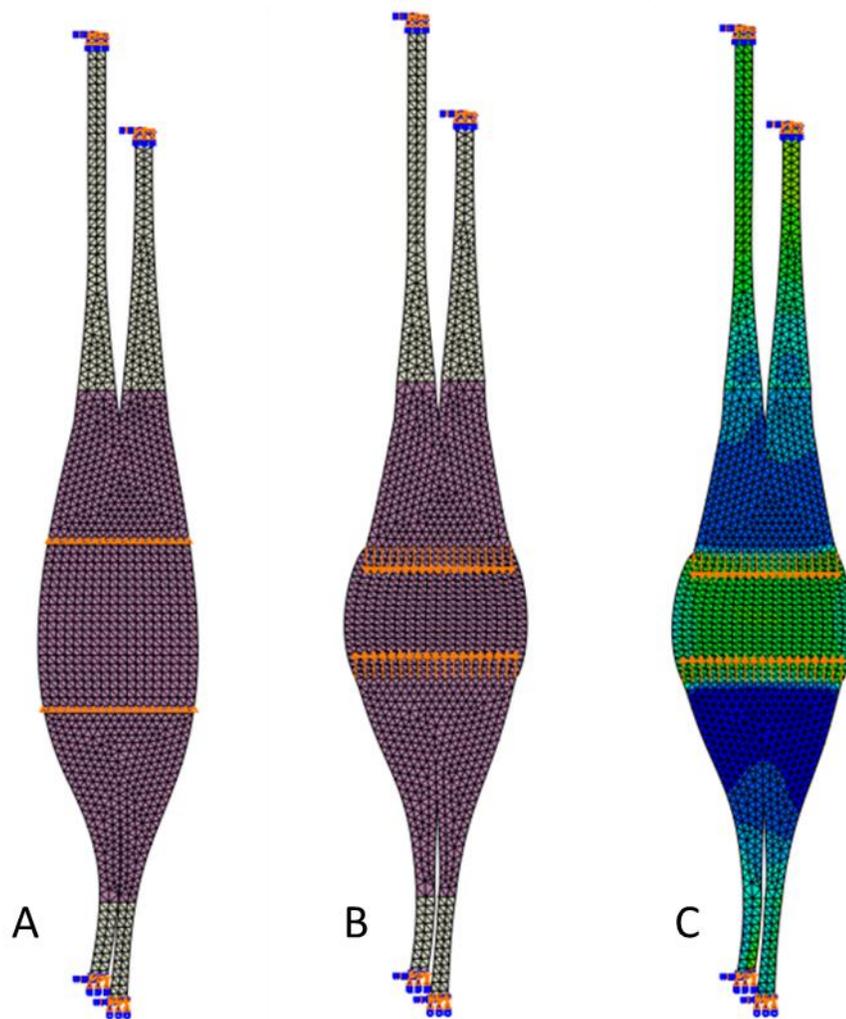
## 4. Materiales y métodos

Tomando como base imágenes por resonancia magnética nuclear del bíceps braquial del brazo en individuos asintomáticos sin patologías en dicha estructura, sumado a datos obtenidos de estudios anatómicos<sup>7-8</sup> y biomecánicos<sup>9</sup>. Se desarrolla un modelo bidimensional utilizando el método de elementos finitos de una sección coronal del conjunto muscular y tendinoso del bíceps desde sus puntos de inserción proximales en la fosa supra-glenoidea y labrum superior para la cabeza larga y la apófisis coracoides para la cabeza corta; hasta los puntos de inserción distales en la tuberosidad bicipital del radio<sup>7</sup>.

La geometría de la estructura es determinada usando mediciones anatómicas de un caso de estudio en conjunto con los datos reportados en la literatura (Fig. 1A). Los tejidos se asumen como isotrópicos y su comportamiento es definido mediante el modelo elástico lineal, se establecen las propiedades mecánicas respectivas, basándose en los estudios previamente mencionados<sup>8-9</sup>. Como condiciones de frontera se establecen las inserciones tendinosas superiores e inferiores. La generación de las cargas se hace mediante un desplazamiento nodal que representa la contracción muscular concéntrica (Fig. 1B); obteniendo fuerzas similares a las reportadas en la literatura sobre la inserción de la cabeza larga del tendón del bíceps (112 N)<sup>10</sup>, y sobre la inserción distal del tendón del bíceps (67 N)<sup>11</sup>.

El tendón de la cabeza larga se dibuja recto, asumiendo que el giro que presenta dicho tendón sobre la cabeza humeral a nivel intra-articular, se puede considerar como un mecanismo de polea, el cual, entre sus propiedades, permite cambiar una dirección sin modificar el vector de fuerza resultante.

Posteriormente se realiza el modelamiento de algunas situaciones quirúrgicas y se realiza el análisis de resultados.

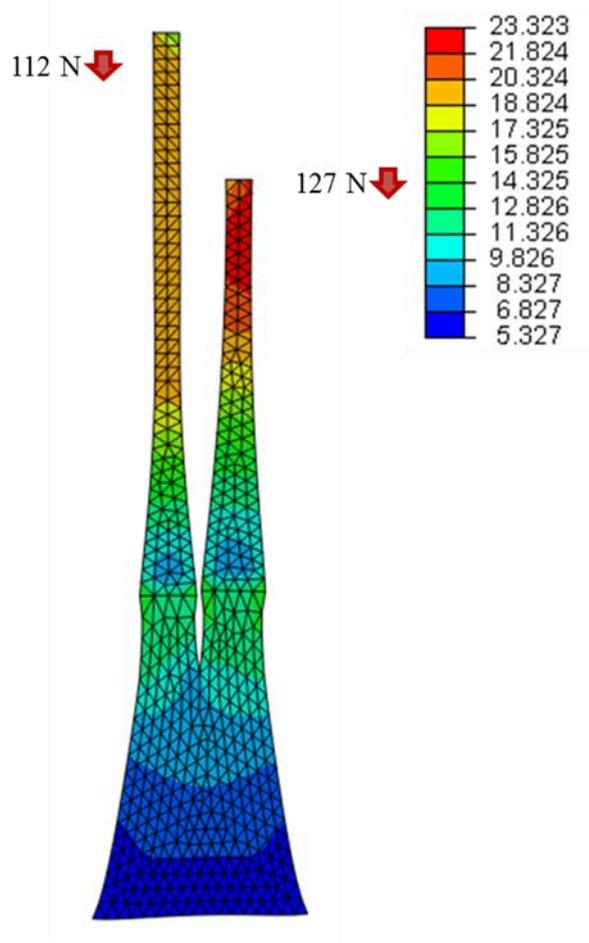


**Figura 1.** A. modelo del músculo biceps braquial en reposo. B. modelo del músculo biceps braquial durante la contracción. C. modelo del músculo, mostrando la distribución de las cargas durante la contracción.

## 5. Resultados

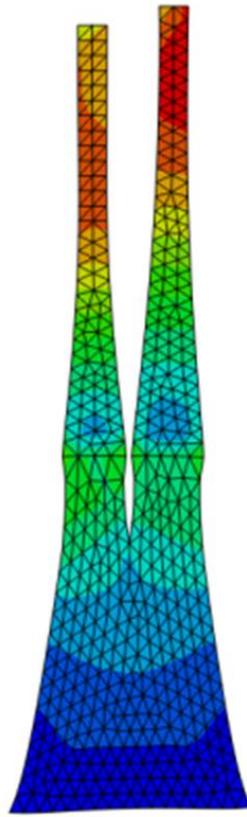
El modelo desarrollado es una aproximación simplificada al complejo musculo-tendinoso del bíceps braquial, que permite observar los efectos mecánicos de la aplicación de cargas en la región y los cambios producidos tras modificar el punto de anclaje de la cabeza larga del tendón, escenario relacionado con los procedimientos de tenotomía y tenodesis de la cabeza larga del tendón del bíceps braquial.

En el primer escenario analizamos la porción proximal del bíceps braquial en su funcionamiento normal, al cual se le aplica una presión de 4.8 Mpa, necesaria para generar una fuerza de 111,789 N en la inserción de la cabeza larga del bíceps a nivel de la fosa supra-glenoidea (similar a los 112 N reportados en los estudios por Patzer, et al.)<sup>10</sup> y una fuerza de 126,977 N en el punto de inserción de la cabeza corta a nivel de la apófisis coracoides; encontrando que, de acuerdo a nuestro modelo, durante el funcionamiento normal del bíceps braquial, la cabeza larga soporta el 46.8%, mientras la cabeza corta soporta el 53.2% de la fuerza producida por la contracción del bíceps braquial (ver Fig. 2).



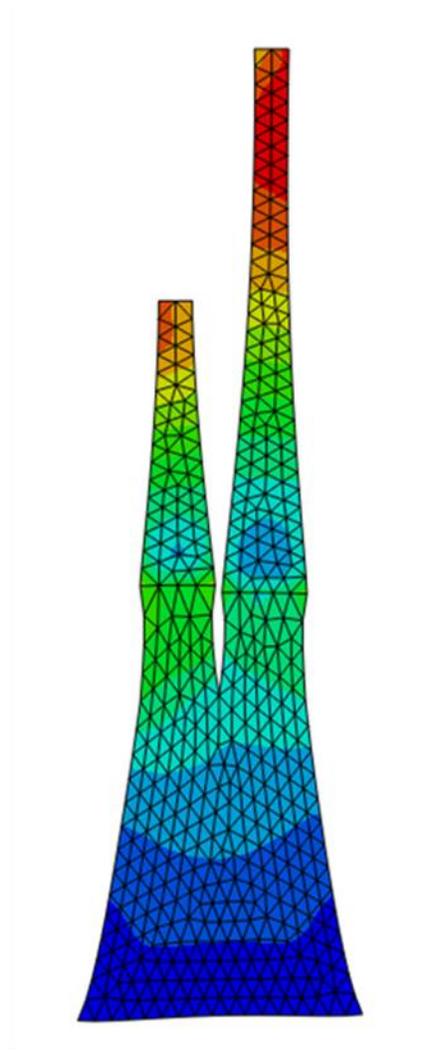
**Figura 2.** acercamiento de la parte proximal del modelo, evidenciando por escala de colores los esfuerzos en un biceps normal.

En el segundo escenario se realiza un modelo con un corte a 10 mm del inicio del surco bicipital; Lo cual corresponde con el nivel de una tenodesis subescapular artroscópica<sup>7</sup>. En este escenario evidenciamos una fuerza ejercida a nivel del anclaje de 114,483 N en la cabeza larga del tendón del bíceps y una fuerza de 124,283 N a nivel de la inserción de la cabeza corta, lo cual corresponde con una distribución de cargas de 47.95% para la cabeza larga y un 52.05% para la cabeza corta; cabe destacar que con este procedimiento se aumenta la carga a nivel de la inserción de la cabeza larga en un 1.15%, y en forma recíproca, disminuye en la cabeza corta en igual proporción. Sin embargo, el esfuerzo evidenciado por la escala de colores, a nivel del tendón de la cabeza larga del bíceps es mayor (ver Fig. 3).



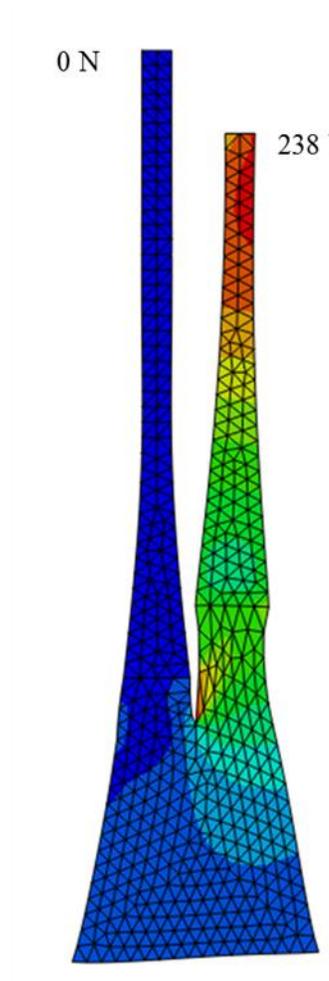
**Figura 3.** modelo del corte a nivel de una tenodesis subescapular artroscópica el tendón de la cabeza larga del bíceps braquial, nótese el aumento de esfuerzo (color rojo) en la parte central de dicho tendón.

En el tercer escenario se modela un corte a 50 mm del inicio del surco bicipital, lo cual corresponde con el nivel de una tenodesis subpectoral abierta<sup>7</sup>. Allí encontramos que la fuerza ejercida a nivel del anclaje de la cabeza larga del bíceps es de 117,485 N, mientras que en la inserción de la cabeza corta se ejerce una fuerza de 121,281 N, en este caso, la distribución de cargas sería del 49.2% para la inserción de la cabeza larga y 50.8% para la inserción de la cabeza corta del bíceps; es decir, existe un incremento en la carga sobre la inserción del anclaje de la cabeza larga y una disminución sobre la inserción de la cabeza corta del bíceps de 2.4%, respecto al escenario sin cortes (ver Fig. 4).



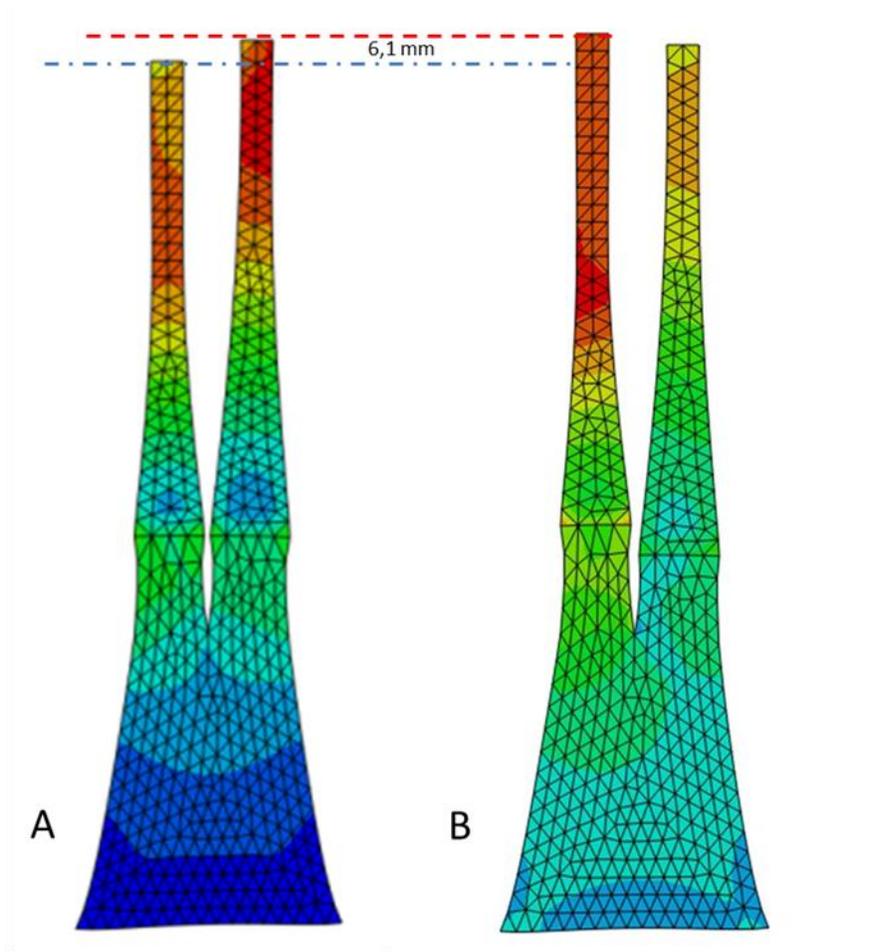
**Figura 4.** modelo de tenodesis subpectoral abierta de la cabeza larga del tendón del bíceps.

En el cuarto escenario, se realiza una simulación de una tenotomía de la cabeza larga del tendón del bíceps, retirando la restricción de anclaje de la inserción proximal, encontrando, como era de esperar, un desplazamiento de toda de la fuerza hacia la inserción de la cabeza corta, alcanzando los 238,766 N que corresponde a 100% de la carga (ver Fig.5).

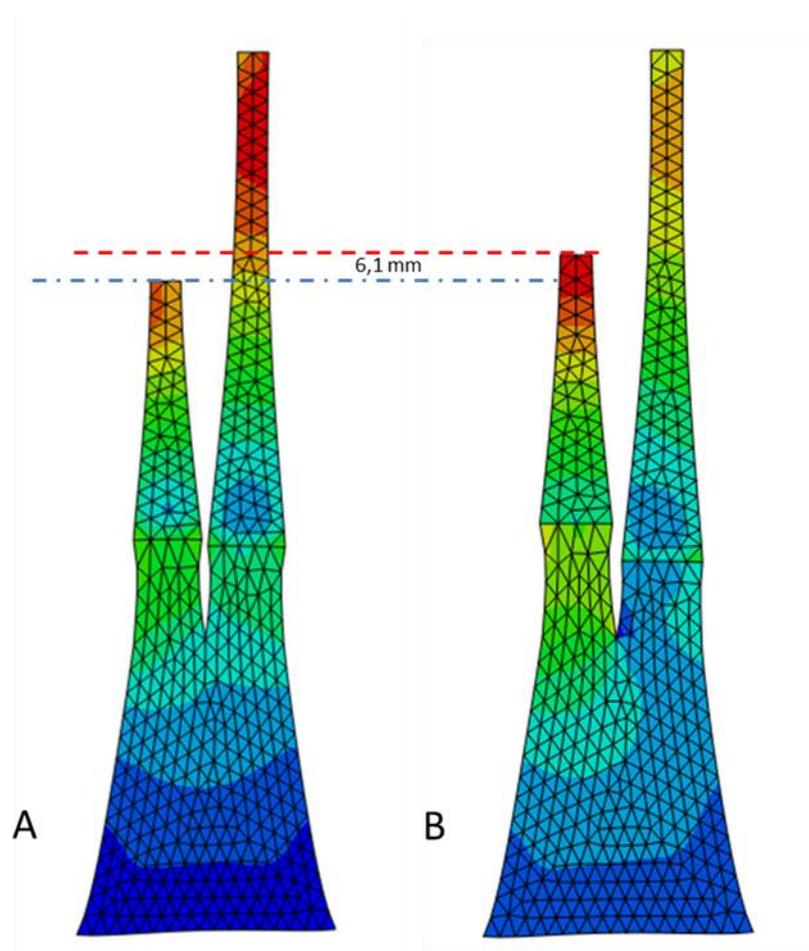


**Figura 5.** modelo de tenotomía de la cabeza larga del tendón del bíceps, nótese por la escala de colores (color rojo) el desplazamiento de esfuerzo hacia el tendón de la cabeza corta del bíceps.

En el último escenario, se realiza una elongación de  $\pm 6.1$  mm del tendón de la cabeza larga del bíceps (elongación máxima que permitía el modelo), tanto al modelo de la tenodesis subescapular artroscópica (ver Fig.6), como para el modelo de la tenodesis subpectoral abierta (ver Fig.7), lo cual nos permite evidenciar de forma cualitativa por la escala de color, un incremento considerable en el esfuerzo tendinoso.



**Figura 6.** elongación del Tendón en modelo de tenodesis subescapular. A. corte normal. B. corte con elongación de 6,1 mm, nótese el aumento de esfuerzo en el tendón por la escala de colores (color rojo).



**Figura 7.** elongación del Tendón en modelo de tenodesis subpectoral A. corte normal. B. corte con elongación de 6,1 mm, nótese el aumento de esfuerzo en el tendón por la escala de colores (color rojo).



## 6. Discusión

Para la realización de este estudio modelamos un bíceps braquial con el método de elementos finitos, teniendo como punto de partida una Resonancia Magnética Nuclear de un brazo en un individuo sano, complementado con datos anatómicos y biomecánicos reportados en la literatura. Es de tener en cuenta que existen limitantes de tipo anatómico y biomecánico para la construcción de este modelo, entre ellos, la complejidad de las variables estructurales y biomecánicas a nivel del área de transición mio-tendinosa, que en este modelo no se representa, pasando de un componente con características musculares a uno tendinoso en un nivel específico, lo cual puede alterar la distribución de las cargas ejercidas y por consiguiente los resultados obtenidos. Otro componente que no se tuvo en cuenta para la realización de este modelo es el lacertus fibroso, que si bien, no se encontraron datos de cuanta carga soporta, debe tener algún valor en la distribución de cargas a nivel distal, sin embargo, teniendo en cuenta que en éste estudio, se realiza un análisis principalmente de las inserciones proximales, no se considera que este detalle produzca alteración en los resultados.

Encontramos que para recrear las fuerzas generadas en la inserción de la cabeza larga del bíceps<sup>10</sup>, se requiere la aplicación de una presión de 4.8 Mpa; llama la atención que, en la distribución de cargas de acuerdo a nuestro modelo, la cabeza larga soporta un 46.8% mientras la cabeza corta soporta un 53.2% del total de la carga y un poco más de esfuerzo cuando se compara con la cabeza corta, sin embargo en la literatura, no se reporta síndromes dolorosos, o de desgaste relacionados con esta estructura.

Al modelar el corte al nivel que corresponde la tenodesis artroscópica o subescapular, evidenciamos una redistribución de las cargas, en la cual, al nivel del anclaje que soporta la cabeza larga se incrementa en 2,694 N la fuerza soportada que corresponde a un 1.15% del total de la carga, y de forma recíproca se genera un descenso en igual proporción sobre la inserción a nivel de la cabeza corta. Adicionalmente observamos, de acuerdo a la escala visual de colores, un incremento en el esfuerzo que realiza el tendón

en su 1/3 medio (ver Fig.3), lo cual podría generar una nueva tendinitis y ser causa de dolor recidivante lo cual podría explicar la mayor tasa de revisión reportada por Sanders<sup>16</sup> en las técnicas que dejan el tendón dentro del surco.

Al realizar el modelo a un nivel de corte que representa la tenodesis subpectoral abierta<sup>7</sup>, se evidencia una redistribución de cargas que corresponde a 5.696 N (2.94%) con respecto al modelo sin cortes, con un aumento sobre el anclaje de la cabeza larga y una disminución igual sobre la inserción de la cabeza corta; pero, a diferencia del caso anterior, encontramos que, el esfuerzo se realiza en al 1/3 proximal del tendón de la cabeza larga (ver Fig.4).

En el modelo de la tenotomía (ver Fig.5), se observa, como era de esperarse, la distribución de toda la carga hacia la inserción en la cabeza corta del bíceps, en la cual se incrementa una fuerza de 111.789 N (87.96%), sin embargo, como se mencionaba previamente, no es frecuente el reporte de dolor o rupturas a nivel de esta estructura anatómica posterior a dicho procedimiento, lo anterior, nos puede hacer pensar, que para la generación de tendinitis en la cabeza larga, juega un papel importante, la carga adicional que ésta soporta al funcionar como estabilizador anterior y depresor de la cabeza humeral<sup>12</sup>, adicionalmente a la fricción que se genera por el paso a través de las poleas.

Al realizar las elongaciones en la cabeza larga del tendón del bíceps, posterior a la realización de los cortes para tenodesis y realizar el anclaje de éstas a  $\pm 6.1$  mm proximal del punto de anclaje inicial (ver Fig.6 y Fig.7), observamos de forma cualitativa, de acuerdo a la escala de colores, un incremento considerable del esfuerzo al cual está sometido la parte proximal del tendón de la cabeza larga del bíceps, lo cual, a nivel clínico, se puede traducir en la generación de dolor por tendinitis a éste nivel. Cabe mencionar que debido a las simplificaciones realizadas en el diseño, no se pudo realizar una cuantificación del aumento de las fuerzas que se generan en estos escenarios.

En algunos artículos reportan una disminución de la fuerza de flexión y supinación del antebrazo posterior a la realización de las tenodesis, sin embargo, mediante éste modelo, no evidenciamos una causa intrínseca que pueda explicar este fenómeno, ya que, la capacidad contráctil se presenta a nivel de los vientres musculares, los cuales permanecen íntegros durante los procedimientos quirúrgicos descritos, por lo anterior,

consideramos que esta disminución de fuerza puede ser atribuida a factores extrínsecos como lo son las fibrosis por cicatrización, los cambios hipotróficos e hipoplásicos a nivel muscular que se pueden generar a largo plazo, al igual que, como puede ocurrir con un anclaje de implantación más bajo del requerido, caso en el cual, existiría un funcionamiento similar al de una tenotomía.

Si tenemos en cuenta los estudios realizados acerca de las resistencias de los constructos en las tenotomías con las diferentes técnicas según Ozalay y colaboradores<sup>2</sup>. La técnica del túnel descrita por Snyder ( $229 \pm 44$  N), 2. La técnica de tornillo de interferencia ( $243.3 \pm 72$  N), 3. Técnica con suturas de anclajes ( $129 \pm 16.6$  N) y 4. Técnica del orificio clave (keyhole) ( $101.7 \pm 27.9$ N), y los comparamos con las fuerzas encontradas en nuestro modelo al realizar las tenodesis 114.4N para la subescapular y 117.4 N para la subpectoral, encontramos que todas las técnicas con excepción del keyhole presentan resistencias que superan las fuerzas generadas en la punto de inserción del tendón, por lo cual se consideran adecuadas.

El presente trabajo es un modelo realizado con el método de elementos finitos del bíceps braquial y algunas técnicas utilizadas para el tratamiento de patologías relacionadas a esta estructura; si bien es cierto que su diseño presenta limitaciones naturales, dado el hecho, que se está representando un fenómeno espacial de forma bidimensional, el cual tiene una complejidad geométrica considerable, es un paso inicial en el modelamiento de dicha estructura y contribuye con nuestro conocimiento acerca de las respuestas biomecánicas del tendón a los escenarios quirúrgicos mencionados. Esperamos que este trabajo de pie a la creación de otros estudios que al igual que este, nos permitan de una forma más objetiva, aclarar tantas dudas que existen a cerca de los diferentes tratamientos utilizados para las patologías del bíceps braquial.



## 7. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos con éste estudio, podemos concluir que:

1. Todo acortamiento realizado en la parte proximal del tendón de la cabeza larga del bíceps, produce un aumento en la fuerza de carga en el nuevo punto de inserción, el cual aumenta con el incremento en la longitud del corte, siendo 1.15% para la tenodesis subescapular y 2.4% en el caso de la tenodesis subpectoral.
2. El aumento en el esfuerzo en toda la longitud del tendón que se produce con la tenodesis subescapular es mayor al que se produce con la tenodesis subpectoral (en el cual, se produce a nivel de su inserción proximal), lo cual se puede relacionar con recidiva de la sintomatología, y una mayor tasa de revisiones.
3. La técnica del túnel descrita por Snyder, la técnica de tornillo de interferencia y las técnicas con suturas de anclajes ofrecen una resistencia del constructo que sobrepasa las cargas que son ejercidas a nivel de la inserción proximal del tendón al realizar las tenodesis, por lo cual se consideran adecuadas para su utilización, a diferencia de la técnica del keyhole cuya resistencia es menor a las establecidas en este estudio.
4. No encontramos causa directa que pueda explicar una disminución de fuerza muscular luego de la realización de alguna de las técnicas quirúrgicas descritas, ya que éstas no afectan la capacidad contráctil del vientre muscular y consideramos que en caso de presentarse pérdida de fuerza debe ser atribuida a causas extrínsecas como la fibrosis por cicatrización, o la hipoplasia o hipotrofia a nivel muscular a largo plazo de forma adaptativa.



## Bibliografía

1. Gregory Hansen, et al. Anatomic repair of the distal biceps tendón cannot be consistently performed through a classic single-incision suture anchor technique. *J Shoulder Elbow Surg* 2014 Dec;23(12):1898-1904.
2. Ozalay M, Akpinar S, Karaeminogullari O, Balcik C, Tasci A, Tandogan RN, Gecit R. Mechanical Strength of Four Different Biceps Tenodesis Techniques. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery* 2005 Aug;8(21):992-998.
3. Osbahr DC, Diamond AB, Speer KP. The Cosmetic Appearance of Biceps Muscle After Long-Head Tenotomy Versus Tenodesis. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery* 2005 Feb;21(2):182-185.
4. Nicholas R. Slenker, M.D., Kevin Lawson, M.S., Michael G. Ciccotti, M.D.; Biceps Tenotomy Versus Tenodesis: Clinical Outcomes; *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, Vol 28, No 4 (April), 2012: pp 576-582
5. Giacomo Delle Rose, Mario Borroni, Alessandro Silvestro; The long head of biceps as a source of pain in active population: tenotomy or tenodesis? A comparison of 2 case series with isolated lesions; *Musculoskelet Surg* (2012) 96 (Suppl 1):S47–S52
6. Galatz, L.M; OKU, Orthopaedic Knowledge Update: Shoulder and elbow 3; American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2008; pag. 263 – 272.
7. Busconi BB, De Angelis N, Guerrero PE. The Proximal biceps Tendon: Tricks and Pearls. *Sports Med Arthrosc Rev* 2008 Sep; 16(3): 187-194.

8. Hussain WM, et al. The longitudinal anatomy of the long head of the biceps tendon and implications on tenodesis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014 Feb 27.
9. Ogneva IV, Ushkov IB. The Transversal Stiffness of Skeletal Muscle Fibers and Cardiomyocytes in Control and After Simulated Microgravity. *into Biology-From Cell to Protein*, 2012 - [cdn.intechopen.com](http://cdn.intechopen.com)
10. Patzer T, et al. Suprapectoral or subpectoral position for biceps tenodesis: biomechanical comparison of four different techniques in both positions. *J Shoulder Elbow Surg* 2012 Jan; 21(1): 1050-5.
11. Shukla DR, et al. Distal biceps tendon rupture: an in vitro study. *Clin Biomech (bristol, Avon)*. 2012 Mar; 27 (3): 263-7.
12. Ding DY, Garofolo G, Lowe D, Strauss EJ, Jazrawi LM. The Biceps Tendon: From Proximal to Distal. *J Bone Joint Surg Am*. 2014 Oct; 96A(20):e176(1-11).
13. Lam F, Mok D. Treatment of the painful biceps tendon – tenotomy or tenodesis. *Current Orthopaedics* 2006; 20: 370-375.
14. Brislin BT, Field L. Biceps tenodesis: Soft Tissue Techniques; techniques in *Shoulder & Elbow Surgery*; 2008; 9 (1): 43-49.
15. Provencher MT, LeClere LE, Romeo AA. Subpectoral Biceps Tenodesis; *Sport Med Arthrosc Rev*; 2008; 16 (3): 170-176.
16. Sanders BS, Warner JJP, Pennington S, et al. Biceps Tendon Tenodesis: Success with Proximal vs Distal Fixation. *AAOS Annu Meeting*. 2007.
17. Frost A, Maffulli N. Tenotomy Versus Tenodesis in the Management of Pathologic Lesions of the Tendon of the Long Head of the Biceps Brachii; *The American Journal of Sports Medicine*; 2009; 37 (4): 828-833.

18. Hwan k, Hwan J, kim SM, Yoo JC. Treatment of Biceps Tendon Lesions in the Setting of Rotator Cuff Tears. *The American Journal of Sports Medicine*; 2010; 38 (8): 1584-1590.
19. Hsu AR, Ghodadra NS, Provencher MT, Lewis PB, Bach BR. Biceps tenotomy versus tenodesis: a review of clinical outcomes and biomechanical results. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*; 2011; 20: 326-332.
20. Galasso O, Gasparini G, Benedetto M, Familiari F, Castricini R. Tenotomy versus Tenodesis in the treatment of the long head of biceps brachii tendon lesions. *BMC Musculoskeletal Disorders*; 2012; 13: 205-212.