

# **Alma Mater Studiorum – Università di Bologna**

**DOTTORATO DI RICERCA IN**

**Scienze Biomediche e Neuromotorie**

**30° Ciclo**

**SETTORE CONCORSUALE: 06/F4 - MALATTIE APPARATO LOCOMOTORE E  
MEDICINA FISICA E RIABILITATIVA**

**SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE: MED/33 - MALATTIE APPARATO  
LOCOMOTORE**

**TITOLO TESI**

**SPABiT: SUPRAPECTORAL ARTHROSCOPIC BICEPS TENODESIS.  
STUDIO BIOMECCANICO DI UNA NUOVA TECNICA DI TENODESI DEL  
CAPO LUNGO DEL BICIPITE**

**Presentata da: Dott.ssa DUNIA FRANCESCONI**

**Coordinatore Dottorato**

**Prof. Lucio Ildebrando Cocco**

**Supervisore**

**Prof. Roberto Buda**

**Esame finale anno 2018**

## ABSTRACT

### **SUPRAPECTORAL ARTHROSCOPIC BICEPS TENODESIS (SPABiT): BIOMECHANICAL STUDY OF A NEW TENODESIS TECHNIQUE**

The SPABiT is a new technique for tenodesis of the long head of the biceps tendon, born in a vast panorama of techniques who have shown a whole series of complication both as regards the position of tenodesis, the types of devices used and the choice to perform the technique in open surgery or arthroscopy. A new technique has been proposed to reduce the risk of occurrence of above-mentioned complications. The objective of this study was to determine the mechanical strength of the new technique and to compare it with that of interference screw technique.

#### **Methods**

Twenty-one human humerus and proximal biceps were tested following tenodesis, performed according to the technique to be investigated. The strength and stiffness of the two different constructs was determined following cyclical loading (500 cycles) ranging from 20 up to 100N.

#### **Results**

No significant difference was found in stiffness between the two techniques (SPABiT  $82\pm 27$  N/mm, interference screw  $76\pm 18$  N/mm). The ultimate strength was  $238\pm 96$  N and  $172\pm 58$  N for the SPABiT and the interference technique, respectively (Mann-Whitney  $p=0.14$ ). In four cases (2 SPABiT and 2 interference screw fixations) failure occurred at low load level due to inaccuracies in performing tenodesis. Considering these four cases as outliers, the strength values increased up to  $290\pm 40$  N and  $202\pm 32$  N (Mann-Whitney  $p=0.02$ ).

#### **Conclusions**

The SPABiT could be an interesting alternative for arthroscopic suprapectoral biceps tenodesis since it can provide comparable or even higher mechanical strength than that measured for the interference screw technique.

# TESI

## INDICE

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
Anatomia e biomeccanica del CLB .....	6
Le patologie del CLB.....	13
Clinica e Imaging.....	20
Il trattamento .....	21
Tecniche a confronto: tenotomia vs tenodesi.....	28
<b>PARTE SPERIMENTALE</b>	
L'innovazione SPABiT .....	31
Studio prova pilota - USA .....	38
Studio completo da protocollo - ITALIA .....	49
I risultati .....	55
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>67</b>

## INTRODUZIONE

La rilevanza clinica del capo lungo del bicipite per la funzione della spalla è stato oggetto di numerose controversie per molto tempo. Le opinioni sul contributo del tendine bicipite nella sua porzione intra-articolare sono molto discordanti: da una funzione vestigiale analoga ad una appendice, a quelle che sostengono che esso possa avere un ruolo determinante nella stabilità della spalla. Inoltre molti cambiamenti sono avvenuti nel tempo anche per quanto riguarda il trattamento chirurgico del capo lungo del tendine bicipite.

Negli anni '40 il tendine bicipite era identificato come la principale causa della spalla dolorosa e la tenodesi era considerata come l'intervento di scelta per la risoluzione di tale dolore. Quando l'attenzione si spostò sulla cuffia dei rotatori la tenodesi divenne sempre meno popolare.

Successivamente, con la convinzione di un possibile ruolo secondario del capo lungo del bicipite nella stabilità della spalla, si modificò atteggiamento nel suo trattamento e si iniziò a raccomandare di preservarlo ogni qual volta fosse possibile. Più recentemente, una volta accettata la teoria sul ruolo funzionale del capo lungo del bicipite, ovvero di contribuire ad abbassare la testa dell'omero, sono stati fatti numerosi riesami sul significato da un punto di vista sintomatico del tentativo di conservarlo, tenendo conto che questo sollevava il problema di mantenere nel paziente un tendine cronicamente infiammato. Così, con il notevole aumento della ricerca e dell'esperienza clinica sul tendine del capo lungo del bicipite, è divenuta ormai una consapevolezza che le patologie a carico di questa struttura possono avere importanti conseguenze sulla sintomatologia dolorosa del paziente e che quindi era necessaria una strategia di trattamento. Da tale consapevolezza non sono certo mancate numerose problematiche per opinioni spesso molto contrastanti sul suo trattamento, creando nel tempo una forte confusione su quello che fosse l'atteggiamento terapeutico migliore. Nonostante le diverse opinioni si può affermare con certezza che la corretta strategia di trattamento non è altro che il giusto equilibrio tra la consapevolezza che il capo lungo del bicipite abbia un importante ruolo funzionale per la spalla e la sua frequente tendenza a creare sintomi dolorosi persistenti nel paziente. Anche se sono trascorsi tre secoli dalla descrizione delle prime lesioni del capo lungo del bicipite, la discussione sulle lesioni che ne determinano le caratteristiche patologiche e le metodiche di trattamento, rimane particolarmente accesa ed è capace di infiammare ancora gli animi dei chirurghi.

Probabilmente, la chiave di lettura della questione che si esplica nella scelta del miglior trattamento del capo lungo del bicipite e della giusta tecnica chirurgica non devono essere altro che il risultato di una attenta analisi della sintomatologia e delle esigenze funzionali di ogni singolo paziente.

Di fronte a questa realtà nasce l'idea di una nuova tecnica chirurgica di tenodesi del capo lungo del bicipite, che possiamo definire nel suo insieme innovativa per diverse caratteristiche:

- POSIZIONE DELL'ANCORA
- TIPOLOGIA DI ANCORA
- TIPOLOGIA DI STITCH DEL CLB
- TECNICA COMPLETAMENTE ARTROSCOPICA

#### Nasce così THE SPABiT Technique

La tecnica chirurgica SPABiT nasce da una idea del Dott. S.J. Snyder e dal desiderio di trovare una soluzione a molti problemi che l'intervento di tenodesi del CLB aveva causato nelle diverse tecniche chirurgiche che si sono susseguite in questi anni. Vengo a conoscenza della nuova tecnica proprio dal Dott. Snyder durante la frequenza presso lo SCOI di Los Angeles. Da qui, la proposta di sviluppare questo progetto, con una collaborazione internazionale tra l'Italia e Los Angeles. All'Italia sarebbe spettato l'importante compito di testare la validità biomeccanica della nuova tecnica, aspetto sempre molto spinoso ma determinante per testare l'affidabilità di una nuova tecnica chirurgica.

## **IL CAPO LUNGO DEL BICIPITE**

L'uso diffuso dell'artroscopia di spalla ha permesso una migliore comprensione dell'anatomia di questa struttura e delle sue variazioni ed ha contribuito a individuare specifiche lesioni del tendine. Una conoscenza approfondita dell'anatomia e della funzione del capo lungo del bicipite (CLB) è importante per valutare e trattare i disturbi di questa struttura.

### **EMBRIOLOGIA**

Il CLB appare tra la sesta e settima settimana di gestazione (lunghezza vertice-sacro di 13-14 mm) come una condensazione del blastema tra l'omero e la scapola, la cosiddetta Interzone. Questo tessuto intermedio dà anche origine al cerchione glenoideo, il tendine sottoscapolare, e la capsula della spalla. A 17 mm, la condensazione del tendine del bicipite si fonde con quello per il labbro glenoideo. A 22 mm, appare un solco intertubercolare, contenente il CLB. La cavitazione dell'articolazione della spalla inizia all'incirca tra la settimana settima e ottava di gestazione e si forma una ampia cavità tra il CLB e la testa omerale che si estende nel solco bicipitale sulcus. È stato suggerito che il CLB sviluppa fuori dall'articolazione gleno-omerale e progressivamente migra in esso, anche se questo parere è stato confutato da Neale et al.<sup>1</sup>, che credono che il tendine sviluppi intra-articolare. Anomalie dello sviluppo del CLB sono state segnalate, anche se la loro reale incidenza non è nota. Il tendine può essere collegato alla capsula con un mesentere, può trovarsi sotto lo strato interno sinoviale, o può essere completamente assente. De Palma descrisse tre anomalie dello sviluppo del tendine: posizione intracapsulare parziale o completa e completa assenza. Mariani et al.<sup>2</sup> riportò un caso di assenza artroscopica del CLB, anche se un attento esame della risonanza magnetica della spalla malata rivelò la presenza di un tendine ipoplasico extra-articolare. Altre testimonianze di una assenza congenita del capo lungo del bicipite sono apparse in letteratura, alcune in associazione con altre anomalie congenite, come difetti vertebrali, atresia anale, fistola tracheoesofagea con atresia esofagea, anomalie radiali e renali o spina bifida. Da segnalare il fatto che in alcuni dei casi è stata riscontrata una instabilità anteriore della spalla.<sup>3-4-5-6</sup>

## ANATOMIA

Il CLB classicamente è stato descritto come proveniente dal tubercolo sopraglenoideo della scapola<sup>7-8</sup>. Tuttavia, sembra che il tendine, molto spesso, abbia una doppia inserzione al labbro glenoideo superiore e al tubercolo sopraglenoideo. Vangsness et al.<sup>9</sup>, in uno studio di 100 spalle su cadaveri freschi, ha rilevato che in tutti i campioni, dal 40% al 60% delle fibre del CLB, nascono dal tubercolo sopraglenoideo e le fibre rimanenti hanno inserzione sul labbro glenoideo superiore. Sono state riconosciute quattro tipologie di inserzioni del CLB e classificate<sup>9</sup> in:

tipo I: il tendine bicipitale prende inserzione tutto sul labbro posteriore; (22%)

tipo II: inserzione prevalentemente posteriore, con una piccola parte di fibre inserite sul labbro anteriore; (33%)

tipo III: tendine inserito in misura uguale sul labbro posteriore ed anteriore; (37%)

tipo IV: per lo più anteriore, con un piccolo contributo al labbro posteriore; (8%)

Inoltre, l'orientamento del bicipite all'inserzione alla glenoide, varia ed è correlato con il tipo di inserzione al labbro.

Per una glenoide sinistra, tutti i tipi III e IV avranno un orientamento a ore 11 o ore 12; il tipo I e tipo II saranno orientati intorno a ore 12 o ore 1. Tuoheti et al.<sup>10</sup> in uno studio simile, ha valutato macroscopicamente e istologicamente i tipi di inserzione del tendine e la posizione dell'origine dei legamenti gleno-omerale.

Hanno scoperto che nelle spalle con inserzione prevalentemente posteriore e di tipo uguale nell'inserzione del bicipite, il legamento gleno-omerale inferiore (IGHL) era inserito abbastanza alto (per una spalla destra posteriore-dominante tra ore 2 e 3), mentre nel tipo completamente posteriore, IGHL era inserito in posizione più bassa (tra ore 4 e ore 5). L'esame istologico ha mostrato che nelle spalle dominanti posteriori e di pari tipi, le fibre del IGHL erano collegate direttamente al tendine bicipite; nel tipo tutto posteriore invece non esisteva una connessione. Tale variazione non è stata osservata per i legamenti gleno-omerale superiore e medio, che in tutte le spalle prendevano inserzione costantemente tra ore 12 e ore 1. Dal sito di inserzione, il decorso del tendine si delinea obliquamente nell'articolazione gleno omerale, lungo l'intervallo dei rotatori ed entra nel solco bicipitale dell'omero. Il tendine è avvolto in una guaina sinoviale che termina come un sacchetto cieco l'estremità distale del solco intertubercolare. Così il tendine è intracapsulare ma extrasinoviale. Nell'intervallo dei rotatori, il legamento gleno-omerale superiore forma una piega che è parallela al tendine e ha l'aspetto macroscopico di una U-shape che attraversa sotto il CLB e si inserisce prossimale alla doccia intertubercolare. Il tetto dell'intervallo è rafforzato dalla banda trasversale

della cuffia dei rotatori (Fasciculus Obliquus) e dal legamento coraco-omerale.

Le fibre del tendine del sovraspinato si uniscono alla parte postero-superiore dell'intervallo. Il tendine sottoscapolare non è coinvolto in questo sistema di sostegno. Sia il legamento gleno-omerale superiore che il Fasciculus Obliquus proteggono il capo lungo del bicipite da stress di taglio anteriori; infatti lesioni a carico dell'intervallo potrebbero portare a instabilità anteriore del bicipite.<sup>11</sup> I tradizionali testi anatomici e ortopedici descrivono il legamento trasverso omerale come lo stabilizzatore primario del bicipite all'interno del solco intertubercolare. La presenza del legamento trasverso omerale, come struttura anatomica distinta, è stata messa in discussione. Gleason et al.<sup>12</sup> in uno studio su cadavere ha rilevato che non vi era alcuna struttura identificabile come legamento trasversale omerale, ma le fibre che coprono il solco bicipitale sono composte da una branca formata principalmente dalle fibre del tendine sottoscapolare. Le fibre di collagene superficiali del tendine sottoscapolare formano il tetto della scanalatura, coprono il tendine del bicipite, e si inseriscono sulla grande tuberosità. Le fibre profonde del tendine si estendono medialmente fino alla tuberosità minore. Uno strato sottile di fibre continua intorno e sotto il tendine bicipite, che copre una parte del pavimento della doccia bicipitale. Le fibre superiori del sottoscapolare si uniscono con le fibre del sovraspinoso anteriormente e il legamento coraco-omerale a livello prossimale del solco intertubercolare. Simili osservazioni anatomiche sono state fatte da Clark e Harryman<sup>13</sup>. Nel loro studio, hanno trovato che nella regione prossimale del solco bicipitale i tendini del sottoscapolare e del sovraspinoso si fondono per formare una guaina che circonda il tendine del bicipite. La porzione profonda di questa guaina adiacente all'osso è composta da fibre del tendine sottoscapolare, che forma un rivestimento fibrocartilagineo a 7 mm prossimale dalla doccia. Il tetto della guaina del bicipite è rafforzato dalle fibre del legamento coraco-omerale e della capsula articolare. Questo rapporto anatomico spiega l'associazione comune tra patologia del tendine bicipite quali tendinite e sublussazione associata a rottura della cuffia dei rotatori. Qualsiasi processo infiammatorio che interessa la cuffia dei rotatori finirà per influenzare il bicipite. Allo stesso tempo, il CLB viene sottoposto allo stesso stress meccanico con impingement della cuffia dei rotatori.

L'appiattimento del tendine del bicipite e l'aumento della sua sezione trasversale è stata osservata in spalle con lesione della cuffia dei rotatori.<sup>14</sup> Tale ipertrofia del tendine potrebbe rappresentare un tentativo di vincolare la testa omerale una volta che il suo contenimento primario, la cuffia dei rotatori, non è più in grado di farlo. Walch et al<sup>15</sup>, in una revisione retrospettiva di 71 pazienti con tendine bicipite sublussato e lussato, ha scoperto che tutti i casi di sublussazione erano associati con una rottura parziale del tendine sottoscapolare e, nel 70%, con rottura del tendine sovraspinoso. I pazienti con lussazione del tendine bicipite (perdita

completa di contatto tra il tendine e la doccia bicipitale) hanno dimostrato risultati simili, ma in metà di essi, il tendine sottoscapolare aveva una rottura completa. Queste osservazioni anatomiche e cliniche indicano che le lesioni del tendine bicipite dovrebbero far sorgere il sospetto di una rottura concomitante della cuffia dei rotatori. L'anatomia del solco bicipitale è di particolare interesse e gioca un ruolo importante nella biomeccanica del CLB; inoltre le sue specifiche caratteristiche morfologiche sono implicate nello sviluppo di alterazioni patologiche del tendine.

Da un punto di vista funzionale, la regione più importante del solco bicipitale è il solco intertubercolare, che è delimitato dalla tuberosità minore medialmente, e la tuberosità maggiore lateralmente. Sebbene il bordo prossimale del solco bicipitale può essere identificato come la prima depressione percepibile vicino alla superficie articolare della testa omerale, il suo limite distale è meno distinto dato che il solco scompare sulla faccia mediale dell'omero. Il solco intertubercolare ha una lunghezza totale di circa 28,5 mm ed è suddiviso in una parte prossimale orizzontale e in una parte distale verticale con una lunghezza media rispettivamente di circa 12,4 mm e 15,1 mm. L'angolo tra le 2 misure è circa 142 ° ma mostra una grande variabilità (range 124-157°). La profondità del solco aumenta gradualmente e raggiunge il suo massimo di 4.1mm nel punto di transizione tra la parte orizzontale e quella verticale del solco intertubercolare; e poi si assottiglia gradualmente verso l'estremità distale della doccia. Il solco ha una larghezza di 3 mm al suo ingresso e diventa progressivamente più ampia distalmente (8.35 mm)<sup>16</sup>.

L'inclinazione della parete mediale del solco intertubercolare è compresa tra 40 e 70 °; questi valori bassi di angoli sono stati associati con una aumentata incidenza di instabilità del tendine bicipite.<sup>17</sup> L'angolo di apertura totale tra le 2 pareti del solco varia nella maggior parte delle persone tra 101 ° e 120 °; un angolo acuto di apertura totale, una scanalatura piatta e un piccolo angolo di parete mediale sono stati associati con una predisposizione alla tendinite del capo lungo del bicipite. La cresta sopratubercolare è una piccola protuberanza ossea continua con la porzione superiore della tuberosità inferiore, che è presente nel 45% al 50% delle spalle. Essa agisce come un hypomochlion e permette un cambiamento più graduale nella direzione del bicipite all'ingresso del solco bicipitale così da prevenire lo spostamento mediale. Le caratteristiche morfologiche del solco intertubercolare sono legati alla manualità. Vettivel et al.<sup>18</sup> riferiscono che la larghezza del solco, nonché l'inclinazione della parete mediale, erano più elevati nel lato destro degli omeri. La cresta sopratubercolare era anche più frequentemente presente a destra che a sinistra. La lunghezza totale del CLB è stata riportata da Refior e Sowa<sup>14</sup> ed è in media 102 mm (108 mm di uomini, 95 mm di donne) e correlata con l'altezza del corpo. La sezione trasversale del tendine e la sua forma cambia lungo il suo decorso. Prossimalmente, in prossimità della sua origine e mentre passa sopra la testa omerale il tendine è ovoidale con una sezione trasversale di un'area media di 8,4 mm x 3,4 mm.

All'ingresso della doccia bicipitale, esso si assottiglia e ha una sezione trasversale di 5,1mm x 2,7mm. All'uscita dal solco bicipitale, il tendine assume una forma più rotonda, con una sezione trasversale di 4,5 mm x 2,1 mm. Il tendine del bicipite presenta due regioni con maggiore predilezione per lo sviluppo di modificazioni degenerative e rottura successiva: all'uscita dal solco bicipitale e alla sua origine glenoidea.

Il CLB è fornito da arterie di 3 fonti differenti. La porzione distale è fornita da rami del brachiale e dall'arteria brachiale profonda e la porzione prossimale dai rami anteriori dell'arteria circonflessa omerale. Nel solco intertubercolare, questa arteria dà luogo a 2 rami più piccoli in direzione craniale e caudale. Il ramo craniale fornisce piccoli vasi che raggiungono il segmento prossimale del tendine e la sua guaina sinoviale. Non ci sono segmenti veri avascolari nel tendine, anche se vi è una zona ipovascolare vicino alla superficie di scorrimento del tendine. L'apporto di sangue del tendine sembra essere adattato alle esigenze metaboliche delle sue diverse aree strutturali, che sono a loro volta adattate alle esigenze biomeccaniche. Nella porzione del tendine adiacente alla capsula il tessuto viene sottoposto a sollecitazioni di trazione e assomiglia a un tendine di trazione. Nella zona adiacente all'osso il tendine è sottoposto a sollecitazioni di compressione e il tessuto è simile a quello di un tendine a scorrimento e presenta caratteristiche di cartilagine fibrosa.<sup>19</sup> Anche se povero di vascolarizzazione è probabile che cause meccaniche di logoramento in specifiche sedi anatomiche o un impingement sotto l'arco coraco-acromiale possano essere responsabili di patologie del tendine quali tendiniti, degenerazione e la rottura.

Il nervo muscolo-cutaneo (C5-7) fornisce innervazione motoria al muscolo bicipite. Una vasta rete di sensori e fibre nervose simpatiche sono state identificate nel CLB e sembrano essere concentrati principalmente in prossimità della sua origine al labbro glenoideo.

Oltre alla nocicezione, questa rete può svolgere un ruolo nella regolazione della perfusione e della nutrizione del tendine<sup>20</sup>; Knatt et al <sup>21</sup> ha dimostrato la presenza di un arco riflesso dalla faccia anteriore della capsula gleno-omerale al capo lungo del bicipite in un felino. L'arco è mediato da un ramo del nervo muscolocutaneo. Sebbene tale riflesso non è stato identificato in esseri umani, la sua presenza può avere implicazioni significative nell'approccio chirurgico e riabilitativo della instabilità di spalla.

## **LA FUNZIONE DEL CLB**

L'esatto ruolo funzionale del CLB è sconosciuto e ha creato un notevole dibattito. Alcuni ricercatori ritengono che il tendine non ha alcuna funzione rilevante nella spalla, mentre altri ritengono che il tendine svolge un importante ruolo di depressore della testa omerale e migliora la stabilità

gleno-omeroale, soprattutto quando è presente una lesione della cuffia dei rotatori o a carico del labbro glenoideo. Si è cercato di chiarire il ruolo del CLB attraverso studi di biomeccanica ed elettromiografia. Uno studio sulle proprietà meccaniche del tendine del CLB di McGough et al <sup>22</sup> fornisce una spiegazione della funzione del tendine. Test di rilassamento-stress sono risultati essere di 18 +/- 4%. Il modulo era 421+/-221 MPa, e la resistenza alla trazione era 32,5+/-5,3 MPa. Gli ultimi due valori sono 80% e 70%, rispettivamente, sono per il tendine rotuleo 4 volte e 2 volte di quelli riportati per il tendine sovraspinato. In altre parole, il tendine ha abbastanza lassità per la sua vasta gamma di movimento e allo stesso tempo è in grado di supportare carichi di grandi dimensioni e di riuscire ad avere una azione di compenso in caso di coesistenza di rottura della cuffia dei rotatori o instabilità spalla. Andrews et al <sup>23</sup> hanno stimolato elettricamente il muscolo bicipite durante l'artroscopia della spalla ed hanno osservato la compressione della testa omerale nella glenoide che, secondo gli autori, offre protezione dallo stress all'omero durante il lancio. Il ruolo del CLB come depressore della testa omerale, che crea un fulcro per consentire l'elevazione del braccio, è stato sottolineato da Kumar et al <sup>24</sup> nel loro studio radiografico su cadavere. I ricercatori hanno notato che la divisione del CLB ha portato alla migrazione superiore della testa omerale quando la tensione era applicata sia nel capo breve che nel capo lungo del bicipite.

Itoi et al <sup>25</sup> ha studiato la funzione del bicipite in spalle stabili e instabili. Essi hanno scoperto che uno spostamento anteriore della testa omerale era significativamente diminuito dalla contrazione simulata sia del capo lungo che del capo breve del tendine del bicipite quando il braccio è stato abdotto a 90 ° e ruotato esternamente a 60 ° o a 90 °. A 120 ° di rotazione esterna lo spostamento anteriore era diminuito solo quando era presente una lesione di Bankart.

Rodosky et al <sup>26</sup> hanno studiato gli effetti stabilizzanti del CLB utilizzando un modello dinamico di cadavere dove la contrazione muscolare, compresa la cuffia dei rotatori, era simulata con cilindri pneumatici. È stato determinato che il tendine contribuisce alla stabilità anteriore della spalla, aumentando la rigidità torsionale della gleno-omeroale, specialmente in abduzione ed extrarotazione.

E' stato ipotizzato che il muscolo bicipite può anche svolgere un ruolo protettivo diminuendo lo stress posto sul legamento gleno-omeroale inferiore. Il ruolo del CLB come limitatore dinamico della rotazione esterna è stato anche mostrato nello studio di Kuhn et al <sup>27</sup>.

Pagnani et al <sup>28</sup> ha dimostrato che il contributo del CLB per la stabilità della spalla è più pronunciato ad angoli di elevazione media e bassa. A 45 ° di elevazione e rotazione neutra, l'applicazione di una forza di 55N al tendine del bicipite ha ridotto la traslazione anteriore di 10,4 mm (traslazione inferiore 5,3 mm e superiore di 1,2 mm).

Come la testa omerale ruota, il tendine del bicipite assume diverse posizioni rispetto alla testa omerale e aumenta la stabilità dell'articolazione gleno-

omeroale in direzioni diverse. Il contributo del CLB alla stabilità della spalla sembra essere dipendente dalla sua posizione. Come il braccio ruota, il tendine cambia posizione rispetto alla testa omeroale ed esercita forze nella direzione opposta. In rotazione interna, il tendine è anteriore alla testa omeroale ed esercita una forza posteriore su di essa che impedisce la sublussazione anteriore ma al stesso tempo può aggravare la sublussazione posteriore<sup>29</sup>. Un sorprendente esempio di questa azione del bicipite è stata riportata in uno studio elettromiografico di pazienti con instabilità posteriore volontaria.<sup>30</sup> Un soggetto in questo studio ha utilizzato 440% del normale livello di attività del bicipite per la sublussazione della spalla posteriormente, nella classica posizione di flessione in avanti e rotazione interna. Il principale problema di questo studio biomeccanico è che non tiene conto del complesso di interazione della muscolatura della spalla nel suo insieme e allo stesso tempo, si basa sul presupposto che la sola contrazione del muscolo bicipite esercita le forze che sono state studiate.

Studi elettromiografici hanno dato una prospettiva diversa alla funzione del CLB. Il muscolo bicipite attraversa le articolazioni della spalla e del gomito e la sua azione nella spalla è correlata alla posizione del gomito e al movimento. Questo era dimostrato da Yamaguchi et al<sup>31</sup> e Levy et al<sup>32</sup>, che hanno eseguito gli studi sull'attività EMG del bicipite durante il movimento della spalla. Nel primo studio il gomito è stato posto a 100 ° di flessione e rotazione dell'avambraccio neutro. Nel secondo studio il gomito è stato immobilizzato in estensione e pronazione neutra. In entrambi gli studi i bicipiti non hanno dimostrato alcuna attività elettrica in risposta al movimento isolato della spalla. Di particolare interesse è stata la scoperta nel primo studio che il bicipite non ha dimostrato alcun aumento della attività in spalle con una lesione della cuffia dei rotatori nota.

Al contrario, Sakurai et al<sup>33</sup> hanno esaminato l'attività elettromiografica dei due capi del muscolo bicipite durante contrazione isometrica del muscolo del braccio in 24 posizioni diverse e con il movimento del gomito controllato. In tutte le spalle, indipendentemente dalla posizione del gomito, il capo lungo e il capo breve del bicipite erano attivi. Gli autori hanno concluso che il bicipite agisce non solo come flessore del gomito, ma come un flessore e abduuttore della spalla. Un dato interessante in questo studio da un punto di vista fisiopatologico è stato il fatto che il capo lungo del bicipite ha aumentato la sua ampiezza ad una velocità maggiore, suggerendo che vi sono differenze nel tipo e nell'ordine di fibre che lavorano rispetto al capo breve del bicipite o del deltoide. In altre parole, il capo lungo aumenta la sua uscita meccanica per mantenere il braccio elevato a maggiore estensione del capo breve del bicipite o del muscolo deltoide.

Furlani<sup>34</sup> documentava l'attività EMG del bicipite del braccio durante la flessione con il gomito esteso con e senza resistenza. Durante l'estensione del braccio e rotazione esterna il muscolo bicipite rimase in silenzio. L'abduzione del braccio con o senza resistenza e con il gomito flesso o esteso, produceva una attività EMG in una piccola percentuale di spalle

testate (3 su 30). Il braccio in adduzione e la rotazione interna indipendentemente dalla posizione del gomito o la resistenza applicata, non ha indotto alcuna attività EMG del capo lungo del muscolo bicipite. Glousman et al<sup>35</sup> ha comparato l'elettromiografia dinamica intramuscolare di un gruppo di lanciatori professionisti con instabilità cronica anteriore e di un gruppo di atleti sani ed esperti di lancio. Il bicipite ha avuto il suo picco di attività in entrambi i gruppi nella fase del caricamento del lancio. In fase di accelerazione, l'attività del bicipite è rimasta a livelli contenuti nel gruppo di pazienti con instabilità mentre è diminuita nel secondo gruppo. L'attività di picco del bicipite durante il caricamento del lancio è stato identificato anche in un precedente studio EMG da Gowan<sup>36</sup>.

Sia che il ruolo del tendine del CLB nella spalla sia attivo o passivo, o sia mediato attraverso la sua azione sul gomito, è abbastanza evidente che il tendine svolge un ruolo importante in funzione della spalla, un ruolo che diviene determinante quando la spalla presenta patologie quali l'instabilità anteriore o la rottura della cuffia dei rotatori.

## **LE PATOLOGIE DEL CLB**

Le patologie che colpiscono il tendine del capo lungo del bicipite sono conosciute da più di tre secoli, ma l'entusiasmo per il suo trattamento ha subito molte variazioni. La spiegazione di ciò può essere una inadeguata comprensione dell'anatomia, della meccanica e le patologie della porzione intra-articolari porzione del tendine, oltre al fatto che continua il dibattito e l'incertezza circa la sua vera funzione nella spalla.

L'instabilità del tendine è stato probabilmente la prima condizione riconosciuta, come descritto da Monteggia<sup>37</sup>, Soden<sup>38</sup> e Duplay<sup>39</sup>, che attribuiscono un ruolo alla tendinite del CLB nella sua descrizione della periartrite scapolo-omerale nel 1872. Pasteur<sup>40</sup> ha dato la prima descrizione di tendinite nel 1932, e la patologia del CLB è stata ampiamente studiata tra il 1940 e il 1950 con De Palma e Callery<sup>41</sup>, Lippmann<sup>42</sup> e Hitchcock e Bechtol<sup>43</sup> e Neer<sup>44</sup> che descrissero il coinvolgimento del CLB nella malattia della cuffia dei rotatori, sottolineando con forza, il ruolo del tendine come depressore della testa omerale e consigliando per tale motivo la conservazione del tendine stesso, quando possibile. I recenti studi hanno evidenziato l'importanza clinica dell'instabilità del tendine, e l'associazione con lesioni della pulley e lesioni parziali del sottoscapolare (le cosiddette "hidden lesion"), lesioni del labbro superiore da anteriore a posteriori (SLAP), il coinvolgimento nelle lesioni della cuffia dei rotatori e i sintomi derivanti dall'ipertrofia del tendine. Anche se la diagnosi clinica rimane imprecisa, l'imaging come l'artroTC, la RMN, l'artroRM e l'ecografia dinamica hanno fatto molto per contribuire ad una diagnosi maggiormente accurata.

La diffusione dell'uso della artroscopia ed i risultati pubblicati sull'intervento chirurgico di tenotomia e tenodesi, hanno conferito sempre più coscienza dell'importante ruolo del CLB in molte condizioni della spalla. Il CLB può essere fonte di dolore alla spalla o di ridotta funzione per vari motivi. Le patologie a carico del CLB sono tendiniti (primitive o secondarie), la rottura, la sublussazione o instabilità, impingement coracoideo e lesioni SLAP.

## **TENDINITE**

La tenosinovite, la tendinosi, la delaminazione, la pre-rottura e rottura rappresentano probabilmente la storia naturale di una progressiva degenerazione del tendine del capo lungo del bicipite. La ricerca ha focalizzato recentemente molte delle sue energie sulla tendinosi. Ci sono stati molti passi avanti nella comprensione della tendinosi degenerativa e sono stati introdotti nuovi metodi di trattamento<sup>45</sup>. Purtroppo, gli studi sono concentrati sulla cuffia dei rotatori e non in particolare sul CLB.

Il CLB è soggetto a tenosinovite a causa della sua anatomia, con una guaina sinoviale e un percorso vincolato nella doccia bicipitale<sup>46-48</sup>.

L'artroscopica mostra fluido, aderenze e vascolarizzazione maggiore intorno al tendine, ma questo non deve essere confuso con il normale andamento vascolare sulla superficie del tendine all'interno della doccia. La tendinosi precoce può essere difficile da visualizzare in artroscopia. Spesso, il tendine appare macroscopicamente normale, anche se ci può essere un aumento di diametro. Quando il tendine presenta sfrangiamenti, scissioni, una ipertrofia o ipotrofia si può parlare di delaminazione o pre-rottura. La presenza dei primi segni di tendinosi è probabilmente più apprezzata negli studi di imaging come la RMN e gli ultrasuoni Doppler. La maggior parte dei processi degenerativi del CLB sono associati ad una patologia della cuffia dei rotatori, come evidenziato da Neer<sup>44</sup>. Le tendinosi che si presentano in associazione con le patologie della cuffia dei rotatori (70% per Walch<sup>49</sup>) o altre patologie come la sindrome da impingement (95%) vengono definite tendiniti secondarie e sono quelle che si riscontrano più frequentemente rispetto alle tendiniti primarie dovute ad una flogosi isolata della guaina con una incidenza pari al 5%.<sup>50</sup> La tendinite sia primaria che secondaria è considerata comunque come un processo patologico comune della degenerazione del tendine<sup>51</sup>.

Un sottotipo specifico di tendinite bicipitale è quello a clessidra, come visualizzato mediante risonanza magnetica<sup>50-51-52</sup>. La sintomatologia è da attribuire ad un ispessimento, infiammazione intra-articolare del CLB. Per questo tipo di variante patologica è indicata la tenodesi sottopettorale del capo lungo del bicipite.

## **ROTTURA DEL TENDINE**

Le sedi più comuni di rottura del tendine sono all'inserzione e all'uscita dalla doccia bicipitale vicino alla giunzione muscolo-tendinea<sup>52</sup>. Quando si rompe il tendine del capo lungo, la massa muscolare si muove distalmente, producendo spesso una deformità caratteristica di nome Popeye sign.

Le rotture del capo lungo sono più comuni in pazienti di età superiore ai 50 anni, e si verificano più frequentemente rispetto a rotture del capo breve o del tendine distalmente; infatti la rottura del capo lungo del bicipite rappresenta il 96% di tutte le lesioni del bicipite brachiale<sup>53</sup>. Spesso la rottura è associata a tendinite<sup>54</sup> che può portare alla degenerazione del tendine del bicipite e alla rottura conseguente ad un microtrauma o in assenza di trauma<sup>52</sup>.

## **L'INSTABILITA'**

L'instabilità del clb e le lesioni BRP, anche chiamate lesioni della pulley o della puleggia di riflessione del tendine del capo lungo del bicipite, sono ben descritte in letteratura<sup>55-56-57</sup>. L'instabilità del CLB varia da sublussazione a completa dislocazione e di solito è associata a rottura della cuffia dei rotatori, in particolare a lesioni del tendine sottoscapolare<sup>58</sup>. Esistono diversi sistemi di classificazione per l'instabilità del tendine del capo lungo del bicipite<sup>55-59</sup>. Habermeyer et al.<sup>59</sup> identifica 4 differenti tipologie di instabilità sulla base dell'osservazione artroscopica:

- con lesioni isolate del SGHL (Tipo I),
- con lesione SGHL ed una lesione parziale articolare del tendine sovraspinato (tipo II),
- con lesione SGHL e una lesione sul versante articolare del tendine sottoscapolare (Tipo III)
- con la lesione del SGHL combinato con una lesione parziale articolare del sovraspinato e rottura del sottoscapolare (tipo IV).

Diversi studi dimostrano che l'incidenza di lesioni BRP è del 32,4%. Inoltre esiste una significativa correlazione tra le lesioni della puleggia e le lesioni SLAP (P=003), patologia della cuffia dei rotatori (P=.001) e patologie del CLB (P<.05)<sup>60</sup>. Si ipotizza che il caricamento del tendine in posizione di rotazione esterna e abduzione del braccio è alla base del meccanismo patologico della lesione della puleggia<sup>57-59</sup>.

Studi fluoroscopici su cadavere hanno mostrato elevate forze di taglio sul BRP nella spalla soprattutto nelle seguenti posizioni<sup>61</sup>:

- flessione in avanti e rotazione interna
- posizione neutra
- posizione neutra e rotazione interna

## **IMPINGEMENT CORACOIDEO**

L'impingement coracoideo può essere un altro motivo di dolore anteriore alla spalla. Esso è definito come l'impingement della borsa subcoracoidea e della tendine sottoscapolare tra la tuberosità minore e la coracoide. È stata descritta come una potenziale causa degenerativa della puleggia e dell'inserzione della tendine sottoscapolare<sup>62</sup> ma non di usura meccanica del CLB, quando esso scorre verso l'alto e verso il basso nel solco bicipitale. L'intervallo coraco-omerale (CHI) può essere misurato sui tagli assiali di immagini in sezione trasversale ed è definito come la distanza minima tra la testa omerale e la punta della coracoide. Non c'è coerenza nella letteratura per quanto riguarda i valori di riferimento per il CHI. Gerber et al.<sup>63</sup> hanno trovato una distanza media di 8,7 mm su tomografia computerizzata a scansioni in soggetti sani con la spalla in adduzione, mentre Giaroli et al.<sup>64</sup> hanno trovato un CHI di 10.5 a 11.5 mm in pazienti con impingement coracoideo sulla risonanza magnetica. Comunque i dati suggeriscono che la riduzione della distanza del CHI sulla risonanza magnetica è relativa a patologie della cuffia dei rotatori e del clb.

## **LE LESIONI SLAP**

Per SLAP si intende una lesione del labbro superiore che si estende da anteriore a posteriore.

L'acronimo SLAP venne introdotto per la prima volta nel panorama scientifico nel 1990 quando Snyder<sup>65</sup> pubblica un articolo su Arthroscopy dal titolo Slap Lesion. In questo articolo la percentuale di incidenza di tale lesione era del 4,8%; attualmente la letteratura riporta una percentuale del 11%-12%. La motivazione dell'incremento di tale percentuale è la progressiva diffusione in questi anni dell'artroscopia di spalla. Le SLAP entrano così a far parte di quel gruppo di patologie di "paternità artroscopica" arricchendo insieme alla scoperta di altre lesioni intra-articolari la conoscenza della spalla. Già Brocca e Bankart avevano compreso più di un secolo fa l'importante ruolo che il cingolo glenoideo aveva nella stabilità della spalla, anche se Bankart pensava a lesioni anteriori e posteriori (Bankart lesion e reverse Bankart). Infatti funzionalmente il cingolo glenoideo partecipa al mantenimento della pressione negativa endoluminare, aumenta la superficie di contatto dell'articolazione ricoprendo circa il 75% della testa omerale in senso verticale e il 57% in senso trasversale e approfondisce la concavità glenoidea del 40%. Nel 1985 Andrews<sup>66</sup> pubblica uno studio eseguito su dei giocatori di baseball in cui faceva le prime osservazioni sulla correlazione tra lesione del cingolo glenoideo superiore e del clb. Ma bisognerà attendere il 1990 con Snyder perché la SLAP venisse presa in considerazione come una lesione con significatività clinica e funzionale. Infatti Snyder per la prima volta tratta la Slap in modo organico fornendo ai chirurghi una classificazione da utilizzare per comprendere le diverse varianti del tipo di lesione e quindi scegliere il giusto trattamento.

Snyder et al.<sup>65</sup> hanno definito 4 diversi tipi di lesioni SLAP (tipi da I a IV), che sono state successivamente integrate da ulteriori 5 tipi (tipo V a VII) introdotte da Maffet e Ryu e definite slap complesse :

SLAP I: degenerazione e frammentazione del labbro alla base del capo lungo  
SLAP II: avulsione del cercine superiore e dell'ancora bicipitale della glenoide  
SLAP III: rottura a manico di secchia del labbro superiore senza coinvolgimento del bicipite  
SLAP IV: rottura a manico di secchia del labbro superiore con coinvolgimento del tendine bicipitale

#### SLAP COMPLESSE

SLAP V: slap II che si estende anteriormente fino a una lesione tipo Bankart  
SLAP VI: slap II associata ad un flap del labbro superiore  
SLAP VII: slap II che si estende al labbro anteriore e al legamento gleno omerale medio  
SLAP VIII: slap II che si estende posteriore fino ad una lesione tipo Bankart posteriore (reverse Bankart)  
SLAP IX: slap II che si estende al labbro posteriore e anteriore

La slap con maggiore incidenza di presentazione è il tipo II con l'83,2% seguito dal tipo III con il 9,8% e il tipo IV con il 7%. La percentuale di presentazione di una slap con una lesione di Bankart è del 22%.

Studi hanno dimostrato che la lesione della cuffia dei rotatori è spesso associata al quella del labbro<sup>67-68</sup>. In uno studio condotto da Miller e Savoie<sup>69</sup> il 74% dei pazienti con lesioni a tutto spessore della cuffia dei rotatori aveva associato lesioni intra-articolari, e la SLAP risultava essere la più comune lesione associata. Snyder et al.<sup>70</sup> hanno dimostrato che nel 40% di 140 artroscopie con presenza di SLAP erano associate a lesioni parziali della cuffia dei rotatori.

La SLAP lesion può essere causata da singoli eventi traumatici o da ricorrenti micro-traumi, soprattutto in atleti overhead<sup>67</sup>.

Nel primo caso si tratta di un trauma alla spalla, che avviene con anteposizione del braccio, e che può causare uno scollamento del cercine glenoideo. Tale evento, solitamente rientra in un quadro più complesso di sublussazione/lussazione della spalla e quindi con possibile associazione con lesione del cercine inferiore e lesioni parziali della cuffia dei rotatori.

Il meccanismo di lesione dovuto a microtraumi ripetuti, come nel giocatore overhead, avviene con un meccanismo a cascata ("peel back", ovvero progressivo scollamento del cercine superiore). Il giocatore overhead ha una spalla che trova equilibri diversi da una spalla che definiamo normale. Il nuovo equilibrio è finalizzato a ottenere la massima precisione e potenza nel gesto atletico. Infatti la spalla del giocatore è caratterizzata da una capsula posteriore rigida e una anteriore lassa. Questa situazione fa sì che l'atleta possa raggiungere la massima elevazione dietro la testa nella fase di caricamento. Ma

durante il movimento di lancio, quando il braccio si porta in avanti, la capsula postero inferiore, che normalmente dovrebbe accogliere la testa, è rigida, e quindi spinge la testa in avanti. Questo è l'inizio del meccanismo di lesione del cercine, in quanto tale gestualità ripetuta, determina una continua sollecitazione nella regione superiore della spalla. Tale meccanismo porta la testa omerale prima ad un "impingement" del labbro anteriore con possibilità nel tempo di creare una Bankart e poi una Bankart ossea. Inoltre, proseguendo nel lancio la testa è spinta violentemente nella zona superiore da anteriore a posteriore. Si crea così una SLAP II a prevalenza posteriore. Anche la cuffia risente di tale movimento alterato, tale che, porta ad aumento dell'intervallo dei rotatori, quindi con perdita di stabilità in senso antero inferiore, e lesione parziale intra-articolare del sovraspinato, in questo caso più posteriore rispetto alla popolazione normale.

Il tipo di lesione SLAP indirizza verso il tipo di trattamento. L'atteggiamento iniziale rimane comunque differente se il paziente è un giocatore o meno. Negli atleti è importante agire immediatamente e solo sulla lesione SLAP in modo da poter eseguire una piccola riparazione senza alterare l'equilibrio di una spalla adattata al lancio, evitando così, che la lesione divenga più estesa e coinvolga a tal punto il clb, da doverlo sacrificare. Tale eventualità è assolutamente da evitare nell'atleta in quanto il tendine gioca un ruolo fondamentale nella stabilità della spalla. Ogni atto chirurgico "in più" potrebbe rovinare definitivamente il gesto atletico. Ovviamente l'intervento è sempre condizionato dal momento della preparazione o del Campionato in corso.

Nei pazienti non sportivi in presenza di una lesione SLAP senza coinvolgimento del CLB, si può tentare un programma riabilitativo di rinforzo muscolare, al fine di eliminare il dolore e posticipare o evitare l'intervento. Nel caso in cui l'approccio conservativo non dia risultati in circa 1 mese, si procede con l'intervento. Nella SLAP I è sufficiente un debridement del labbro superiore. Nella SLAP II – III si procede con riparazione del labbro glenoideo con una ancoretta. La posizione di tale ancora è a ore 1 e/o a ore 11, a seconda che ci sia una prevalenza anteriore o posteriore. Snyder posiziona l'ancora a ore 12, anche se alcuni chirurghi sostengono che, questo tipo di riparazione, crei molta tensione sul clb.

In caso di SLAP IV, a causa del coinvolgimento del tendine, è preferibile procedere con una tenotomia/tenodesi del clb.

## CLINICA

I pazienti con patologie che colpiscono il capo lungo del bicipite spesso descrivono un dolore nella regione anteriore della spalla in corrispondenza del solco bicipitale. I sintomi possono essere difficili da distinguere da altre patologie della spalla associate, in particolare quelle della cuffia dei rotatori. Ma la diagnosi differenziale di un dolore anteriore di spalla deve essere fatta con queste patologie:

- Acromioclavicolare patologia articolare
- Sindrome impingement
- Tendinite della cuffia dei rotatori
- Lesioni della cuffia dei rotatori
- Tendinopatia del capo lungo del bicipite
- Lesione del cercine superiore (SLAP)
- Borsite subacromiale
- Artrite gleno-omerale
- Capsulite adesiva
- Instabilità gleno-omerale
- Cervicalgia
- Osteonecrosi della testa omerale

Per questo motivo dovrebbe essere eseguito un attento esame dei tendini della cuffia dei rotatori e dell'eventuale presenza di lesioni SLAP. La palpazione lungo il solco bicipitale è solitamente dolente. Il test di Yergason e lo Speed test possono evocare dolore in caso di presenza di patologie a carico del clb anche se la loro specificità è limitata<sup>71-72</sup>

Questi test non sono buoni strumenti per valutare una lesione SLAP<sup>73</sup>. Lafosse et al<sup>74</sup> ha scoperto che eseguendo prima dell'intervento il test di O'Brien e lo Speed test non c'è correlazione con la patologia osservata durante l'artroscopia e i sintomi da lesione della cuffia dei rotatori si sovrappongono a quelli causati dal tendine bicipite, rendendo così la valutazione difficile. Le SLAP lesion sono più facilmente identificate clinicamente attraverso il Whipple test, eseguito in due tempi: prima con paziente seduto e posizione neutra; poi lo stesso test chiedendo al paziente di retroporre la scapola. Se il test si negativizza nel secondo tempo siamo certi che non si tratta di una lesione della cuffia, ma di una lesione del cercine glenoideo (Savoie). La posizione della lesione è identificabile ponendo una mano sulla spalla, cercando un "click" muovendo il braccio in posizione extraruotata a gomito flesso e a diversi gradi di abduzione.

I test di instabilità del CLB possono essere eseguiti con la palpazione del tendine a livello della doccia bicipitale e rotazione del braccio esterna a diversi

gradi di abduzione. Se si avverte un click palpabile, potrebbe essere indicativo di instabilità del CLB.

A causa dell'instabilità del bicipite spesso possiamo trovare in associazione una lesione parziale o completa del tendine sottoscapolare, quindi il Napoleon test e il lift-off test sono una parte essenziale della valutazione del CLB.

## IMAGING

La valutazione radiografica ci permette la valutazione della articolazione gleno-omeroale, dell'acromion-claveare e di una eventuale presenza di impingement. Solitamente le proiezioni standard in presenza di tendinopatia si presentano nella norma. Ci sono proiezioni particolari per la visualizzazione del solco bicipitale<sup>75-76</sup>, grazie alle quali si possono mettere in evidenza gli osteofiti a livello del solco che potrebbero essere possibile causa di tendinopatia secondaria. L'ecografia consente una valutazione dinamica del tendine bicipite e della cuffia dei rotatori. Armstrong et al<sup>77</sup> ha trovato il 100% di specificità e il 96% di sensibilità per sublussazione e lussazione del CLB. La stessa tecnica invece non si è dimostrata affidabile per il rilevamento di lesioni parziali intra-articolare. Indubbiamente i costi contenuti e la tolleranza del paziente sono i vantaggi di questa tecnica diagnostica.

La risonanza magnetica è un ottimo strumento. Si tratta di una metodica non-invasiva che fornisce immagini molto dettagliate. Permette la valutazione del tendine bicipite e del labbro superiore, nonché della cuffia dei rotatori.

Permette la diagnosi di tendinopatie, sublussazione, lussazione e di rotture del tendine bicipite. In pazienti selezionati, può essere eseguita la RMN con mezzo di contrasto che probabilmente è il miglior strumento disponibile per la diagnosi di patologie del CLB e SLAP, ma i suoi costi elevati e la poca tollerabilità da parte del paziente ne limita l'utilizzo.

L'artroscopia rimane lo strumento attraverso il quale abbiamo la certezza della presenza di una patologia del CLB e che permette la valutazione per visione diretta del tendine della sua origine sul labbro glenoideo superiore fino all'entrata nella pulley, della presenza di instabilità<sup>78-79-80</sup> e dell'eventuale presenza di un bicipite a clessidra<sup>81</sup>

## **TRATTAMENTO**

Le opzioni di trattamento per le patologie del clb si possono distinguere per:

**A. TIPOLOGIA DI PROCEDURA: TENOTOMIA O TENODESI**

**B. TIPOLOGIA DI TENODESI:**

- POSIZIONE: SOTTOPETTORALE O SOPRAPETTORALE
- PRESIDI

Inizialmente, se la patologia del clb si presenta isolata in pazienti non sportivi professionisti, può essere tentato il trattamento conservativo, che comprende riposo, la somministrazione di anti-infiammatori, iniezioni di corticosteroidi e rinforzo del cingolo scapolare e dei muscoli depressori della testa omerale.

Se la sintomatologia dolorosa persiste il trattamento dovrà essere chirurgico con lo scopo di eliminare il dolore causato dal CLB e trattare le eventuali altre patologie che lo possono avere determinato.

Qualora si decida di intervenire le opzioni di trattamento dipendono dall'età del paziente, il tipo ed il livello di attività e da patologie coesistenti sia a livello della spalla sia in base alle condizioni generali.

### **A. TENOTOMIA o TENODESI**

#### **TENOTOMIA**

Nel 1989, Walch et al hanno proposto una tenotomia artroscopica del tendine bicipite come trattamento palliativo per migliorare i sintomi nei pazienti con rottura irreparabile della cuffia dei rotatori. Il sollievo dal dolore durevole senza deterioramento funzionale è stato il segno distintivo di questo tipo di procedura<sup>82</sup>

La Tenotomia del bicipite è indicata in una delle seguenti circostanze:

- 1- In caso di rotture irreparabili della cuffia dei rotatori con patologia del tendine del bicipite.
- 2- In una riparazione artroscopica della cuffia dei rotatori, quando vi è una concomitante patologia del tendine.
- 3- In caso di patologia isolata del capo lungo del bicipite e una cuffia dei rotatori intatta, in particolare per i giovani atleti con tenosinovite, sublussazione, pre rotture o una lesione tipo SLAP.

- 4- In caso di fallimento di riparazione della cuffia dei rotatori con la puleggia patologica, o il tendine fissato in maniera da interferire con la normale cinematica della spalla.
- 5- In caso di release artroscopico per rigidità post-traumatica o per capsulite adesiva.
- 6- In presenza di un tendine particolarmente sottile e quasi completamente rotto.

In quasi tutti questi casi può essere eseguita una tenodesi con l'accorgimento di sceglierla solo per i pazienti più giovani, più attivi o particolarmente magri. Nel caso 5 bisognerebbe comunque optare per una tenotomia in quanto questo permette una mobilizzazione precoce, richiesta dal motivo per cui si esegue l'intervento. Anche nel caso 6 sarebbe meglio optare per una tenotomia in quanto la tenodesi con un tendine molto sottile e quasi rotto crea dei problemi non solo nell'esecuzione della tecnica di fissaggio ma anche di reale tenuta del tendine.

La tenotomia è una buona procedura per il trattamento delle patologie del CLB sia in termini di risultati funzionali che clinici come descritto da Szabo 'et al.<sup>82</sup>. Tuttavia, il problema estetico deve essere preso in considerazione, soprattutto nelle donne relativamente giovani con le braccia particolarmente sottili. Un altro problema può essere rappresentato da lavoratori manuali che fanno movimenti ripetitivi di prono-supinazione dell'avambraccio durante la loro attività e riferiscono dolori crampiformi dopo breve tempo al ritorno della loro attività lavorativa.

## **TENODESI**

Lo scopo della tenodesi è di ottenere risultati migliori, rispetto alla tenotomia, in termini di cosmesi del braccio nelle donne più giovani e di evitare crampi dolorosi. Infatti la tenotomia è una procedura efficace per il trattamento delle patologie del tendine bicipite, ma il Segno Popeye è presente nel 37,5% dei pazienti, il che significa che se il paziente ha grandi aspettative da un punto di vista estetico, la tenodesi è la procedura alternativa efficace.

Sono state descritte molte tecniche con buoni risultati<sup>84</sup>. Elkousy et al.<sup>85</sup> hanno descritto buoni risultati dopo artroscopia con tenodesi intra-articolare trans-tendinea del tendine bicipite con sollievo dal dolore, una buona funzionalità e l'assenza di deformità del muscolo. Hanno valutato i pazienti operati dopo 6 mesi: nessun paziente ha riferito una protuberanza nella parte anteriore del braccio e crampi dolorosi durante l'attività giornaliera. Cinque pazienti (6 spalle) hanno dichiarato che non hanno percepito alterazioni di forza dopo l'intervento chirurgico, e sei pazienti (6 spalle) hanno dichiarato di sentirsi più forti dopo la chirurgia. Nessun paziente ha riferito di sentirsi più debole.

Tutti gli 11 pazienti si sono dichiarati soddisfatti dell'intervento. Mazzocca et al.<sup>86</sup> ha riportato buoni risultati dopo tenodesi sottopettorale con viti a interferenza, con sollievo dal dolore e nessun fallimento dopo la tenodesi a breve periodo di follow-up. Boileau et al.<sup>87</sup> ha descritto ottimi risultati dopo tenodesi artroscopica con viti ad interferenza riassorbibili e consiglia di effettuare questo come una procedura alternativa anche in casi di lesioni SLAP invece di ripararle. Essi hanno riferito che nel gruppo della riparazione della SLAP, il punteggio Constant è migliorato da 65 a 83 punti; tuttavia, il 60% dei pazienti erano delusi a causa del dolore persistente o l'impossibilità di tornare al loro precedente livello di prestazione sportiva. Nel gruppo della tenodesi, il punteggio Constant è migliorato da 59 a 89 punti, e il 93% (14/15) si è dichiarato soddisfatto o molto soddisfatto. Tredici pazienti (87%) con tenodesi del CLB sono stati in grado di tornare al livello precedente di prestazione sportiva, rispetto al 20% (2 su 10) dopo la riparazione SLAP ( $P = 0.01$ ). Quattro pazienti con fallimento della riparazione SLAP hanno subito successiva tenodesi del tendine bicipite, con un esito positivo e un pieno ritorno al livello precedente di attività sportiva.

Scheibel et al.<sup>88</sup> ha condotto uno studio su 24 pazienti (5 donne, 19 uomini, età media, 58,6 anni, follow-up medio, 19,6 mesi) operati con tenodesi del CLB ai tessuti molli (STT) e 20 pazienti (5 donne e 15 uomini, età media 59,1 anno follow-up, 22,4 mesi), utilizzando una ancoretta per eseguire la tenodesi (SAT). Hanno scoperto che il punteggio complessivo Constant non ha rivelato una differenza significativa nel gruppo STT (media, 75,0 punti) rispetto al gruppo di SAT (media, 78,3 punti)  $P 0,05$ . Tuttavia, il gruppo SAT ha mostrato in modo significativo risultati migliori nel LHB score (SAT media, 91,8 punti vs STT media, 80,9 punti), nella valutazione del risultato estetico (SAT media, 11,3 punti vs STT media, 8,0 punti), nonché nella valutazione dell'integrità strutturale del tenodesi (SAT media, 2,7 punti vs media STT, 2,2 punti) ( $P = 0,05$ ). Possiamo concludere che entrambe le procedure sono efficaci nel trattamento delle patologie isolate del tendine bicipite e non mostrano differenza statistica tra i due gruppi.

Potrebbe essere presente un dolore residuo per il primo periodo (2 mesi), e come in altri tipi di tenodesi, il periodo di riabilitazione è più lunga (almeno 2 mesi) che per il gruppo tenotomia. Patologie differenti del CLB sono state trattate con la stessa tecnica (lesione SLAP, lesioni puleggia, rotture parziali, tendinosi), e non sono stati identificati sottogruppi. Ciò potrebbe essere una distorsione nei risultati, ma in letteratura non sono riportati studi e risultati che mostrano che queste diverse patologie necessitano di trattamenti diversi.

Tuttavia, una tenodesi isolata del tendine bicipite dovrebbe essere solo effettuata dopo attenta valutazione delle patologie associate come borsite subacromiale, tendinopatia o lesioni della cuffia dei rotatori, capsulite adesiva, artrite reumatoide, osteoartrite, instabilità gleno-omerale, sindrome da impingement, sindrome dello stretto toracico, neurite brachiale e radicolopatia cervicale.

## **B. SOTTOPETTORALE o SOPRAPETTORALE**

### **SOTTOPETTORALE**

Le indicazioni per la tenodesi sottopettorale sono le stesse di quelle della tenodesi prossimale con qualche eccezione e includono lesioni parziali del capo lungo del bicipite > 25% del diametro del tendine o sublussazione o lussazioni del CLB dalla groove<sup>89-90</sup>. Inoltre, una delle indicazioni originali per la tenodesi sottopettorale era la rottura completa del tendine del CLB e per pazienti con sintomi dovuti alla rottura come dolore, limitazione di forza e funzionale<sup>91-92</sup>. Tuttavia, le rotture complete sono generalmente meno sintomatiche e possono non richiedere l'intervento chirurgico<sup>93-94</sup>.

Inoltre tra le indicazioni ci possono essere anche la SLAP di tipo 2 e 4 anche se il suo varia a seconda del chirurgo; tendenzialmente si preferisce la riparazione del labbro glenoideo in pazienti più giovani e la tenodesi per i pazienti più anziani con esigenze ridotte di attività overhead<sup>95</sup>.

Un'altra indicazione alla tenodesi è la presenza di un tendine infiammato o una ipertrofia in un paziente che continua a lamentare dolore nella regione anteriore della spalla<sup>96-97</sup>. Alcuni sostengono che il trattamento di patologie della cuffia dei rotatori possa risolvere o arrestare la progressione della tendinite del bicipite<sup>98-99</sup>.

Alcuni studi hanno mostrato che in pazienti anziani con una lesione massiva della cuffia dei rotatori, dolore e perdita di elevazione della spalla si possono ottenere importanti miglioramenti sia in termini di dolore che in termini di range di movimento con la tenodesi del bicipite<sup>100</sup>. Le indicazioni per la tenodesi sottopettorale al di là di quelle condivise con tecniche prossimali includono la revisione di un fallimento di tenodesi prossimale e un fallimento di tenotomia. Quando una tenodesi prossimale fallisce meccanicamente o un paziente continua ad avere sintomi attribuibili ad una tendinite del CLB, dopo la tenotomia o tenodesi prossimale, una tenodesi sottopettorale del bicipite può essere considerata una soluzione<sup>101</sup>. Inoltre, la tenodesi sottopettorale rimane una valida opzione quando le tecniche prossimali non sono eseguibili per ragioni tecniche, come l'integrità insufficiente della porzione prossimale del tendine CLB o una eccessiva retrazione del tendine dopo rottura<sup>102-103</sup>.

Non ci sono controindicazioni assolute per questo tipo di tenodesi. Tuttavia, una tenodesi isolata del tendine bicipite dovrebbe essere solo effettuata dopo attenta valutazione delle patologie associate<sup>90</sup>.

La tenodesi sottopettorale del bicipite è una tecnica chirurgica mini-invasiva che si è dimostrata efficiente e riproducibile<sup>104-105-106-107-108-109</sup> e che non richiede una competenza artroscopica avanzata in quanto dopo avere eseguito una artroscopia diagnostica intra-articolare il CLB è tagliato alla sua origine e lasciato scendere libero distalmente.

Si procede con un approccio mini-open sottopettorale evitando così lesioni del deltoide; si esegue una piccola incisione cutanea sulla faccia mediale del braccio che si estende da 1 cm prossimalmente a 2 cm distalmente al bordo inferiore del tendine grande pettorale; il braccio viene abdotto e ruotato esternamente per eseguire questo approccio. Il tendine è identificato distalmente e poi fissato, appena prossimale al muscolo grande pettorale, utilizzando una vite ad interferenza, un tunnel osseo o una ancoretta con suture ad alta resistenza<sup>110</sup>. La tenodesi sottopettorale elimina qualsiasi fonte di dolore a livello del solco bicipitale in quanto rimuove il tendine da solco diversamente da quanto accade per le tecniche di tenodesi prossimale con una mini-invasività a carico dell'anatomia sottopettorale. Inoltre, i sostenitori della tenodesi sottopettorale, sostengono che rispetto alla tecnica di tenodesi prossimale si evitano problemi come incidenza di reazione alla vite, tenosinovite, e il dolore, che in caso di tecnica prossimale potrebbe essere attribuito al tendine residuo, a patologie della groove e ad impingement subacromiale.

L'incidenza di complicanze dopo tenodesi sottopettorale è del 2% - 7%<sup>111-112</sup>. La persistenza del dolore bicipitale e il fallimento della fissazione con una deformità Popeye sono state le complicanze più comuni. La vicinanza del nervo muscolocutaneo al sito della tenodesi rende tale struttura molto a rischio di lesione iatrogena durante questo tipo di procedura. Infatti la distanza media dal retrattore mediale rispetto al nervo muscolocutaneo con il braccio in rotazione interna è di 1,4 mm. La rotazione esterna del braccio aumentata significativamente la distanza dal sito tenodesi e il nervo fino a 11,3 mm. Anche se non sono state descritte lesioni dell'arteria brachiale profonda o del nervo radiale, è da segnalare la posizione di queste strutture immediatamente posteriori alla tenodesi e quindi questo può rappresentare un potenziale sito di lesione. Inoltre è necessario fare attenzione anche al retrattore laterale posto al di sotto del pettorale maggiore, in quanto può esercitare una forza eccessiva e compromettere, anche se molto improbabile, il nervo ascellare.

## **SOPRAPETTORALE**

Le tecniche artroscopiche per tenodesi prossimale del capo lungo del bicipite sono state sviluppate<sup>103-113-114-115</sup> per ridurre le lesioni a carico dei tessuti molli e le complicanze della chirurgia aperta. Rispetto alla tenodesi sottopettorale questo tipo di tenodesi richiede una maggiore abilità artroscopica in particolare per le tenodesi prossimali che si eseguono con una ancoretta in quando richiedono l'apprendimento anche di nodi artroscopici. Le indicazioni sono le stesse ricordate sopra per la tenodesi sottopettorale.

La fissazione del tendine in artroscopia può avvenire attraverso diverse metodiche. I chirurghi che scelgono questo tipo di tecnica possono utilizzare ancora con fili ad alta resistenza o viti, molto utilizzate quelle ad interferenza. Ricordiamo inoltre, che il capo lungo del bicipite lesionato può essere ancorato

ai tessuti molli o alla cuffia dei rotatori, qualora la procedura sia associata ad un tempo di riparazione di una lesione completa dei tendini della cuffia, o all'inserzione tendinea del sottoscapolare utilizzando il tendine come un ancora e, come eseguito da Savoie, far passare lo stesso filo anche attraverso l'intervallo dei rotatori laddove ci sia una situazione di instabilità in senso antero-inferiore in posizione neutra del braccio. Queste ultime tecniche non devono essere considerate una vera e propria tenodesi, ma più un semplice ancoraggio del tendine con uno scopo puramente estetico e nessuna finalità funzionale e di mantenimento completo della forza del tendine.

Inoltre, i più recenti studi di biomeccanica, hanno mostrato che non esiste una differenza significativa in termini di resistenza al carico massimo tra una tenodesi con vite ad interferenza posizionata per via sottopettorale in chirurgia aperta e per via soprapettorale in chirurgia artroscopica.

### **C. DISPOSITIVI PER TENODESI**

Esistono molteplici forme di fissazione per la tenodesi del capo lungo del bicipite, e, secondo recenti studi biomeccanici, le viti ad interferenza hanno mostrato di resistere meglio al carico massimo di fallimento n quanto riescono a migliorare la rigidità del sistema di fissazione<sup>103-116-117-118-119-120-121-122-123-124-125-126</sup>.

Attualmente sono molto pochi gli autori che riportano un fallimento della vite ad interferenza in letteratura<sup>103-121-127</sup>.

Infatti se tale vite ad interferenza ha mostrato in molti studi migliori prestazioni biomeccaniche al carico di fallimento comparata con le ancore e altri metodi di fissazione, questi risultati non possono considerarsi universali<sup>103-116-117-118-121-125-127</sup>.

Richards e Burkhart hanno analizzato la resistenza al pullout dell'ancora e della vite ad interferenza e hanno scoperto che la vite ha una migliore resistenza al pullout<sup>128</sup>. Confrontando tecniche di tenodesi con tunnel ossei, ancore e viti ad interferenza, Ozalay et al.<sup>125</sup> ha rilevato che la vite aveva una forza superiore. In un modello animale, la vite aveva la più alta resistenza al carico di rottura rispetto all'ancora, tunnel ossei e punti transossei<sup>121-129</sup>.

Mazzocca et al<sup>110</sup> ha riportato una serie di 41 pazienti che sono stati sottoposti a tenodesi sottopettorale con una interferenza vite: hanno riportato un solo fallimento da pullout Millett et al<sup>116</sup> ha riportato su 34 pazienti con tenodesi sottopettorale viti ad interferenza nessun fallimento.

Slabaugh et al<sup>130</sup> ha studiato le differenze biomeccaniche quando si utilizzavano viti di diverse dimensioni e lunghezze. Ha scoperto che non vi era alcuna differenza significativa nella resistenza al carico di rottura, di rigidità, e di spostamento al picco di carico con viti di dimensioni di 7 o 8 mm di diametro e 15 o 25 mm di lunghezza.

Inoltre bisogna tener conto che le viti ad interferenza sono disponibili in diversi materiali, tra cui in PLLA, in titanio, in combinazione con PLLA-fosfato tricalcico, e polietereeterchetone. Ci sono alcune segnalazioni di sinovite o di una risposta infiammatoria per alcune delle viti riassorbibili che possono manifestarsi anche dopo anni dall'inserimento e che potrebbero causare problemi di dolore persistente o infiammazione<sup>116</sup>

Un recente articolo ha riportato che il dolore persistente potrebbe diminuire con un release del legamento omerale trasverso determinando un diminuzione di reinterventi<sup>119</sup>

Sulle complicanze da viti ad interferenza possiamo fare riferimento a pochissimi studi. Benjamin Shay Koch<sup>131</sup> ha riportato uno studio in cui sono stati seguiti tre pazienti che erano stati sottoposti a tenodesi artroscopica con fissazione prossimale con viti ad interferenza andati incontro a fallimento. In due dei tre casi, il foro dell'omero era di 0,5 mm più grande della dimensione effettiva della vite, e nel terzo caso, il foro è stato perforato con la stessa dimensione della vite. Forse posizionando una vite più piccola sarebbe diminuita la pressione dei filetti sul tendine durante l'inserimento o forse era già presente qualche lesione del tendine che potrebbe averlo indebolito al momento della sua fissazione. In tutti i casi la vite era rimasta in posizione e il tendine non sembrava essere fuoriuscito all'interfaccia tendine-vite; la parte inferiore del foro è stato arrotondato per minimizzare la pressione ma il tendine è stato inserito a 90° rispetto all'osso.

In conclusione, anche se le viti a interferenza forniscono una fissazione eccellente in un ambiente di laboratorio, deve essere notato il fallimento precoce dopo questo tipo di tenodesi.

Forse alcune variazioni nella tecnica di aumento di protezione del tendine con ulteriore rinforzo nell'imbastitura, ridimensionamento della vite e un metodo di passaggio più uniforme tra il sito del foro e la corticale, potrebbe contribuire a ridurre al minimo questi potenziali problemi. Inoltre un periodo più lungo di immobilizzazione e un inizio dei movimenti attivi posticipati dopo tenodesi con viti ad interferenza potrebbero contribuire ad evitare il fallimento precoce, limitando il recupero del range di movimento.

## TENOTOMIA VS TENODESI

La superiorità della tenotomia rispetto alla tenodesi per il trattamento delle lesioni del capo lungo del bicipite, è ancora in discussione. Attualmente, c'è molto disaccordo sulla procedura chirurgica più efficace per i risultati inconsistenti e le limitazioni degli studi pubblicati<sup>132-133</sup>.

Alcuni autori hanno sostenuto che la tenotomia è superiore e hanno riportato risultati soddisfacenti nella maggior parte dei pazienti trattati con questa tecnica<sup>134-135</sup>. La tenotomia ha il vantaggio di essere di facile esecuzione e, quando eseguita da sola come unica procedura, permette meno restrizioni nel periodo postoperatorio, con un ritorno più veloce alle normali attività quotidiane<sup>132</sup>. Altri autori hanno riportato risultati altrettanto buoni nella maggior parte dei pazienti trattati con tenodesi del CLB<sup>136-137</sup>. Questa tecnica è in grado di prevenire alcune delle complicanze più comuni associate alla tenotomia, quali crampi del muscolo bicipite brachiale e retrazione del tendine del bicipite<sup>138-139</sup>.

Questa ultima complicazione è indicata come segno o deformità di Popeye, e si verifica nel 3-70% dei pazienti sottoposti a tenotomia del CLB, e si traducendosi in una deformità estetica<sup>136-140</sup>. Una ulteriore possibile complicanza, legata all'intervento di tenotomia, è la diminuzione nella forza di flessione e supinazione, rispettivamente, del braccio e dell'avambraccio<sup>141-142</sup>. Tuttavia, non c'è coerenza con altri risultati riportati in letteratura<sup>133-139-143</sup>. La maggior parte degli studi che mettono a confronto i risultati della tenodesi e della tenotomia del CLB, utilizzano delle metodologie che presentano carenze da un punto di vista dello studio retrospettivo, del potere statistico e della randomizzazione del paziente<sup>144</sup>. Fino allo scorso anno non sono stati presenti in letteratura su questo argomento studi in doppio cieco, randomizzati e studi controllati. Galasso et al<sup>145</sup> hanno presentato recentemente uno studio in doppio cieco randomizzato allo scopo di confrontare l'efficacia della tenodesi rispetto alla tenotomia nel trattamento delle lesioni del CLB, basandosi su punteggi clinici.

Prima di allora pochissimi studi in letteratura hanno confrontato direttamente i risultati di tali tecniche, e la maggior parte hanno evidenziato differenze tra i trattamenti<sup>139-141-143-146-147</sup>. Boileau et al. hanno valutato retrospettivamente 68 pazienti con lesione irreparabile della cuffia dei rotatori e trattati con tenotomia artroscopica o tenodesi del CLB: ha riportato risultati simili dopo entrambe le procedure<sup>139</sup>. Osbahr et al. hanno valutato retrospettivamente 160 pazienti con dolore cronico riferito a tendine bicipitale, trattando metà dei pazienti con tenotomia e l'altra metà con tenodesi<sup>146</sup>. Non hanno trovato alcuna differenza significativa tra i due metodi di trattamento in termini di deformità estetica, spasmo muscolare o dolore nella regione anteriore della spalla. Allo stesso modo, 20 pazienti

sottoposti a tenotomia o tenodesi per tenosinovite cronica sono stati confrontati retrospettivamente, e non è stata osservata nessuna differenza nei risultati funzionali o cosmetici<sup>147</sup>.

Wittstein et al. ha mostrato nessuna differenza significativa nei punteggi postoperatori tra le due tecniche, in un studio di coorte di 35 pazienti<sup>142</sup>. Le limitazioni principali di questo studio erano la mancanza di randomizzazione dei partecipanti che ricevevano la tenotomia piuttosto che la tenodesi e un numero limitato di partecipanti. Uno studio retrospettivo<sup>141</sup>, ha dimostrato che la tenotomia diminuisce la supinazione dell'avambraccio rispetto alla tenodesi. Ma, questi risultati, non sono stati confermati in altri studi, che hanno riportato nessuna differenza tra queste tecniche<sup>133-139-143</sup>. Shank et al. ha confrontato la supinazione dell'avambraccio e la flessione del gomito e non ha trovato alcuna differenza significativa tra la tenotomia, la tenodesi e i gruppi di controllo<sup>143</sup>. Tuttavia, non hanno riportato i punteggi clinici dopo questi interventi<sup>143</sup>. Koh e colleghi hanno dimostrato che né i punteggi clinici né i tempi chirurgici hanno rivelato differenze significative tra la tenotomia e la tenodesi<sup>133</sup>. In particolare, questo studio non era uno studio randomizzato, e il gruppo di controllo era sottodimensionato per la maggior parte dei risultati.

Pertanto, gli stessi Autori riconoscono che i loro risultati devono essere interpretati con cautela. La necessità di fare uno studio su tale argomento opportunamente condotto, con studi randomizzati e controllati che mettono a confronto i risultati di tali procedure è stato recentemente sottolineato<sup>132</sup>.

Per migliorare gli studi tenotomia vs tenodesi, l'analisi delle diverse variabili, come caratteristiche demografiche, lesioni concomitanti, complicanze, e specifici risultati clinici, come ad esempio deformità, crampi o deformità cosmetiche, è indubbiamente una necessità per comprendere definitivamente se esiste realmente un vantaggio sia da un punto di vista chirurgico che clinico nell' eseguire una tecnica piuttosto che l'altra, scelta che attualmente si basa solo sulle preferenze del chirurgo<sup>144</sup>.

Nonostante nel tempo si siano susseguite posizioni molto differenti sulla questione tenotomia vs tenodesi, ritengo che attualmente la scelta debba essere guidata dall'età del paziente, preferendo la tenodesi in pazienti più giovani sotto i 55 anni e in base alle sue richieste funzionali ed estetiche, in quanto ormai è chiaro che, anche se in letteratura le opinioni sono spesso discordanti, la tenodesi rispetto alla tenotomia ha alcuni vantaggi:

- evita deformità estetiche
- mantenimento del rapporto lunghezza-tensione
- la prevenzione dell'atrofia del muscolo
- mantenimento della forza di flessione del gomito e supinazione
- evita i dolori crampiformi

Gli autori si trovano in accordo all'unanimità, anche se con percentuali molto diverse, solo sul primo punto, ovvero del vantaggio estetico. Gli altri punti riportati non sono condivisi da tutti gli autori e, sebbene siano affrontati in tutti gli articoli, a volte le differenze trovate tra i due tipi di tecniche non sono risultati statisticamente significativi. Nonostante ciò di fronte ad un paziente non possiamo non prendere in considerazione i possibili vantaggi di una tenodesi per dare una comunicazione informativa trasparente.

## L'INNOVAZIONE SPABiT

SPABiT (Sopra-Pectoral Arthroscopic Biceps Tenodesis) è una nuova tecnica chirurgica artroscopica di tenodesi del tendine del capo lungo del bicipite.

La sua innovazione si può ritrovare in:

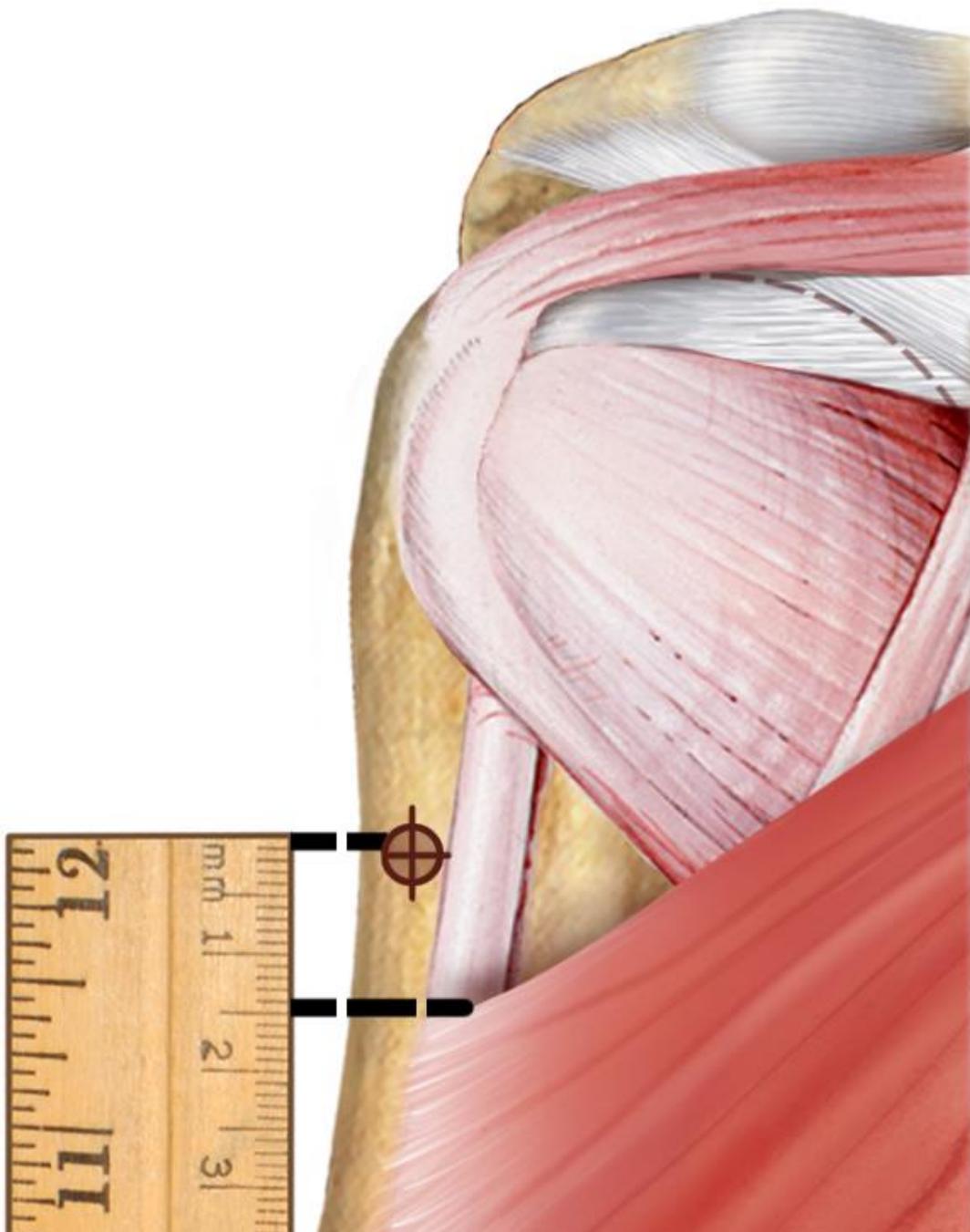
1. Posizionamento dell'ancoretta
2. Tipologia di ancoretta ( Juggerknot 2,9, doubled loaded)
3. Tipologia di stitch per l'imbastitura del tendine
4. Tecnica completamente artroscopica

### 1. POSIZIONAMENTO DELL'ANCORETTA

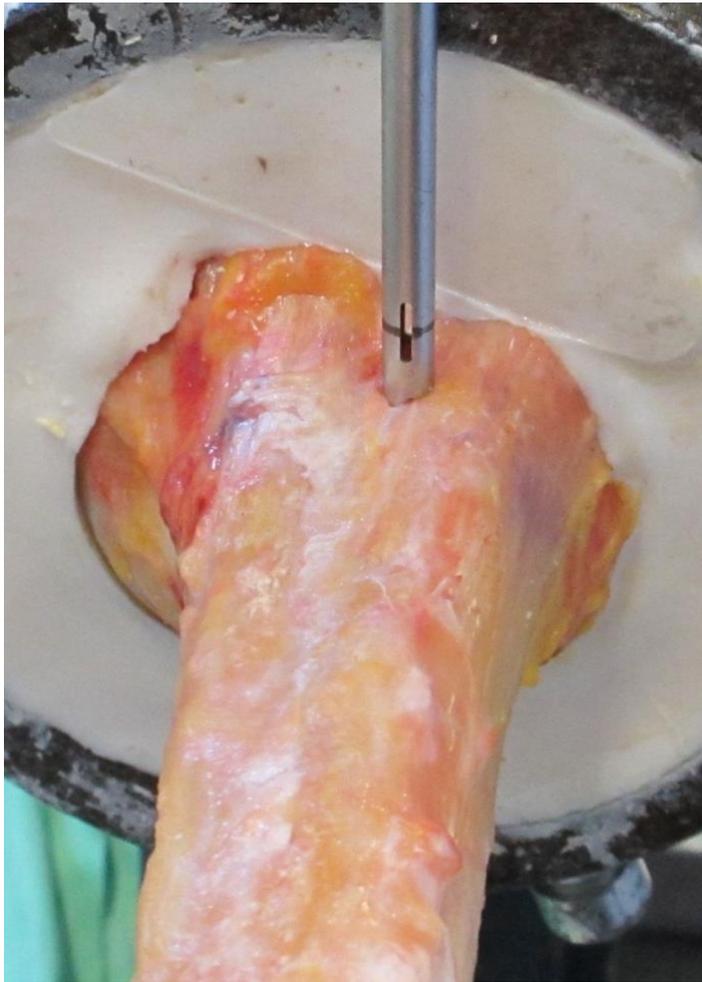
Il punto in cui viene inserita l'ancoretta è a 1,5 cm dall'inserzione del pettorale maggiore, ovvero subito al di sotto della doccia bicipitale, dove la corticale diviene sempre più spessa andando da prossimale a distale. Quindi rispetto alle precedenti tecniche di fissazione prossimale, l'ancoretta non viene posizionata all'interno della doccia, nel tentativo di evitare il dolore anteriore di spalla nel postoperatorio.



**Figura 1: visione anteriore della spalla durante la dissezione, in cui si distinguono il legamento congiunto, il capo lungo del bicipite e il pettorale maggiore. Il filo di K. inserito per via percutanea prima della dissezione, corrisponde al punto in cui viene eseguito il portale artroscopico.**



**Figura 2: posizionamento dell'ancora a 1.5 cm dall'inserzione del pettorale maggiore**



**Figura 3: Posizionamento dell'ancora attraverso la guida (A) e ancora inserita (B)**

## 2.TIPOLOGIA DI ANCORETTA

Biomet Sports Medicine ha recentemente sviluppato una nuova linea Soft Anchor dal nome JuggerKnot™, prodotto che prevede di avere una forza paragonabile a quella delle ancore tipicamente usate nella chirurgia della cuffia dei rotatori. Questa ancora ha un diametro di 2,9 millimetri, che è quasi la metà di molte ancore comunemente utilizzate nella testa omerale. Questo nuovo prodotto è costituito da un filo morbido intrecciato di poliestere, combinato con una sutura ad alta resistenza MaxBraid™. Test biomeccanici su cadavere hanno mostrato i seguenti risultati<sup>148</sup>

BSM JuggerKnot™ 2.9mm	Media di picco di carico	343.58
	Volume dispositivo	44.4
Arthrex Ti Corkscrew® 5.0mm	Media di picco di carico	299.68
	Volume dispositivo	77.5

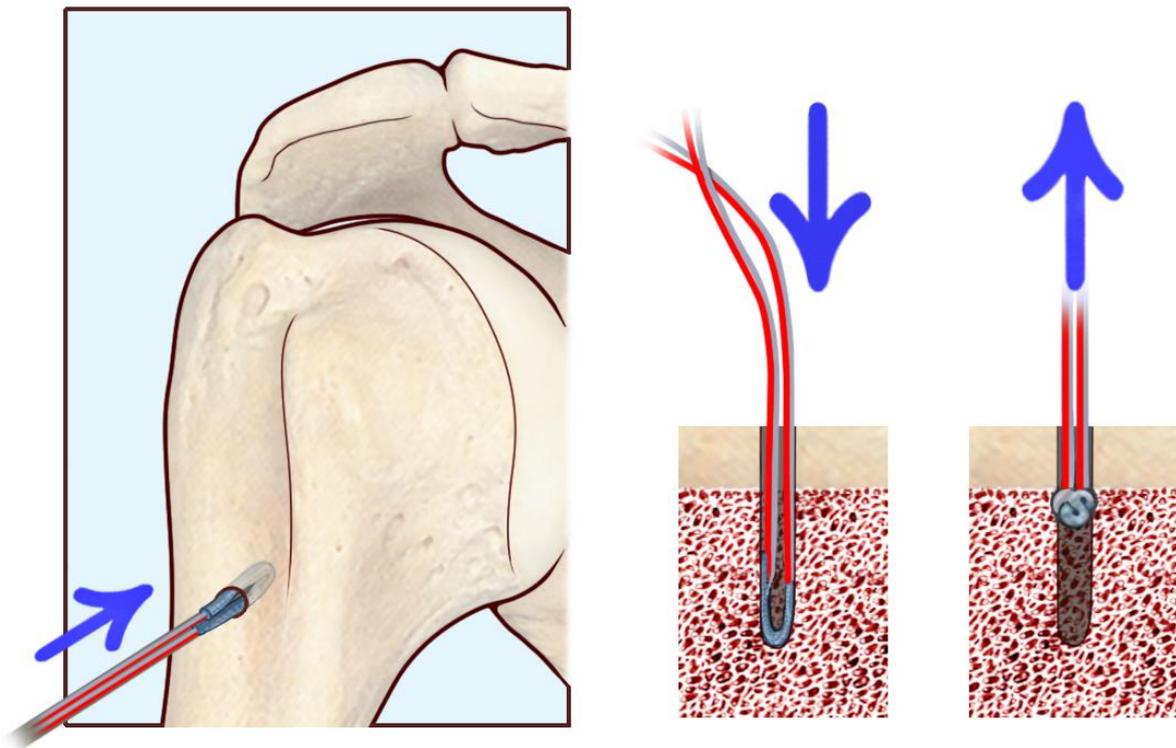
Il Jugger Knot riesce a raggiungere picchi di carico maggiori con il 40% in meno di volume del dispositivo e, quindi, con meno lesioni a livello dell'osso.

Tra i suoi vantaggi inoltre ci sono il fatto che non ostacola l'imaging, il è piccolo foro, il materiale è non riassorbibile e, l'assenza di un vero dispositivo da rimuovere, facilita gli interventi di revisione.

Quindi:

- Un piccolo foro da 2.9 mm riduce la rimozione ossea (69% in meno rispetto a un ancora di 3 mm)
- La rimozione di meno osso permetterà che ci sia più tessuto a contatto con l'osso
- Il JuggerKnot™ Anchor si espande ≈ 30% in più rispetto al suo formato originale quando viene inserito a livello subcorticale
- Per estrarre il JuggerKnot Anchor™ Soft sono necessarie più di 23 kg
- Non sono presenti componenti rigide
- Può ridurre complicazioni post operatorie associate a corpi liberi
- La presenza di suture tipo MaxBraid™ fornisce un profilo molto basso sia del filo intorno al tendine sia del nodo.

**Figura 4: ancoretta inserita da una visione intracorticale**

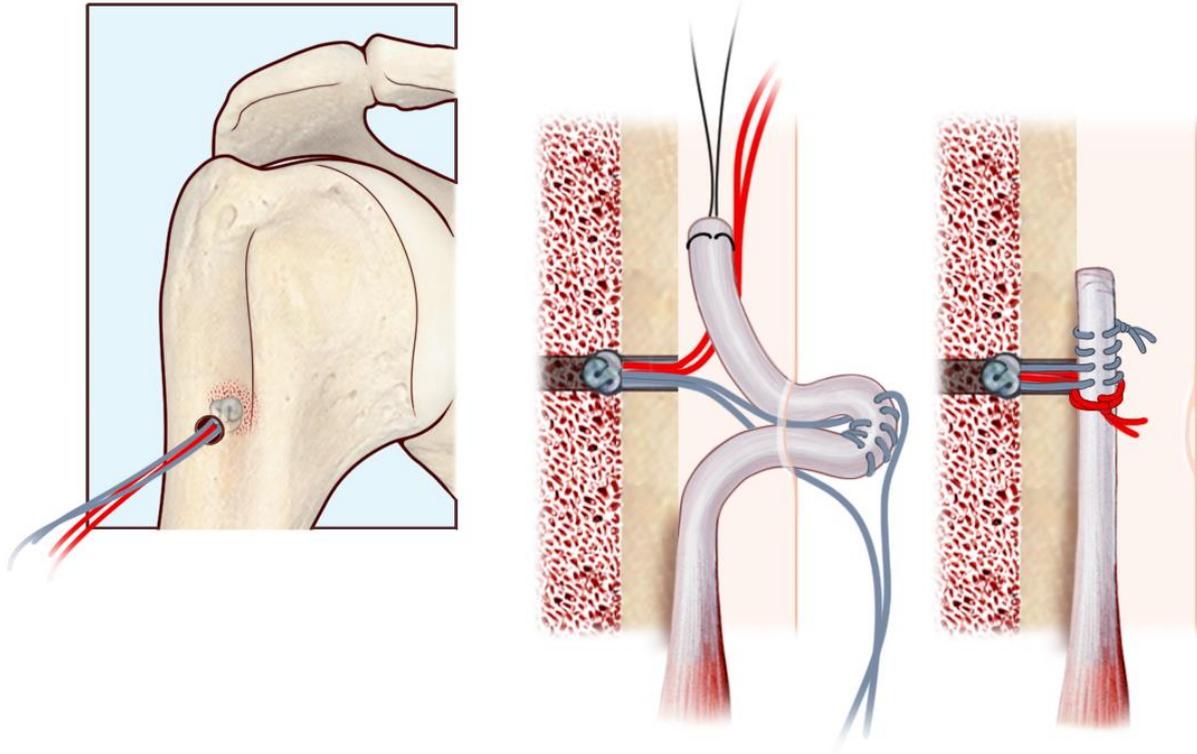


**Figura 5: schematizzazione dell'inserimento dell'ancoretta e meccanismo di presa subcorticale**

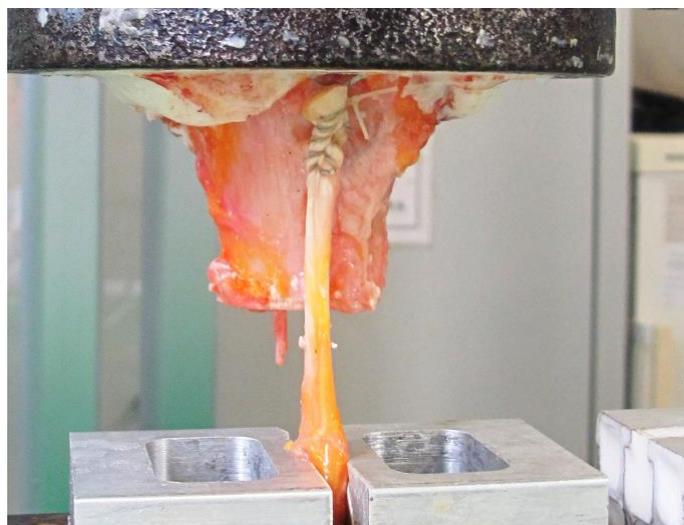
### 3. TIPOLOGIA DI IMBASTITURA

Durante le prove sono state testate due tipi di imbastiture.

La prima è quella pensata fin dall'inizio per la tecnica SPABiT: whip stitch. Si tratta di una imbastitura ad anello su doppio lato del tendine eseguita con un filo di una coppia e con il filo dell'altra coppia che passa prima attraverso il tendine e poi intorno (loop italiano), subito al di sotto della prima imbastitura. Con tale tecnica state testate 7 spalle e comparate alle 7 spalle corrispondenti con l'altra tecnica di tenodesi con vite ad interferenza.



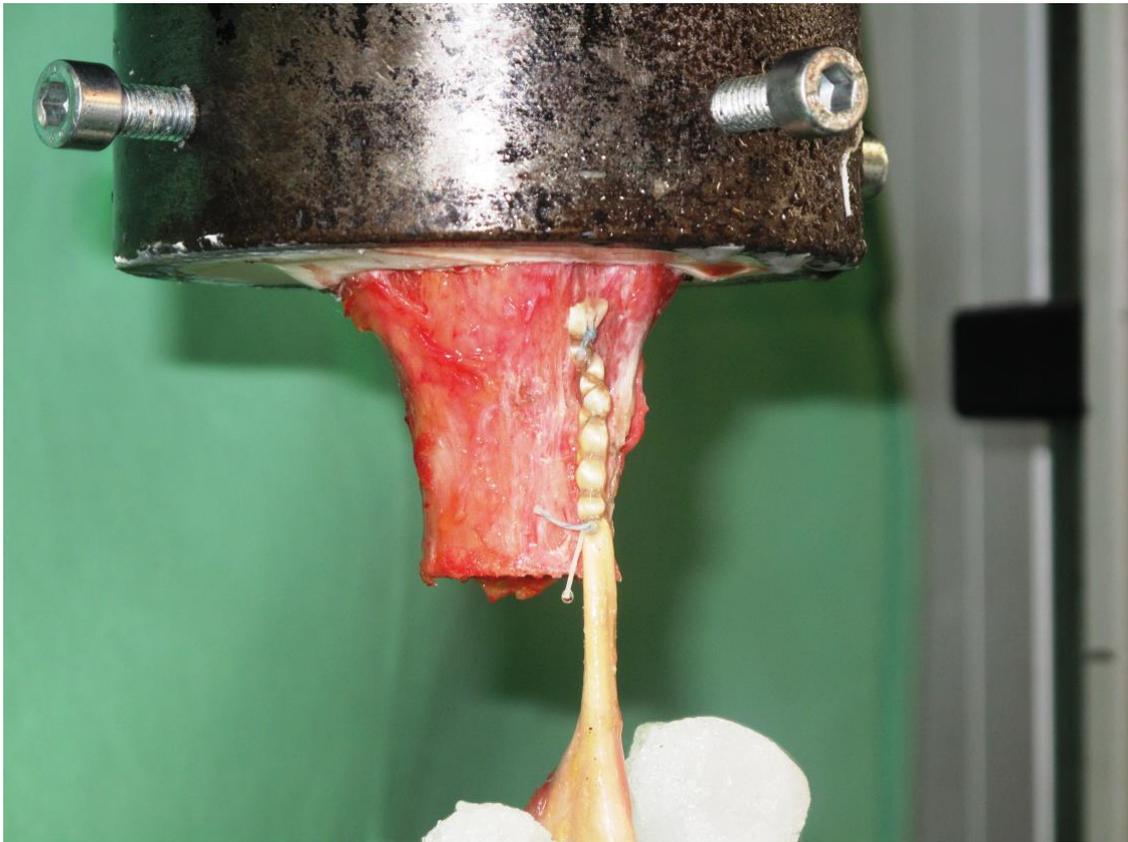
**Figura 6: schematizzazione del Whip Stitch**



**Figura 7: CLB imbastito con whip stitch sulla Instron prima dell'inizio delle prove di carico**

Dopo le 7 prove con questo tipo di nuovo stitch, è stato notato che nonostante la buona tenuta, il tipo di sutura rompeva il tendine, iniziando a lacerarlo a partire dal filo che circondava il tendine, e poi, progressivamente la lacerazione si spostava a livello della prima imbastitura.

Così è stato testato un secondo tipo di imbastitura, MFT modificato, che si è dimostrato meno dannoso durante la rampa di carico per il tendine. Infatti, la diversa imbastitura, come dimostrano i risultati, modifica la biomeccanica del tendine, portando così anche ad un differente meccanismo di fallimento.



**Figura 8: CLB imbastito con MFT modificata sulla Instron prima dell'inizio delle prove di carico**

## TEST PILOTA UTAH - USA

**Titolo dello studio** Confronto biomeccanico di due tecniche per la tenodesi del bicipite sopra pettorale eseguibile in artroscopia.

**Fase I:** Pilota – un paio di spalle, un'ancoretta Juggerknot in ognuna per testare la performance dell'ancoretta (Test eseguito nello Utah)

**Fase II:** Test completo – sette paia di spalle, una vite e una Juggerknot per paio + sette spalle , una Juggerknot per spalla con imbastitura modificata ( Test eseguito al Rizzoli – Italia) .

### **PREMESSE E SCOPO** (forniti dallo SCOI):

La tenodesi del bicipite è una terapia accettata per molteplici condizioni patologiche che coinvolgono il tendine del capo lungo del bicipite (CLB), inclusi strappi del CLB, lesioni SLAP e instabilità del CLB. Sono state descritte numerose tecniche per eseguire tale procedura, che differiscono in base al punto di ancoraggio del CLB all'omero prossimale, rispetto al pettorale maggiore (posizione sopra pettorale contro quella sotto pettorale), e al metodo di visualizzazione (aperto o artroscopico). La tecnica ideale dovrebbe fornire una visualizzazione appropriata per eseguire la procedura in modo sicuro e una forza di presa per resistere allo spostamento in senso distale durante il periodo di guarigione tendine-osso. Sono stati descritti diversi metodi di fissaggio per la tenodesi del CLB, incluse ancorette, viti d'interferenza e tunnel ossei (i.e. tecnica keyhole – minimamente invasiva).

Recenti studi biomeccanici hanno mostrato che la vite d'interferenza è la più forte e la più rigida tra i dispositivi testati e non sono state riscontrate differenze nella forza di presa tra le posizioni sopra e sotto pettorali<sup>149-150-151</sup>. Le posizioni sotto pettorali richiedono un'incisione aperta per una visualizzazione adeguata delle strutture neuro-vascolari nelle vicinanze (principalmente il nervo muscolocutaneo). Alcuni chirurghi hanno espresso delle perplessità riguardo al fatto di fare una incisione a livello dell'ascella a causa del rischio connesso a problematiche di guarigione della ferita e alle infezioni. Inoltre, alcuni

hanno criticato le tecniche di tenodesi del bicipite artroscopiche più prossimali, poiché un'esigua percentuale di pazienti continua ad accusare dolore bicipitale nella regione anteriore della spalla a seguito di questa procedura.

Oltre a ciò, la letteratura recente<sup>152</sup> riporta un fallimento precoce della tradizionale vite d'interferenza, verosimilmente dovuta al danno sul tendine causato dai filetti taglienti della vite che comprimono il tendine contro la parete dell'osso corticale. Inoltre sono riportate complicazioni causate dall'alloggiamento permanente di dispositivi nell'omero prossimale che sono una conseguenza della necessità di eseguire un foro che può andare da 8 a 10mm per la vite d'interferenza. Queste includono la formazione progressiva di cisti e fratture dovute al grande aumento di tensione causato dal difetto dell'osso corticale.

Per ridurre i rischi d'infezione della ferita e di danno neuro-vascolare e per minimizzare l'incidenza del dolore bicipitale è stata sviluppata una tecnica di tenodesi artroscopica sopra pettorale del bicipite che prevede la fissazione sopra il tendine pettorale ma al di sotto del solco del bicipite. In precedenza è stato testato un metodo di tenodesi sopra pettorale con una ancoretta a vite, ma è stato abbandonato poiché l'osso in quest'area non è ideale per questo tipo di presidi. Nell'area appena distale il solco bicipitale, c'è una transizione da osso metafisario a osso corticale, che è sprovvisto di osso spongioso ed è molto più sottile di un osso diafisario. Questa struttura, quindi, fornisce un'esigua sostanza ossea per un'ancoretta ad avvitamento o a pressione tradizionale, specialmente del tipo "a interferenza". Quindi, abbiamo cominciato a utilizzare un'ancoretta morbida (Ancoretta morbida JuggerKnot a sutura doppia di 2.9mm, Biomet, Varsavia, IN) che è stata progettata per una presa ottimale nell'osso corticale.

L'obiettivo del presente studio è confrontare il comportamento biomeccanico di una vite d'interferenza con quello di un'ancoretta morbida quando vengono impiegate per una tenodesi distale del bicipite sopra pettorale.

### **VANTAGGI DELLO STUDIO** (forniti dallo SCOI):

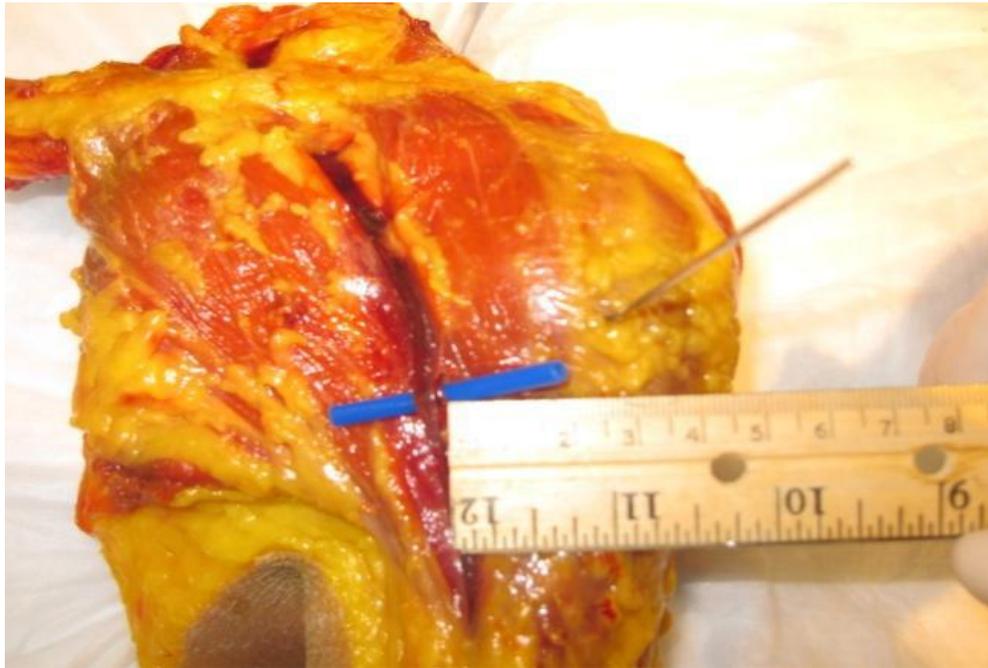
Questo studio fornirà un'importante prova biomeccanica riguardo alla scelta dell'impianto ideale per una tenodesi del bicipite sopra pettorale. Riteniamo che l'utilizzo dell'ancoretta morbida sia una scelta eccellente, pensiamo inoltre che sia sensato dal punto di vista biomeccanico ed eviti i rischi associati a una tenodesi del bicipite aperta e sotto pettorale e il rischio di dolore persistente associato alla tenodesi artroscopica in una posizione più prossimale. Inoltre, una fonte di letteratura recente <sup>152</sup> riporta un fallimento precoce della vite d'interferenza tradizionale verosimilmente a causa del danno sul tendine provocato dai filetti taglienti della vite che comprimono il clb contro la parete dura dell'osso corticale. Oltre a ciò, sono riportate complicazioni causate dall'alloggiamento permanente dei dispositivi nell'omero prossimale in conseguenza al foro di 8-10mm necessario per la vite d'interferenza.

### **IPOTESI** (fornita dallo SCOI):

Le proprietà di carico ciclico e il carico massimo di rottura non presentano differenze significative tra una vite d'interferenza e un'ancoretta morbida quando vengono utilizzate per effettuare una tenodesi sopra pettorale del clb.

### **MATERIALI E METODI** (PROVA PILOTA fornita dallo SCOI)

Due spalle di cadavere umano congelate da fresche (un paio) sono state scongelate a temperatura ambiente prima della dissezione. Un'analisi a priori ha mostrato che 7 campioni per gruppo avrebbero fornito l'80% di probabilità di riscontrare una differenza significativa nel valore medio di carico massimo di rottura tra i gruppi ( $P = 0.5$ ) <sup>149</sup>. Sono stati mappati punti di riferimento anatomici sulla pelle. Un filo di Kirschner è stato inserito percutaneamente nell'omero prossimale per verificare la posizione dell'approccio artroscopico rispetto all'anatomia attinente. In seguito ogni spalla è stata dissezionata fino alla giunzione gleno-omerale.



**Figura 9:** il filo di K. indica il punto corrispondente all'accesso artroscopico accessorio per l'esecuzione della tenodesi. La dissezione mostra la distanza di sicurezza rispetto alle strutture vascolari.

Il punto di posizionamento dell'impianto rispetto al capo lungo del bicipite è stato segnato misurando 1.5cm prossimalmente al margine superiore dell'inserzione del pettorale maggiore, ed è stata eseguita una sutura a cappio attorno al CLB per segnare il livello.



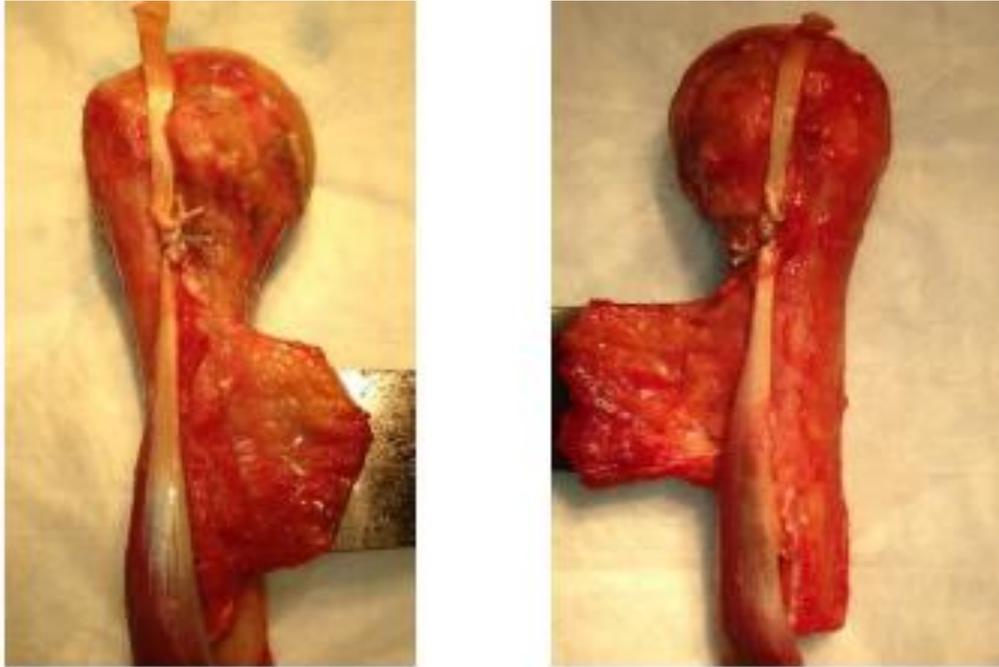
**Figura 10:** il filo di K. indica la posizione in cui verrà inserita l'ancoretta, esattamente ad 1,5 cm dal pettorale maggiore

Il CLB è stato tagliato all'inserzione al labbro superiore e l'omero è stato disarticolato dalla glenoide. Sono stati rimossi tutti i tessuti molli, lasciando l'omero prossimale, il tendine del bicipite e una sezione del muscolo del bicipite come presa per i test. Utilizzando un calibro digitale, sono stati misurati l'ampiezza e lo spessore del CLB nel livello in cui è stata fatta la sutura ad anello sul tendine (sul tessuto non deformato).



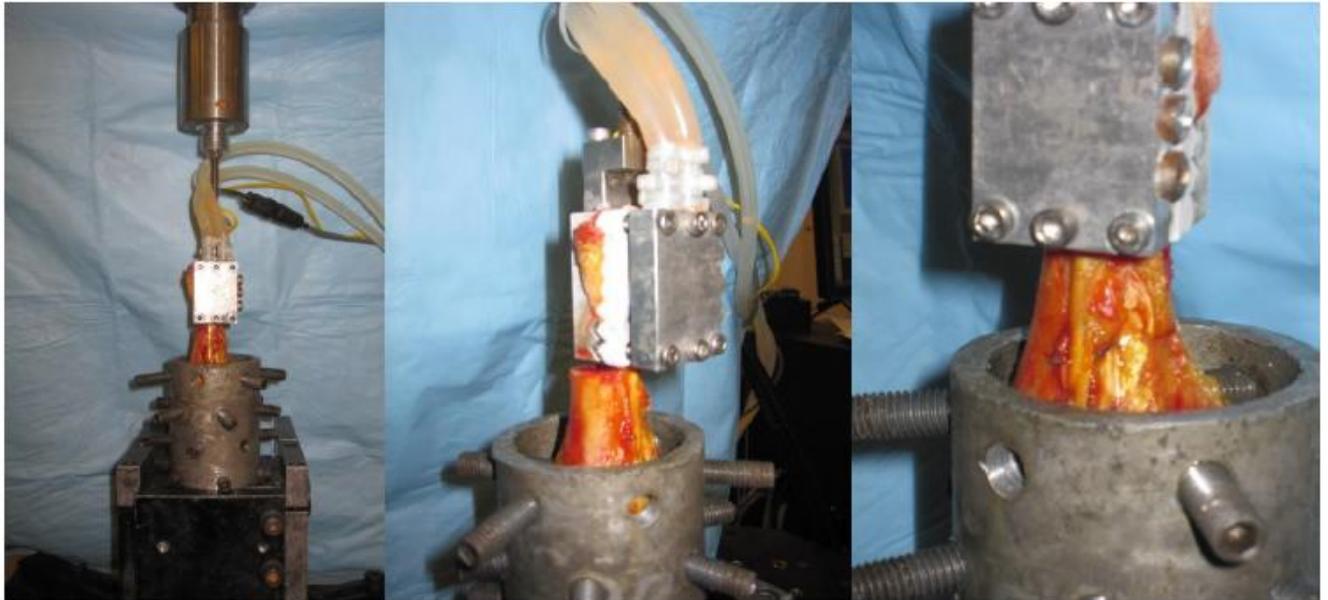
**Figura 11: spalla destra e sinistra alla fine della dissezione. L'omero è stato liberato da tutti i tessuti molli mantenendo solo l'inserzione del pettorale maggiore. Il CLB è stato liberato mantenendo la bratta muscolare. Il filo sul tendine corrisponde alla distanza di 1,5 cm dall'inserzione del pettorale maggiore, ovvero il punto da cui partirà l'imbastitura**

Per i campioni Juggerknot, il foro è stato posto nel punto precedentemente segnato sull'omero, perpendicolarmente all'asse lungo e all'asse corto dell'osso. L'impianto dell'ancoretta morbida Juggerknot di 2.9mm a doppia sutura è stata posta alla profondità segnata, come da guida del produttore, e l'ancoraggio ha dimostrato una buona presa sull'osso tirando manualmente le suture verso l'alto. Per fermare il tendine, una coppia di suture è stata utilizzata per l'imbastitura del tendine con 4 passaggi ad anello da entrambi i lati del tendine e l'altra coppia per un passaggio prima attraverso e poi ad anello italiano intorno al tendine, immediatamente alla fine della prima imbastitura.



**Figura 12: spalla destra e sinistra alla fine della procedura con imbastitura whip stitch**

Ogni costruito di riparazione è stato capovolto e montato sulla macchina Instron. Un criomorsetto è stato posizionato per fermare l'unità muscolo-tendinea del bicipite all'attuatore e alla cella di carico, una struttura di montaggio filettata stabilizzava la testa omerale alla piattaforma dell'Instron. L'omero e il tendine del bicipite erano allineati in modo che le forze di tensione fossero applicate in modo parallelo all'asse longitudinale dell'omero, quindi avvicinandosi al reale vettore in vivo della forza dell'unità muscolo-tendine .



**Figura 13: omero montato sulla Instron. La testa femorale è fermata dalle viti all'interno del cilindro, mentre il muscolo del tendine è all'interno del crioclamp.**

Sono stati applicati a ogni campione i seguenti parametri dei test: precarico a 0.5MPa (stress costante : area sezionale forza/ tessuto nativo) per 2 minuti, carico ciclico per 500 cicli a 1Hz fino a una tensione morsetto-costrutto del 10%, test di stiramento-rottura a 1mm/s. Nota: la tensione morsetto-costrutto del 10% ha tenuto il tessuto sotto i limiti teorici di rottura microstrutturale (5-6% tensione del tessuto) e ha fornito uno spazio metrico coerente da cui caricare i campioni. La tensione c-c è stata misurata come il cambiamento della lunghezza diviso la lunghezza iniziale, dove la lunghezza iniziale è stata misurata dal criomorsetto fino al limite più vicino del costruito testato. L'innesto del tendine è stato umettato con uno spruzzo di soluzione salina durante il test. Attraverso l'uso di un software interfacciato con il sistema di prova di materiali, i dati di tempo, forza e spostamento dell'attuatore venivano costantemente registrati durante il test.

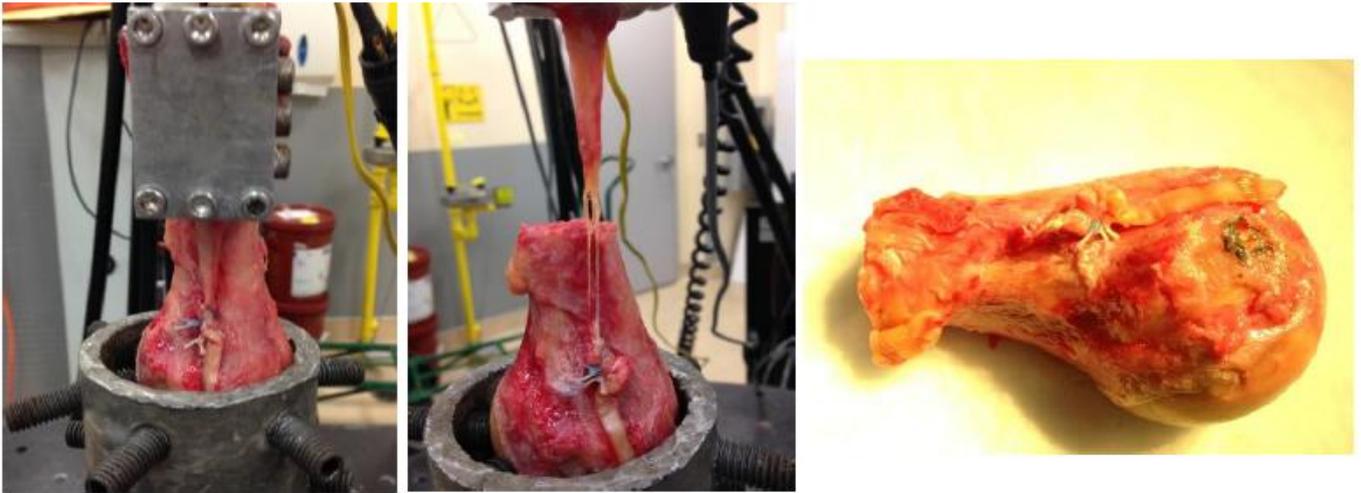
## RISULTATI:

	Test 1	Test 2	Test 3
Campione #	GL1201939R	GL1201939L	Stesso omero test 2, nuovo tendine, CW
Posizione dell'ancora prossimale al pettorale maggiore (mm)	1.5	1.5	1.5
Posizione dell'ancora distale al solco prossimale (mm)	3.0	3.0	3.0
Tendine ampiezza x spessore (mm)	4.4x1.6	4.6x1.8	5.6x2.7
Forza di pre-tensione a 0.5MPa (N)	3.5	4.1	7.6
Lunghezza/spostamento del morsetto-costrutto (mm)	31.9/3.2	28.9/2.9	28.5/2.9
Disposizione sutura	Whip stitch	Whip stitch	Krackow
Picco di carico ciclico , ciclo 1 (N)	60.8	76.6	87.2
Picco di carico ciclico , ciclo 100 (N)	31.9	35.9	33.2
Picco di carico ciclico , ciclo 500 (N)	27.6	26.7	16.1
Carico massimo di rottura (n)*	216.2	190.5	195.2
Meccanismo di rottura	Knot cinch e lacerazione del tendine al di sotto delle suture	Knot cinch e lacerazione del tendine al di sotto delle suture	Knot cinch e scivolamento della sutura a chiusura del Krackow

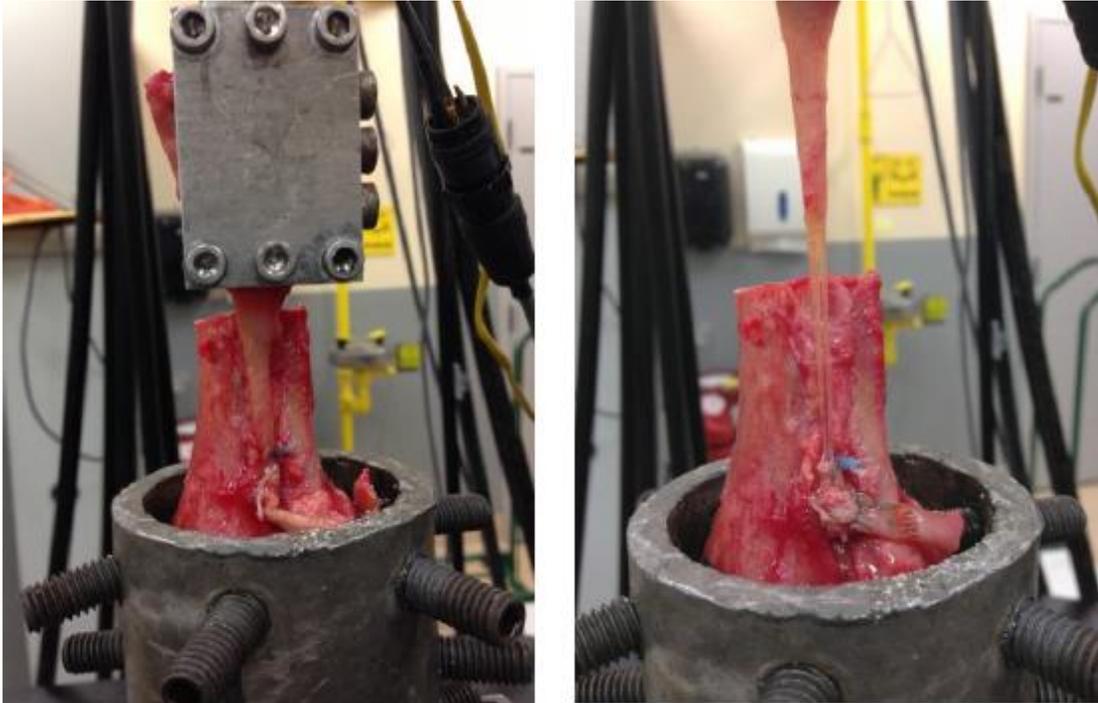
\*Si intenda per rottura perdita di continuità di carico e strappo dei tessuti

*Nota: il test è stato compiuto utilizzando lo stesso osso del test 2, ma con una porzione del tendine del CLB ottenuta durante la dissezione per un test di tenodesi precedente (congelato fino al momento del presente test). Tale test ha previsto l'uso di un costrutto CW con un foro prossimale di 6mm, posto nel punto dell'ancora Juggerknot e un foro distale di 2mm circa. Sono stati inseriti otto nodi di sutura Krackow a intervalli di circa 2mm l'uno dall'altro lungo il tendine, con uno che*

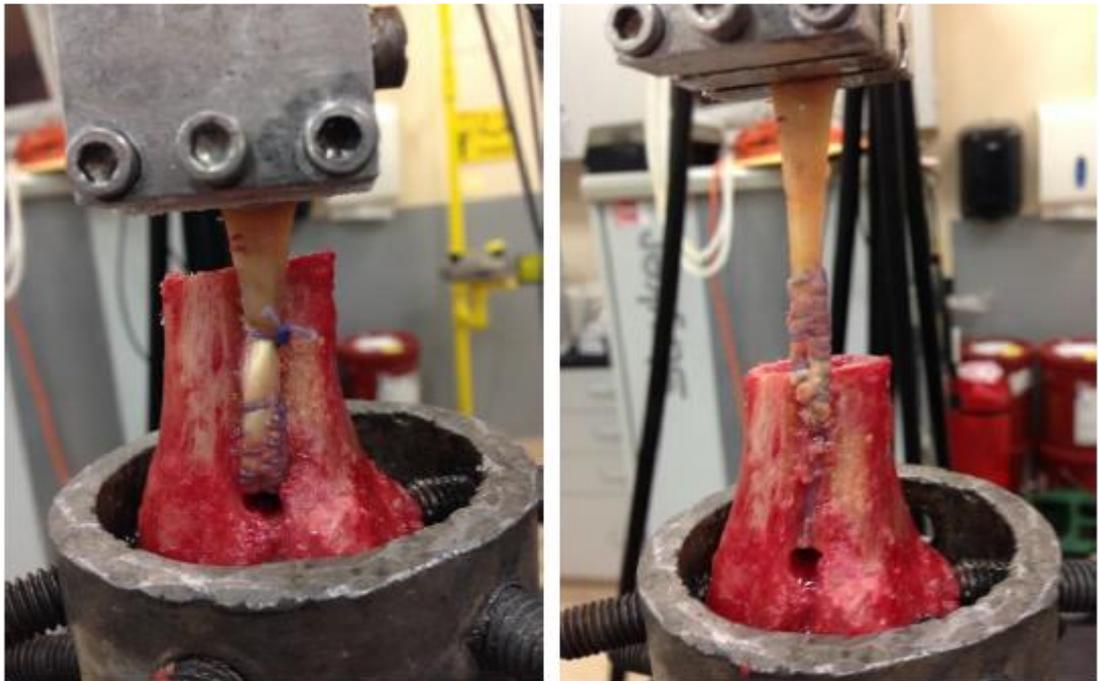
*passava sopra il tendine e uno che passava dietro sotto il tendine. Entrambe le estremità della sutura e il tendine suturato sono state fatti passare attraverso il tunnel osseo. Le estremità della sutura libere passavano attraverso il foro di 2mm per essere poi legate sul tendine esposto e la Krackow con almeno tre nodi Revo.*



**Figura 14: Test 1 prima (sinistra) e dopo (centrale) il test di rottura.  
Omero dopo la rottura del tendine (destra)**



**Figura 15: Test 2 prima (sinistra) e dopo (destra) il test di rottura.**



**Figura 16: Test 3 (CW) prima (sinistra) e dopo (destra) il test di rottura.**

## CONCLUSIONI

Il meccanismo di rottura primario nel test 1 e 2 è avvenuto con una rottura del tendine, immediatamente distale all'imbastitura. Per il test 3, il costrutto usciva dal tunnel osseo con l'allungamento del nodo chiuso sopra l'imbastitura Krackow.

Ogni costrutto nel presente studio si è rotto a 200N, che è abbondantemente compreso nel range stimato per i metodi di ancoraggio comparabili. Le ancore Dual Mitek e le viti d'interferenza dei test ORL precedenti si sono rotte rispettivamente a  $309.7 \pm 91.1\text{N}$  e a  $279.5 \pm 95.2\text{N}$ . Altri studi suggeriscono che carichi di rottura di 150-300N sono comuni<sup>153-154-155</sup>. Tali risultati sono in contrasto con il precedente test pilota del Juggerknot dove la sutura/nodo semplicemente supera il tendine a un picco di 70N. Quando normalizzato come stress (forza/area) per la comparazione dei campioni di differenti aree sezionali trasversali, lo studio precedente presentava stress massimi di  $25.5 \pm 7.7\text{MPa}$  (vite) e  $29.8 \pm 11.8\text{MPa}$  (ancore). I presenti test erano all'interno del range stimato (30.7, 23.0 e 12.9 MPa rispettivamente per il test 1, 2 e 3).

All'applicazione di uno spostamento del 10%, i carichi massimi erano comparabili tra i campioni. Prima del lavoro nell'ORL le ancore doppie Mitek con una sutura Krackow/Bunnel avevano perso il  $41 \pm 5\%$  e una vite d'interferenza Arthrex di 8mm aveva perso il  $26 \pm 7\%$  della resistenza al carico totale dopo 100 cicli, entrambe in precedenza attraverso la tensione della sutura. Nel presente studio le Juggerknots hanno perso circa più del 50% della loro resistenza al carico totale al centesimo ciclo. Al cinquecentesimo ciclo, i carichi diminuirono circa al 65% poiché il carico del gruppo di sutura ha rimosso il gioco dal sistema. Ciò si oppone al test pilota precedente dove i carichi dopo 500 cicli diminuivano del 90% rispetto al primo ciclo. Il costrutto CW aveva meno resistenza al carico dopo 100 e 500 cicli rispetto al costrutto Juggernot.

Si noti che nessuna ancora Juggerknot si è spezzata o si è rotta durante questi test dal momento che la modalità principale di rottura era la rottura del tendine.

## TEST COMPLETO RIZZOLI - ITALIA

**Titolo dello studio** Confronto biomeccanico di due tecniche per la tenodesi del bicipite sopra pettorale eseguibile in artroscopia.

**Fase I:** Pilota – un paio di spalle, un'ancoretta Juggerknot in ognuna per testare la performance dell'ancoretta (Test eseguito nello UTAH)

**Fase II:** Test completo – sette paia di spalle, una vite e una Juggerknot per paio + sette spalle , una Juggerknot per spalla con imbastitura modificata ( Test eseguito al Rizzoli – Italia) .

### MATERIALI E METODI

Un totale di 22 spalle fresche da cadavere, congelate presso la Nostra Banca del tessuto muscolo scheletrico, con sede presso L'Istituto Ortopedico Rizzoli, a -80° e poi scongelate progressivamente prima a -4° e in fase finale a bagno maria a 37°. Le spalle sono state prelevate da donatori della zona Emiliano Romagnola e Toscana. Il range di età era di 50-62 anni. Il sesso dei donatori era 9 maschi e 2 femmine. In ogni donatore sono state prelevate entrambe le spalle: l'omero disarticolato e tagliato appena sopra l'articolazione del gomito, per permettere un buon allineamento sulla macchina; l'inserzione del grande pettorale come punto di reperi per il posizionamento dell'ancoretta; il capo lungo del bicipite con la sua bratta muscolare, per il crio-ancoraggio alla macchina e tagliato alla sua inserzione al labbro glenoideo superiore. Prima di tagliare il capo lungo del bicipite distalmente e prossimalmente, è stato segnato con penna dermografica il punto corrispondente a 1,5 cm dal gran pettorale. Gli omeri così prelevati sono stati congelati senza aggiunta di nessuna sostanza a - 80° fino al momento del loro utilizzo per i test.

I donatori sono stati così suddivisi:

- 1 spalla per prova pilota per set up macchinari
- 7 spalle con tenodesi con vite ( Biotenodesi)

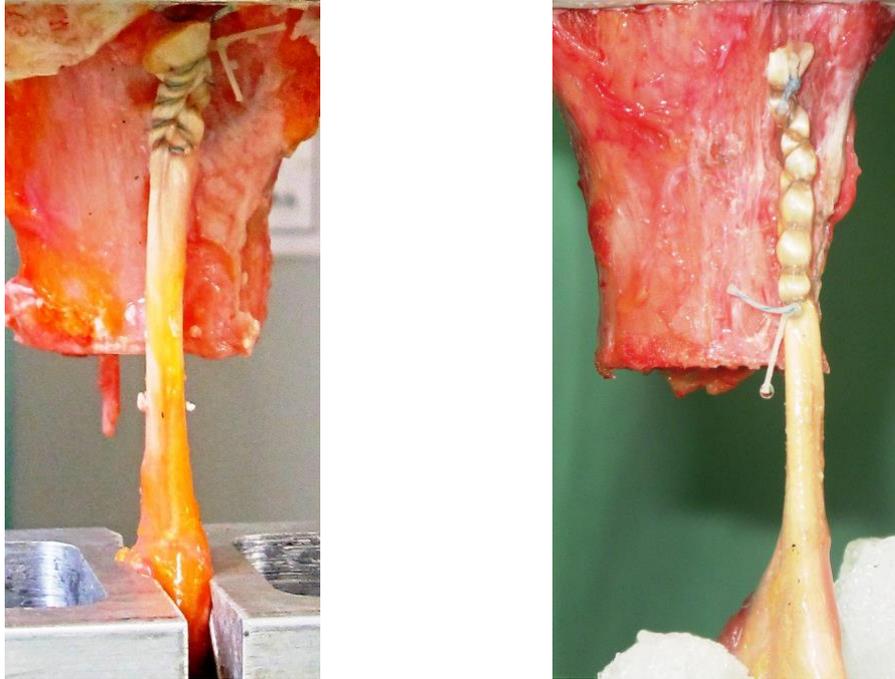
- 7 spalle con tenodesi secondo tecnica SPABiT
- 7 spalle con tenodesi secondo tecnica SPABiT modificata

Le tecniche di Biotenodesi e SPABiT sono state eseguite per coppie di spalle per donatore alternando l'esecuzione delle tecniche sulla spalla destra o sinistra ad ogni donatore.

Completata la pulizia del segmento osseo dai tessuti molli, si è proceduto a vincolare la testa dell'omero in un afferraggio di forma cilindrica cava con flangia. L'omero è stato afferrato a metà diafisi con un braccio a tre gradi di libertà. Il braccio permetteva di regolare l'altezza dell'omero e la sua inclinazione nel piano sagittale. L'inclinazione nel piano frontale era invece resa possibile dalla forma dei due morsetti. Mediante il braccio, l'omero è stato posizionato ribaltato, ovvero con la testa dell'omero rivolta verso il basso, con la diafisi verticale. L'allineamento della diafisi è stato eseguito traguardando la diafisi al bordo di una squadra metallica in entrambi i piani anatomici. La testa dell'omero è stata quindi vincolata nell'afferraggio mediante una resina acrilica (polimetilmetacrilato) il cui livello era inferiore al livello in cui veniva eseguita la tenodesi. Tale soluzione permetteva di vincolare l'omero in un afferraggio la cui flangia era adatta ad essere montata sulla macchina di prova. Completata la presa della resina, l'omero è stato tagliato a circa 50 mm dal livello del vincolo, eliminando la parte distale del segmento osseo. Si è quindi proceduto a replicare in laboratorio la tecnica chirurgica oggetto di studio.

Per i campioni JuggerKnot, è stata utilizzata la seguente procedura: viene eseguito un foro nella posizione precedentemente contrassegnata sull'omero, perpendicolare al solco bicipitale e 1.5 cm sopra l'inserzione del gran pettorale. L'ancora in tessuto JuggerKnot SoftAnchor 2,9 viene inserita nel foro alla profondità indicata dalla guida. Si procede con l'imbastitura del tendine nel punto contrassegnato durante il prelievo da

donatore. Si procede con imbastitura del tendine con metodo whip stitch o MFT modificato. Il CLB è tagliato a 1,5 centimetri rispetto al nodo sutura più prossimale.



**Figura 17: omero montato sulla Instron prima dell'inizio dei test di carico.  
Nodo whip stitch a sx e mtf modificato a dx**

Per i campioni di vite ad interferenza ( BioTenodesis screw 8mm, Arthrex) è stata utilizzata la seguente procedura: il tendine viene imbastito con punto Krackow utilizzando del filo FiberWire N°2. Dopo aver inserito al centro della doccia bicipitale un filo guida, si procede con alesatore da 8 mm andando in profondità di 25 mm. Vengono utilizzate per eseguire la tenodesi la Bio-tenodesis Screw Arthrex 8 x 23 mm). Solo una volta è stata utilizzata una vite da 7 x 23 mm. I fili liberi dell'imbastitura sono caricati dentro il cacciavite che ha già caricato la vite e messi in tensione. Il tendine è spinto contro la punta del cacciavite e inserito nel tunnel osseo. La vite ad interferenza è avvitata finché è a filo con l'osso. Il cacciavite viene quindi rimosso, e le estremità delle suture che escono dal foro chiuse sul tendine con nodo Revo.



**Figura 18: omero con tecniche di tenodesi con vite ad interferenza montato sulla instron prima dell'inizio dei test di carico**

Completata la tecnica chirurgica, l'omero è stato montato sulla parte mobile di una macchina di prova materiali, che per la macchina in oggetto, è situata sulla traversa e quindi in alto. Pertanto la porzione di omero sulla macchina di prova risultava in posizione anatomica. La parte distale del capo lungo, con una porzione di bicipite, è stata quindi vincolata al telaio (parte inferiore) della macchina di prova. Per vincolare il tessuto, è stata realizzata una morsa che prevedeva l'utilizzo di ghiaccio secco per congelare localmente il tessuto muscolo-tendineo. Questa soluzione assicurava un vincolo efficace in grado di trasmettere i carichi dalla morsa al tessuto molle senza che si verificassero lacerazioni a danno di quest'ultimo.

La macchina di prova (Instron 8502, Instron High Wycombe, UK) disponeva di un trasduttore adatto a misurare la forza applicata al provino e di un trasduttore di posizione necessario per controllare lo spostamento della parte mobile della macchina (attuatore). Un terzo

trasduttore (Mod. 2620-601, Instron, High Wycombe, UK) era necessario per misurare l'allungamento del sistema osso-ricostruzione-tendine. Tale trasduttore era dotato di due braccia e ne misurava la variazione della distanza. Un braccio del trasduttore era fissato rigidamente al moncone di omero, 10 mm distalmente rispetto al livello di esecuzione della ricostruzione. Il secondo braccio del trasduttore era invece attaccato al tendine a 30 mm dal livello della ricostruzione. Questa soluzione ha permesso di misurare la rigidità ed eventuali cedimenti parziali del sistema osso-ricostruzione-tendine durante la prova a prescindere dagli altri componenti del modello sperimentale.

**Figura 19: Macchina Instron con omero posizionato.  
Si noti l'utilizzo dell'elastomero per avere i dati di  
deformazione elastica alla fine del test.**

La prova di ogni singola ricostruzione è consistita in due parti. La prima parte prevedeva una sollecitazione ciclica, con un carico variabile tra 20 e 100N, applicato per 500 cicli ad una frequenza di 1 Hz. Tale sollecitazione ciclica permetteva di valutare eventuali cedimenti della

ricostruzione a valori del carico inferiori di almeno il 50% della resistenza attesa. Completato il carico ciclico si è proceduto con l'esecuzione di una prova monotonica in controllo di posizione per determinare il carico di cedimento e la modalità di fallimento della ricostruzione oggetto di studio.

Durante la prova ciclica è stato misurata la deformazione permanente, ovvero lo spostamento in direzione distale del tendine. Tale misura rappresenta la lacerazione che avviene a causa della sollecitazione ciclica. Inoltre al termine della serie di cicli è stata misurata la deformazione elastica, ovvero lo spostamento in direzione distale che viene annullato alla rimozione del carico. Tale deformazione è rappresentativa della cedevolezza della ricostruzione. Infine, durante la prova a rottura, è stato misurato il carico massimo necessario per determinare il fallimento meccanico della ricostruzione.

I dati relativi alla deformazione elastica e i dati relativi alla resistenza meccanica della ricostruzione, sono stati analizzati statisticamente utilizzando test non parametrici. Tale scelta si è resa necessaria in quanto, a causa della ridotta dimensione campionaria, non è stato possibile verificare le ipotesi che autorizzano l'applicazione dei test parametrici.

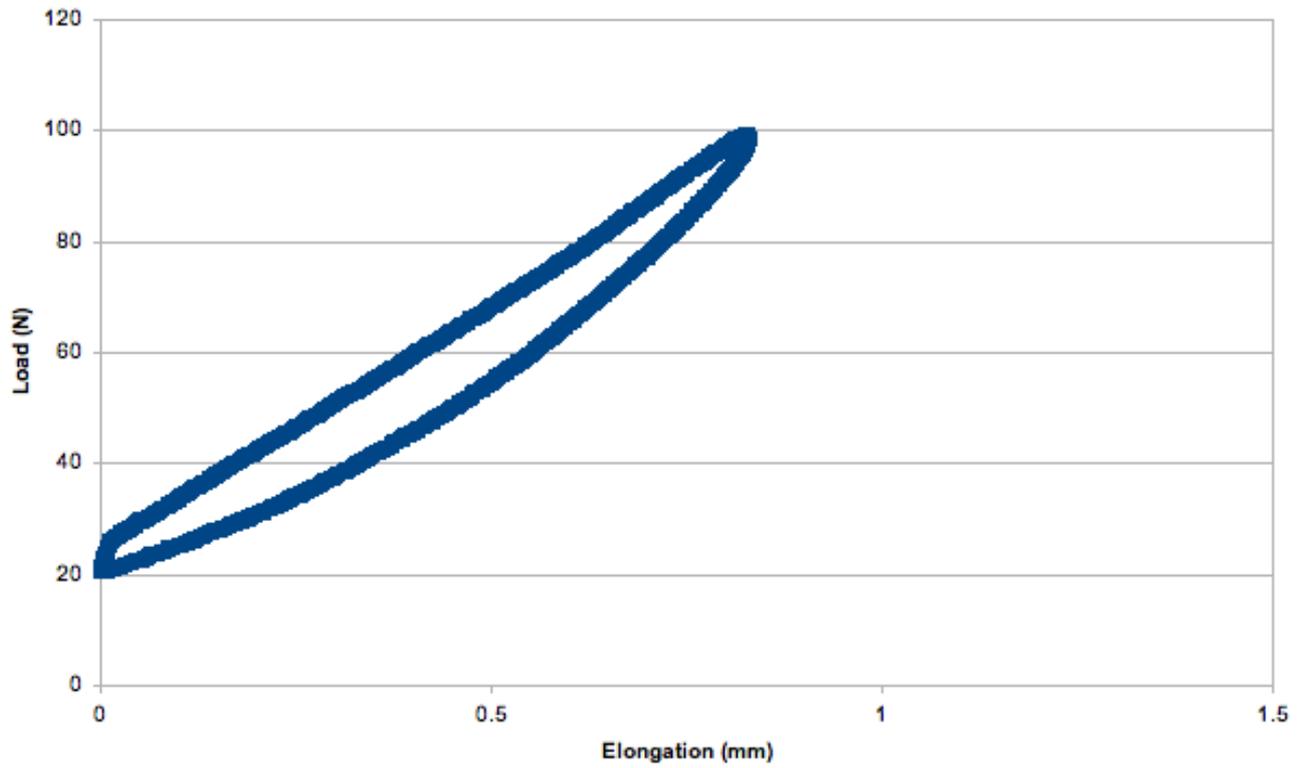
## **RISULTATI**

In generale durante l'applicazione dei carichi ciclici si è osservato un progressivo danneggiamento della ricostruzione. Questo è stato evidenziato dalla deriva in direzione distale del tendine rispetto all'omero. Le figure 1 e 2 sono un esempio di questo fenomeno. Al termine della serie di carichi ciclici si osservava uno spostamento permanente fino a 10 mm per la ricostruzione con la tecnica SPABiT e fino a 13 mm per la ricostruzione con la tecnica di Biotenodesi. Un valore massimo analogo è stato misurato anche per la tecnica SPABiT modificata.

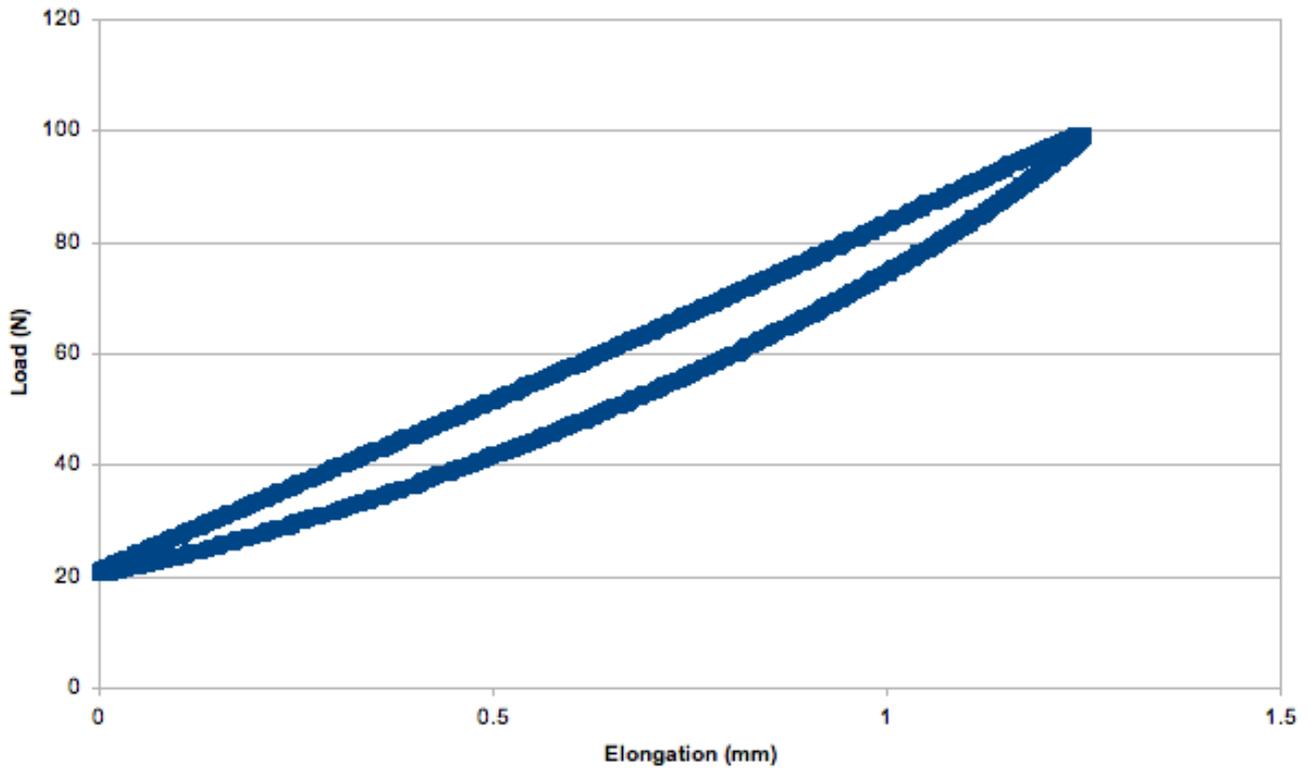
**Grafico 1: Deformazione permanente della tecnica SPABiT**  
**Linea rossa: durante i 500 cicli**  
**Linea blu: durante il carico massimo**

**Grafico 2: Deformazione permanente Biotenodesi**  
**Linea rossa: durante i 500 cicli**  
**Linea blu: durante il carico massimo**

Per quanto riguarda la cedevolezza elastica delle diverse tecniche di ricostruzione, è stato osservato che la cedevolezza della biotenodesi era di circa  $1.0 \pm 0.2$  mm, leggermente inferiore è risultata la cedevolezza della tecnica SPABiT ( $0.9 \pm 0.2$  mm). Un ulteriore apparente riduzione nella cedevolezza è stata osservata passando dalla tecnica SPABiT alla tecnica SPABiT modificata ( $0.8 \pm 0.1$  mm). Tali differenze non sono però risultate statisticamente significative (Kruskal-Wallis  $P=0.39$ ). Le figure 3 e 4 rappresentano il ciclo forza/deformazione misurata al termine della serie dei carichi ciclici rispettivamente per la tecnica SPABiT e la tecnica Biotenodesi.

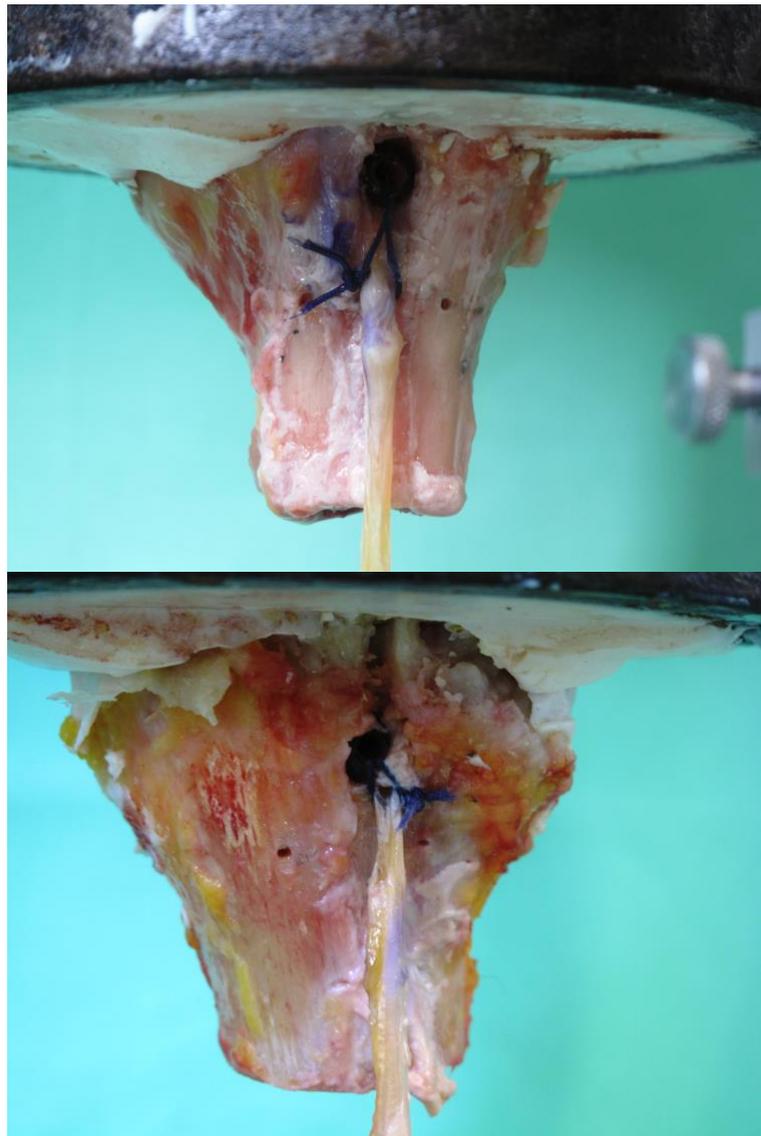


**Grafico 3: Deformazione elastica SPABiT durante un ciclo**



**Grafico 4: Deformazione elastica Biotenodesi durante un ciclo**

Le tre tecniche di ricostruzione, che utilizzano una diversa tecnica di presa sul tendine, hanno mostrato diverse modalità di fallimento, a cui sono corrisposti diversi valori del carico necessario per lacerare la ricostruzione. Nel caso della Biotenodesi, in generale si è osservato un fallimento dovuto alla lacerazione del tendine all'interfaccia tra il foro e la superficie esterna della vite o in corrispondenza dell'interfaccia foro-vite-osso.



**Figura 20: tendine con tecnica con vite alla fine dei test con modalità di fallimento all'interfaccia tendine vite ( sopra) e all'interfaccia vite-tendine-osso ( sotto).**

Nel caso della tecnica SPABiT invece il fallimento è avvenuto a carico del tendine, subito al di sotto dell'imbastitura, generalmente localizzato in corrispondenza del secondo filo di sutura che prima

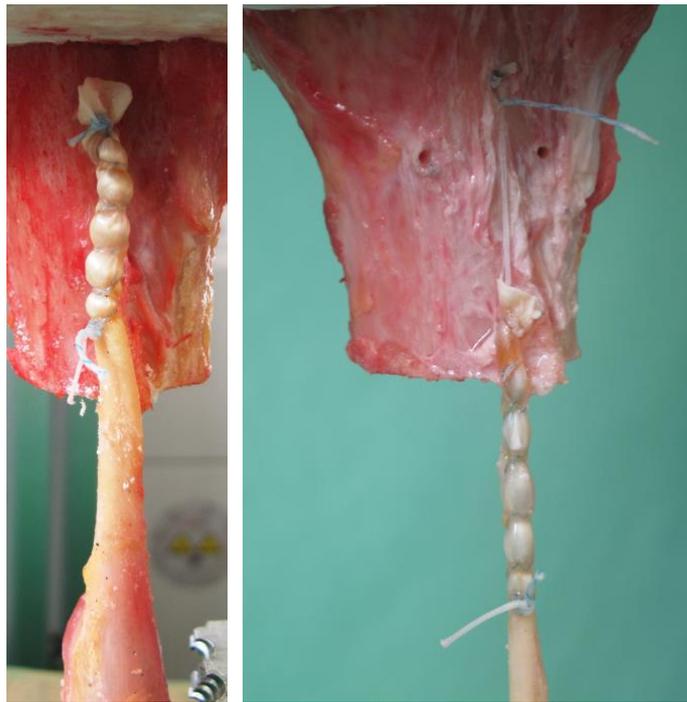
attraversava il tendine e poi girava una volta intorno, posto alla fine della prima imbastitura in posizione distale rispetto all'ancoretta.



**Figura 21: tendine con tecnica SPABiT prima di iniziare i test ( sinistra) e alla fine del carico massimo di fallimento ( destra)**

La tecnica SPABiT modificata ha mostrato invece un fallimento a due stadi. Inizialmente si è osservato lo scivolamento del tendine all'interno del primo anello di imbastitura, al di sopra dei nodi intrecciati, che si susseguivano caudalmente ed a cui corrisponde un

primo picco di carico. Dopo lo scivolamento del tendine si osserva il tensionamento del filo e, quindi, un secondo picco di carico in corrispondenza della rottura del filo che si è verificata, in tutti e tre i casi, a carico del filo zigrinato ad alta resistenza a livello del primo intreccio di imbastitura subito, al disotto dell'anello iniziale da cui inizia l'imbastitura stessa.

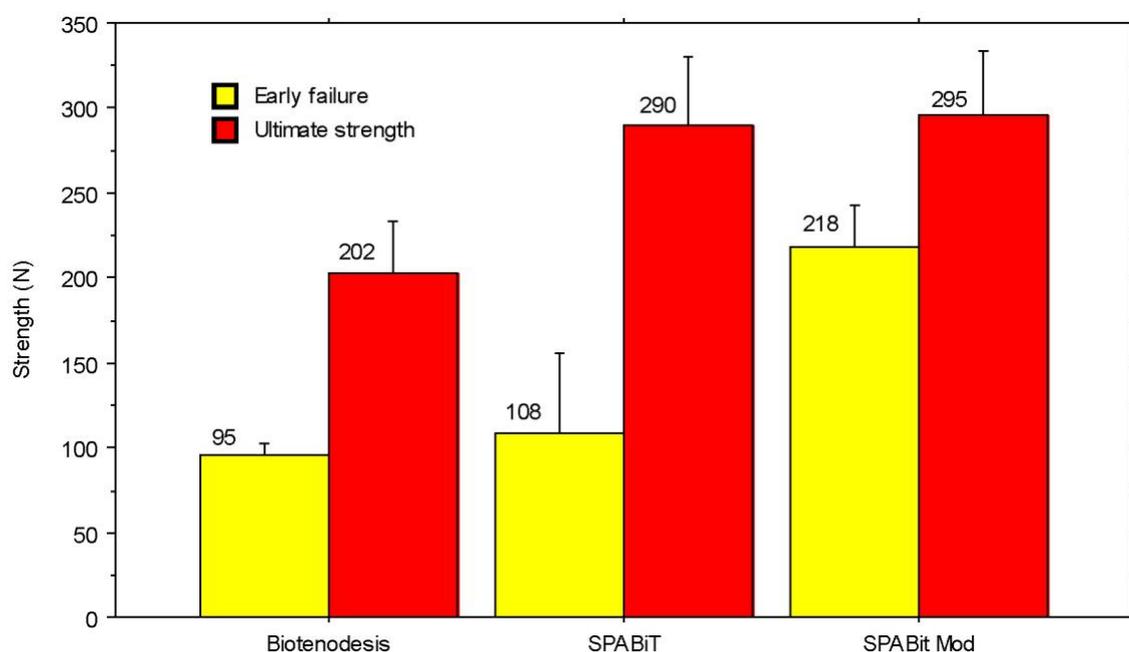


**Figura 22: tendine con tecnica SPABiT modificata prima di iniziare i test ( sinistra ) e alla fine del carico massimo di fallimento ( destra ) .**

Possiamo osservare che la modalità di fallimento della tecnica SPABiT e della SPABiT modificata sono differenti. Nonostante entrambe abbiamo dimostrato valori simili, l'imbastitura della SPABiT arrivava a fallimento lacerando il tendine al di sotto dell'imbastitura, mentre nella SPABiT modificata, l'imbastitura non danneggiava il CLB e il fallimento avveniva per scivolamento del tendine al primo anello, stretto al di sopra del foro dell'ancoretta, determinando un progressivo allontanamento del tendine dal foro nella corticale dell'omero.



La figura 5 rappresenta i valori di resistenza delle tre tecniche di ricostruzione.



**Grafico 5: Valori di resistenza al carico massimo delle tre tecniche di tenodesi del CLB**

Per tutte e tre le tecniche sono state riportate due barre. Infatti bisogna specificare che nel caso della Biotenodesi, in 2 casi su 7 il fallimento è avvenuto o al primo ciclo o durante la sollecitazione ciclica (barra gialla). Questo è stato dovuto al fatto che già al momento dell'esecuzione della tecnica, con l'inserzione della vite, il tendine in quei due casi era stato danneggiato dai filetti della vite stessa. Anche per la tecnica SPABiT in 2 casi su 7 il fallimento è avvenuto al primo ciclo immediatamente al termine della serie di carichi ciclici (la barra gialla). In questi due casi il cedimento è stato dovuto all'apertura del nodo Revo a chiusura del nodo italiano e poi del nodo REVO che chiude il whip stitch. Dall'osservazione complessiva di tutti i test vogliamo far notare che il cedimento in questi due nodi Revo potrebbe essere legato alla posizione in cui sono stati annodati: la loro posizione era leggermente spostata verso il tendine. Questo tipo di informazione è importante per l'esecuzione della tecnica, poiché ha messo in evidenza l'importanza di chiudere i nodi in direzione dell'ancoretta; l'attenzione a questo

momento della procedura, come mostrato dai test, fa la differenza sulla tenuta dell'intero sistema sotto le sollecitazioni.

Infine, per la tecnica SPABiT modificata, sono stati riportati entrambi i valori del picco di carico, il primo relativo al momento in cui il tendine si sfilava dall'imbastitura (la barra gialla), il secondo relativo al momento in cui avviene il cedimento del filo ( la barra rossa).

Se si trascurano i 2 fallimenti precoci della tecnica Biotenodesi e SPABiT, rimangono 5 gruppi da confrontare. In questo caso il test non parametrico ha mostrato una differenza tra i cinque gruppi (Kruskal-Wallis  $P=0.01$ ). Il confronto multiplo non parametrico ha evidenziato differenze significative tra la resistenza della Biotenodesi e dello SPABiT e dello SPABiT modificato solo nel caso in cui si consideri la resistenza ultima, ovvero il carico a cui si verifica il cedimento del filo. Qualora invece si facesse riferimento al valore a cui si verifica lo sfilamento del tendine dall'imbastitura, la differenza tra Biotenodesi e SPABiT modificato non risulterebbe significativa.

## CONCLUSIONI

SPABiT nasce dall'esigenza di trovare una tecnica di tenodesi del capo lungo del bicipite che soddisfacesse queste richieste:

1. Sviluppare una tecnica che potesse essere eseguita su tutti (anziani, giovani, forti, deboli, bassi, alti e qualsiasi altra caratteristica) per fissare un tendine del capo lungo del bicipite non più in buone condizioni e causa di dolore, senza considerare il tipo di evento patologico da cui è affetto, al fine di evitare potenziali crampi, debolezza e deformità.

2. Creare una tecnica più efficace di qualsiasi altra tecnica artroscopica precedente e dimostrarlo.

3. Rendere la tecnica il più semplice possibile in modo che non ci sia mai difficoltà nell'eseguirla una volta appresa.

4. Rendere la tecnica sicura in modo da evitare danni a carico di nervi, vasi, muscoli ed osso.

5. Evitare di utilizzare metodiche e presidi che causino uno stress continuo sull'osso, soprattutto in persone anziane più soggette a fratture.

6. Utilizzare al massimo un solo presidio sicuro, in modo che, se fallisce, non causi problemi all'osso o ai tessuti molli ( corpi liberi, cisti, effetti abrasivi sulla testa omerale o piccoli corpi di migrazione verso il cuore o un altro organo minore).

7. Evitare ulteriori incisioni inutili nella regione anteriore dell'ascella che potrebbero essere causa di cheloidi o infezioni.

La tecnica SPABiT risponde a tutte queste richieste, portando una grande innovazione nel panorama di innumerevoli tecniche per la tenodesi del CLB. Infatti, le tecniche precedenti, non soddisfacevano completamente le esigenze del chirurgo e del paziente e questo spiega il perchè in Italia c'è stato un progressivo abbandono da parte di molti chirurghi della tenodesi per la tenotomia, nonostante quest'ultima, non fosse priva di problematiche che noi tutti conosciamo come il problema estetico (Popeye sign) ed i dolori crampiformi. Molto confusa in letteratura invece è la diminuzione della forza di flessione e della supinazione.

Queste problematiche si risolvono con la scelta della tenodesi, ma, fino ad ora, a sua volta, presentava ulteriori problematiche: in quella sottopettorale, i vasi e nervi sono a rischio; in quella soprapettorale, il problema maggiore è il persistere del dolore anteriore di spalla nel postoperatorio ed oltre.

La tecnica SPABiT si inserisce nel panorama delle tenodesi soprapettorali artroscopiche con fissazione prossimale.

I suoi vantaggi sono:

- **la posizione**: l'ancoretta si posiziona ad 1,5 cm dall'inserzione del grande pettorale, punto raggiungibile attraverso un portale artroscopico. Tale posizione è proprio alla fine della doccia bicipitale, dove la presenza di più corticale rispetto alla doccia, si adatta meglio alle caratteristiche dell'ancoretta utilizzata. Inoltre nonostante sia una fissazione prossimale, questa non avviene in doccia come nelle tecniche precedenti, motivo di dolore anteriore di spalla persistente nel post operatorio. Infatti la causa del dolore potrebbe proprio essere legata al posizionamento all'interno della doccia.

- **l'ancoretta**: è stata usata una Juggerknot 2.9, i cui vantaggi sono sia il piccolo foro che richiede per posizionarla sia il fatto che sia completamente in tessuto con presa subcorticale. Queste due caratteristiche evitano i principali problemi dei dispositivi utilizzati fino ad ora come reazioni ed intolleranza ai presidi e possibilità mi

microfratture. Fino ad ora, negli studi biomeccanici che mettevano a confronto i diversi presidi utilizzati per la tenodesi, la vite ad interferenza risultava sempre la tecnica più resistente ai carichi massimi. Ma se si fa una analisi attenta gli studi che riportano questo risultato non sempre hanno valori statisticamente significativi e mancano di una corretta randomizzazione e di gruppi di controllo adeguati. Inoltre solo pochi studi parlano negativamente delle viti ad interferenza, ma sono proprio quelli che ne fanno anche una valutazione clinica, in quanto la vite ad interferenza porta ad un fallimento precoce. Personalmente, osservando il meccanismo di fallimento della vite in laboratorio, questo non mi sorprende: grande foro (7-8mm), il tendine è a grande rischio di lesione durante l'inserimento della vite e il suo posizionamento lascia pochi dubbi sul tipo di fallimento ancora prima di iniziare i test, ovvero una lacerazione all'interfaccia vite -tendine- osso.

I nostri risultati nella media confermano la resistenza mostrata in letteratura dalla vite ad interferenza. Ed è qui la cosa più eclatante: l'ancoretta in tessuto supera con valori statisticamente significativi la resistenza al carico massimo con tutti i vantaggi che porta con se rispetto alla vite.

- **l'imbastitura**: è questo il punto su cui bisogna ancora lavorare. La deformazione permanente ed elastica del tendine ha mostrato un vantaggio per la tecnica SPABiT rispetto alla vite, anche se i risultati non sono statisticamente significativi. Probabilmente la differenza deve essere ricercata proprio nel fatto che il tendine, nella tecnica SPABiT, ha una imbastitura estesa e questo conferisce maggiore rigidità al sistema.

Per quando riguarda il tipo di imbastitura sono state provate due tipologie. I test biomeccanici ci hanno dato informazioni molto importanti da questo punto di vista in quanto hanno dimostrato che il punto che passa prima dentro al tendine e poi intorno spezza il tendine. L'imbastitura whip stitch attraversa il tendine in più punti e al momento della chiusura del nodo Revo, tirando, il tendine subisce una leggera torsione. Nell'imbastitura della SPABiT modificata passiamo solo una volta dentro il tendine e il suo posizionamento finale ha un aspetto

migliore rispetto al precedente in quando il tendine non subisce torsioni e ricopre perfettamente il foro dell'ancoretta. Inoltre, i risultati danno un leggero vantaggio in termini di resistenza del carico massimo a favore dello SPABiT modificato. Non bisogna farsi ingannare da questi risultati, ma è necessario leggerli con attenzione. Il punto in cui il sistema inizia a fallire durante il carico massimo è il secondo punto posto alla fine dell'imbastitura che decapita il tendine. Il tendine invece rimane integro nell'imbastitura dello SPABiT modificato ma il suo fallimento avviene in due fasi: prima il tendine scivola dal primo cappio prossimale poi, continuando il carico, non si rompe il tendine ma il filo ad alta resistenza. Questo deve considerarsi un fallimento del dispositivo e non del tendine, variabile non controllabile nel test.

La tecnica è già stata utilizzata su pazienti accuratamente selezionati e i risultati clinici, per quanto riguarda le complicanze che si volevano evitare, sono sovrapponibili a quelli attesi. In particolare il dolore post operatorio nella regione anteriore della spalla a distanza di 1 anno è assente. Non ci sono stati casi di fallimento della tecnica precoci o a distanza.

La tecnica dovrà essere applicata su un numero più ampio di pazienti prima di avere risultati statisticamente significativi anche da un punto di vista clinico.

E' comunque chiaro che SPABiT entra nell'ambito del mondo delle tenodesi artroscopiche prossimali portando con se importanti innovazioni che aiuteranno a migliorare la chirurgia del clb. Per le caratteristiche ricordate precedentemente ritengo che i suoi vantaggi possano soddisfare chi già sceglieva la tenodesi e potrà essere un incentivo per chi era passato alla tenotomia a ritornare alla tenodesi in pazienti selezionati.

SPABiT ha tutte le carte in regola per diventare una tecnica di tenodesi semplice, sicura, efficace ed adatta a tutti i tipi di pazienti.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Neale RM: The alleged transmigration of the tendon of the biceps brachii. *Anat Rec* 67:205-218, 1937
2. Mariani PP, Bellelli A, Botticella C: Arthroscopic absence of the long head of the biceps tendon. *Arthroscopy* 13:499-501, 1997
3. Smith EL, Matzkin EG, Kim DH, et al: Congenital absence of the Long head of the biceps brachii tendon as a VATER association. *Am J Orthop* 31:452-454, 2002
4. Glueck DA, Mair SD, Johnson DL: Shoulder instability with absence of the long head of the biceps tendon. *Arthroscopy* 19:787-789, 2003
5. Franco JC, Knapp TP, Mandelbaum BR: Congenital absence of the long head of the biceps tendon. A case report. *J Bone Joint SurgAm* 87:1584-1586, 2005
6. Warner JP, Paletta GA, Warren RF: Accessory head of the biceps brachii. Case report demonstrating clinical relevance. *Clin Orthop Relat Res* 280:179-181, 1992
7. Williams PL, Warrick R: *Gray's anatomy* (ed 36). Edinburgh, Churchill Livingstone, 1980
8. Hollinshead WH: *Anatomy for surgeons*. Vol 3. New York, Hoeber-Harper, 1958, p 361
9. Vangsness CT, Jorgenson SS, Watson T, et al: The origin of the long head of the biceps from the scapula and glenoid labrum. An anatomical study of 100 shoulders. *J Bone Joint Surg Br* 76:951-954, 1994
10. Tuoheti Y, Itoi E, Minagawa H, et al: Attachment types of the long head of the biceps tendon to the glenoid labrum and their relationships with the glenohumeral ligaments. *Arthroscopy* 21:1242-1249, 2005
11. Werner A, Mueller T, Boehm D, et al: The stabilizing sling for the long head of the biceps tendon in the rotator interval. A histoanatomic study. *Am J Sports Med* 28:28-31, 2000
12. Gleason PD, Beall DP, Sanders TG, et al: The transverse humeral

- ligament: a separate anatomical structure or a combination of the osseous attachment of the rotator cuff? *Am J Sports Med* 34:72-77, 2006
13. Clark JM, Harryman DT 2nd: Tendons, ligaments, and capsule of The rotator cuff. Gross and microscopic anatomy. *J Bone Joint Surg Am* 74:713-725, 1992
  14. Refior HJ, Sowa D: Long tendon of the biceps brachii: Sites of Predilection for degenerative lesions. *J Shoulder Elbow Surg* 4:436-440, 1995
  15. Walch G, Nove-Josserand L, Boileau P, et al: Subluxations and Dislocations of the tendon of the long head of the biceps. *J Shoulder Elbow Surg* 7:100-108, 1998
  16. Ueberham K, Le Floch-Prigent P: Intertubercular sulcus of the humerus: Biometry and morphology of 100 dry bones. *Surg Radiol Anat* 20:351-354, 1998
  17. Cone RO, Danzig L, Resnick D, et al: The bicipital groove: radiographic, anatomic, and pathologic study. *AJR Am J Roentgenol* 141:781-788, 1983
  18. Vettivel S, Indrasingh I, Chandi G, et al: Variations in the Intertubercular sulcus of the humerus related to handedness. *J Anat* 180:321- 326, 1992
  19. Kolts I, Tillmann B, Lullmann-Rauch R: The structure and Vascularization of the biceps brachii long head tendon. *Ann Anat* 176:75-80, 1994
  20. Alpantaki K, McLaughlin D, Karagogeos D, et al: Sympathetic And sensory neural elements in the tendon of the long head of the biceps. *J Bone Joint Surg Am* 87:1580-1583, 2005
  21. Knatt T, Guanche C, Solomonow M, et al: The glenohumeral-Biceps reflex in the feline. *Clin Orthop Relat Res* 314:247-252, 1995
  22. McGough RL, Debski RE, Taskiran E, et al: Mechanical properties of the long head of the biceps tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 3:226-229, 1996
  23. Andrews JR, CarsonWGJr., McLeod WD: Glenoid labrum tears Related to the long head of the biceps. *Am J Sports Med* 13:337-341,

1985

24. Kumar VP, Satku K, Balasubramaniam P: The role of the long head of biceps brachii in the stabilization of the head of the humerus. *Clin Orthop Relat Res* 244:172-175, 1989
25. Itoi E, Kuechle DK, Newman SR, et al: Stabilizing function of the biceps in stable and unstable shoulders (Erratum appears in *J Bone Joint Surg Br* 76:170, 1994). *J Bone Joint Surg Br* 75:546-550, 1993
26. Rodosky MW, Harner CD, Fu FH: The role of the long head of The biceps muscle and superior glenoid labrum in anterior stability of the shoulder. *Am J Sports Med* 22:121-130, 1994
27. Kuhn JE, Huston LJ, Soslowky LJ, et al: external rotation of the Glenohumeral joint: Ligament restraints and muscle effects in the neutral and abducted positions. *J Shoulder Elbow Surg* 14:39S-48S, 2005
28. Pagnani MJ, Deng XH, Warren RF, et al: Role of the long head of the biceps brachii in glenohumeral stability: A biomechanical study in cadavera. *J Shoulder Elbow Surg* 5:255-262, 1996
29. Blasier RB, Soslowky LJ, Malicky DM, et al: Posterior Glenohumeral subluxation: Active and passive stabilization in a biomechanical model. *J Bone Joint Surg Am* 79:433-440, 1997
30. Pande P, Hawkins R, Peat M: Electromyography in voluntary Posterior instability of the shoulder. *Am J Sports Med* 17:644-648, 1989
31. Yamaguchi K, Riew KD, Galatz LM, et al: Biceps activity during Shoulder motion: An electromyographic analysis. *Clin Orthop Relat Res* 336: 122-129, 1997
32. Levy AS, Kelly BT, Lintner SA, et al: Function of the long head of the biceps at the shoulder: Electromyographic analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 10:250-255, 2001
33. Sakurai G, Ozaki J, Tomita Y, et al: Electromyographic analysis Of shoulder joint function of the biceps brachii muscle during Isometric contraction. *Clin Orthop Relat Res* 354:123-131, 1998
34. Furlani J: Electromyographic study of the m. biceps brachii in

- Movements at the glenohumeral joint. *Acta Anat (Basel)* 96:270-284, 1976
35. Glousman RE, Jobe FW, Tibone JE, et al: Dynamic Electromyographic analysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability. *J Bone Joint Surg Am* 70:220-226, 1988
36. Gowan ID, Jobe FW, Tibone JE, et al: A comparative Electromyographic analysis of the shoulder during pitching. Professional versus amateur pitchers. *Am J Sports Med* 15:586-590, 1987
37. Monteggia GB. *Instituzione Chirurgiche*. Milan: G Truffi, 1829-30: 170.
38. Soden J. Two cases of dislocation of the long head of the biceps. *Med Chir* 1841;24:212.
39. Duplay S. La Périarthrite ScapuloHuméral. *Gazette des Hôpitaux de Paris, Arch Gen Med* 1872;69:571-3.
40. Pasteur F. Les algies de L'épaule et al physiothérapie, La ténobursite bicipitale. *J Radiol Electrol* 1932;16:419-29.
41. DePalma AF, Callery GE. Bicipital tenosynovitis. *Clin Orthop* 1954;3:69-85.
- 42 Lippman RK. Bicipital tenosynovitis. *N Y State J M* 1944:2235
43. Hichcock HH, Bechtol CO. Painful shoulder: observations on role of tendon of long head of biceps brachii in its causation. *J Bone Joint Surg [Am]* 1948;30-A:263-73.
44. Neer CS II. Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg [Am]* 1972;54-A:41-50.
45. Rees JD, Wilson AM, Wolman RL. Current concepts in the management of tendon disorders. *Rheumatology* 2006;45:508-21.
46. Post M, Benca P. Primary tendinitis of the long head of the biceps. *Clin Orthop* 1989;246:117-25.
47. Pfahler M, Branner S, Refior HJ. The role of the bicipital groove in tendopathy of the long biceps tendon. *J Shoulder Elbow Surg* 1999;8:419-24.

48. Neviasser TJ. Arthroscopy of the shoulder. *Orthop Clin North Am* 1987;18:361-72.
49. Walch G, Edwards BE, Boulahia A, et al. Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: clinical and radiographic results of 307 cases. *J Shoulder Elbow Surg* 2005;14:238-46.
50. Mohtadi NG, Vellet AD, Clark ML, et al. A prospective, double-blind comparison of magnetic resonance imaging and arthroscopy in the evaluation of patients presenting with shoulder pain. *J Shoulder Elbow Surg* 2004;13:258-65.
51. Armstrong A, Teefey SA, Wu T, et al. The efficacy of ultrasound in the diagnosis of long head of biceps tendon pathology. *J Shoulder Elbow Surg* 2006;15:7-11.
52. Rowe CR. *The shoulder*. New York: Churchill Livingstone, 1988
53. Carter AN, Erickson SM. Proximal biceps tendon rupture: Primarily an injury of middle age. *Phys Sportsmed* 1999;27: 95-101
54. Warren RF. Lesions of the long head of the biceps tendon. *Instr Course Lect* 1985;34:204-209
55. Bennett WF. Subscapularis, medial, and lateral head coracohumeral ligament insertion anatomy. Arthroscopic appearance and incidence of “hidden” rotator interval lesions. *Arthroscopy* 2001;17:173-180.
56. Walch G, Nove-Josserand L, Boileau P, Levigne C. Subluxations and dislocations of the tendon of the long head of the biceps. *J Shoulder Elbow Surg* 1998;7:100-108.
57. Lafosse L, Reiland Y, Baier GP, Toussaint B, Jost B. Anterior and posterior instability of the long head of the biceps tendon in rotator cuff tears: A new classification based on arthroscopic observations. *Arthroscopy* 2007;23:73-80.
58. Bennett WF. Arthroscopic repair of isolated subscapularis tears: A prospective cohort with 2- to 4-year follow-up. *Arthroscopy* 2003;19:131-143
59. Habermeyer P, Magosch P, Pritsch M, Scheibel MT, Lichtenberg

- S. Anterosuperior impingement of the shoulder as a result of pulley lesions: A prospective arthroscopic study. *J Shoulder Elbow Surg* 2004;13:5-12
60. Braun S, Horan MP, Elser F, Millett PJ. Lesions of the biceps pulley. *Am J Sports Med*. 2011 Feb 18. [Epub ahead of print.]
61. Braun S, Millett PJ, Yongpravat C, et al. Biomechanical evaluation of shear force vectors leading to injury of the biceps reflection pulley: A biplane fluoroscopy study on cadaveric shoulders. *Am J Sports Med* 2010;38:1015-1024.
62. Gerber C, Sebesta A. Impingement of the deep surface of the subscapularis tendon and the reflection pulley on the anterosuperior glenoid rim: A preliminary report. *J Shoulder Elbow Surg* 2000;9:483-490.
63. Gerber C, Terrier F, Zehnder R, Ganz R. The subcoracoid space. An anatomic study. *Clin Orthop Relat Res* 1987:132-138.
64. Giaroli EL, Major NM, Lemley DE, Lee J. Coracohumeral interval imaging in subcoracoid impingement syndrome on MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:242-246.
65. Snyder SJ, Karzel RP, Del Pizzo W, Ferkel RD, Friedman MJ. SLAP lesions of the shoulder. *Arthroscopy* 1990;6:274-279.
66. . Andrews JR, Carson WG Jr, McLeod WD. Glenoid labrum tears related to the long head of the biceps. *Am J Sports Med* 1985;13:337-341
67. Lichtenberg S, Magosch P, Habermeyer P. Superior labrumbiceps anchor complex. *Orthopade* 2003;32:616-626 (in German).
68. Gartsman GM, Taverna E. The incidence of glenohumeral joint abnormalities associated with full-thickness, repairable rotator cuff tears. *Arthroscopy* 1997;13:450-455.
69. Miller C, Savoie FH. Glenohumeral abnormalities associated with full-thickness tears of the rotator cuff. *Orthop Rev* 1994; 23:159-162.
70. Snyder SJ, Banas MP, Karzel RP. An analysis of 140 injuries to the superior glenoid labrum. *J Shoulder Elbow Surg* 1995; 4:243-248
71. Yergason R. Supination sign. *J Bone Joint Surg Am* 1931;13:160.

72. Gilecrest EL, Albi P. Unusual lesions of muscles and tendons of the shoulder girdle and upper arm. *Surg Gynecol Obstet* 1939;68:903–17
73. Holtby R, Razmjou H. Accuracy of the Speed's and Yergason's tests in detecting biceps pathology and SLAP lesions: comparison with arthroscopic findings. *Arthroscopy* 2004;20:231–6.
74. Lafosse L, Reiland Y, Baier GP, et al. Anterior and posterior instability of the long head of the biceps tendon in rotator cuff tears: a new classification based on arthroscopic observations. *Arthroscopy* 2007;23:73–80.
75. Cone RO, Danzig L, Resnick D, et al. The bicipital groove: radiographic, anatomic, and pathologic study. *AJR Am J Roentgenol* 1983;141:781–8.
76. Fisk C. Adaptation of the technique for radiography of the bicipital groove. *Radiol Technol* 1965;37:47–50
77. Armstrong A, Teefey SA, Wu T, et al. The efficacy of ultrasound in the diagnosis of long head of the biceps tendon pathology. *J Shoulder Elbow Surg* 2006;15:7–11.
78. Motley GS, Osbahr DC, Holovacs TF, et al. An arthroscopic technique for confirming intra-articular subluxation of the long head of the biceps tendon: the ramp test. *Arthroscopy* 2002;18:E46.
79. Castagna A, Mouhsine E, Conti M, et al. Chondral print on humeral head: an indirect sign of long head biceps tendon instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15:645–8.
80. Sistermann R. The biceps tendon footprint. *Acta Orthop* 2005;76:237–40.
81. Boileau P, Ahrens PM, Hatzidakis AM. Entrapment of the long head of the biceps tendon: the hourglass biceps – a cause of pain and locking of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg* 2004;13:249–57
82. Walch G, Edwards BE, Boulahia A, et al: Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: clinical and radiographic results of 307 cases. *J Shoulder Elbow Surg* 14:238-246, 2005
83. Szabo I, Boileau P, Walch G (2008) The proximal biceps as a

- pain generator and results of tenotomy. *Sports Med Arthrosc* 16(3):180–186
84. Elser F, Braun S, Dewing CB, Giphart E, Millett P (2011) Anatomy, function, injuries, and treatment of the long head of the biceps brachii tendon. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* 27(4): 581–592
85. Elkousy HA, Fluhme DJ, O'Connor DP et al (2005) Arthroscopic biceps tenodesis using the percutaneous, intra-articular transtendon technique: preliminary results. *Orthopedics* 28:1316–1319
86. Mazzocca AD, Rios CG, Romeo AA et al (2005) Subpectoral biceps tenodesis with interference screw fixation. *Arthroscopy* 21:e1–e7
87. Boileau P, Parratte S, Chuinard C, Roussanne Y, Shia D, Bicknell R (2009) Arthroscopic treatment of isolated type II SLAP lesions: biceps tenodesis as an alternative to reinsertion. *Am J Sports Med* 37(5):929–936 (Epub 19 Feb 2009)
88. Scheibel M, Schroeder RJ, Chen J, Bartsch M (2011) Arthroscopic soft tissue tenodesis versus bony fixation anchor tenodesis of the long head of the biceps tendon. *Am J Sports Med* 39:1046–1052
89. Provencher MT, LeClere LE, Romeo AA: Subpectoral biceps tenodesis. *Sports Med Arthrosc* 16:170-176, 2008
90. Ball C, Galatz LM, Yamaguchi K: Tenodesis or tenotomy of the biceps tendon: Why and when to do it. *Tech Shoulder Elbow Surg* 2:140-152, 2001
91. Wiley WB, Meyers JF, Weber SC, et al: Arthroscopic assisted mini-open biceps tenodesis: Surgical technique. *Arthroscopy* 20:444-446, 2004
92. Richards DP, Burkhart SS: Arthroscopic-assisted biceps tenodesis for ruptures of the long head of biceps brachii: The cobra procedure. *Arthroscopy* 20:201-207, 2004 (suppl 2)
93. Burkhart WZ Jr (ed): *Rotator Cuff Disorders*. Baltimore, MD, Williams & Wilkins, 1996, pp 142-159
94. Warren RF: Lesions of the long head of the biceps tendon. *Instr Course Lect* 34:204-209, 1985

95. Nho SJ, Strauss EJ, Lenart BA, et al: Long Head of the biceps tendinopathy: Diagnosis and management. *J Am Acad Orthop Surg* 18:645-656, 2010
96. Mazzocca AD, Rios CG, Romeo AA, et al: Subpectoral biceps tenodesis with interference screw fixation. *Arthroscopy* 21:e1-e7, 2005
97. Boileau P, Ahrens PM, Hatzidakis AM: Entrapment of the long head of the biceps tendon: The hourglass biceps- A cause of pain and locking of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg* 13:249-257, 2004
98. Sethi N, Wright R, Yamaguchi K: Disorders of the long head of the biceps tendon. *J Shoulder Elbow Surg* 8:644-654, 1999
99. Chen CH, Hsu KY, Chen WJ, et al: Incidence and severity of biceps long head tendon lesion in patients with complete rotator cuff tears. *J Trauma* 58:1189-1193, 2005
100. Boileau P, Baqué F, Valerio L, et al: Isolated arthroscopic biceps tenotomy or tenodesis improves symptoms in patients with massive irreparable rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 89:747-757, 2007
101. Heckman DS, Creighton RA, Romeo AA: Management of failed biceps tenodesis or tenotomy: Causation and treatment. *Sports Med Arthrosc* 18:173-180, 2010
102. Tangari M, Carbone S, Gallo M, et al: Long head of the biceps tendon rupture in professional wrestlers: Treatment with a mini-open tenodesis. *J Shoulder Elbow Surg* 20:409-413, 2011
103. Boileau P, Krishnan SG, Coste JS, et al: Arthroscopic biceps tenodesis: A new technique using bioabsorbable interference screw fixation. *Arthroscopy* 18:1002-1012, 2002
104. Hitchcock HH, Bechtol CO. Painful shoulder. Observations on the role of the tendon of the long head of the biceps brachii in its causation. *J Bone Joint Surg Am* 1948;30:263-273.
105. Depalma AF, Callery GE. Bicipital tenosynovitis. *Clin Orthop* 1954;3:69-85.
106. Michele AA. Bicipital Tenosynovitis. *Clin Orthop* 1960;18: 261-267.
107. Froimson AI, O I. Keyhole tenodesis of biceps origin at the shoulder. *Clin Orthop* 1975;112:245-249.

108. Mazzocca AD, Noerdlinger MA, Romeo AA. Mini Open and Sub Pectoral Biceps Tenodesis. *Oper Tech Sports Med* 2003; 11:24-31.
109. Wiley WB, Meyers JF, Weber SC, Pearson SE. Arthroscopic assisted mini-open biceps tenodesis: surgical technique. *Arthroscopy* 2004;20:444-446.
110. Mazzocca AD, Rios CG, Romeo AA, et al: Subpectoral biceps tenodesis with interference screw fixation. *Arthroscopy* 21:e1-e7, 2005
111. Millett PJ, Sanders B, Gobezie R, Braun S, Warner JJ. Interference screw vs. suture anchor fixation for open subpectoral biceps tenodesis: does it matter? *BMC Musculoskelet Disord.* 2008;9:121.
112. Nho SJ, Reiff SN, Verma NN, Slabaugh MA, Mazzocca AD, Romeo AA. Complications associated with subpectoral biceps tenodesis: low rates of incidence following surgery. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010;19:764-768.
113. Richards DP, Burkhart SS. Arthroscopic-assisted biceps tenodesis for ruptures of the long head of biceps brachii: The cobra procedure. *Arthroscopy* 2004;20:201-207 (suppl 2)
114. Gartsman GM, Hammerman SM. Arthroscopic biceps tenodesis: Operative technique. *Arthroscopy* 2000;16:550-552.
115. Klepps S, Hazrati, Y, Flatow E. Arthroscopic biceps tenodesis. *Arthroscopy* 2002;18:1040-104-116
116. Millett PJ, Sanders B, Gobezie R, Braun S, Warner JJ. Interference screw vs. suture anchor fixation for open subpectoral biceps tenodesis: Does it matter? *BMC Musculoskelet Disord* 2008;9:121
117. Mazzocca AD, Bicos J, Santangelo S, Romeo AA, Arciero RA. The biomechanical evaluation of four fixation techniques for proximal biceps tenodesis. *Arthroscopy* 2005;21: 1296-1306
118. Patzer T, Rundic JM, Bobrowitsch E, Olender GD, Hurschler C, Schofer MD. Biomechanical comparison of arthroscopically performable techniques for suprapectoral biceps tenodesis. *Arthroscopy* 2011;27:1036-1047.

119. Sanders B, Lavery KP, Pennington S, Warner JJ. Clinical success of biceps tenodesis with and without release of the transverse humeral ligament. *J Shoulder Elbow Surg* 2012;21:66-71
120. Lutton DM, Gruson KI, Harrison AK, Gladstone JN, Flatow EL. Where to tenodesis the biceps: Proximal or distal? *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:1050-1055.
121. Nho SF, Reiff SN, Verma NN, Slabaugh MA, Mazzocca AD, Romeo AA. Complications associated with subpectoral biceps tenodesis: Low rates of incidence following surgery. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19:764-768.
122. Provencher MT, LeClere LE, Romeo AA. Subpectoral biceps tenodesis. *Sports Med Arthrosc* 2008;16:170-176.
123. Wolf RS, Zheng N, Weichel D. Long head biceps tenotomy versus tenodesis: A cadaveric biomechanical analysis. *Arthroscopy* 2005;21:182-185
125. Ozalay M, Akpınar S, Karaeminogullari O, et al. Mechanical strength of four different biceps tenodesis techniques. *Arthroscopy* 2005;21:992-998.
126. Patzer T, Santo G, Olender GD, Wellmann M, Hurschler C, Schofer MD. Suprapectoral or subpectoral position for biceps tenodesis: Biomechanical comparison of four different techniques in both positions. *J Shoulder Elbow Surg* 2012;21:116-125.
127. Hsu AR, Ghodadra N, Provencher MT, Lewis PB, Bach BR. Biceps tenotomy versus tenodesis: A review of clinical outcomes and biomechanical results. *J Shoulder Elbow Surg* 2011;20:326-332.
128. Richards DP, Burkhart SS. A biomechanical analysis of two biceps tenodesis fixation techniques. *Arthroscopy* 2005;21: 861-866
129. Kusma M, Dienst M, Eckert J, Steimer O, Kohn D. Tenodesis of the long head of biceps brachii: Cyclic testing of five methods of fixation in a porcine model. *J Shoulder Elbow Surg* 2008;17:967-973.
130. Slabaugh MA, Frank RM, Van Thiel GS, et al. Biceps tenodesis with interference screw fixation: A biomechanical comparison of screw length and diameter. *Arthroscopy* 2011;27: 161-166.

131. Benjamin Shay Koch, M.D., and Robert T. Burks, M.D. Failure of Biceps Tenodesis With Interference Screw Fixation; Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery, Vol 28, No 5 (May), 2012: pp 735-740
132. Frost A, Zafar MS, Maffulli N: Tenotomy versus tenodesis in the management of pathologic lesions of the tendon of the long head of the biceps brachii. *Am J Sports Med* 2009, 37:828–833.
133. Koh K, Ahn J, Kim S, Yoo J: Treatment of biceps tendon lesions in the setting of rotator cuff tears: prospective cohort study of tenotomy versus tenodesis. *Am J Sports Med* 2010, 38:1584–1590.
134. Gill TJ, McIrvin E, Mair SD, Hawkins RJ: Results of biceps tenotomy for treatment of pathology of the long head of the biceps brachii. *J Shoulder Elbow Surg* 2001, 10:247–249.
135. Ahrens PM, Boileau P: The long head of biceps and associated tendinopathy. *J Bone Joint Surg Br* 2007,89(8):1001–1009.
136. Kelly AM, Drakos MC, Fealy S, Taylor SA, O'Brien SJ: Arthroscopic release of the long head of the biceps tendon: functional outcome and clinical results. *Am J Sports Med* 2005, 33(2):208–213.
137. Checchia SL, Doneux PS, Masiolo C: Biceps tenodesis associated with arthroscopic repair of rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2005,14(2):138–144.
138. Walch G, Edwards TB, Boulahia A, Nove-Josserand L, Neyton L, Szabo I: Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: clinical and radiographic results of 307 cases. *J Shoulder Elbow Surg* 2005, 14:238–246
139. Boileau P, Baque F, Valero L, Ahrens R, Chuinard C, Trojani C: Isolated arthroscopic biceps tenotomy or tenodesis improves symptoms in patients with massive irreparable rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 2007, 89(4):747–757.
140. Gill TJ, McIrvin E, Mair SD, Hawkins RJ: Results of biceps tenotomy for treatment of pathology of the long head of the biceps brachii. *J Shoulder Elbow Surg* 2001, 10:247–249.

141. Mariani E, Cofield R, Askew L, Li G, Chao E: Rupture of the tendon of the long head of the biceps brachii: surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop Relat Res* 1988, 228:233–239.
142. Wittstein J, Queen R, Abbey A, Toth A, Moorman CT 3rd: Isokinetic strength, endurance, and subjective outcomes after biceps tenotomy versus tenodesis: a postoperative study. *Am J Sports Med* 2011,39(4):857–865
143. Shank JR, Singleton SB, Braun S, Kissenberth MJ, Ramappa A, Ellis H, Decker MJ, Hawkins RJ, Torry MR: A comparison of forearm supination and elbow flexion strength in patients with long head of the biceps tenotomy or tenodesis. *Arthroscopy* 2011, 27(1):9–16.
144. Hsu AR, Ghodadra NS, Provencher MT, Lewis PB, Bach BR: Biceps tenotomy versus tenodesis: a review of clinical outcomes and biomechanical results. *J Shoulder Elbow Surg* 2011, 20(2):326–332.
145. Olimpio Galasso, Giorgio Gasparini, Massimo De Benedetto, Filippo Familiari and Roberto Castricini. Tenotomy versus Tenodesis in the treatment of the long head of biceps brachii tendon lesions. Galasso et al. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2012, 13:205
146. Osbahr DC, Diamond AB, Speer KP: The cosmetic appearance of the biceps muscle after long-head tenotomy versus tenodesis. *Arthroscopy* 2002, 18:483–487.
147. Senturk I, Ozalay M, Akpınar S, Leblebici B, Cinar BM, Tuncay C: Clinical and isokinetic comparison between tenotomy and tenodesis in biceps pathologies. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2011, 45(1):41–46.
148. Biomechanical Evaluation of the Biomet Sports Medicine JuggerKnot™ Soft Anchor in Porcine Bone Biomet Sports Medicine Research and Development, Warsaw, Indiana Study Completed January 2010
149. Slabaugh MA, Frank RM, Van Thiel GS, Bell RM, Wang VM, Trenhaile S, Provencher MT, Romeo AA, Verma NN. Biceps tenodesis with interference screw fixation: a biomechanical comparison of screw length and diameter. *Arthroscopy*. 2011 Feb;27(2):161-6. Epub 2010 Oct 27.

150. Patzer T, Santo G, Olender GD, Wellmann M, Hurschler C, Schofer MD. Suprapectoral or subpectoral position for biceps tenodesis: biomechanical comparison of four different techniques in both positions. *J Shoulder Elbow Surg.* 2012 Jan;21(1):116-25. Epub 2011 Apr 13.
151. Patzer T, Rundic JM, Bobrowitsch E, Olender GD, Hurschler C, Schofer MD. Biomechanical comparison of arthroscopically performable techniques for suprapectoral biceps tenodesis. *Arthroscopy.* 2011 Aug;27(8):1036-47. Epub 2011 Jun 24.
152. Koch BS, Burks RB. Failure of biceps tenodesis with interference screw fixation. *Arthroscopy.* 2012 May;28(5):735-40.
153. Golish SR, Caldwell PE, 3rd, Miller MD, Singanamala N, Ranawat AS, Treme G, Pearson SE, Costic R, Sekiya JK. Interference screw versus suture anchor fixation for subpectoral tenodesis of the proximal biceps tendon: A cadaveric study. *Arthroscopy.* 2008 Oct;24(10):1103-8.
154. Mazzocca AD, Bicos J, Santangelo S, Romeo AA, Arciero RA. The biomechanical evaluation of four fixation techniques for proximal biceps tenodesis. *Arthroscopy.* 2005 Nov;21(11):1296-306.
155. Richards DP, Burkhart SS. A biomechanical analysis of two biceps tenodesis fixation techniques. *Arthroscopy.* 2005 Jul;21(7):861-6.