

Reparo de tendões flexores da mão: análise biomecânica com diferentes técnicas de sutura*

*Hand flexor tendon repair: a biomechanical analysis of different suturing techniques**

ANTONIO L. SEVERO¹, ALUÍSIO O.V. ÁVILA², MARCELO COSTA³, OSVANDRÉ L.C. LECH⁴

RESUMO

Objetivo: Analisar biomecanicamente 11 diferentes técnicas de sutura mais utilizadas no mundo, associadas a duas novas desenvolvidas pelo autor, aplicadas em uma mesma espécie (cadáveres frescos), utilizando um mesmo material de reparo (náilon 4.0 e 5.0), totalizando 13 técnicas, com a finalidade de permitir mobilidade precoce passiva e ativa da mão no pós-operatório imediato em tendões flexores que sofreram lesão, respeitando, contudo, a macro e microanatomia dos tendões. Como existem várias técnicas de sutura em tendões flexores da mão, torna-se difícil diferenciar uma sutura de maior resistência e força que permita mobilidade precoce passiva ou passiva e ativa sem que haja ruptura do reparo cirúrgico entre os tendões. Uma das maiores dificuldades para a análise dessas diferentes técnicas de sutura é a diversidade de protocolos. **Material:** Essas dificuldades foram amenizadas com o uso do aparelho EMIC-DL/2000 para 11 técnicas mais utilizadas no mundo e duas novas desenvolvidas pelo autor,

ABSTRACT

Objective: To biomechanically evaluate on the same species (fresh cadavers) eleven most popular different suturing techniques, associated to two new techniques developed by the author, totaling 13 different techniques, and employing the same repair material (4.0 and 5.0 nylon); tendon macro- and microanatomy were respected, although the aim was to allow early, passive and active postoperative hand motion from flexor tendons that were injured. The existence of different hand flexor tendon suturing techniques makes difficult to differentiate resistance and strength among techniques, so that early passive or passive and active motion might be allowed with no surgical repair rupture of the tendons. One of the most considerable difficulties for different suturing technique analysis is protocol diversity. **Material:** Difficulties were minimized with using EMIC-DL/2000 machine for the 11 most popular techniques worldwide, along with the two new techniques developed by the author, which were applied on human cadavers using the same suture

* Trabalho, extraído de tese de Mestrado, realizado no Laboratório de Biomecânica da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, SC.

1. Médico Instrutor do Serviço de Mão do IOT – Passo Fundo, RS; Mestre em Biomecânica pela UDESC.
2. Professor Doutor do Laboratório de Biomecânica da UDESC – Florianópolis, SC.
3. Residente (R4) em Cirurgia da Mão e Microcirurgia do IOT – Passo Fundo, RS.
4. Chefe do Serviço de Residência Médica do IOT – Passo Fundo, RS.

Endereço para correspondência (Correspondence to): Antonio Lourenço Severo, Rua Independência, 889 – Passo Fundo, RS, Brasil. Tel./fax: +55 54 311-1933. E-mail: iot@uol.com.br; site: www.iotrs.com.br

Recebido em (Received in) 27/4/04. Aprovado para publicação em (Approved in) 26/4/05.

Copyright RBO2005

* Excerpt from MSc thesis performed at Laboratório de Biomecânica of Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, SC, Brazil.

1. Hand Surgeon, Serviço de Mão do IOT, Passo Fundo, RS; MSc in Biomechanics.
2. Professor of Biomechanics, UDESC, Florianópolis, SC.
3. Fourth-year Resident in Hand Surgery and Microsurgery, IOT, Passo Fundo, RS.
4. Head of Orthopaedic Surgery Medical Residence, IOT, Passo Fundo, RS.

aplicadas em cadáveres humanos, e um mesmo material de sutura (náilon 4.0 e 5.0). Para cada técnica, parâmetros de resistência como início da separação (F_1), separação de 3mm (F_2) e ruptura completa (F_3) em seis repetições foram mensurados ($p < 0,05$), totalizando 84 tendões, 78 para as 13 técnicas e seis para o grupo controle. Quanto mais nós e passadas, mais resistente foi a sutura, porém, a deformidade (distância entre os cotos suturados) não mostrou ser significativa estatisticamente entre as diferentes tipos de sutura ($p > 0,05$). **Resultados:** Qualitativamente, devem-se destacar as dificuldades técnicas que algumas suturas podem apresentar ao ser manejadas como as de seis passadas (Yoshizu *et al*) e oito passadas (Pittsburgh). As suturas de Pittsburgh (54,26N) e Savage (50,03N) foram as mais resistentes, demandaram maior tempo para a realização; da mesma forma, quanto mais passadas (*strands*), maior será o gasto de materiais e mais volumoso ficará o tendão, podendo ainda lesar estruturas microvasculares. **Conclusão:** As técnicas de quatro passadas (*strands*), Kessler duplo (38,3N), Brasil-1 (35,5N), Cruciate (32,72N), Brasil-2 (28,8N) e Indiana (23,96N) demonstram ser suturas disponíveis no arsenal de reparo em tendões flexores, as quais não formam um tendão volumoso, permitindo adequado deslizamento e boa cicatrização, possibilitando, com isso, força de resistência que permita mobilidade não só passiva, mas, preferencialmente, ativa precoce.

Descritores – Tendões; técnicas de sutura; resistência

INTRODUÇÃO

Com base na existência de várias técnicas de sutura em tendões flexores, torna-se difícil diferenciar uma sutura que apresente maior resistência, força, e que permita mobilidade precoce passiva, ou passiva e ativa, sem que haja ruptura do reparo cirúrgico entre os cotos tendíneos. Há, por isso, necessidade de comparar e analisar, do ponto de vista biomecânico, essas diferentes técnicas. Dentre as dificuldades para a análise dessas diferentes técnicas de sutura está a diversidade de protocolos utilizados para testar a resistência das mesmas. Da mesma forma, há variedade de espécies animais (cães, coelhos, porcos, etc.) como modelos e materiais de sutura aplicada (náilon, mersilene, *ethibond*, dacron e aço), citados nos trabalhos de Defino *et al*⁽¹⁾, Kusano *et al*⁽²⁾, Mc Larney *et al*⁽³⁾, Zatiti *et al*⁽⁴⁾, Winters *et al*⁽⁵⁾ e Shaieb e Singer⁽⁶⁾. Isso porque cada autor, em seu trabalho, realizou a pesquisa com diferente espécie animal, material e instrumental.

material (4.0 and 5.0 nylon). For each technique, strength parameters such as gap initiation (F_1), 3-mm gap (F_2), and complete rupture (F_3), during six repetitions, were measured ($p < 0.05$), totaling 84 tendons, corresponding to 78 assays for 13 techniques, and six assays for the control group. The higher number of ties and strands, the more resistant was the suture; however, the deformity (distance between sutured stumps) was not statistically significant among different types of suturing techniques ($p > 0.05$). **Results:** Qualitatively, technical difficulties posed by suture handling must be highlighted, such as 6-strand sutures (Yoshizu *et al*), and 8-strand sutures (Pittsburgh). Pittsburgh (54.62 N) and Savage (50.03 N) were the most resistant sutures, and demanded the longest time to be applied; likewise, the higher the number of strands, the higher the material waste and tendon bulk, which may cause injury to microvascular structures. **Conclusion:** Four-strand, double-Kessler (38.3 N), Brazil-1 (35.5 N), Cruciate (32.72 N), Brazil-2 (28.8 N), and Indiana (23.96 N) demonstrated adequate usability in flexor tendon repair arsenal, as they do not form a bulky tendon, allowing adequate glide and healing, thus offering tensile strength capable of not only passive motion but, preferably, early active motion.

Keywords – Tendons; suturing techniques; strength

INTRODUCTION

Based on the existence of different hand flexor tendon suturing techniques, it is difficult to differentiate resistance and strength among techniques, so that early passive or passive and active motion could be allowed with no rupture of the tendon stump surgical repair. Furthermore, those different techniques need to be biomechanically compared and analyzed. Among the problems to evaluate those different suturing techniques, there is the protocol diversity employed for suture strength testing. A large variety of animal species (dogs, rabbits, pigs) are used as models, along with different suture material (nylon, mersilene, *ethibond*, dacron, steel), as mentioned in studies from Defino *et al*⁽¹⁾, Kusano *et al*⁽²⁾, McLarney *et al*⁽³⁾, Zatiti *et al*⁽⁴⁾, Winters *et al*⁽⁵⁾, and Shaieb and Singer⁽⁶⁾. That is because every author chose to perform the research with different animal species, material, and instrument.

Results from hand flexor tendons have improved with the use of protocols advocating immediate postoperative pas-

Os resultados na cirurgia de tendões flexores da mão têm melhorado com o uso de protocolos que preconizam mobilização passiva imediata no pós-operatório, de acordo com Brunelli *et al*⁽⁷⁾, Takai *et al*⁽⁸⁾, Wade *et al*⁽⁹⁾, Kleinert *et al*⁽¹⁰⁾ e Fernandes *et al*⁽¹¹⁾. Muitos autores, como Strickland⁽¹²⁾, Lim *et al*⁽¹³⁾, Sirotakova e Elliot⁽¹⁴⁾, Riaz *et al*⁽¹⁵⁾, e Harris *et al*⁽¹⁶⁾, têm notado que os movimentos de tendões flexores superficiais e profundos são limitados durante a mobilização passiva; portanto, para esses autores, exercícios ativos e passivos usados precocemente vêm sendo essenciais para a obtenção de melhores resultados. Para tal, a sutura em tendões rompidos deve ser atraumática, resistente, deslizante, não estrangulante, de menor tempo cirúrgico para a realização e de fácil aplicabilidade técnica, permitindo, por conseguinte, mobilidade ativa e passiva precoce, evitando aderências e facilitando a cicatrização.

Este trabalho tem como objetivo analisar biomecanicamente 11 diferentes técnicas de sutura mais utilizadas no mundo, associadas a duas novas desenvolvidas pelo autor, aplicadas em uma mesma espécie (cadáveres frescos), utilizando um mesmo material de reparo (náilon 4.0 e 5.0), totalizando 13 técnicas; com a finalidade de permitir mobilidade precoce passiva e ativa da mão no pós-operatório imediato em tendões flexores que sofreram lesão, respeitando, contudo, a macro e microanatomia dos tendões.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada no Laboratório de Biomecânica da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Florianópolis, SC, onde foram utilizados tendões flexores superficiais e profundos de seis cadáveres frescos (doadores de órgãos), 78 para 13 técnicas e seis para o grupo controle, num total de 84 tendões; esses eram provenientes do polegar ao quarto dedo (anular), uma vez que apresentam características anatômicas semelhantes, com espessura (diâmetro) de 4mm, cuja variação foi de ± 2 mm. A coleta dos tendões foi realizada seis a oito horas pós-morte. A faixa etária dos cadáveres frescos foi de 15 a 50 anos, sexo masculino, média de 30,6 anos. Espécimes portadores de doenças com envolvimento metabólico, endocrinológico ou colágeno, como lúpus eritematoso sistêmico, esclerodermia, periartrose nodosa, artrite reumatóide, *diabetes mellitus*, etc., foram excluídos, evitando interferência nas fibras colágenas e elásticas nos resultados. Em cada técnica de sutura foram utilizados tendões de diferentes cadáveres; evitou-se o uso de tendões de um mesmo cadáver para uma mesma técnica.

sive motion, according to Brunelli *et al*⁽⁷⁾, Takai *et al*⁽⁸⁾, Wade *et al*⁽⁹⁾, Kleinert *et al*⁽¹⁰⁾, and Fernandes *et al*⁽¹¹⁾. Several authors, such as Strickland⁽¹²⁾, Lim *et al*⁽¹³⁾, Sirotakova and Elliot⁽¹⁴⁾, Riaz *et al*⁽¹⁵⁾, and Harris *et al*⁽¹⁶⁾ have noted that superficial and deep flexor tendon motions are limited during passive mobilization; hence, for those authors, early active and passive exercises are essential for enhanced results. Sutures of a ruptured tendon should be nontraumatic, strong, easy-gliding, non-constricting, quickly-performed, and of easily technical application, thus yielding early active and passive motions, avoiding adhesions and facilitating healing process.

This study aims to biomechanically analyze the 11 most popular different suturing techniques, associated to two new techniques developed by the author, applied to a same species (fresh cadavers) totaling 13 different techniques that employed the same repair material (4.0 and 5.0 nylon); tendon macro- and microanatomy were respected, inasmuch the aim was to allow early, passive and active postoperative hand motion from flexor tendons that were injured.

MATERIAL AND METHODS

This study was performed at Laboratório de Biomecânica of Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), at Florianópolis, SC, Brazil, where superficial and deep flexor tendons from six fresh organ-donor cadavers were employed; 78 tendons were used for all 13 techniques, and six tendons used for the control group, totaling 84 tendons; those came from the thumb and the fourth digits (ring finger), as they present similar anatomical features, having 4-mm thickness (diameter), range ± 2 mm. Tendon harvest occurred from six to eight hours after the death. Cadaver age ranged from 15 to 50 years; mean of 30.6 years; all were males. Any sample having metabolic, endocrinologic, or collagen diseases such as systemic lupus erythematosus, scleroderma, periarteritis nodosa, rheumatoid arthritis, diabetes mellitus, etc., was excluded to avoid any outcome interference to collagen and elastic fibers. Tendons from different cadavers were employed for each suturing technique, to avoid that tendons of the same cadaver were used for the same technique.

Due to several existing techniques, we decided to use in this study the 11 most commonly employed techniques worldwide, along with two new techniques developed by the author, thus totaling 13 types, which were divided into four

Em razão das inúmeras técnicas existentes, neste trabalho foram utilizadas as 11 técnicas mais usadas no mundo e duas em estudo desenvolvidas pelo autor, totalizando 13 tipos, as quais foram divididas em quatro grupos, de acordo com as passadas (*strand*) no centro do tendão. Um grupo controle (em que não houve sutura) para a análise com as demais técnicas de sutura foi criado. Os tendões foram seccionados e suturados por um mesmo cirurgião, sendo usadas as diferentes técnicas; suas extremidades, foram presas às braçadeiras da máquina de ensaio *EMIC-DL/2000* (produzida em São José dos Pinhais, no Estado do Paraná); a velocidade de tração foi ajustada para 2mm/minuto. O material utilizado foi o náilon 4.0, para a sutura central (núcleo), e 5.0, para a periferia (epitendínea). Devido ao sistema de braçadeiras, o rompimento só ocorreu no local onde a sutura foi realizada. A divisão dos grupos de sutura foi a seguinte:

Primeiro grupo: duas passadas (*strands*)

KC – Kessler, sutura contínua no epitendão (Kessler *apud* Zatiti *et al*)⁽⁴⁾

KH – Kessler, sutura de Halsted no epitendão (Kessler *apud* Sanders *et al*)⁽¹⁷⁾

T – Tsuge (Tsuge *et al*)⁽¹⁸⁾

KB – Kleinert modificado de Bunnel (Kleinert *et al*)⁽¹⁰⁾

Segundo grupo: quatro passadas (*strands*)

C – Cruciate (McLarney *et al*)⁽³⁾

KD – Kessler duplo (Shaieb e Singer)⁽⁶⁾

I – Indiana (Strickland)⁽¹⁹⁾

B1 – Brasil-1

B2 – Brasil-2

Terceiro grupo: seis passadas (*strands*)

TI – Tsai (Lim e Tsai)⁽¹³⁾

Y – Yoshizu (Kusano *et al*)⁽²⁾

S – Savage (Savage)⁽²⁰⁾

Quarto grupo: oito passadas (*strands*)

P – Pittsburgh (Winters *et al*)⁽⁵⁾

Todas as técnicas de sutura testadas neste trabalho estão descritas na literatura; somente as duas novas desenvolvidas pelo autor serão descritas a seguir. Estas foram criadas para obter maximização do fio; é utilizado apenas um único fio duplo agulhado, reduzindo, assim, o custo, agredindo menos o tendão e mostrando ser tão resistente quanto suturas de quatro ou seis passadas que utilizam dois fios duplos agulhados.

groups, according to the number of tendon center strands. A control group (without sutures) for the analysis with the other suturing techniques was created. Tendons were severed and sutured by the same surgeon, using different techniques; their ends were attached to EMIC-DL/2000 (São José dos Pinhais, PR, Brazil) machine grips, whose traction speed was adjusted to 2 mm/min. Material employed was 4.0 nylon for the central suture (nucleus), and 5.0 nylon for the peripheral, epitendon suture. Owing to the grip system, rupture occurred only at the site where the suture had been performed. Group suture assignment was the following:

First group: two strands

KC – Kessler's continuous epitendon suture (Kessler *apud* Zatiti *et al*)⁽⁴⁾

KH – Halsted's modification of Kessler's epitendon suture (Kessler *apud* Sanders *et al*)⁽¹⁷⁾

T – Tsuge (Tsuge *et al*)⁽¹⁸⁾

KB – Kleinert's modification of Bunnel (Kleinert *et al*)⁽¹⁰⁾

Second group: four strands

C – Cruciate (McLarney *et al*)⁽³⁾

KD – Kessler's, double (Shaieb and Singer)⁽⁶⁾

I – Indiana (Strickland)⁽¹⁹⁾

B1 – Brazil-1

B2 – Brazil-2

Third group: six strands

TI – Tsai (Lim and Tsai)⁽¹³⁾

Y – Yoshizu (Kusano *et al*)⁽²⁾

S – Savage (Savage)⁽²⁰⁾

Fourth group: eight strands

P – Pittsburgh (Winters *et al*)⁽⁵⁾

All suturing techniques from this study have been described in the literature; therefore, only the two techniques developed by the author will be described next. Those techniques were created for suture maximization, in which only one double-needled thread is employed, thus reducing the cost, producing less tendon aggression, and with the same strength as four- or six-strand sutures that employ two double-needled threads.

Each suturing technique was tested by six repetitions and three strength parameters (indicators), as measured in new-

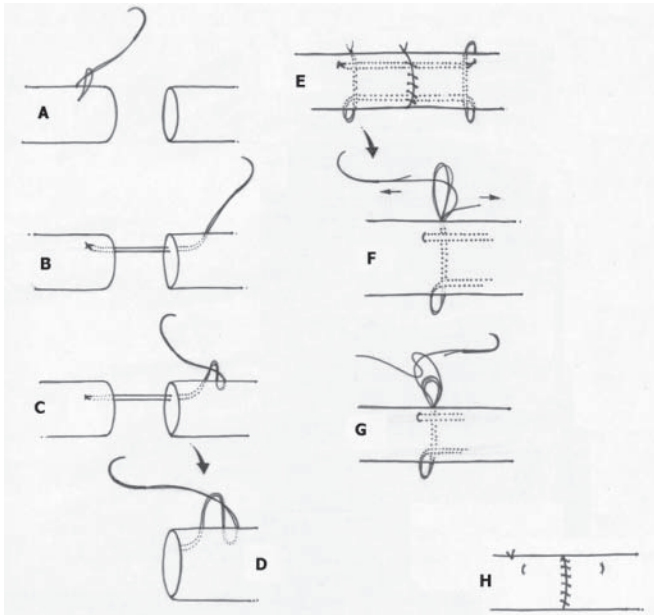


Fig. 1 – Técnica de Brasil-1: nesta sutura, o fio utilizado é um fio duplo com apenas uma agulha. Inicia-se dando um primeiro nó a 1cm do local de secção (A). A agulha penetra no tendão e é passada para outro coto, percorrendo 1cm além da secção (B), onde sai e o segundo nó é efetuado (C e D). A agulha entra no tendão e é passada para o outro lado transversalmente. A agulha sai e volta para o tendão, cruzando perpendicularmente o fio anterior, saindo a 1cm do outro lado; volta e cruza perpendicularmente (E). A agulha sai e é passada novamente no tendão, fazendo uma volta sem fechá-la. Um dos fios é cortado e a agulha é passada por baixo da volta (F e G); então, o nó é realizado e a volta dada fecha-se (H). Perifericamente, é realizada uma costura simples.

Fig. 1 – Brazil-1 technique: This suture technique employs double-threaded suture and one needle only. The first tie is started at 1 cm away from the cut site (A). The needle enters the tendon, goes towards the other stump, passes about 1 cm beyond the cut (B), and the second tie is performed (C and D). The needle then enters the tendon, transversally passing to the other side. The needle exits and returns to the tendon, perpendicularly crossing the previous suture thread, and exit at 1 cm from the other side; then, returns, crossing perpendicularly (E). The needle exits and is again passed through the tendon, making an open turn. One of the threads is cut; the needle is passed under the lace (F and G). Then, the thread is tied, and the turn is completed (H). A simple suture is done peripherally.

Cada técnica de sutura foi testada com seis repetições e três parâmetros de resistência (indicadores), medidos em newtons (N), os quais são: F₁ – início da separação; F₂ – separação de 3mm; F₃ – ruptura completa.

Esses parâmetros ou indicadores serviram para testar se o “nó” ou os “nós” de cada sutura em diferentes grupos apresentaram ou não variabilidade (união e distância entre os co-

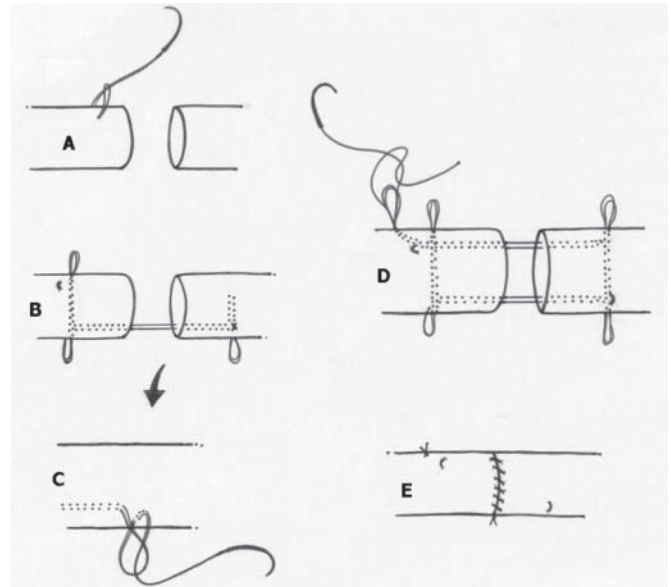


Fig. 2 – Técnica de Brasil-2: nesta sutura o fio utilizado é duplo, com apenas uma agulha. Inicia-se dando um primeiro nó a 1cm do local de secção (A). A agulha é cruzada transversalmente para o mesmo lado do tendão, sai e volta, cruzando perpendicularmente, abaixo do fio anterior, saindo no outro coto a 1cm do local da secção (B). A agulha sai e um segundo nó é dado (C). Perpendicularmente, a agulha sai no outro lado, no mesmo coto, e volta por baixo do fio cruzado anteriormente, percorre paralela ao tendão e passa para o outro coto a 1cm da secção. A agulha sai e volta ao tendão, fazendo uma volta sem fechá-la (D). Um dos fios é cortado e a agulha é passada por baixo da volta dada, fechando-a com um nó final (E). Perifericamente, é realizada uma costura simples.

Fig. 2 – Brazil-2 technique: This suture employs double-threaded suture with only one needle. The first tie is started at 1 cm away from the cut site (A). The needle is transversally crossed towards the same side of the tendon, exiting and returning, and perpendicularly crossing beneath the previous thread, exiting at the other stump at about 1 cm away from the cut (B). The needle then exits, and the second knot is tied (C). The needle perpendicularly exits at the other side of the same stump, and returns beneath the previously crossed thread, running in parallel to the tendon, towards the other stump, at 1 cm away from the cut. The needle exits and returns to the tendon, making an open turn (D). One of the threads is cut, and the needle is passed under the knot, which is finally tied (E). A simple suture is peripherally performed.

tons (N), which included: F₁ – gap initiation; F₂ – 3-mm gap; F₃ – complete rupture.

Those parameters or indicators served to test whether the “knot” or “knots” from each suture in different groups either had or not variation (union and distance between tendon stumps). Gap initiation was observed through a 3.5x magnifying glass. Deformation, i.e., distance in millimeters

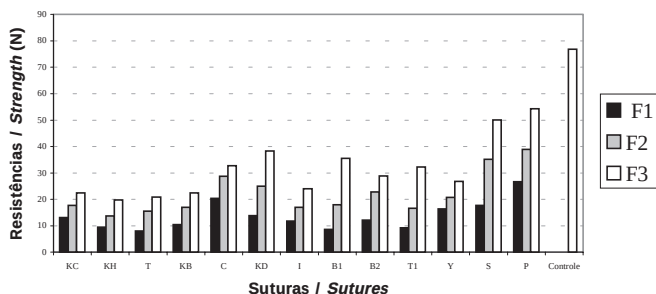
tos tendíneos). O início da separação foi observado com uma lupa com 3,5x de magnificação. As deformações, ou seja, distâncias em milímetros (mm) entre os cotos tendíneos suturados também foram avaliadas. Para a análise entre as várias técnicas de sutura, grupo de suturas e deformidades, o teste de Scheffé foi escolhido, com nível de 5% de significância.

RESULTADOS

Para melhor compreensão dos resultados, os parâmetros F_1 , F_2 e F_3 estão representados no gráfico 1, onde a análise quantitativa foi aplicada. Lembrar que a ruptura só ocorreu onde à sutura foi aplicada.

Em F_1 , início da separação, não houve diferença significativa na estatística entre suturas Pittsburgh (oito passadas, 26,73N), Cruciate (quatro passadas, 20,41N), Savage (seis passadas, 17,76N), Yoshizu (seis passadas, 16,35N), Kessler duplo (quatro passadas, 13,8N) e Brasil-2 (quatro passadas, 12,11N). O coeficiente de variação foi de 39,64% (gráfico 1).

Em F_2 , separação de 3mm, não houve diferença estatística significativa entre as suturas Pittsburgh (oito passadas, 38,91N), Savage (seis passadas, 35,15N), Cruciate (quatro passadas,



Fonte (Source): Laboratório de Biomecânica (UDESC).

Gráfico 1 – Representação das diferentes médias de resistência F_1 , F_2 e F_3 em cada tipo de sutura ($p < 0,05$): KC (Kessler, sutura contínua no epitendão), KH (Kessler, sutura de Halsted no epitendão), T (Tsuge), KB (Kleinert modificado de Bunnell), C (Cruciate), KD (Kessler duplo), I (Indiana), B1 (Brasil-1), B2 (Brasil-2), TI (Tsai), Y (Yoshizu), S (Savage) e P (Pittsburgh). F_1 (início da separação), F_2 (separação de 3mm) e F_3 (ruptura completa). Controle (média de resistência nos tendões que romperam naturalmente sem sutura, 76,81N).

Graph 1 – Graphical representation of different F_1 , F_2 , and F_3 strength means for each suturing type ($p < 0,05$): KC (Kessler, epitendon continuous suture); KH (Kessler, Halsted epitendon suture); T (Tsuge); KB (Kleinert's modification from Bunnell); C (Cruciate); KD (double Kessler); I (Indiana); B1 (Brazil-1); B2 (Brazil-2); TI (Tsai); Y (Yoshizu); S (Savage); and P (Pittsburgh). F_1 (gap initiation); F_2 (3-mm gap); and F_3 (complete rupture). Control (mean tendon strength that naturally ruptured, without sutures; 76.81 N).

(mm) between sutured tendon stumps was also assessed. Scheffé's test was employed for the analysis of different suture techniques, groups of sutures, and deformities, setting 5% level of significance.

RESULTS

Graph 1 represents F_1 , F_2 , and F_3 parameters for enhanced comprehension, where quantitative analysis was applied. Rupture occurred only at the site where the sutures were applied.

At F_1 , gap initiation, there was no statistically significant difference among the following types of sutures: Pittsburgh (8-strand, 26.73 N); Cruciate (4-strand, 20.41 N); Savage (6-strand, 17.76 N); Yoshizu (6-strand, 16.35 N); double Kessler (4-strand, 13.80 N), and Brazil-2 (4-strand, 12.11 N). Variation coefficient was 39.64% (graph 1).

At F_2 , corresponding to 3-mm gap, there was no statistically significant difference among the following sutures: Pittsburgh (8-strand, 38.91 N); Savage (6-strand, 35.15 N); Cruciate (4-strand, 28.70 N); double Kessler (4-strand, 24.98 N); Brazil-2 (4-strand, 22.80 N); Yoshizu (6-strand, 20.71 N); Brazil-1 (4-strand, 17.91 N); Kessler with continuous epitendon suture (2-strand, 17.68 N); Indiana (4-strand, 17.05 N); Kleinert's modification of Bunnell (2-strand, 17.00 N); and Tsai (6-strand, 16.65 N). Variation coefficient was 38.28% (graph 1).

At F_3 – complete rupture – there was no statistically significant difference among the following sutures: Pittsburgh (8-strand, 54.26 N); Savage (6-strand, 50.03 N); double Kessler (4-strand, 38.30 N); Brazil-1 (4-strand, 35.51 N); Cruciate (4-strand, 32.72 N); Tsai (6-strand, 32.31 N); and Yoshizu (6-strand, 26.86 N). Variation coefficient was 30.23% (graph 1).

For the variable deformity (distance between suture stumps at rupture), the average regarding types of suture was not statistically significant ($p > 0.05$); that is, although a suture may be more resistant to rupture, it does not necessarily mean that the distance is shorter; hence, a given suture having less demonstrable strength may present shorter distance between stumps at F_1 , or F_2 , or F_3 – or vice-versa, with higher-resistance suture (graph 2).

There was no statistically significant difference in the analysis of variance between each technique from every group of suture including the 2-strand group, the 4-strand group, and the 6-strand group.

28,7N), Kessler duplo (quatro passadas, 24,98N), Brasil-2 (quatro passadas, 22,8N), Yoshizu (seis passadas, 20,71N), Brasil-1 (quatro passadas, 17,91N), Kessler com sutura contínua no epitendão (duas passadas, 17,68N), Indiana (quatro passadas, 17,05N), Kleinert modificado de Bunnell (duas passadas, 17N) e Tsai (seis passadas, 16,65N). O coeficiente de variação foi de 38,28% (gráfico 1).

Em F_3 , ruptura completa, não houve diferença estatística significativa entre as suturas: Pittsburgh (oito passadas, 54,26N), Savage (seis passadas, 50,03N), Kessler duplo (quatro passadas, 38,3N), Brasil-1 (quatro passadas, 35,51N), Cruciate (quatro passadas, 32,72N), Tsai (seis passadas, 32,31N) e Yoshizu (seis passadas, 26,86N). O coeficiente de variação foi de 30,23% (gráfico 1).

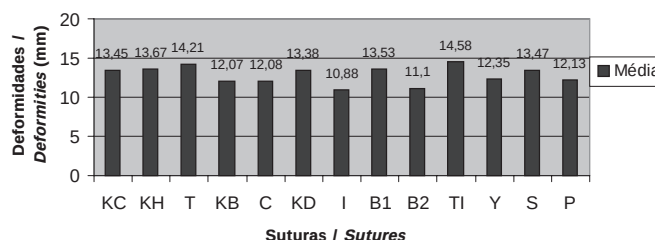
Na variável deformidade (distância entre os cotos de sutura na ruptura), a média das mesmas em relação aos tipos de sutura não se mostrou significativa estatisticamente ($p > 0,05$), ou seja, embora uma sutura seja a mais resistente a ruptura, não quer dizer que a distância tenha de ser menor; portanto, uma sutura que apresente menor resistência poderá apresentar uma distância menor entre os cotos em F_1 ou F_2 ou F_3 , e vice-versa, com uma sutura de maior resistência (gráfico 2).

Na análise de variância entre cada grupo de técnica de sutura entre si, ou seja, no grupo duas passadas (*strands*) não houve diferença significativa; no grupo quatro passadas (*strands*) não houve diferença significativa; e no grupo seis passadas (*strands*) não houve diferença significativa estatisticamente.

DISCUSSÃO

A existência de vários tipos de sutura em tendões leva a incompatibilidade das diferentes técnicas, visto que se torna difícil diferenciar uma sutura de maior resistência e que permita adequado deslizamento, para que se possam iniciar os movimentos ativos dos tendões flexores da mão sem que haja a re-ruptura. Isso porque, no Brasil e no mundo, ainda há um consenso geral de que se devam iniciar os movimentos passivos no pós-operatório imediato até a terceira e ou quarta semana e, após, os ativos.

No estudo de Shaieb e Singer (1997)⁽⁶⁾, forças de tensão nas técnicas de sutura Kessler modificado (duas passadas), Kessler duplo (quatro passadas), Savage (seis passadas) e Indiana (quatro passadas) foram avaliadas, utilizando-se tendões de Aquiles de 28 coelhos da raça Nova Zelândia. A comparação foi um estudo biomecânico *in vitro* com forças que provocaram separação dos cotos suturados em 2mm até a força que ocasionou a ruptura. A sutura mais resistente, Savage,



Fonte (Source): Laboratório de Biomecânica (UDESC).

Gráfico 2 – Representação das deformidades (distâncias) em relação a cada tipo de sutura ($p > 0,05$): KC (Kessler, sutura contínua no epitendão), KH (Kessler, sutura de Halsted no epitendão), T (Tsuge), KB (Kleinert modificado de Bunnell), C (Cruciate), KD (Kessler duplo), I (Indiana), B1 (Brasil-1), B2 (Brasil-2), TI (Tsai), Y (Yoshizu), S (Savage) e P (Pittsburgh). Média de deformidade que os tendões levaram até a ruptura completa.

Graph 2 – Deformity representation (distances) regarding each suturing type ($p > 0.05$): KC (Kessler, epitendon continuous suture); KH (Kessler, Halsted epitendon suture); T (Tsuge); KB (Kleinert's modification from Bunnell); C (Cruciate); KD (double Kessler); I (Indiana); B1 (Brazil-1); B2 (Brazil-2); TI (Tsai); Y (Yoshizu); S (Savage); and P (Pittsburgh). Mean tendon deformation to complete rupture.

DISCUSSION

The existence of several kinds of tendon sutures leads to technical incompatibility, as it is hard to differentiate a higher-strength suture that yields adequate gliding for active hand flexor tendon motion without re-rupture. There is a general agreement in Brazil and worldwide that passive motion should be started early – no more than the third and/or fourth postoperatively week – and, then, proceed to active motion.

Shaieb and Singer (1997)⁽⁶⁾ assessed grip strength from modified Kessler (2-strand); double Kessler (4-strand); Savage (6-strand); and Indiana (4-strand) techniques, employing Achilles tendons from 28 New Zealand rabbits. The comparison consisted of *in vitro*, biomechanical study of forces by creating sutured stump 2-mm gaps until their rupture. The Savage technique was the most resistant suture; however, it was more technically demanding, more surgical time consuming, and produced increased tendon thickness. For those authors, the ideal suture should be simpler, strong, and should permit early active action, avoiding blood vessel constriction, thus preventing adhesions and having reduced thickness. Having in mind those considerations, they considered the double Kessler (4-strand) suturing technique as the most efficient, although weaker as compared to the Savage technique (6-strand).

mostrou-se tecnicamente mais difícil, consumiu mais tempo cirúrgico e é espessa. Para esses autores, a sutura ideal deverá ser mais simples, resistente e que permita ação ativa precoce, evitando constrição de vasos, prevenindo aderências e sendo menos espessa. Baseados nisso, consideraram a técnica de sutura Kessler duplo (quatro passadas) mais eficiente, embora seja mais fraca quando comparada com a Savage (seis passadas). Na análise quantitativa, no presente trabalho, não houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre a técnica de Tsai (seis passadas) e as técnicas de quatro passadas (Cruciate, Kessler duplo, Brasil-2, Brasil-1 e Indiana), tanto no parâmetro de resistência F_2 (separação de 3mm) e F_3 (ruptura completa da sutura). Mas, qualitativamente, em F_3 , as técnicas de quatro passadas (Kessler duplo, 38,3N; Brasil-1, 35,51N; Cruciate, 32,72N) foram mais resistentes que a técnica de Tsai (seis passadas, 32,31N) e Yoshizu (seis passadas, 26,86N), perdendo para a técnica de Savage (seis passadas, 50,03N). Isso se deve talvez porque nas técnicas de sutura que utilizaram quatro passadas, o fio passa transversalmente pelos cotos tendíneos, dando maior resistência, e, na outra, não há muitas passadas no tendão, ou seja, quanto mais passadas realizadas, mais material de sutura existe em relação às fibras colágenas tendíneas, diminuindo a resistência elástica do tendão. É claro, há as exceções, como a técnica de Savage, que foi uma das mais resistentes (50,03N), perdendo somente para a técnica de Pittsburgh (oito passadas, 54,26N); mas, tecnicamente, são as mais difíceis e consomem maior tempo para ser realizadas.

Qualitativamente, nesse trabalho, convém destacar as dificuldades técnicas que alguns tipos de sutura podem apresentar, como seis passadas (Yoshizu, Savage, Tsai) e oito passadas (Pittsburgh). O tempo cirúrgico para a realização dessas técnicas é maior, sobretudo quando se tem lesão em mais de um tendão flexor. Da mesma forma, quanto mais forem as passadas (*strands*), maior será o gasto de material, e, finalmente, mais volumoso ficará o tendão, podendo, ainda, lesar estruturas microvasculares; com isso, pode-se dificultar a cicatrização e aderências podem ocorrer, embora se possam realizar exercícios ativos dos dedos. Isso é reforçado com os estudos de Dalapria *et al*⁽²¹⁾, Manske *et al*⁽²²⁾ e Takai *et al*⁽⁸⁾, os quais concluíram que a vascularização dos tendões flexores, tanto intrínseca (vínculas e vasos internos do tendão) quanto extrínseca (bainha sinovial, líquido sinovial e vasos do periósteo), é importante para cicatrização e para evitar aderências.

Dessa maneira, há de se pensar que técnicas de suturas mais simples, como as de duas passadas (Tsuge, Kleinert, Kessler

On quantitative analysis of this present study, there was no statistically significant difference ($p < 0.05$) between Tsai's technique (6-strand) and 4-strand techniques (Cruciate, double Kessler, Brazil-2, Brazil-1, and Indiana), both for F_2 strength parameter (3-mm gap), and F_3 (complete suture rupture). Qualitatively, however, 4-strand techniques (double Kessler, 38.30 N; Brazil-1, 35.51 N; Cruciate, 32.72 N) showed to be stronger than Tsai's technique (6-strand, 32.31 N), and Yoshizu (6-strand, 26.86 N), and behind Savage's technique (6-strand, 50.03 N). That is probably because the threat transversally crosses tendon stumps on 4-strand suturing techniques, thus yielding more strength, besides a lower number of strands; the higher number of strands, the more suture material in relation to tendon collagen fibers, thus reducing tendon elastic resistance. Of course, there are exceptions, such as Savage's technique, which showed high strength (50.03 N), only behind the Pittsburgh technique (8-strand, 54.26 N); however, they are technically the hardest and more time-consuming.

*Qualitatively, in this study, technical difficulties were presented by some types of sutures, such as 6-strand techniques (Yoshizu, Savage, Tsai), and 8-strand sutures (Pittsburgh). Surgical time to perform those techniques is longer, especially if more than one flexor tendon is injured. Likewise, the higher number of strands, the higher will be the material waste and, ultimately, the bulkier the tendon will become; microvascular structures may also be injured, thus creating healing problems and adhesions, despite active digit exercising. This was highlighted with the studies from Dalapria *et al*⁽²¹⁾, Manske *et al*⁽²²⁾, and Takai *et al*⁽⁸⁾, who concluded that flexor tendon vascularity, both intrinsic (vinculae and internal tendon vessels) and extrinsic (synovial sheath, synovial fluid, and periosteal vessels), is important for healing and adhesion avoidance.*

*Hence, we may consider simpler suturing techniques, like two-strand (Tsuge, Kleinert, Kessler with continuous sutures, or Halsted with epitendon sutures) as less time- and material-consuming, less traumatic and stricture-formation, thus leading to vascular preservation and proper healing. However, there is an increased risk of rupture during active, early motion (active flexion and extension), as they consist of low-strength techniques. This was confirmed by the present study, and by the study from Harris *et al*⁽¹⁶⁾, who studied 508 patients with 840 flexor tendons repaired with 2-strand, Kessler technique associated to a simple continuous epitendon*

com sutura contínua ou de Haslsted no epitendão), levam vantagens no tempo cirúrgico por serem práticas de realizar, menos traumáticas e estrangulantes e econômicas no material, o que permite a preservação vascular, propiciando boa cicatrização. Porém, há um risco de maior ruptura em movimento ativo precoce (flexão e extensão ativa), por não serem técnicas de maior resistência. Isso é confirmado pelo presente trabalho e por Harris *et al*⁽¹⁶⁾, que estudaram 508 pacientes com 840 tendões flexores reparados com a técnica de Kessler (duas passadas) associada à sutura epitendínea contínua simples, mostrando taxa de ruptura de 9% na mobilização ativa precoce dos tendões. Em outro trabalho, realizado por Sirotakova e Elliot⁽¹⁴⁾, foram constatados 50% de rupturas em 148 tendões flexor longo do polegar (118 pacientes), tratados com a técnica de Kessler (duas passadas) associada à sutura epitendínea contínua simples, os quais iniciaram movimento ativo precoce. Em contrapartida, Fernandes *et al*⁽¹¹⁾, avaliando os resultados de 50 dedos das mãos de 29 pacientes, submetidos a tenorrafia com Kessler (duas passadas) com sutura epitendínea simples, não obtiveram nenhum caso de ruptura no local da sutura ou qualquer complicação com o método na mobilidade passiva precoce assistida.

Autores como Mattar *et al*⁽²³⁾, Winters *et al*⁽⁵⁾, Sanders *et al*⁽¹⁷⁾, Shaieb e Singer⁽⁶⁾, McLarney *et al*⁽³⁾ e Zatiti *et al*⁽⁴⁾ concordam que as suturas que levam quatro, seis e oito passadas (*strands*), como demonstrado neste trabalho, apresentam maior resistência, não somente no afastamento dos cotos tendíneos suturados em dois ou três milímetros, como também maior resistência a ruptura, quando comparadas com técnicas que utilizam duas passadas (*strands*), ou as que realizam apenas sutura epitendínea simples.

CONCLUSÃO

A técnica de sutura adequada é dotada de características como: força de resistência que permita mobilidade ativa precoce sem que haja ruptura, preservação das estruturas anátomo-vasculares, menor gasto de material, fácil aplicabilidade técnica e que consuma menor tempo cirúrgico para executá-la. Assim, as técnicas de quatro passadas (*strands*): Kessler duplo (38,3N), Brasil-1 (35,51N), Cruciate (32,72N), Brasil-2 (28,81N) e Indiana (23,96N) demonstram ser suturas disponíveis no arsenal de reparos em tendões flexores, as quais não formam um tendão volumoso, permitindo adequado deslizamento, boa cicatrização e possibilitando um trabalho tendíneo com força de resistência que permita a mobilidade não só passiva, mas também ativa precoce.

*don suture, and showed 9% rupture rate upon tendon early active motion. Another study, from Sirotakova and Elliot⁽¹⁴⁾ showed that 50% of 148 (118 patients) with ruptured flexor pollicis longus treated by Kessler's technique (2-strand), associated to simple continuous epitendon suture had started early active motion. Conversely, Fernandes *et al*⁽¹¹⁾, while assessing results of 50 digits from 29 patients submitted to tenorrhaphy by simple epitendon suture with Kessler's technique (2-strand), did not find any case of local suture rupturing, or any other complication using the method of assisted early passive motion.*

*Authors like Mattar *et al*⁽²³⁾, Winters *et al*⁽⁵⁾, Sanders *et al*⁽¹⁷⁾, Shaieb and Singer⁽⁶⁾, McLarney *et al*⁽³⁾, and Zatiti *et al*⁽⁴⁾ agree that four-, six-, and eight-strand sutures, as demonstrated in this study, do present higher strength not only upon sutured tendon stump gap of two or three millimeters, but also higher rupture strength, when compared to two-stranded or simple epitendon suture techniques.*

CONCLUSION

Adequate suturing technique provides strength allowing early, active motion without rupture; anatomic vascular structure preservation; less material waste; easy technical applicability; and less surgical time consumption. Thus, 4-strand techniques like double-Kessler (38.3 N), Brazil-1 (35.51 N), Cruciate (32.72 N), Brazil-2 (28.81 N), and Indiana (23.96 N) have demonstrated adequacy in the flexor tendon repair arsenal, as they do not produce a bulky tendon, allowing adequate glide, good healing, and offer tensile strength for tendon work-out, capable of not only passive motion but, also, of early active motion.

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. Defino H.L.A., Barbieri C.H., Gonçalves R.P., et al: Estudo experimental comparativo das técnicas de Kessler e Tsuge para sutura tendinosa. *Rev Bras Ortop* 20: 211-218, 1985.
2. Kusano N., Yoshizu T., Maki Y.: Experimental study of two new flexor tendon suture techniques for postoperative early active flexion exercises. *J Hand Surg [Br]* 24: 152-156, 1999.
3. McLarny E., Hoffman H., Wolfe S.W.: Biomechanical analysis of the cruciate four-strand flexor tendon repair. *J Hand Surg [Am]* 24: 295-301, 1999.
4. Zaiti S.C.A., Mazzer N., Barbieri C.H.: Mechanical strengths of tendon sutures. An in vitro comparative study of six techniques. *J Hand Surg [Br]* 23: 228-233, 1998.
5. Winters S.C., Gelberman R.H., Woo S.L.Y., et al: The effects of multiple-strand suture methods on the strength and excursion of repaired intrasynovial flexor tendons: a biomechanical study in dogs. *J Hand Surg [Am]* 23: 97-104, 1998.
6. Shaieb M.D., Singer D. I.: Tensile strengths of various suture techniques. *J Hand Surg [Br]* 22: 764-767, 1997.
7. Brunelli G., Viggiano A., Brunelli F.: Slip knot flexor tendon suture in zone II allowing immediate mobilization. *Hand* 15: 352-358, 1983.
8. Takai S., Woo S., Tung D., et al: The effects of frequency and duration of controlled passive mobilization on tendon healing. *J Orthop Res* 9: 705-713, 1991.
9. Wade P.J.F., Wetherell R.G., Amis A.A.: Flexor tendon repair. Significant gain in strength from the Halsted peripheral suture technique. *J Hand Surg [Br]* 14: 232-235, 1989.
10. Kleinert H.E., Kutz J.E., Ashbell T.S., et al: Primary repair of lacerated flexor tendon in no man's land [abstract]. *J Bone Joint Surg [Am]* 49: 577, 1967.
11. Fernandes C.H., Matsumoto M.H., Santos J.B.G., et al: Resultados das tenorrafias em flexores dos dedos das mãos, na zona II, submetidos a movimentação precoce passiva assistida. *Rev Bras Ortop* 31: 497-501, 1996.
12. Strickland J.W.: Biologic rationale, clinical application, and results of early motion following flexor tendon repair. *J Hand Ther* 2: 71-83, 1989.
13. Lim B.H., Tsai T.: The six-strand technique for flexor tendon repair. *Atlas of the Hand Clinics*, 1996.
14. Sirotakova M., Elliot D.: Early active mobilization of primary repairs of the flexor pollicis longus tendon. *J Hand Surg [Br]* 24: 647-653, 1999.
15. Riaz M., Hill C., Khan K., et al: Long-term outcome of early active mobilization following flexor tendon repair in zone 2. *J Hand Surg [Br]* 24: 157-160, 1999.
16. Harris S.B., Harris D., Poster A.J., et al: The aetiology of acute rupture of flexor tendon repairs in zones 1 and 2 of the fingers during early mobilization. *J Hand Surg [Br]* 24: 275-278, 1999.
17. Sanders D.W., Milne A.D., Dobravec A., et al: Cyclic testing of flexor tendon repairs: an in vitro biomechanical study. *J Hand Surg [Am]* 22: 1004-1010, 1997.
18. Tsuge K., Ikuta Y., Matsuishi Y.: Repair of flexor tendons by intratendinous suture. *J Hand Surg [Br]* 2: 436, 1977.
19. Strickland J.W.: Flexor tendon repair. *Hand Clin* 1: 55-68, 1985.
20. Savage R.: In vitro studies of a new method of flexor tendon repair. *J Hand Surg [Br]* 10: 135-141, 1985.
21. Dalapria R., Ribak S., Batista A.D., et al: Vascularização dos tendões flexores dos dedos da mão: estudo experimental em cadáveres. *Rev Bras Ortop* 26: 115-118, 1991.
22. Manske P.R., Gelberman R.H., Vande J.S., et al: Intrinsic flexor tendon repair: a morphological study in vitro. *J Bone Joint Surg [Am]* 66: 385-396, 1984.
23. Mattar R.J., Azze R., Okane S.Y., et al: Reconstrução dos tendões flexores com o método de Indiana. *Rev Bras Ortop* 32: 310-314, 1997.