

Murase, T., Oka, K., Moritomo, H., Goto, A., Sugamoto, K., and Yoshikawa, H.	Correction of severe wrist deformity following physseal arrest of the distal radius with the aid of a three-dimensional computer simulation. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery.	Arch Orthop Trauma Surg.		Epub ahead of print	2008
Goto, A., Murase, T., Hashimoto, J., Oka, K., Yoshikawa, H., and Sugamoto, K.	Morphologic analysis of the medullary canal in rheumatoid elbows.	J Shoulder Elbow Surg.	18(1)	33-37	2009
Murase, T., Oka, K., Moritomo, H., Goto, A., Yoshikawa, H., and Sugamoto, K.	Three-dimensional corrective osteotomy of malunited fractures of the upper extremity with use of a computer simulation system.	J Bone Joint Surg Am.	90(11)	2375-2389	2008
Moritomo, H., Murase, T., Oka, K., Tanaka, H., Yoshikawa, H., and Sugamoto, K.	Relationship between the fracture location and the kinematic pattern in scaphoid nonunion.	J Hand Surg [Am]	33(9)	1459-1468	2008
Moritomo, H., Murase, T., Arimitsu, S., Oka, K., Yoshikawa, H., and Sugamoto K.	Change in the length of the ulnocarpal ligaments during radiocarpal motion: possible impact on triangular fibrocartilage complex foveal tears.	J Hand Surg [Am]	33(8)	1278-1286	2008
Oka, K., Moritomo, H., Goto, A., Sugamoto, K., Yoshikawa, H., and Murase T.	Corrective osteotomy for malunited intra-articular fracture of the distal radius using a custom-made surgical guide based on three-dimensional computer simulation.	J Hand Surg [Am]	33	835-840	2008

SLAC (scapholunate advanced collapse) およ  
び SNAC (scaphoid nonunion advanced col  
lapse) wrist に対する手術治療適応と術式選択

岩崎 倫政\* 三浪 明男\*

Surgical Treatments for SLAC (Scapholunate Advanced Collapse) /  
SNAC (Scaphoid Nonunion Advanced Collapse) Wrist

Norimasa Iwasaki, Akio Minami

臨整外 43 : 207~211, 2008

**Key words** : SLAC wrist (SLAC (scapholunate advanced collapse) 手関節), SNAC wrist (SNAC (scaphoid nonunion advanced collapse) 手関節), surgical treatment (手術治療)

SLAC (scapholunate advanced collapse) および SNAC (scaphoid nonunion advanced collapse) wrist は手関節で最も多く認められる変形性関節症の型である。本疾患に対する手術法は、基本的にはその stage に応じて選択される。しかし、必ずしもこの方針に従うのではなく、原因疾患も含めた病態の把握、症状の程度、患者背景を十分に考慮し、術式を決定することが重要である。本稿では、SLAC および SNAC wrist に対する手術治療法の選択と各手術法のポイントについて述べていく。

## はじめに

SLAC wrist は、Watson ら<sup>10)</sup>により提唱された scapholunate advanced collapse wrist の略語であり、手関節で最も多く認められる変形性関節症の型である。その発症および進行には X 線上典型的パターンがあり、初期関節症変化として橈骨茎状突起の先鋭化 (stage I) を認め、次に、橈骨舟状骨関節全体に関節症変化が拡がり (stage II)、最終的には有頭月状骨関節にも関節症変化が及ぶ。しかし、橈骨月状骨関節には関節症変化が及ばないのが、SLAC wrist の最大の特徴である。

関節症変化の発症および進行パターンは基本的には SLAC wrist と同様であるが、舟状骨偽関節に伴い生じるものは SLAC wrist と区別して、SNAC wrist (scaphoid nonunion advanced collapse wrist) と呼ばれている<sup>5,9)</sup>。SNAC wrist では、舟状骨近位骨片と橈骨間の関節には関節症変化は及ばないのが特徴である。

本稿では、SLAC および SNAC wrist に対する手術治療法の選択を中心に述べていく。

## 手術治療の適応と術式を選択

SLAC および SNAC wrist に対する手術治療の第一の目的は、除痛である。したがって、無症候性の症例に対しては特殊な場合を除き、手術適応はないと考えられる。Fassler ら<sup>4)</sup>は、SLAC wrist 30 例 (stage I, 4 例; II, 10 例; III, 16 例) 中、20 例は無症候性であったと報告している。このように、SLAC および SNAC wrist においては、X 線所見と臨床症状の解離が存在することを常に考慮しなくてはならない。

われわれは、本疾患に対する手術適応を、

- 1) 手関節痛を中心とする症候性である、
- 2) 他の疾患の確実な除外がなされている (手根管症候群、occult ガングリオンなど)、
- 3) 保存治療が無効、

\* 北海道大学大学院医学研究科整形外科学分野 [〒060-8638 札幌市北区北 15 条西 7 丁目] Department of Orthopaedic Surgery, Hokkaido University, Graduate School of Medicine

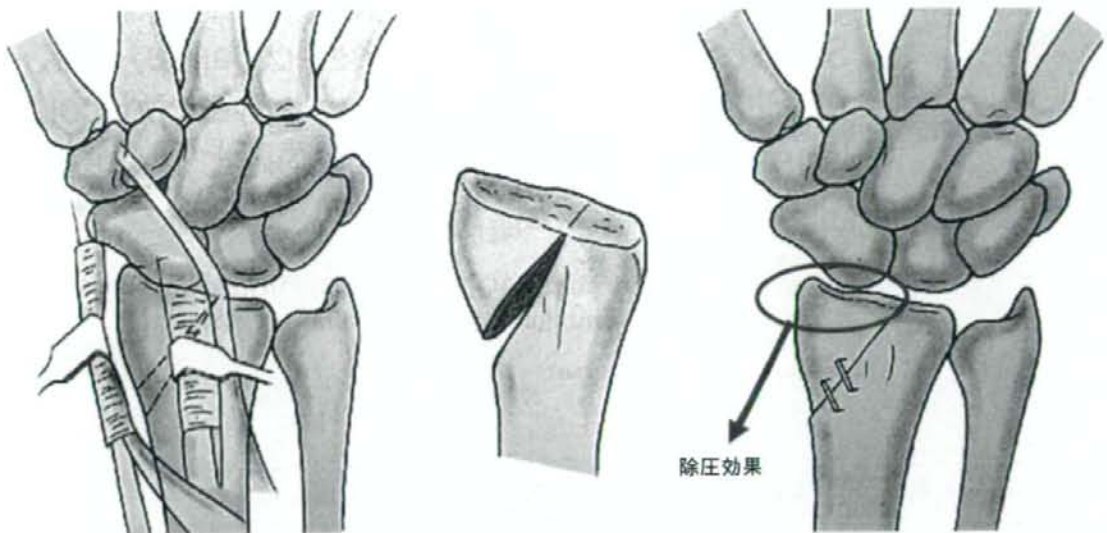


図 1 Radial wedge osteotomy

橈骨の舟状骨窩の radial inclination を約  $10^\circ$  減少させ、これにより橈骨茎状突起部の除圧が得られる。  
 (三浪明男(編著):『カラーアトラス手・肘の外科』, p227, 中外医学社, 2007 から一部改変)

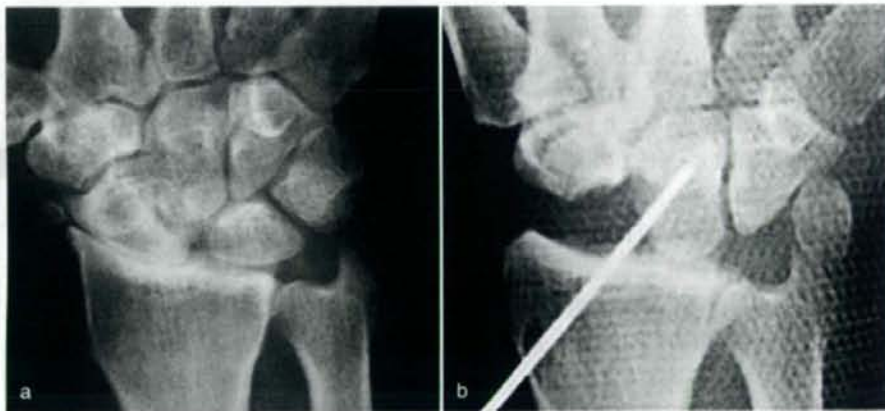


図 2 近位手根列切除術

a: 術前 X 線像    b: 術後 X 線像

近位手根列切除後に k-wire にて仮固定を行う。

- 4) 若年者、重労働者などの手関節への過大な負荷が予想される症例、
  - 5) 進行予防(SNAC wrist 早期例)の目的、
- と考えている。術式は、SLAC および SNAC wrist とともに stage に応じて決定されるが、確実な除痛の獲得と可動域を中心とする手関節機能の損失が最小限となるものを選択しなくてはならない。

## SLAC wrist に対する手術治療

上述した stage I の SLAC wrist に対しては橈骨茎状突起切除術が適応となる。これに舟状大菱形小菱形骨間固定術(STT 固定術)や舟状有頭骨間固定術を同時に行う場合もある。Shibata<sup>7)</sup>が考案した橈骨遠位の radial wedge osteotomy は図 1





図3 橈骨茎状突起切除術+舟状骨偽関節手術

a: 術前 X 線像 b: 術後 X 線像

SNAC wrist stage I に対し、橈骨茎状突起切除術と舟状骨偽関節に腸骨移植術とスクリュー固定を行う。

に示すように、橈骨の舟状骨窩の radial inclination を約  $10^\circ$  減少させるものであり、これにより橈骨茎状突起部の除圧を図ろうとするものである。Stage II に対しては近位手根列切除術(図2)、または舟状骨切除+有頭骨鉤月状三角骨間固定術(four corner fusion)をはじめとする部分的手関節固定術が選択されることが多い。近位手根列切除術に関しては、その術後成績は諸家の報告によって異なるが、最近の報告においては同術式によって良好な成績が得られるとされている<sup>3,5,8)</sup>。しかし、長期経過観察では橈骨有頭骨関節の関節症発症の可能性に注意しなくてはならない。Four corner fusion は technical demand procedure と言われており、十分な軟骨および軟骨下骨の切除、carpal height の温存、十分な海綿骨移植、月状骨背屈変形の矯正が重要である。Ashmead ら<sup>1)</sup>は stage II に対し本固定術を行った 100 例の術後平均 44 カ月の時点において、85% の症例で疼痛の消失・改善が得られ、可動域は反対側の 50~60%、握力は 80% で満足すべき結果であったと報告している。それでは、stage II に対する近位手根列切除術と four corner fusion の比較はどうかという点について、Cohen ら<sup>2)</sup>は手関節橈尺屈の可動域が four corner fusion において有意に高い以外は両術式の成

績には差がないと報告している。しかし、four corner fusion のほうがより technical demand であり、術者がより行い慣れた術式を選択してよいと思われる。Stage III に対しては有頭骨近位関節面に関節症変化があるため近位手根列切除術の適応はなく、舟状骨切除+four corner fusion が適応となることが多い。

## SNAC wrist に対する手術治療

SNAC wrist の進行パターンは、舟状骨遠位・橈骨茎状突起関節面の変形(stage I)から始まり、舟状有頭骨関節に関節症変化が及び(stage II)、さらに月状有頭骨関節に関節症変化が生じる(stage III)。Stage I に対しては基本的には橈骨茎状突起切除術と舟状骨偽関節に対する手術を行う(図3)。Stage II に対しては SLAC wrist と同様に舟状骨切除+four corner fusion などの部分的手関節固定術や、橈骨茎状突起切除術+舟状月状有頭骨間固定術が選択されることが多く、有頭骨関節面の関節症変化が軽度な症例には近位手根列切除術も選択される。Stage III に対しては、舟状骨切除+four corner fusion を選択することが多い(図4)。



図4 舟状骨切除+four corner fusion  
 a:術前X線像 b:術直後X線像 c:骨癒合後X線像  
 SNAC wrist stage IIIに対して、舟状骨切除と four corner fusion を施行。

## 除神経術

SLAC および SNAC wrist に対する除神経術 (denervation) の有用性に関しては議論の分かれるところである。その適応については一定の見解はなく、手関節全固定術の前段階の手術と位置づけられてもいる。また、術後 Charcot 関節や反射性交感神経性ジストロフィー (RSD) の発症などが危惧されるが、機能損失の可能性が低いという利点も有する。Rothe ら<sup>6)</sup> は stage II および III の SLAC および SNAC wrist 46 例に対して本術式を行い、32%で手関節疼痛の消失、51%で握力の増加を認め、62%の症例で良好な臨床成績が得られたと報告している。筆者らも、適応症例を十分に吟味したうえで施行してもよい術式と考えている。

## おわりに

SLAC および SNAC wrist に対する手術法の選択に関しては、基本的には stage に応じて決定されることが多い。しかし、必ずしもこの方針に従うのではなく、原因疾患も含めた病態の把握、症状の程度、患者背景を十分に考慮し、術式を決定

することが重要である。また、上述したように本疾患の治療原則は、確実な除痛の獲得と同時に手関節機能は極力温存することである。しかし、現在一般に行われている手術法ではこの目的を達成することは困難である。本疾患の治療成績向上のためには、人工手関節をはじめとする新たな手術法の開発と普及が望まれる。

## 文献

- 1) Ashmead D, Watson HK, Damon C, et al : Scapholunate advanced collapse wrist salvage. J Hand Surg [Am]19 : 741-750, 1994
- 2) Cohen MS, Kozin SH : Degenerative arthritis of the wrist : proximal row carpectomy versus scaphoid excision and four-corner fusion. J Hand Surg [Am]26 : 94-104, 2001
- 3) Culp RW, McGuigan FX, Turner MA, et al : Proximal row carpectomy : a multicenter study. J Hand Surg [Am]18 : 19-25, 1993
- 4) Fassler PR, Stern PJ, Kiefhaber TR : Asymptomatic SLAC wrist : Does it exist? J Hand Surg [Am] 18 : 682-686, 1993
- 5) Krakauer JD, Bishop AT, Cooney WP, et al : Surgical treatment of scapholunate advanced collapse. J Hand Surg [Am]19 : 751-759, 1994
- 6) Rothe M, Rudolf KD, Partecke BD : Long-term results following denervation of the wrist in patients



with stages II and III SLAC/SNAC-wrist. Handchir Mikrochir Plast Chir 38 : 261-266, 2006

- 7) Shibata M, Saito H, Hasegawa J, et al : Radial styloid wedge osteotomy for early SLAC wrist, nonunion of the scaphoid and for painful radial styloid impingement syndrome : a preliminary report. In : Nakamura R, Linscheid RL, Miura T (eds). Wrist Disorders. Springer-Verlag, Tokyo, Japan ; 299-307, 1992

- 8) Streich NA, Martini AK, Daecke W : Proximal row carpectomy—an adequate procedure in carpal collapse. Int Orthop 2006 Nov 7 (Epub ahead of print)
- 9) Vender MI, Watson HK, Wiener BD, et al : Degenerative change in symptomatic scaphoid nonunion. J Hand Surg[Am]12 : 514-519, 1987
- 10) Watson HK, Ballet FL : The SLAC wrist : scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. J Hand Surg[Am]9 : 358-365, 1984

## INFORMATION

### Combined Congress of JOSKAS 2008

会 期 : 2008 年 6 月 13 日(金)・14 日(土)

会 場 : グランドプリンスホテル新高輪 国際館パミール[〒108-8612 東京都港区高輪 3-13-1]

会 長 : 第 33 回日本膝関節学会 勝呂 徹(東邦大)

第 34 回日本関節鏡学会 宗田 大(東京医歯大)

ホームページ : <http://www.joskas08.umin.jp/index.html>

内 容 :

1. 特別講演 : 元小結 舞の海 秀平
2. 招待講演 : Dr. Anthony A. Romeo, Dr. Andreas B. Imhoff  
Dr. Nicholas A. Sgaglione, Dr Andrew. J. Price ほか

#### 3. 主題

- 1) ACL 再建術の成績-種目別の問題点
- 2) ACL 再建術の長期治療成績
- 3) 解剖学的 ACL 再建術の治療成績
- 4) 半月板はどこまで保存が可能か?
- 5) PCL を含む複合靭帯損傷の治療
- 6) TKA の可動域はどこまで良くなるか?
- 7) 特殊例に対する TKA
- 8) 超高齢者に対する人工膝関節の意義と問題点
- 9) UKA の適応と治療成績
- 10) Revision TKA ; 基本手技とポイント
- 11) 腱板大断裂・広範囲断裂に対する治療戦略
- 12) コンタクトスポーツにおける肩関節術後再脱臼をいかに防ぐか?
- 13) 小児膝関節障害
- 14) 膝蓋骨亜脱臼, 膝蓋軟骨軟化症の外科的治療
- 15) 次世代医療機器の膝関節への応用
- 16) 関節軟骨損傷に対する低侵襲治療の実際
- 17) 生物学的製剤がもたらすリウマチ膝の光と影
- 18) 高気圧酸素治療のスポーツ障害への応用

事 務 局 : 〒104-8172 東京都中央区築地 1-13-1

株式会社アサツーディ・ケイ メディカル事業推進グループ

Combined Congress of JOSKAS 2008 運営事務局

TEL : 03-3547-2533 / FAX : 03-3547-2590

E-mail : n93005@adk.jp

## キトサン-ヒアルロン酸ハイブリッド線維による Scaffold の 肩腱板再生への組織工学的応用

船越 忠直 岩崎 倫政 三浪 明男

北海道大学大学院医学研究科 機能再生医学講座 整形外科学分野

真島 任史 末永 直樹

北海道大学大学院医学研究科 人工関節・再生医学講座

原田 和夫

生物有機化学研究所

西村 紳一郎

北海道大学大学院理学研究科 生物科学科 高分子機能学

### はじめに

修復不能な肩腱板組織の治癒能力には限界があり、そのため腱移行および生物学的素材や人工材料を用いたパッチ手術が行われている<sup>1,2,3)</sup>。しかし健全組織の犠牲や力学的強度の劣化などの問題点があり、新しい治療法の開発が求められている。

単離した細胞と3次元の細胞増殖用の足場 (scaffold) を組み合わせることにより組織再生を試みる組織工学的アプローチが報告されている<sup>4)</sup>。コラーゲンゲル、コラーゲンスポンジ、シルクなどが腱・靭帯細胞増殖の scaffold として報告されている<sup>1,5,6,7,8)</sup>。Awadらはコラーゲンゲルと単離した細胞の組み合わせを膝蓋腱治療に応用して欠損群に比べ2倍の強度が得られたと報告している<sup>1)</sup>。Altmanらは骨髄由来幹細胞を播種したシルク素材を用いた靭帯組織再生を報告している<sup>1)</sup>。これらの報告は腱・靭帯組織再生の有用性を示しているが、臨床応用に際して十分な力学的強

度、安全性などの問題点が残存している。

腱・靭帯組織再生の場合、最も考慮されるべき点の一つは、組織再生課程において生体吸収性材料を含めた組織が移植細胞または周囲との相互作用により新たな細胞外マトリックスを産生して力学的強度の劣化を防ぐことである。この理想的な再生課程を得るための戦略として、再生を促進させかつ力学的強度を保つことの出来る scaffold の開発に着目した。

正常腱・靭帯組織の主要細胞外マトリックスはタイプIコラーゲンである。外傷、手術などの侵襲を加えた後に新たに構築された組織はタイプIIIコラーゲン有意で正常組織に比べ力学的に劣ることが報告されている<sup>9,10)</sup>。それゆえ、再生腱組織の強度向上のためにはタイプIコラーゲン主体の組織を再構築することが必要と考えた。

我々はこれまでにキトサン-ヒアルロン酸ハイブリッド線維を開発、報告してきた<sup>11)</sup>。In vitro 研究にてこの新規線維が培養線維芽細胞の接着性とタイプIコラ

*Application of Tissue Engineering Techniques for Rotator Cuff Regeneration Using a Chitosan-based Hyaluronan Hybrid Fiber Scaffold*  
Tadanao FUNAKOSHI, Norimasa IWASAKI, Akio MINAMI  
Dept. of Orthopaedic Surgery, Hokkaido University School of Medicine  
Tokifumi MAJIMA, Naoki SUENAGA  
Dept. of Joint Replacement and Tissue Engineering, Hokkaido University School of Medicine  
Kazuo HARADA  
Chemical Biology Institute Inc.  
Shin-ichiro NISHIMURA  
Bio-macromolecular Chemistry, Hokkaido University, Graduate School of Science

ーゲン産生促進作用をもつことが示された<sup>11</sup>。さらにこの線維は3次元scaffoldを作成するのに十分な強度を有していた。我々はこの線維を元にして肩腱板再生用の新規3次元scaffoldを開発した。

本実験の仮説はこの新規3次元scaffoldに細胞を播種し移植することによりタイプIコラーゲンの産生を促進し、*in vivo*において再生腱組織の強度が向上することとした。この仮説を検証するため、我々はウサギの肩腱板欠損モデルを作成しこの新規3次元scaffoldを用いて組織工学的アプローチによる再建を試みた。本実験の目的は再生腱板のタイプIコラーゲン産生と再生組織の力学的強度の推移を測定、さらに両者を比較検討することである。

## 材料と方法

### 3次元キトサン-ヒアルロン酸ハイブリッド線維 scaffold の作成

キトサン-ヒアルロン酸ハイブリッド線維は既に報告した湿式紡糸法を一部改良して作成された<sup>11,12</sup>。キトサン溶液はステンレス製の細いノズルから押し出されカルシウム溶液を通り凝固する。メタノール溶液、0.1%ヒアルロン酸溶液を順に浸すことでハイブリッド線維を作成した。ヒアルロン酸の濃度は*in vitro*研究の結果を基にして決定された<sup>11</sup>。2本のハイブリッド線維をtwister machine (AMT-2, Marui textile machinery, Co, Osaka, Japan) を用いてより合わせ1本の糸とした。このような糸をさらに2本より合わせて1本のより糸とした。合計13本のより糸から比率80:30で3次元scaffold (10×7mm, 厚さ0.7mm) を作成した (102-C, Kokubun Limited, Co., Shizuoka, Japan) (Fig. 1a)。編み込まれたより糸の角度は約100°であった (Fig. 1b)。このscaffoldを細胞培養前に135°Cで20

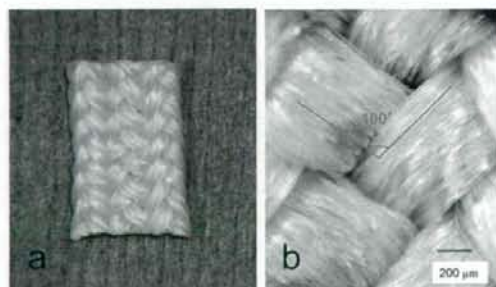


Fig. 1 :

- Three-dimensional scaffold (10mm in length, 7mm in width, and 0.7mm in thick) was created from 13braids using a braiding machine.
- The angle between the braided fibers was 100°.

分間オートクレーブにて滅菌した。乾燥状態での力学的強度はJIS規格L1015に従い測定された。さらに生分解性を調べるために標準培養液に4週間浸した後に再度力学的強度を測定した。

### 3次元scaffoldを用いた腱由来線維芽細胞培養

日本白色家兔の膝蓋腱よりNageninらの方法に従い細胞を単離した<sup>21</sup>。培養溶液はDulbecco's modified Eagle's medium (D5796, Sigma Chemical Co., St. Louis, MO) に10% fetal bovine serum (10099-141, Invitrogen Corp., Carlsbad, CA) と抗生剤 (17-745H, Biowhitaker, Walkersville, MD) を添加したものを使用した。細胞は37°C, 5% CO<sub>2</sub>の条件で培養された第二継代のものを用い、各々のscaffoldに $4.0 \times 10^6$  cellsずつ播種し4週間培養した。

### 研究デザインと手術手技

日本白色家兔48肩 (3.2±0.2 kg, mean±SE) を使用した。全身麻酔下に棘下筋腱とその上腕骨頭側の腱付着部に10×7mmの欠損部を作成した。上腕骨の腱付着部には海绵骨が露出されるまで骨溝を作成した。16肩には細胞を播種したscaffoldを移植した (cell-seeded scaffold, CSS群)。遠位側の上腕骨腱付着部には2本の3-0 nylonにてmattress suturesを行い固定し、近位側も同様に3-0 nylonにて固定した (Fig. 2)。他の16肩には欠損部を作成し細胞を播種しないscaffoldを同様の手技にて移植した (non-cell-seeded scaffold, NCSS群)。さらに16肩に対し欠損部のみを作成しscaffoldを播種しない群 (対照群) を対象とした。術後、患肢の固定は行わず飼育ケージの中での自由に運動させた。

### 組織学および免疫組織化学的検討

静脈麻酔の大量投与により4, 12週でウサギを屠利

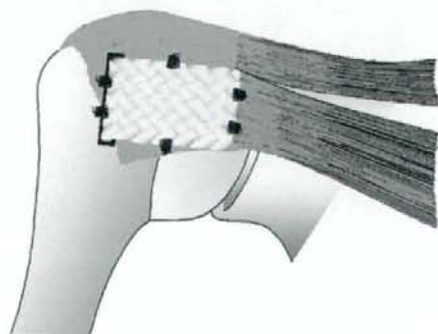


Fig. 2 : Surgical procedure.

The infraspinatus tendons from a rabbit were removed to create the defects. A bony trough was created over the insertion of the infraspinatus, and a scaffold was inserted.



し各群2肩ずつに組織学的検討を行った。上腕骨大結節を含む棘下筋腱-上腕骨複合体を一塊として取り出し、10%ホルマリン溶液にて固定し、ギ酸脱灰を行った。パラフィン切片を作成後、hematoxylin-eosin染色を行った。免疫組織化学的検討として抗タイプI, II, IIIコラーゲンマウスモノクローナル抗体(1:100)(Fuji-chemicals, Takaoka, Japan)を初期抗体として用いた<sup>20)</sup>。切片は3回洗浄の後ペルオキシダーゼラベルされた抗ラビット2次抗体(Envision system, DakoCytomation, California Inc., Carpinteria, CA)を使用された。

### 力学的試験

術後4, 12週で各群6肩の力学的検討を行った。縫合糸を基準として腱板-上腕骨複合体の周囲軟部組織を注意深く除去した。各群の再生組織部分の断面積をarea micrometer (2050F-60, Mitutoyo, Tokyo, Japan)を用いた接触法にて測定した<sup>20)</sup>。腱板-上腕骨複合体は標準的な引張り試験機(P/N346-51299-02, Shimadzu, Kyoto, Japan)に固定された。腱板の筋断端部は特別に設計したcryo-jaw deviceを用いてしっかりと固定された<sup>20)</sup>。力学試験は以前の報告に準じて実施された<sup>20)</sup>。プレロード、0.5Nを10分間加えた後、0から0.5 mm間隔で10サイクルのプレコンディショニングを行った。クロスヘッドスピードは20 mm/minとし、荷重-偏位曲線、応力-歪み曲線を求めた。統計学的検討には分散分析、Fisherのpost hoc testを用い、有意水準5%未満を有意差有りとした。

## 結 果

### 3次元scaffoldの力学強度

乾燥状態でのscaffoldの強度、弾性はそれぞれ $75.3 \pm 1.5\text{N}$  (mean  $\pm$  SE)と $21.0 \pm 1.0\text{N/mm}$ であった。標準培養液に4週間浸した後は $16.0 \pm 1.6\text{N}$ と $6.8 \pm 0.8\text{N/mm}$ であった。このscaffoldの断面積は内部に空隙があるために正確な測定は困難であるが、52本のより糸(より糸1本;  $18000\ \mu\text{mm}^2$ )から試算すると $0.936\ \text{mm}^2$ なので、標準培養液に4週間浸した後の引張り強度は理論上 $17.0\ \text{MPa}$ であった。

### 組織学および免疫組織化学的評価

術後4週: 肉眼的にはCSS群とNCSS群の欠損部は共に移植されたscaffoldとその周囲の薄い瘢痕様組織により充填されていた。対照群は欠損部を覆う膜状組織を認めたが、三角筋筋膜と強く癒着しておりこれを剥離すると欠損部が露出された。CSS群、NCSS群において全ての検体に移植されたscaffoldは若干の伸び

が確認された。顕微鏡的にはCSS群とNCSS群との間に細胞数、コラーゲン形成の明らかな差を認めなかった(Fig. 3a, b, c)。多数の線維芽細胞とマクロファージが両群に確認された。ハイブリッド繊維は全ての切片で認められた。明らかなscaffoldの断裂と重篤な炎症反応は全ての切片で認められなかった。

この時点では全ての切片で欠損部分は免疫組織化学的にタイプI, II, IIIコラーゲン陰性であった。対照群では欠損部に一致して線維芽細胞と血管を伴う薄い膜状組織が確認された(Fig. 3d)。

術後12週: CSS群とNCSS群ともに移植されたscaffoldの上は線維組織で覆われていた。棘下筋と上腕骨の連続性は移植されたscaffoldによって連続していた(Fig. 4)。対照群は4週と異なり、12週ではしっかりとした線維組織で覆われていた。顕微鏡的にはCSS群とNCSS群で線維芽細胞数の明らかな増加は認めなかった(Fig. 5a, b)。CSS群では腱組織に特徴的なクランプパターンを認め、NCSS群と比べより規則的に配列されていた(Fig. 5a)。ハイブリッド線維は4週に比べ12週では組織が周囲に入り込み、単位繊維あたりの周囲が不整になるなどの吸収像が認められたが、多くは移植当初の形をとどめていた。対照群では何層か

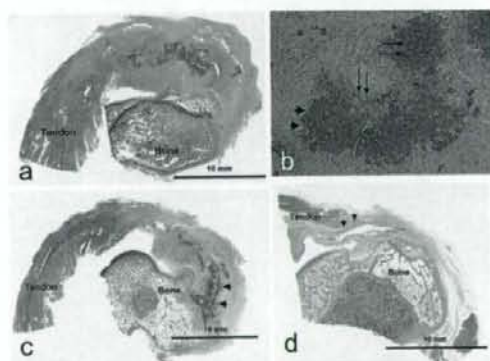


Fig. 3: Micrographs of each group 4 weeks after surgery.  
 a. Cell-seeded scaffold (hematoxylin-eosin staining).  
 b. Cell-seeded scaffold (hematoxylin-eosin staining, original magnification  $\times 100$ ). Hybrid fibers have not been absorbed (short black arrows). Although many fibroblasts and macrophages were observed, there was no severe immune reaction (long black arrows). Collagen fibers were not observed.  
 c. Non-cell-seeded scaffold (hematoxylin-eosin staining). Note that there were no significant differences in cell numbers and collagen formation in the scaffolds with or without cells.  
 d. Control defect (hematoxylin-eosin staining). Note the thin membrane with a lot of fibroblast-like cells and vessels.

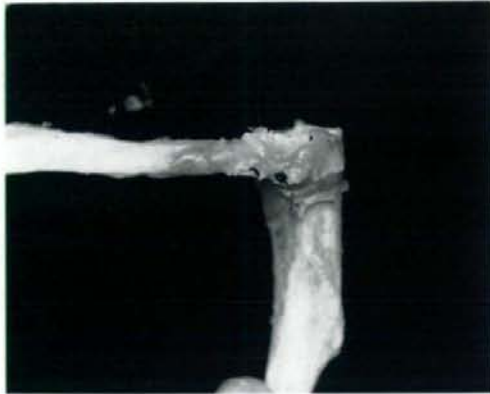


Fig. 4 : The gross appearance of the cell-seeded scaffold 12 weeks after surgery.  
Note the good continuity with the infraspinatus muscles and their insertions.

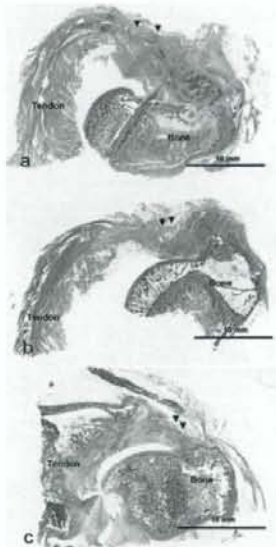


Fig. 5 : Micrographs of each group 12 weeks after surgery (hematoxylin-eosin stain).  
a. Cell-seeded scaffold. Note the well-aligned collagen fibers (black arrows).  
b. Non-cell-seeded scaffold. Note the unaligned collagen fibers (black arrows).  
c. Control. Note that thin membranes with many fibroblasts linked the end of the torn cuff and the bone (black arrows).

の薄い膜状組織が上腕骨より起こり腱断端に連続していた (Fig. 5c). 12週での免疫組織化学ではCSS群の scaffold 周囲の明瞭なタイプ I コラーゲンを確認したが (Fig. 6a), 一方 NCSS 群ではタイプ I コラーゲンを認めなかった (Fig. 6b). タイプ II コラーゲンは各群

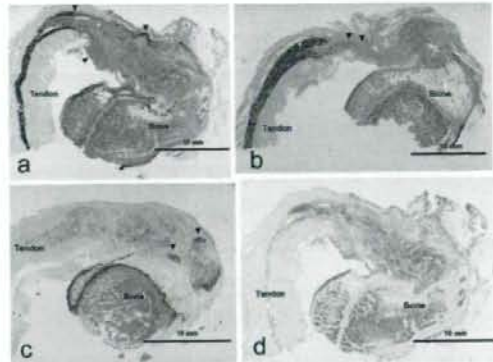


Fig. 6 : Micrographs of each group 12 weeks after surgery.

- Type I collagen staining in the cell-seeded scaffold group (type I collagen stain). Note that the regenerated tendons treated with cell-seeded scaffolds were positive for type I collagen (black arrows).
- Type I collagen staining in the non-cell-seeded scaffold group. Note the absence of staining (black arrows).
- Type II collagen staining in the cell-seeded scaffold group. Note the presence of type II collagen in the tendon-bone insertion (black arrows).
- Type III collagen stain in the cell-seeded scaffold group. Immunostaining for type III collagen was not clearly detected when compared with type I collagen (b).

の半数で上腕骨付着部に認められた (Fig. 6c). タイプ III コラーゲンは CSS 群で, タイプ I コラーゲンにくらべ明瞭でなかった (Fig. 6d).

#### 再生組織の力学的検討

力学的実験において, 全ての腱板-上腕骨複合体は再生組織部分で断裂した. 力学試験の結果を Table 1 にまとめた. CSS 群では, 強度, 弾性とも 4 週から 12 週にかけて, それぞれ 191% と 163% 増加した ( $P < 0.01$ ). NCSS 群では 4 週と 12 週で統計的に有意な差を認めなかった. 4, 12 週の間 CSS 群と NCSS 群の断面積は明らかな差を認めなかった. 一方, 両群と対照群の断面積には明らかな差を認めた ( $P < 0.001$ ). 4 週での力学的強度, 弾性とも 3 群間で明らかな差を認めなかったが, 12 週では CSS 群の弾性のみ他の 2 群に比べ有意に大きかった ( $P < 0.01$  vs. the NCSS group;  $P < 0.0001$  vs. the control group).

#### 考 察

腱板組織における自己修復能の限界は広範囲腱板断裂を考える上で重要な要素である. しかし現在行われている治療にはそれぞれ問題点があることは前述した如くある. 理想的な修復不能腱板断裂の治療はタイプ I コラーゲン主体の腱組織を再生させることである



Table 1 Mechanical Properties of the Regenerated Tissues

	Cross-sectional Area (mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (MPa)	Tangent Modulus (MPa)
12w control <sup>a</sup>	3.7±0.5	5.5±0.8	37.4±5.4
Cell-seeded scaffold group			
4 wk	8.5±1.0	4.8±0.8	54.7±5.7
12wk	10.3±1.2 <sup>b</sup>	9.2±0.8 <sup>d</sup>	89.0±7.4 <sup>d,e</sup>
Non-cell-seeded scaffold group			
4 wk	8.2±1.0	5.3±1.63	59.1±7.2
12wk	9.9±1.3 <sup>c</sup>	7.1±0.8	60.2±6.5 <sup>f</sup>

<sup>a</sup>Control, defect was left uncovered. The defect in the rotator cuff was not covered with any regenerating tissues in the control group at 4 weeks.

<sup>b</sup>P<0.001vs. 12-week control.

<sup>c</sup>P<0.01vs. 4w CSS

<sup>d</sup>P<0.01vs. 12w control ;

<sup>e</sup>P<0.01vs. 12w NCSS ;

<sup>f</sup>P<0.0001vs. 12w control ;

<sup>g</sup>P<0.05vs. 12w control (n=6, mean±SE)

う。本実験で、我々は再生組織のタイプIコラーゲン産生を促進させることで生体内での力学的強度が向上することを仮説とした。この仮説を検証するため、3次元scaffoldを用いた組織工学的手法をウサギの肩欠損モデルに応用した。術後12週でCSS群では再生組織中のタイプIコラーゲンは免疫組織学的に確認され、さらに有意に力学的強度が向上した。一方、他の群ではタイプIコラーゲン産生と力学的強度向上は認められなかった。すなわちタイプIコラーゲンが再生組織の力学的強度を向上させていることが明らかとなった。この結果は腱・靭帯組織再生の重要かつ基本的な情報となると考えられた。

これまで様々なscaffold素材を用いた組織工学的アプローチによる腱・靭帯組織再生がいくつかの報告されている<sup>1,7,9,12,30</sup>。しかし、これらのscaffoldが生体内で移植細胞および再生組織に対して力学的にサポートできるかについては未だ不明な点が多い。ある報告によれば、14週まで靭帯癒着様組織の力学的強度は回復するが、40週まで経過しても正常靭帯と比べ低いままである<sup>30</sup>。Scaffold素材は生体吸収性である必要があるが、腱・靭帯組織再生課程においては未成熟な組織に対して十分な力学的強度を提供しなければならない。先行研究にて、ヒアルロン酸が移植細胞に対する生物学的効果のみでなく、高分子繊維の力学的強度も向上させることを示した<sup>11</sup>。4週間の培養期間でキトサン-ヒアルロン酸ハイブリッド線維により作られたscaffoldの強度は17MPaであった。Gentlemanらは牛のアキレス腱コラーゲン繊維は約36MPaとヒトの靭帯と類似していると報告している<sup>12</sup>。このように本scaffold

は細胞外マトリックスが成熟するまでの間断裂筋と骨付着部間の連続性を維持するだけの強度を有すると考えられた。

臨床応用を考えた場合、再生組織と上腕骨の結合部位について考える必要がある。腱板断裂修復術においては断裂腱と上腕骨はしっかりと固定されることは手術成功の重要なポイントである。それゆえ、移植されたscaffoldと骨の間の強固な固定が必要である。組織学的には再生組織と上腕骨付着部の間にしっかりとした接着を確認した。腱骨接合部の補強が治療を促進させることが報告されている。ポリ乳酸による不織布が腱板断裂の際の腱骨付着部の固定性を向上させること<sup>15</sup>や、骨髄由来幹細胞と骨形成タンパクなどの組み合わせが腱骨付着部の治療を促進させること<sup>3,21</sup>が報告されている。本実験では再生された腱骨付着部はtide-markを含む正常構造が確認できなかったが、タイプIIコラーゲンが確認された。それゆえ、細胞を移植した新規3次元scaffoldは線維軟骨を介した強固な腱骨付着部の再建に有効である可能性が示唆された。

また、再生組織内に見られる線維芽細胞の起源についても考えたい。Scaffoldに播種された移植細胞は宿主生体内においてどのような経過をとるかについては不明な点が多い。幾つかの報告によれば、時間経過と共に宿主細胞が移植細胞と置き換わることが示されている<sup>21,22</sup>。Bellincampiらはコラーゲンscaffoldに播種された前十字靭帯細胞が、膝に移植された後少なくとも4から6週は生存していることを示した<sup>3</sup>。Mierischらは、ウサギの骨軟骨欠損部に移植された軟骨細胞は4週間で初期の15%の細胞密度に低下することを示し

た<sup>21)</sup>。Ostranderらは骨軟骨欠損部修復の際のperichondrium cellsの運命について報告している<sup>22)</sup>。彼らは修復組織内での宿主細胞に影響を及ぼし移植細胞は減衰していくことを示した。今回の組織学的結果では細胞と再生組織は主にscaffoldの表面に見られた。免疫組織学的検討でも、タイプIコラーゲンはscaffold表面上に局在していた。一方、素材としてのキトサンの可能性は溶液中で高い陽性電荷をもつことを基盤としている。Madhallyらはキトサンの陽性電荷は陰性電荷であるグリコサミノグリカンやプロテオグリカン、その他の陰性電荷をもつものと電気的な結合をもたらすと報告した<sup>23)</sup>。これらのイオン結合が再生組織周囲細胞、成長因子、サイトカインを引きつけるメカニズムとなったのかもしれない。我々は移植数週間後にscaffold周囲の宿主細胞が移植した線維芽細胞に置き換わっていると考えている。このことはscaffold中心部で細胞が少ないことでも説明できる。また、細胞を播種していないscaffoldを移植したcontrol群にタイプIコラーゲンが発現していなかったことを合わせて考えると、移植細胞は主に移植後早期に周囲細胞に何らかの働きかけを行っているかと推察された。移植細胞の運命と役割については今後の研究が必要であろう。

グリコサミノグリカンは細胞外マトリックスの重要な要素であり、細胞表現型を調節したり組織再生を促進したりする重要な働きが知られている。我々のscaffold素材に関しては、ヒアルロン酸は腱板組織の主要なグリコサミノグリカンであり<sup>24)</sup>、キトサンは基本的な基質として用いられている。多くの研究によりヒアルロン酸の様々な細胞に対する生物学的効果が知られている<sup>11, 18, 20, 21)</sup>。腱組織再生の分野では腱組織が特に力学的ストレスを過度にさらされることを考える必要があるだろう。この条件下で接着した線維芽細胞を維持するために高い細胞接着性が必要である。Zimmermanらはヒアルロン酸が接着性を調整する分子であるとし、特に細胞-基質間接着の初期に働くことを示した<sup>25)</sup>。Huらはヒアルロン酸が線維芽細胞接着に有利に働くことを示した<sup>11)</sup>。これらのデータを基盤に、ヒアルロン酸をscaffoldに導入することは高い細胞接着性を提供するために合理的であるといえよう。さらに、本scaffoldが高い細胞接着性をもつことはin vivoでの組織再生を促進すると考えられる。

今後本研究を発展させていくうえで、幾つかの考慮すべき点がある。まず、本scaffoldの長期的な生体吸収性と生体適合性が明らかでないことである。キトサンは既に創傷治癒の分野で良好な素材として認識され

ているが、免疫原性があることも報告されている。ここでは移植scaffoldの周囲には単核球浸潤などの明らかな異物反応は認めなかった。しかし長期間の全身的、局所的観察による確認が必要である。第二に、前述したが、主にタイプIコラーゲンが存在する再生組織がscaffold表面上にあることが挙げられる。この減少は3次元細胞培養における中心性壊死によるものと考えている。再生組織の力学的強度を向上させるために、組織はscaffold内に広範囲に再生されることが必要である。細胞培養の環境を改善するために成長因子やバイオリオアクターなどの使用も必要であろう。さらにscaffoldの気孔径も線維芽細胞の浸潤と血管再生において重要な影響を与える。これらのためにより良いscaffoldの開発が必要である。

結論として、本研究はキトサン-ヒアルロン酸ハイブリッド線維による3次元scaffoldがin vivoでの腱板組織再生課程においてタイプIコラーゲン産生を促進し強度の向上につながったことを示した。いくつかの制限はあるものの、これらの結果は新規3次元scaffoldを用いた組織工学的アプローチによる腱板再生の有用性を強く示唆した。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、新規3次元scaffoldの作成および各実験に多大な御協力を頂いた生物有機化学研究所 野中佐智子氏に感謝致します。また、本研究に際して御指導、御協力頂きました、北海道大学大学院医学研究科整形外科分野の諸先生方に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Altman GH, Horan RL, Lu HH, et al.: Silk matrix for tissue engineered anterior cruciate ligaments. *Biomaterials* 23: 4131-4141, 2002.
- 2) Amiel D, Nagineni CN, Choi SH, et al.: Intrinsic properties of ACL and MCL cells and their responses to growth factors. *Med Sci Sports Exerc* 27: 844-851, 1995.
- 3) Anderson K, Seneviratne AM, Izawa K, et al.: Augmentation of tendon healing in an intraarticular bone tunnel with use of a bone growth factor. *Am J Sports Med* 29: 689-698, 2001.
- 4) Awad HA, Butler DL, Boivin GP, et al.: Autologous mesenchymal stem cell-mediated repair of tendon. *Tissue Eng* 5: 267-277, 1999.
- 5) Bellincampi LD, Closkey RF, Prasad R, et al.: Vi-



- ability of fibroblast-seeded ligament analogs after autogenous implantation. *J Orthop Res* 16 : 414-420, 1998.
- 6) Berenson MC, Blevins FT, Plaas AH, et al. : Proteoglycans of human rotator cuff tendons. *Journal of Orthopaedic Research* 14 : 518-525, 1996.
  - 7) Cao Y, Vacanti JP, Ma X, et al. : Generation of neotendon using synthetic polymers seeded with tenocytes. *Transplant Proc* 26 : 3390-3392, 1994.
  - 8) DeJardin LM, Arnoczky SP, Ewers BJ, et al. : Tissue-engineered rotator cuff tendon using porcine small intestine submucosa. Histologic and mechanical evaluation in dogs. *Am J Sports Med* 29 : 175-184, 2001.
  - 9) Dunn MG, Liesch JB, Tiku ML, et al. : Development of fibroblast-seeded ligament analogs for ACL reconstruction. *J Biomed Mater Res* 29 : 1363-1371, 1995.
  - 10) Frank C, Woo SL, Amiel D, et al. : Medial collateral ligament healing. A multidisciplinary assessment in rabbits. *Am J Sports Med* 11 : 379-389, 1983.
  - 11) Funakoshi T, Majima T, Iwasaki N, et al. : Novel chitosan-based hyaluronan hybrid polymer fibers as a scaffold in ligament tissue engineering. *J Biomed Mater Res A* 74 : 338-346, 2005.
  - 12) Gentleman E, Lay AN, Dickerson DA, et al. : Mechanical characterization of collagen fibers and scaffolds for tissue engineering. *Biomaterials* 24 : 3805-3813, 2003.
  - 13) Gerber C : Latissimus dorsi transfer for the treatment of irreparable tears of the rotator cuff. *Clin Orthop Relat Res* : 152-160, 1992.
  - 14) Hu M, Sabelman EE, Lai S, et al. : Polypeptide resurfacing method improves fibroblast's adhesion to hyaluronan strands. *J Biomed Mater Res* 47 : 79-84, 1999.
  - 15) Koh JL, Szomor Z, Murrell GA, et al. : Supplementation of rotator cuff repair with a bioresorbable scaffold. *Am J Sports Med* 30 : 410-413, 2002.
  - 16) Kumagai J, Sarkar K, Uthoff HK, et al. : Immunohistochemical distribution of type I, II and III collagens in the rabbit supraspinatus tendon insertion. *J Anat* 185 (Pt 2) : 279-284, 1994.
  - 17) Langer R and Vacanti JP : Tissue engineering. *Science* 260 : 920-926, 1993.
  - 18) Laurent TC and Fraser JR : Hyaluronan. *Faseb J* 6 : 2397-2404, 1992.
  - 19) Madhally SV and Matthew HW : Porous chitosan scaffolds for tissue engineering. *Biomaterials* 20 : 1133-1142, 1999.
  - 20) Majima T, Yasuda K, Yamamoto N, et al. : Deterioration of mechanical properties of the autograft in controlled stress-shielded augmentation procedures. An experimental study with rabbit patellar tendon. *Am J Sports Med* 22 : 821-829, 1994.
  - 21) Mierisch CM, Wilson HA, Turner MA, et al. : Chondrocyte transplantation into articular cartilage defects with use of calcium alginate : the fate of the cells. *J Bone Joint Surg Am* 85-A : 1757-1767, 2003.
  - 22) Nagineni CN, Amiel D, Green MH, et al. : Characterization of the intrinsic properties of the anterior cruciate and medial collateral ligament cells : an in vitro cell culture study. *J Orthop Res* 10 : 465-475, 1992.
  - 23) Ostrander RV, Goomer RS, Tontz WL, et al. : Donor cell fate in tissue engineering for articular cartilage repair. *Clin Orthop Relat Res* : 228-237, 2001.
  - 24) Ouyang HW, Goh JC and Lee EH : Use of bone marrow stromal cells for tendon graft-to-bone healing : histological and immunohistochemical studies in a rabbit model. *Am J Sports Med* 32 : 321-327, 2004.
  - 25) Ozaki J, Fujimoto S, Masuhara K, et al. : Reconstruction of chronic massive rotator cuff tears with synthetic materials. *Clin Orthop Relat Res* : 173-183, 1986.
  - 26) Riemersa DJ and Schamhardt HC : The cryo-jaw, a clamp designed for in vitro rheology studies of horse digital flexor tendons. *J Biomech* 15 : 619-620, 1982.
  - 27) Riley GP, Harrall RL, Constant CR, et al. : Glycosaminoglycans of human rotator cuff tendons : changes with age and in chronic rotator cuff tendinitis. *Ann Rheum Dis* 53 : 367-376, 1994.
  - 28) Underhill C : CD44 : the hyaluronan receptor. *J Cell Sci* 103 (Pt 2) : 293-298, 1992.
  - 29) Yamane S, Iwasaki N, Majima T, et al. : Feasibility of chitosan-based hyaluronic acid hybrid biomaterial for a novel scaffold in cartilage tissue engineering. *Biomaterials* 26 : 611-619, 2005.

- 30) Young RG, Butler DL, Weber W, et al. : Use of mesenchymal stem cells in a collagen matrix for Achilles tendon repair. *J Orthop Res* 16 : 406-413, 1998.
- 31) Zimmerman E, Geiger B and Addadi L : Initial stages of cell-matrix adhesion can be mediated and modulated by cell-surface hyaluronan. *Biophys J* 82 : 1848-1857, 2002.



## 腱板断裂術後早期の積極的後療法プログラムは 安全に良好な臨床成績が期待できるか?

北海道大学 整形外科

大泉 尚美・久田 幸由

三浪 明男

北海道大学大学院 人工関節・再生医学講座

末 永直樹

朋仁会整形外科北新病院 理学療法部

綿谷 美佐子

## Outcomes of Early Rehabilitation Program after Rotator Cuff Repair with Shoulder Mobilizer and Active Exercise in Flexed Position

by

OIZUMI Naomi, HISADA Yukiyo, MINAMI Akio

Department of Orthopaedic Surgery, Hokkaido University School of Medicine

SUENAGA Naoki

Department of Joint Replacement and Tissue Engineering, Hokkaido University, Graduate School of Medicine

WATAYA Misako

Department of Rehabilitation, Hokushin Hospital

It was sometimes difficult to perform early passive exercises after surgery for rotator cuff tear due to pain and increased muscle tonus during passive shoulder exercise. We developed a new rehabilitation protocol with using an original shoulder mobilizer which can apply traction and rotational motion and active exercises in supine flexed position, and reported favorable early passive ROM. The objectives of this study were to compare ROM after the start of anti-gravity active exercises and to evaluate the postoperative cuff integrity using MRIs. Sixty-three shoulders were classified as group I (GI); no tendon-to-bone repair, or group II (GII); with tendon-to-bone repair. In the former protocol, passive exercises started the next day of the surgery (GI) or in one week (GII). In the new protocol, the active exercises and the mobilizer started the next day; no passive exercises were applied. There were 10 former-GI, 9 new-GI, 22 former-GII, and 22 new-GII. Postoperative flexion, external-rotation, and internal-rotation at 1, 2, 4, 8 weeks were evaluated. In shoulders that carried out the new rehabilitation program and were followed-up for more than 1 year, JOA score was evaluated and postoperative cuff integrity was classified according to Sugaya's classification of MRIs at 1 year. The ROM of the new-GI and new-GII was comparable or better than that of the former-GI and former-GII. Especially, the lag between active and passive flexion at the start of anti-gravity active exercises was smaller in the new program groups. The JOA score at 1 year was 96.0 points in the new-GI and 94.5 points in the new-GII. The cuff integrity in MRIs was classified as type 1 in all shoulders. The new postoperative rehabilitation program was proved to be safe and useful in this study.

Key words: 腱板断裂 (cuff tear), 後療法 (rehabilitation), 積極的リハビリテーション (aggressive rehabilitation exercise)

## はじめに

肩腱板断裂術後の早期の後療法プログラムにおける他動運動では、しばしば疼痛のため肩周囲筋のリラクゼーションが得られず保護的収縮がおこり、そのために烏口肩峰アーチ下への上腕骨頭の取り込みが不良となり、さらに疼痛が増強するという悪循環が生じ、術後のリハビリテーションが滞る症例を経験してきた。そこで著者は、術後1ヶ月までは理学療法士あるいは作業療法士の介助による他動運動を行わず、独自に開発した肩関節モビライザーと仰臥位での挙上位自動運動を取り入れた新しい後療法プログラム（新プログラム）を作成して2005年12月より施行してきた。第1報<sup>1)</sup>では、術後4週までの早期では、他動運動を一切行なわなくても従来のプログラム（旧プログラム）と比べて同等あるいは良好な可動域が得られたことを報告した。しかし、自動運動開始後の可動域および臨床成績は不明であり、また積極的な後療法により再断裂を来さないかということが問題であった。

本研究の目的は、新プログラムを用いた症例の抗重力自動運動開始後の可動域を旧プログラムと比較すること、また、術後1年経過時の臨床成績とMRIでのcuff integrityを調査することである。

## 対象と方法

腱板断裂に対して直視下手術を施行した症例を対象とした。手術は、全例に烏口肩峰アーチの除圧を行い、完全断裂はスーチャーアンカーとpull-out 縫合を用いる surface holding technique<sup>1)2)</sup>にて骨に修復した。不全断裂は、断裂が腱の1/2以上の深さに達している場合は断裂部を完全断裂にして修復した。後療法は、骨への腱板修復を行わなかった例をGroup I（以下、G I）、骨への修復を緊張なく行えた例をGroup II（以下、G II）として分類した。広範囲断裂で腱が脆弱であったり、縫合部に緊張があった例は本研究より除外した。旧プログラムではG I；術翌日、G II；術後2週より他動運動を行ってきたが、新プログラムではG I、G IIとも術翌日より1日2時間の肩関節モビライザーと仰臥位での



図1-a



図1-b

図1 仰臥位での挙上位自動運動

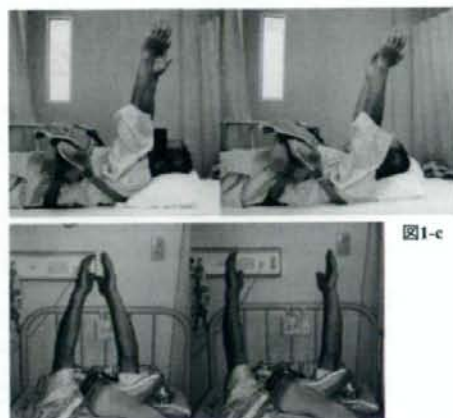


図1-c

図1 a.最大挙上運動、  
b.最大挙上・外旋位からの水平外転運動、  
c.挙上90°付近での屈伸・水平内外転腕振り運動

挙上位自動運動を開始し、療法士による他動運動は一切行わないこととした。抗重力での自動運動開始は旧プログラムと同様にG I：2週、G II：8週とした。仰臥位での挙上位自動運動は、第1報<sup>1)</sup>で報告したとおり、①重力を利用した最大挙上運動、②最大挙上・外旋位からの水平外転運動、③挙上90°付近での屈伸・水平内外転腕振り運動の3種類を行った（図1）。いずれの運動も挙上90°までは対側の手で患側上肢を保持し、運動中も挙上角度が90°以下とにならないよう注意し、必要に応じて介助を加えた。

本研究の対象は61例63肩で、旧プログラムを用いたG I（旧G I）が10例10肩、新プログラムを用いたG I（新G I）が8例9肩、旧プログラムを用いたG II（旧G II）が21例22肩、新プログラムを用いたG II（新G II）が22例22肩であった。症例の詳細は表1に示すとおりである。

調査項目は、1. 全例で可動域（術後1, 2, 4, 8週での自・他動屈曲、外転位外旋・内旋）を調査し、新・旧プログラム間で比較した。2. 新プログラム施行例の術後1年経過時の日整会肩関節疾患治療成績判定基準（以下、JOAスコア）を術後1年以上経過した新G I：8肩、新G II：14肩で調査した。JOAスコアが90点以上を優、80～89点を良、70～79点を可、69点以下を不可として評価した。3. 新プログラム施行例の術後1年経過時のMRIにおけるcuff integrity（菅谷の分類<sup>4)</sup>）を新G II：14肩で評価した。

統計学的検討にはMann-Whitney U検定を用い、 $P < 0.05$ を有意差ありとした。

表1 症例の内訳

旧G I群		新G I群		旧G II群		新G II群	
10例10肩		8例9肩		20例22肩		22例22肩	
男性8例	女性2例	男性5例	女性3例	男性14例	女性6例	男性15例	女性7例
31-76歳		43-65歳		48-80歳		52-80歳	
(平均55.7歳)		(平均52.5歳)		(平均65.3歳)		(平均67.1歳)	
不全断裂	7肩	不全断裂	7肩	不全断裂	4肩	不全断裂	4肩
小断裂	1肩	小断裂	2肩	小断裂	1肩	中断裂	15肩
中断裂	2肩			中断裂	10肩	大断裂	1肩
				大断裂	4肩	広範囲断裂	2肩
				広範囲断裂	3肩		



## 結 果

### 1. 可動域

可動域の結果を図 2, 3 に示す。G I では、4 週の内旋・外旋が新プログラムで有意に良好であった。G II では、2 週の内旋、8 週の外旋・屈曲が新プログラムで有意に良好であった。さらに、抗重力自動運動開始時の他動屈曲角度と自動屈曲角度の差を見ると、G I, II とも新プログラムで旧プログラムに比べて差が小さく、新プログラムで良好な自動可動域が早期に獲得できていた(図 4)。

### 2. 術後 JOA スコア

新 G I における JOA スコアは 87 ~ 100 点(平均 96.0 点)であり、術後評価は優 7 肩, 良 1 肩であった。新 G II では 76.5 ~ 100 点(平均 94.5 点)であり、優 13 肩, 可 1 肩であった。

### 3. 術後 MRI

新 G II の 14 肩全てで修復腱は十分な厚みがあって均一な低信号を呈しており、蒼谷の分類の type I であった(図 5)。再断裂を認めた例はなかった。

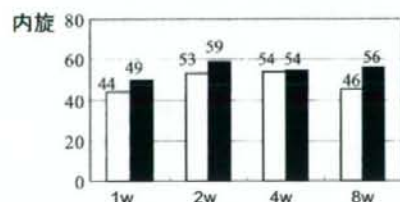
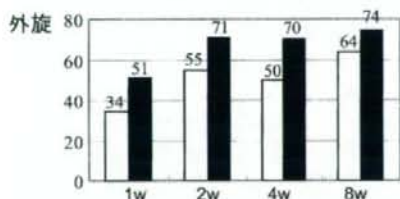
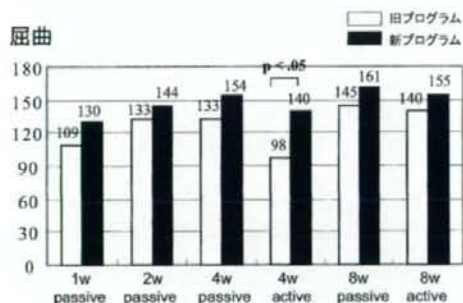


図 2 G I の可動域

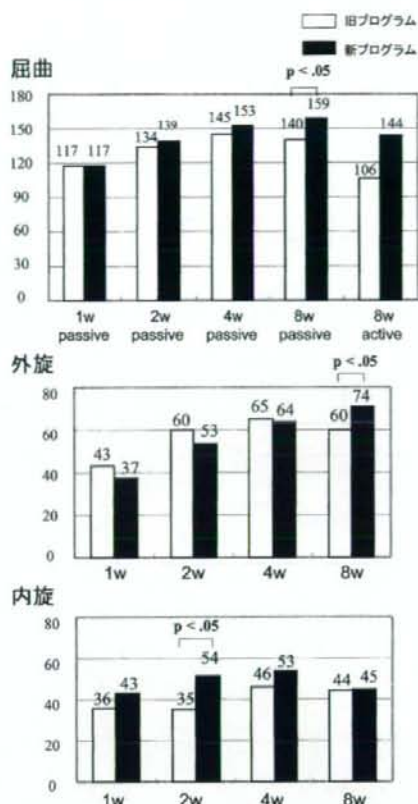


図 3 G II の可動域

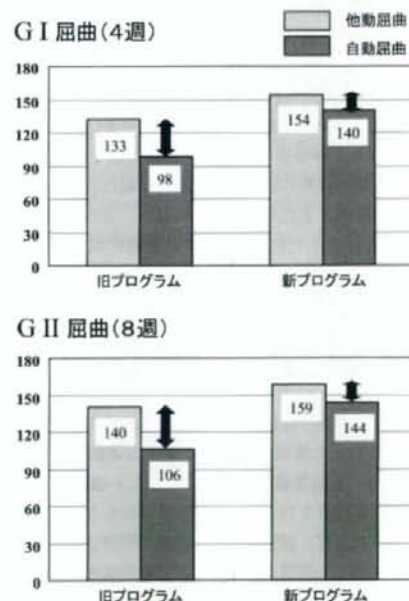


図 4 抗重力自動運動開始時の他動・自動屈曲角度  
抗重力自動運動開始時の他動屈曲・自動屈曲角度の差 (lag) は、新プログラムで小さくなっている。

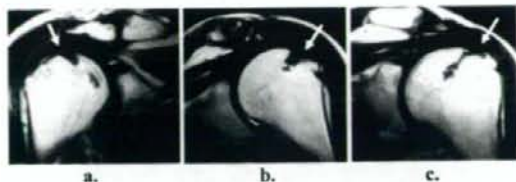


図5 術後MRI

a. 広範囲断裂, b. c. 中断裂症例の術後MRI (矢印: 修復腱).  
いずれも修復腱は十分な厚みがあり, 均一な低信号を呈しており, 菅谷の分類 type 1 である.

## 考 察

これまで腱板断裂の術後療法では滑車を含めた他動運動を早期より行なってきたが, 疼痛のため骨頭の肩口肩峰アーチ下への良好な取り込みが得られず, 早期の良好な可動域獲得が障害される症例を経験してきた。また, 早期の他動可動域が良好であっても, 自動運動開始時に筋力低下のためラグを生じ, 徐々に拘縮を来すことも経験する。これらの経験から, 著者らは, 術後拘縮が生じる前の早期に疼痛を惹起することなく良好な可動域を獲得することと, 求心位での運動パターンを保つことが非常に重要であると考え, 他動運動を行わず腱板縫合部に負荷のかからない仰臥位挙上位での自動運動を早期より行なう新しい後療法プログラムを考案し実践してきた。本症例の挙上位自動運動は, Sohler<sup>2)</sup>が提唱する挙上 80° から 120° の rotational glide 範囲内での運動を基本としている。Rotational glide では骨頭の肩峰下への良好な取り込みが得られることに加え, 腱板縫合部にも緊張がかからない位と考えられるためである。第1報<sup>1)</sup>では, 新プログラムにおける術後4週までの他動可動域は理学療法士または作業療法士の介助による他動運動を中心とした旧プログラムと比較して同等あるいは良好であることを報告した。今回の結果では, 抗重力位での自動運動開始時に速やかに良好な屈曲角度が得られていた。術後直ちに挙上位自動運動を開始することにより, 修復腱板筋以外の肩関節周囲筋力が保たれ, 求心位での運動パターンを獲得できたためと考えられた。さらに, 患者が自分で上肢をコントロールすることにより能動的取り組みや安心感が得られること, 特別な器具を使わなくても自宅での自主トレーニングが可能であることも本法の利点であると考えている。しかし, 腱板に対して減張位での運動とはいえ早期より自動運動を行なうことは再断裂の危険性が危惧される。そこで今回術後MRIにて cuff integrity の評価を行なったところ, 再断裂を来した症例はなく, 全例で良好な修復が得られていた。本法は緊張なく縫合可能であった修復腱に対して安全な運動方法であることが確認された。他動運動を行なわない新しい後療法プログラムは, 強固な腱板修復を行い<sup>3)</sup>, 適切な指導のもとに患者の十分な理解を得て行なえば, 安全で良好な成績が期待される有用な方法であった。本研究の問題点としては, 広範囲腱板断裂例をほとんど除外していること, 早期自動運動中の腱骨縫合部へのストレスの生体力学的検討がなされていないこと, 運動中の肩周囲筋の筋活動を筋電位測定等で検討していないこと, また, 筋力回復につ

いての詳細な検討を行っていないことなどが挙げられる。これらは今後の検討課題と考えている。

## ま と め

1. 腱板断裂術後早期に他動運動を行わず, モビライザーと挙上位自動運動を取り入れた新しい後療法プログラムを実施し, その治療成績を調査した。
2. 従来のプログラムに比較して, 良好あるいは同等の可動域が得られた。特に, 抗重力自動運動開始時に良好な自動屈曲角度が得られていた。
3. 術後1年の時点で再断裂は認めず, 良好な臨床成績が得られていた。

## 文 献

- 1) 大泉尚美ほか: 肩関節モビライザーと挙上位自動運動を用いた腱板断裂術後早期療法の有効性。肩関節, 2007; 31: 369-372.
- 2) Sohler R: Kinesiotherapy of the Shoulder, John Wright & Sons, Bristol, 1967.
- 3) 末永直樹ほか: 新しい直視下および鏡視下腱板縫合法の開発。肩関節, 2007; 31: 601-604.
- 4) 菅谷啓之ほか: 単層固定法における鏡視下腱板修復術の成績。-術後1年のMRI所見と手術成績-。肩関節, 2003; 27: 233-236.

## Surface-holding repair technique を用いて修復した 腱板広範囲断裂の術後成績

琉球大学 整形外科

山口 浩

北海道大学 人工関節・再生医学講座

末永直樹

北海道大学 整形外科

大泉尚美・三浪明男

関西病院 整形外科

細川吉博

## The Clinical Outcome and Repair Integrity of Open Repaired Massive Rotator Cuff Tears with Surface-holding Repair Technique

by

YAMAGUCHI Hiroshi

The Department of Orthopaedic Surgery, University of Ryukyus School of Medicine

SUENAGA Naoki

Department of Total Joint Replacement and Tissue Engineering, Hokkaido University School of Medicine

OIZUMI Naomi, MINAMI Akio

Department of Orthopaedic Surgery, Hokkaido University School of Medicine

HOSOKAWA Yoshihiro

Department of Orthopaedic Surgery, Kaisei Hospital

Although various surgical procedures have been reported on for rotator cuff tears, the reported re-tear rate after open, mini-open, and arthroscopic repair has ranged from 24% to 94%, as demonstrated by arthrography, ultrasonography, and magnetic resonance imaging. Especially in massive rotator cuff tears, the clinical outcome was distinctly less satisfactory than that for patients who had a smaller tear, and repair may not always be warranted for massive tears. The recent biomechanical studies have demonstrated that the double row tendon-to-bone fixation was stronger and footprint coverage of the double row fixation was larger than the single row or transosseous fixation technique. Therefore we have devised a new suture technique without suturing on the tendon named the surface-holding repair technique. The objectives of this study were to determine whether a new repair technique of rotator cuff tendons can yield a lower re-tear rate and to obtain a better clinical outcome than previous reported methods. With regard to repair integrity of the rotator cuff at a mean of 36.8 months postoperatively, according to Sugaya's classification, MRI scans revealed 14 shoulders with a type-I, four shoulders with a type-II, 4 shoulders with a type-III, 2 shoulders with a type-IV, and nothing with a type-V repair. Synthetically, 2 shoulders had a discontinuous cuff. Therefore the re-tear rate was 8.3% (2 of 24 shoulders). In conclusion, satisfactory clinical results were obtained with the surface-holding repair technique for massive rotator cuff tears. Although OA glenohumeral joint and upper migration of the humeral head, both had progressed postoperatively in some shoulders, the incidence rates were no higher than those of other procedures. In re-tear rate, the rate was lower than that of other procedures. Therefore this technique will be one of the good procedures in rotator cuff operations.

Key words: 広範囲腱板断裂 (massive rotator cuff tear), サーフェイスホールディング法 (Surface-holding repair technique), 腱板修復状態 (Cuff repair integrity)



## はじめに

近年、広範囲腱板断裂に対する一次修復の報告では、30~90%という高い再断裂率が報告<sup>24,26,27,28,29,30</sup>されている。筆者らは、2001年以降、生体力学的にDual row法と同等の初期固定力で腱内応力集中の少ないと報告されているSurface-holding repair technique<sup>18</sup>を用いて腱板広範囲断裂の直視下一次修復術を施行してきた。本研究の目的は、Surface-holding repair techniqueを用いて手術を施行した症例の臨床成績とMRIを用いた術後の腱板修復状態、X線所見での変形性肩関節症(以下、OA)の進行、上腕骨頭上方化の進行について調査することである。

## 対象と方法

2001-2005年の間に2腱以上に及ぶ広範囲腱板断裂に対して直視下にSurface-holding repair techniqueを用いて腱板修復術を行い、手術後2年以上経過観察可能で、手術後1.5年以降にMRIが撮像可能であった23例24肩である。内訳は男性15肩、女性9肩で、手術時年齢は45-82歳(平均65.7歳)、発症から手術までの期間は2週-5年、経過観察期間は2年-5年10か月(平均3年9か月)、断裂形態は、肩甲下筋・棘上筋・棘下筋:5例、棘上筋・棘下筋:17例、棘上筋・棘下筋・小円筋:2例であった。

手術方法は、腱断端に非吸収糸をかけて腱板周囲の癒着剥離、肩関節包および烏口上腕靭帯の烏口突起基部での切離などを含む関節内・外での十分なモビライゼーションを行った後に引き出す。必要であればmargin convergenceを行う。肩関節下垂位で過緊張とならない位置に骨溝を作成する。この際、骨溝の内側縁が骨頭頂部より内側になってしまう場合は一次修復を断念し、他術式(腱移植もしくは筋腱移行術)を選択した。スーチャーアンカーを使用し骨溝の内側に挿入、アンカーの間隔は1.0-1.5cmで断裂の大きさに応じて通常3-5個を使用し、腱断端を上から押さえ込む様にアンカーの糸をかけて大結節外側に引き出す(図1)。全例に烏口肩峰アーチの除圧(烏口肩峰靭帯の切離および前肩峰骨棘切除)を併用した。内訳は前肩峰形成術:21例、前肩峰形成術+烏口突起形成術:2例、前肩峰形成術+肩鎖関節形成術:1例であった。



図1 Surface-holding repair technique

臨床成績は日整会肩関節疾患治療成績判定基準(以下、JOAスコア)を用い、90点以上を優、80点以上を良、70点以上を可、69点以下を不可として評価した。

MRI所見では、T2強調画像を使用した以下の昔谷らの分類<sup>19</sup>を用いて腱板修復状態を評価した。Type I:修復腱板に十分な厚みがありかつ一様に低信号像を呈するもの、Type II:修復腱板に十分な厚みがあるものの一部高信号が混在するもの、Type III:修復腱板の連続性は保たれているが厚みの不十分なもの、Type IV:一部のスライスで修復腱板の途絶がみられるもの、およびType V:連続性の途絶部分が大きく矢状断の拡がり認められるものであり、このうちtype IVとtype Vを再断裂とした(図2)。

X線所見は、Oizumiら<sup>15</sup>の方法に準じて行った。OA進行と上腕骨頭上方化の有無を術前・後で調査した。OAは単純X線写真正面像にて、明らかなOA所見のないものをgrade 0、骨棘形成を認めるものをgrade I、関節裂隙が狭小化しているものをgrade II、関節裂隙が消失しているものをgrade IIIとして分類した(図3)。また、上腕骨頭上方化の程度は、関節窩の下1/2を三等分して上

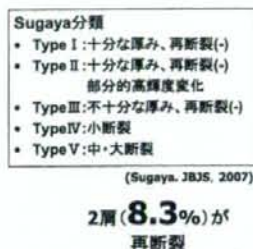
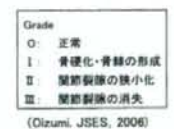


図2 術後MRI所見: Sugaya分類

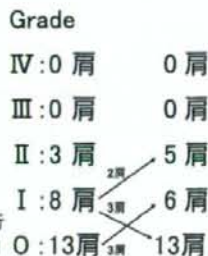


4肩(16.7%)がOAのGrade進行

図3 X線学的所見: OA



(Oizumi, JSES, 2006)



5肩(20.8%)が骨頭上方化進行  
3肩(12.5%)が骨頭上方化抑制

図4 X線学的所見: 骨頭上方化