

RADIOLUNATE FUSION WITH DISTRACTION USING CORTICOCANCELLOUS BONE GRAFT FOR MINIMIZING DECREASE OF WRIST MOTION IN RHEUMATOID WRISTS

Tatsuya Masuko, Norimasa Iwasaki, Jun-ichi Ishikawa, Hiroyuki Kato and Akio Minami

*Department of Orthopaedic Surgery, Hokkaido University Graduate School of Medicine
Sapporo 060–8638, Japan*

Received 8 May 2009; Revised 8 May 2009; Accepted 8 May 2009

ABSTRACT

Radiolunate fusion is a limited carpal fusion procedure used for patients with rheumatoid arthritis. However, this procedure inevitably causes decreases in range of motion, especially wrist flexion. Linscheid and Dobyns described the possibility of minimizing the decrease in motion at the radiocarpal joint by slight distraction of the joint. We hypothesized for our modified procedure that a corticocancellous bone graft was inserted between the radius and the lunate with a small amount of over-correction could provide slight distraction of radioscaphoid joint and protect the joint from decreased range of motion after arthrodesis. Twelve wrists in ten patients with rheumatoid arthritis underwent radiolunate fusion. Mean age at operation was 53 years old and mean follow-up period was 5.7 years. Clinical evaluation and radiological assessment showed that decrease in range of motion was minimized compared with other procedures. Because our modified procedure can minimize decrease in motion, it is recommended.

Keywords: Corticocancellous Bone Graft; Distraction; Minimize; Radiolunate Fusion; Rheumatoid Wrist.

INTRODUCTION

For the rheumatoid wrist, several procedures are currently used for pain relief, including synovectomy. This procedure, however, cannot prevent destruction of the wrist joint secondary to rheumatoid arthritis. The Darrach procedure, or ulnar head excision, is indicated for patients with rheumatoid arthritis or patients with an incongruous or degenerative distal radioulnar joint, as this procedure can achieve satisfactory relief of pain and restoration of function. However, it causes ulnar translation and palmar subluxation of the entire carpal bones because of loss of support from the ulnar head.¹ The Sauvé-Kapandji

procedure also gives good clinical results and restrains the progression of ulnar translation because it is able to support the ulnar carpal bones.^{1–3} However, recent reports describe that it cannot effectively prevent the progression of ulnar translation,^{4,5} even compared with the Darrach procedure.⁵

A radiolunate fusion is one of the limited carpal fusions reported by Chamay *et al.* in 1983.⁶ Several reports have described good clinical results using radiolunate fusion with reduction of ulnar translation and bone fusion between the radius and the lunate. However, this procedure reduces range of wrist motion, especially flexion.^{6–12} Decreased wrist motion

causes difficulties with the activities of daily living, especially for rheumatoid patients, as rheumatoid arthritis usually affects upper extremity joints.

Linscheid and Dobyns shows that the scaphoid can rotate about the lunate more freely if the lunate is distracted slightly.⁷ In addition, Hastings recommends that a bone graft inserted between the radius and the lunate can elevate the lunate from its normal position to an over-corrected height.¹³ Based on these concepts, we hypothesize that a corticocancellous bone graft inserted between the radius and the lunate with a small amount of over-correction can provide slight distraction of radioscaphoid joint. This would, theoretically, protect the joint from decreased range of motion after arthrodesis. A corticocancellous bone graft, harvested from the excised ulna by the Darrach procedure, is thought to be more suitable than a cancellous bone graft because cortical bone is generally more rigid and stronger mechanically than cancellous bone. The objectives of this report are to verify that our method is effective in minimizing decrease in wrist motion compared with methods described in previous reports, and to evaluate the clinical and radiological results.

MATERIALS AND METHODS

Patients Demographics

We retrospectively reviewed 12 wrists in ten patients (four men and six women) who were diagnosed with rheumatoid arthritis and who underwent radiolunate fusion between 1995 and 2004. Two patients had bilateral procedures yielding a total of 12 wrist operations. Synovectomy and Darrach procedure accompanied radiolunate fusion. Mean age at operation was 53 years old (range, 35–75). Mean follow-up period was 5.7 years (range, 2–11) and the minimum follow-up was 24 months. The indications for radiolunate fusion included: (1) moderate to severe pain resistant to conservative treatments; (2) ulnar translation; (3) mildly affected midcarpal joint; (4) patients with a high activity level; and (5) a modified Larsen's classification¹⁴ of between stage 2 to 4a. The modified Larsen's classification is based on the findings from X-rays:

Stage 0; No radiological alteration.

Stage 1; Swelling of soft tissues. Demineralization.

Stage 2; Marginal erosions. Initial deviation of the wrist.

Stage 3; Articular erosions. Narrowing of joint lines. Mild instability.

Stage 4a; Midcarpal ankylosis. Major radiocarpal instability.

Stage 4b; Radiocarpal ankylosis.

Stage 5a; Destruction of the carpus. Radiocarpal dislocation.

Stage 5b; Destruction of the carpus. Complete ankylosis.

Clinical and Radiological Evaluations

For clinical evaluation, range of motion and grip strength were measured. The Stanley classification was also used:⁸

Excellent; — No rest or significant activity pain.
— No functional complaints.

Good; — Minor pain not affecting function.
— Daily functions improved.

Fair; — Minor pain not significantly affecting function.
— Functionally improved or same if operation for pain or prophylaxis.
— Fused in poor position but stable.

Poor; — Significant pain.
— Daily functions same or worse.
— Poor objective function.
— Fusion failed or suspect.

Radiographically, the modified Larsen's classification was used to evaluate the radioscaphoid joint, lunocapitate joint, and scaphotrapezotrapezoid joint.¹⁴ The carpal height ratio (CHR) was measured according to the method of Borisch *et al.*¹¹ A carpal height was divided by the length of the middle finger metacarpal. The ulnar translation (UT) was also calculated according to the definition of Borisch *et al.*¹¹ The distance between a line parallel to the axis of the radius passing through the radial styloid process and the centre of rotation of the capitate was also divided by the length of the middle finger metacarpal. Radiographs were taken pre-operatively, at one week post-operatively, eight weeks post-operatively, and at the final follow-up visit.

Operative Procedure

Operations were performed by the senior authors (A. Minami, N. Iwasaki and J. Ishikawa). A straight dorsal longitudinal incision was made, the superficial branch of the radial nerve and the dorsal branch of the ulnar nerve were identified and protected and the dorsal retinaculum was exposed. After the third, fourth, and fifth compartments were opened, synovectomy of the extensor tendons was performed. The extensor tendons were reflected and the dorsal capsule was exposed. We used primarily an H-shaped incision of the capsule and synovectomy

of the radiocarpal, midcarpal, and distal radioulnar joint was meticulously performed. The distal 1 to 1.5 cm of the ulna was cut and excised extra-periosteally using an oscillating saw, and corticocancellous bone was harvested. After the carpal bones were reduced anatomically into the lunate fossa, the proximal articular surface of the lunate, the opposite aspect of the radius, and lunate fossa were denuded and decorticated, and the cancellous bone was exposed. An approximately 5 to 10 mm height of corticocancellous bone was placed between the lunate and the radius with the wrist in the neutral position (Fig. 1).

After a K-wire was inserted through the triquetrum, the lunate, and the radius, a Herbert type screw (HBS, Kisco Medical Group, Osaka, Japan) or another K-wire was placed into the lunate, the grafted bone, and the radius (Fig. 2). In this way, the space between the scaphoid and the radius was widened and distraction was completed. The stabilization of the ulnar stump was performed with a half slip of extensor carpi ulnaris tendon using a method described previously.¹⁵ The wrist was immobilised in a short arm splint or cast for six to eight weeks until union. The K-wire was removed after six weeks.

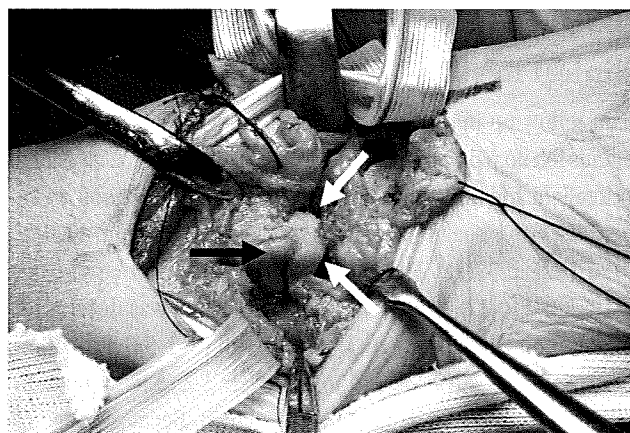


Fig. 1 Photograph during the operation. The white arrow indicates the corticocancellous bone harvested from the excised ulna. The black arrow indicates the radius near the lunate fossa.

Statistical Analysis

All data were represented as mean \pm standard error. Pre- and post-operative results were compared using the paired *t* test. The level of significance was set at a probability value less than 0.05.

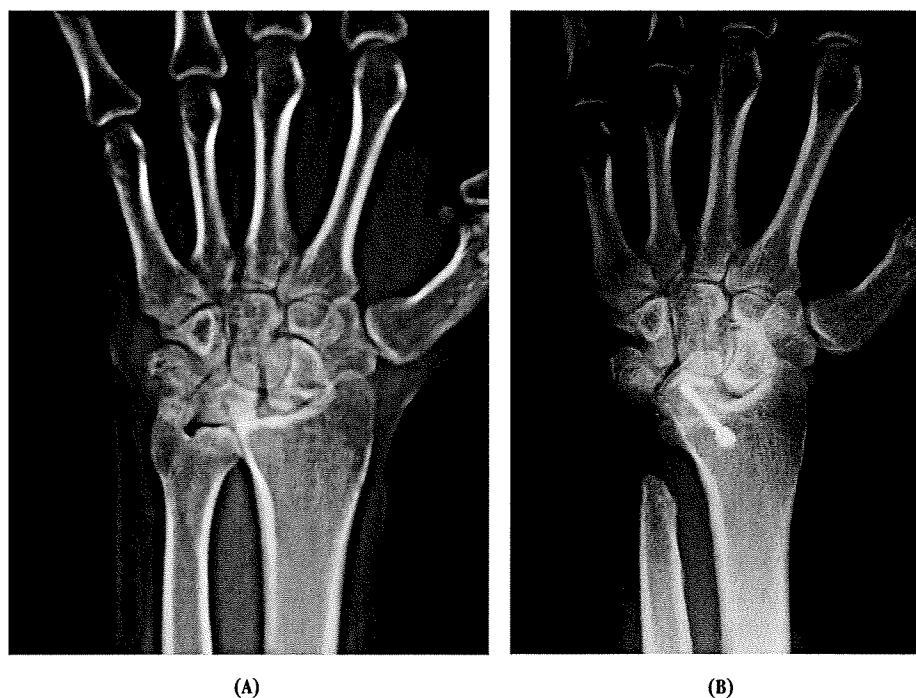


Fig. 2 Radiographs of Case 1 using the Herbert type screw. **(A)** Pre-operative radiograph shows ulnar translation and a symptomatic radiocarpal and distal radioulnar joint. **(B)** Post-operative radiograph at the final follow-up shows that ulnar translation is reduced. UT is decreased from 0.353 to 0.300. The space between the scaphoid and the radius is slightly widened and distracted. CHR is increased from 0.490 to 0.517. Slightly arthritic changes occur at the lunocapitate joint and the scaphotrapezotrapezoidal joint.

RESULTS

Clinical Results

Mean follow-up period was 5.7 years (range, 2–11 years). All patients felt no pain or only minor pain; six wrists were classified as excellent and the remaining six were estimated as good. Post-operative grip strength was significantly improved from 12.0 ± 1.9 to 17.8 ± 3.2 kg. Flexion was significantly decreased from $42.1^\circ \pm 6.2$ to $27.5^\circ \pm 3.5$, whereas extension was decreased, but not significantly, from $46.3^\circ \pm 4.0$ to $40.0^\circ \pm 5.5$. Pronation decreased from $77.5^\circ \pm 8.9$ to $75.4^\circ \pm 3.2$, and supination increased from $77.1^\circ \pm 7.3$ to $80.8^\circ \pm 3.6$. Because range of motion was dependent on the operative position itself, the total arc of flexion-extension was also evaluated; this value decreased from 88.4° to 67.5° .

No breakage of any screw or K-wire was seen in any of the ten patients. Furthermore, neither infection nor nerve injury were reported. One patient, who was being treated for bilateral radiolunate fusions, complained of bilateral ulnar wrist pain at the distal ulnar stump. Extensor carpi ulnaris and flexor carpi ulnaris tenodesis was carried out for bilateral unstable distal ulnas, as described by Breen and Jupiter.¹⁶

Radiological Results

Pre-operatively, using radiographs and the modified Larsen's classification, the disease involvement at the radioscapoid joint, lunocapitate joint, and scaphotrapeziotrapezoid joint in all 12 wrists was classified as stage 2 in two wrists (17%), stage 3

in eight (67%), and stage 4a in two (17%). At the final follow-up, the classification was stage 2 in one wrist (8%), stage 3 in nine (75%), stage 4a in one (8%), and stage 5a in one (8%). Radiographs of Case 1 show slightly arthritic changes at the lunocapitate joint and the scaphotrapeziotrapezoid joint, and the stage was classified between 2 and 3 (Fig. 2). Case 6 reveals collapse of the carpal bones, and is classified between stage 4a and 5a.

Figure 3 shows that CHR was increased and UT was significantly decreased. The increase in CHR means that the space between the scaphoid and the radius was widened and adequate distraction was obtained. The decrease in UT indicates that the ulnar translation was effectively reduced. Figure 4 shows that CHR was significantly increased at the post-operative week 1 and slightly decreased at week 8 for ten wrists. The CHR was not decreased until the final follow-up. These results suggest that the distraction between the radius and the scaphoid was maintained until the final follow-up.

DISCUSSION

While it cannot prevent consequent wrist destruction, synovectomy is a recommended procedure for the pain relief of rheumatoid wrists. The Darrach procedure (excision of the distal ulnar head) is a reliable operation that can achieve satisfactory pain relief and restoration of function for symptomatic distal radioulnar joint and rheumatoid arthritis; however, it causes ulnar translation of the entire carpal bones.¹

Table 1 Case Series.

Case	Age	Sex	Side	F-U (Yrs)	Pre-Operation			Final Follow-Up			8 Weeks		Pre-Operation			Final Follow-Up			
					Larsen	CHR	UT	Larsen	CHR	UT	CHR	UT	Ext/Flex	Pro/Sup	GS	Stanley	Ext/Flex	Pro/Sup	GS
1	44	M	L	10.9	2	0.490	0.353	3	0.517	0.300	0.396	0.302	40/25	75/90	14	Excellent	60/40	90/90	25
	45	M	R	10.2	2	0.490	0.451	2	0.475	0.393	0.519	0.442	50/60	60/90	15	Excellent	60/40	45/70	35
2	51	F	R	2.8	3	0.447	0.316	3	0.483	0.310	—	—	35/35	65/75	6	Good	10/10	80/70	—
3	43	M	R	9.1	3	0.475	0.322	3	0.500	0.324	0.509	0.356	40/60	70/80	26	Excellent	25/25	80/90	33
4	58	M	L	7.3	3	0.508	0.347	3	0.393	0.262	—	—	55/70	80/80	5	Good	65/50	70/50	3.3
5	59	F	R	7.3	3	0.457	0.304	3	0.577	0.308	0.519	0.327	60/20	90/90	8	Excellent	20/20	80/90	7
6	74	M	R	5.7	3	0.569	0.400	3	0.619	0.349	0.563	0.375	50/60	80/70	16	Good	30/25	80/80	12
	75	M	L	4.8	4a	0.369	0.400	5a	0.369	0.415	0.524	0.413	20/45	90/90	10	Good	25/30	70/90	10
7	36	F	R	3.8	3	0.455	0.391	3	0.483	0.333	0.458	0.322	35/20	80/0	7	Excellent	55/30	80/80	24
8	56	F	R	2.1	3	0.435	0.331	3	0.436	0.290	0.444	0.302	60/30	80/80	18	Good	60/10	80/90	18
9	35	F	L	2.0	4a	0.344	0.377	4a	0.431	0.379	0.424	0.322	40/10	80/90	7	Good	30/20	80/90	12
10	62	F	R	2.0	3	0.459	0.328	3	0.492	0.279	0.548	0.274	70/70	80/90	6	Excellent	40/30	80/80	14

F-U: Follow-up period, CHR: carpal height ratio, UT: ulnar translation, GS: grip strength (kg).

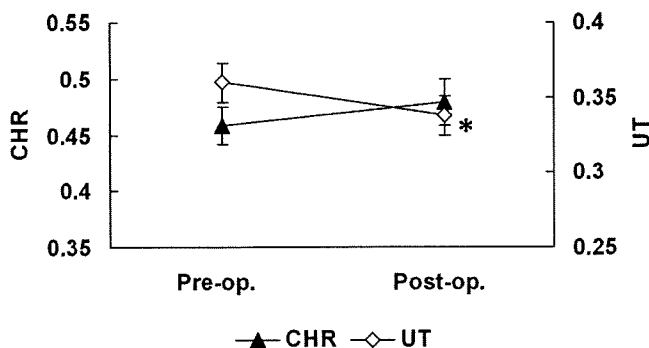


Fig. 3 CHR and UT pre-operatively and at the final follow-up. CHR is increased and UT is significantly decreased (* $p < 0.05$ vs. pre-operatively).

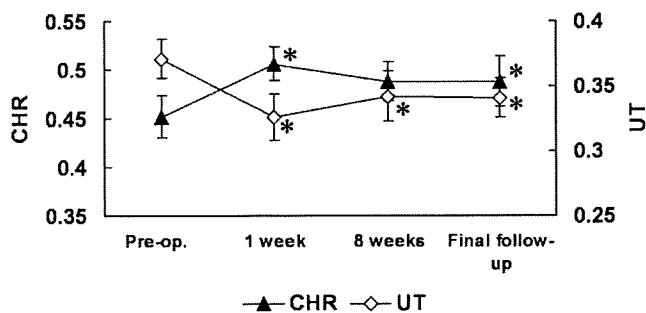


Fig. 4 CHR and UT of the ten wrists pre-operatively, at one week post-operative, eight weeks post-operative, and at the final follow-up. CHR is increased after operative procedures. After slight decrease, the heights are maintained. UT is also decreased and stable after a slight increase (* $p < 0.05$ vs. pre-operatively).

The Sauvé-Kapandji procedure, another candidate, can obtain a stable painless wrist and retain enough mobility for function.¹⁷ This procedure is also reported that it got satisfactory clinical results and restrained the progression of ulnar translation by supporting the ulnar carpal bones.¹⁻³ Recently, however, Momohara *et al.* report that the ulnar deviation of the proximal carpal row cannot be completely controlled by the Sauvé-Kapandji procedure although it may stabilize the carpal bones of the rheumatoid wrist, maintain a functionally important range of motion, and relieve pain.⁴ Kobayashi *et al.* also describe that there is no statistical difference between post-operative ulnar translation of the carpal bones after the Darrach procedure compared to after the Sauvé-Kapandji procedure.⁵

Chamay *et al.* was the first to report the radiolunate fusion procedure for the rheumatoid wrist.⁶ Currently, radiolunate fusion has been applied for early- to medium-stage rheumatoid wrists and good clinical results have been reported.^{8,10,18} Stanley and

Boot reported the results of 16 wrists which underwent radiolunate fusion for rheumatoid wrists. The Stanley's classification revealed that 56.3% was estimated as Excellent, 18.8% as Good, 6.3% as Fair, and 18.8% as Poor, respectively. They also reported that pre-operative factors related to the fair or poor results were rapid disease, excessive pre-operative translocation, significant proximal row destruction (scaphoid involvement), bowstring of the extensor tendons, and severe stiffness.⁸

Of the 12 wrists in our study, we had six excellent and six good results. Grip strength was significantly improved from 12.0 to 17.8 kg ($p < 0.05$). Ishikawa *et al.* also reported significant improvement in grip strength, from 104 to 143 mmHg ($p < 0.05$)¹² despite complications including wound problems, fractures and displacements, malplacement of materials, and screw crossing or protruding into the midcarpal joint.^{9,10} A complication rate as high as 8% has been reported with this procedure.¹⁰

One of the most undesirable aspects of radiolunate fusion is the resultant decrease in range of motion at the wrist joint. Borisch and Haussmann and Ishikawa *et al.* reported that wrist motion was decreased, especially for flexion and radial deviation.^{10,12} Because the range of extension and flexion is dependent on positioning at the time of surgery, we estimated the decrease in motion for our patients by percentage of total arc of flexion-extension. In the current report, total arc of flexion-extension was decreased from 88° to 68° (77%). However, this value is the highest of four reports and is therefore desirable (Table 2). Originally, Linscheid and Dobyns described 17 rheumatoid patients and five patients with traumatic arthritis.⁷ We calculate the values of range of motion of only rheumatoid patients in this paper. Our results support the hypothesis that our modified method using corticocancellous bone graft can provide distraction and minimize post-operative decrease in wrist motion in rheumatoid patients.

Conversely, Meyerdierks *et al.* reported that radiolunate fusion caused a 47% decrease in flexion-extension in a cadaveric study using external fixators.¹⁹ This discrepancy may be due to the midcarpal joint, which may compensate for the fused radiocarpal joint. In addition, the ligaments between the carpal bones are affected and weakened by rheumatoid arthritis. Meyerdierks *et al.* also reported that radioscapulohumate fusion caused a 64% decrease in total arc of extension-flexion, whereas radiolunate fusion caused a 47% decrease.¹⁹ Ishikawa *et al.* reported that, because radioscapulohumate fusion caused a more severe decrease in range of motion, this method was avoided.¹²

Table 2 Range of Motion Pre-Operatively and at the Final Follow-Up About Previous Reports and the Current Report.

	Year	n	Age	F-U (Yrs)	Pre-Operation		Final Follow-Up		Percentage of Arc [‡] (%)
					Ext/Flex	Arc [‡]	Ext/Flex	Arc [‡]	
Linscheid <i>et al.</i> [§]	1985	17	—	2.3	53/49	102	32*/36*	68	67
Borisch <i>et al.</i>	2002	42	53	5.0	35/39	74	28 [†] /18 [†]	46	62
Ishikawa <i>et al.</i>	2005	16	—	> 10	30/27	57	25/14*	39	68
Current Report	2009	12	53	5.7	46/42	88	40/28 [†]	68	77

**p* < 0.01 vs. pre-operation.[†]*p* < 0.05 vs. pre-operation.[‡]Arc = Ext + Flex.[§]Linscheid *et al.*⁷ is originally described about 17 patients of rheumatoid arthritis and five patients of traumatic arthritis. We calculated the values of only 17 rheumatoid arthritis patients based on the results in this paper.

F-U: Follow-up period.

Table 3 CHR and UT Pre-Operatively and at the Final Follow-Up About Previous and Current Reports.

	Year	n	Age	F-U (Yrs)	CHR		UT	
					Pre-Op.	Final Follow-Up	Pre-Op.	Final Follow-Up
Linscheid <i>et al.</i> [¶]	1985	17	—	2.3	0.47	0.47	0.343	0.314
Della Santa <i>et al.</i>	1995	16	62	4.8	0.47	0.43	0.330	0.320
Borisch <i>et al.</i>	2002	53/42 [‡]	53	5.0	0.43	0.38*	0.320	0.300*
Ishikawa <i>et al.</i>	2005	16	—	> 10	0.49	0.46	0.180 [§]	0.175 [§]
Current Report	2009	12	53	5.7	0.46	0.48	0.360	0.338 [†]

**p* < 0.01 vs. pre-operation.[†]*p* < 0.05 vs. pre-operation.[‡]For CHR, *n* = 53; for UT, *n* = 42.[§]In this paper, the numbers are not described. Therefore, these data are estimated from the graph of the paper.¹²[¶]Linscheid *et al.*⁷ is originally described about 17 patients of rheumatoid arthritis and five patients of traumatic arthritis. We calculated the values of only 17 rheumatoid arthritis patients based on the results in this paper.

F-U: Follow-up period, CHR: carpal height ratio, UT: ulnar translation.

Table 3 compares results regarding CHR and UT among various surgeons. CHR was decreased at the final follow-up in all except our study (where corticocancellous bone graft was adopted) and Linscheid's report.⁷ This implies that the widening and distraction of the radiocarpal joint is preserved until the final follow-up, when the corticocancellous bone graft is placed between the radius and the lunate. Borisch *et al.* used the excised ulnar head to fill subchondral cysts,¹⁰ and Ishikawa *et al.* packed bone chips from the resected ulnar head between the lunate fossa and the lunate.¹²

The Sauvé-Kapandji procedure is also an acceptable treatment for the rheumatoid wrist, especially for painful distal radioulnar joints. Momohara *et al.* showed that this procedure stabilized the carpal bones of the rheumatoid wrist, maintained a functionally important range of motion, and relieved pain,

although it could neither stop the disease process nor re-establish or maintain carpal height.⁴ They also reported that CHR was decreased and UT deteriorated (increased) using the Sauvé-Kapandji procedure, whereas CHR was not changed and UT was improved (decreased) using partial arthrodesis such as radiolunate fusion, and that the Sauvé-Kapandji procedure caused loss of flexion from a pre-operative 31° to post-operatively 23°. This suggests that the Sauvé-Kapandji procedure cannot prevent ulnar translation of the carpal bones or preserve the carpal height. Another limitation of the Sauvé-Kapandji procedure is the potential for non-union. Rothwell *et al.* reported that the non-union rate of the Sauvé-Kapandji procedure was 32%,²⁰ while that of radiolunate fusion is reported to be 5% to 8%.^{10,18,21} Fujita *et al.* speculated that this relatively high non-union rate could be secondary to the

difficulty in providing sufficient osseous support for the ulnar aspect of the radius in rheumatoid patients with erosion of the distal aspect of the ulna.²²

The principal limitation of the present study is that it is a retrospective study based on a relatively small number of patients. Based on our results, a larger prospective study may be warranted in the future.

Radiolunate fusion is an acceptable procedure for the symptomatic rheumatoid wrist because pain is reduced and grip strength is improved. The clinical and radiological results are also satisfactory if these indications are followed: early- to medium-stage rheumatoid wrist, mildly affected midcarpal joint, no collapse of carpal bones, patients with high activity levels, and a modified Larsen's classification stage of between 2 and 4a. A previous considerable drawback of radiolunate fusion was the decrease in joint motion after operation. Although wrist extension, pronation, and supination are only slightly, if at all, affected, wrist flexion is significantly decreased. Because our modified procedure with distraction of radiocarpal joint using corticocancellous bone graft can minimize this decrease in range of motion at the wrist joint, it is recommended for the rheumatoid wrist.

References

1. Vincent KA, Szabo RM, Agee JM, The Sauve-Kapandji procedure for reconstruction of the rheumatoid distal radioulnar joint, *J Hand Surg* **18A**:978–983, 1993.
2. Taleisnik J, The Sauvé-Kapandji procedure, *Clin Orthop Relat Res* **275**:110–123, 1992.
3. Yonemoto K, Inoue K, Futami T, Radiological evaluation of rheumatoid wrist reconstruction using shelf plasty procedure. The role of preservation of the end of the ulna, *J Jpn Soc Surg Hand* **9**:839–842, 1993, (in Japanese).
4. Momohara S, Mamizuka K, Yonemoto K, Tomatsu T, Inoue K, Clinical and radiological manifestations of the rheumatoid wrist after the Sauve-Kapandji procedure, *Mod Rheumatol* **14**:231–235, 2004.
5. Kobayashi A, Futami T, Tadano I, Fujita M, Watanabe T, Moriguchi T, Radiographic comparative evaluation of the Sauve-Kapandji procedure and the Darrach procedure for rheumatoid wrist reconstruction, *Mod Rheumatol* **15**:187–190, 2005.
6. Chamay A, Della Santa D, Vilaseca A, Radiolunate arthrodesis. Factor of stability for the rheumatoid wrist, *Ann Chir Main* **2**:5–17, 1983.
7. Linscheid RL, Dobyns JH, Radiolunate arthrodesis, *J Hand Surg* **10A**:821–829, 1985.
8. Stanley JK, Boot DA, Radio-lunate arthrodesis, *J Hand Surg* **14B**:283–287, 1989.
9. Ishikawa H, Hanyu T, Saito H, Takahashi H, Limited arthrodesis for the rheumatoid wrist, *J Hand Surg* **17A**:1103–1109, 1992.
10. Borisch N, Haussmann P, Radiolunate arthrodesis in the rheumatoid wrist: A retrospective clinical and radiological longterm follow-up, *J Hand Surg* **27B**:61–72, 2002.
11. Borisch N, Lerch K, Grifka J, Haussmann P, A comparison of two indices for ulnar translation and carpal height in the rheumatoid wrist, *J Hand Surg* **29B**:144–147, 2004.
12. Ishikawa H, Murasawa A, Nakazono K, Long-term follow-up study of radiocarpal arthrodesis for the rheumatoid wrist, *J Hand Surg* **30A**:658–666, 2005.
13. Hastings H, Arthrodesis (partial and complete), in Green D, Hotchkiss R, Pederson W, Wolfe S (eds.), *Green's Operative Hand Surgery*. 5th ed., Elsevier, Philadelphia, Chap. 13, pp. 489–534, 2005.
14. Della Santa D, Chamay A, Radiological evolution of the rheumatoid wrist after radio-lunate arthrodesis, *J Hand Surg* **20B**:146–154, 1995.
15. Minami A, Kato H, Iwasaki N, Modification of the Sauve-Kapandji procedure with extensor carpi ulnaris tenodesis, *J Hand Surg* **25A**:1080–1084, 2000.
16. Breen TF, Jupiter JB, Extensor carpi ulnaris and flexor carpi ulnaris tenodesis of the unstable distal ulna, *J Hand Surg* **14A**:612–617, 1989.
17. Sauvé L, Kapandji M, Nouvelle technique de traitement chirurgical des luxations récidivantes isolées de l'extrémité inférieure du cubitus, *J Chirurg* **47**:589–594, 1936.
18. Doets HC, Raven EE, A procedure for stabilising and preserving mobility in the arthritic wrist, *J Bone Joint Surg* **81B**:1013–1016, 1999.
19. Meyerdierks EM, Mosher JF, Werner FW, Limited wrist arthrodesis: A laboratory study, *J Hand Surg* **12A**:526–529, 1987.
20. Rothwell AG, O'Neill L, Cragg K, Sauve-Kapandji procedure for disorders of the distal radioulnar joint: A simplified technique, *J Hand Surg* **21A**:771–777, 1996.
21. Larsen CF, Jacoby RA, McCabe SJ, Nonunion rates of limited carpal arthrodesis: A meta-analysis of the literature, *J Hand Surg* **22A**:66–73, 1997.
22. Fujita S, Masada K, Takeuchi E, Yasuda M, Komatsubara Y, Hashimoto H, Modified Sauve-Kapandji procedure for disorders of the distal radioulnar joint in patients with rheumatoid arthritis, *J Bone Joint Surg* **87A**:134–139, 2005.

1. 高分子

4) 糖鎖による軟骨細胞機能制御の可能性

- 軟骨変性に伴う N- 結合型糖鎖の変化より -

岩崎倫政・松橋智弥・瓜田 淳
高畑雅彦・三浪明男・西村紳一郎

要旨

軟骨組織変性を基本病態とする変形性関節症の発症早期より N- 結合型糖鎖に変化が生じた。この変化は、本疾患の発症病因である軟骨細胞のアポトーシスや細胞外マトリクス分解酵素の分泌に関与していると考えられる。更なる研究により、糖鎖による軟骨細胞の機能制御や関節疾患への関与などが明らかになっていくものと考えられる。これらが明らかになると、糖鎖生物学および糖鎖工学的アプローチによる新たな治療法の開発や、再生医療用マテリアルの開発が可能になるであろう。

キーワード

糖鎖, N- 結合型糖鎖, 軟骨, 軟骨細胞, 運動器組織, 変形性関節症

❖ はじめに

高齢化社会に突入した現代において、高齢者の運動機能障害は大きな社会問題となっている。運動機能障害をきたす運動器疾患のうち最も頻度の高いものは変形性関節症 (osteoarthritis: OA) をはじめとする関節疾患である。2006年のWHOの報告では、日本を含む西側先進諸国におけるOAの発症頻度は65歳以上の全人口の75%に達し、そのうちの85%の患者に何らかの日常生活動作の制限を認めるとしている。さらに、この報告では各国の経済活動に及ぼすOAの影響についても言及しており、労働制限の原因疾患として、OAは循環器系疾患に次ぐものであり、各国のGNPの約1~2.5%の損失原因になるとしている。しかし、その病因については、いまだ十分には解明されてはおらず、決定的な治療法もないのが現状である。OAをはじめとする関節疾患の病因を解明し、その発症および進行を予防する研究を行うことは、医学的見地からのみならず社会・経済的側面からも極めて重要である。

OAをはじめとする多くの関節疾患において治療ターゲットとなる関節軟骨は、血管および神経組織

をもたず、少数の軟骨細胞と豊富な細胞外マトリクス (extracellular matrix: ECM) 成分により構成される極めてユニークな組織である。したがって、軟骨組織の恒常性維持には、軟骨細胞-ECM間の相互作用 (interaction) が極めて重要であると考えられている。この相互作用を理解することが、OAをはじめとする関節疾患の病因を解明することにつながり、さらには軟骨細胞の機能調節機構の解明にも結びつくと予想される。

糖鎖科学はポストゲノム時代の新たな生物科学として、近年その重要性が非常に高まっている。主要な糖鎖遺伝子のクローニングの成果を基盤として、様々な生物学的局面における糖鎖のもつ多彩な機能が明らかになり、疾患との直接的な関連性も証明されてきた¹⁾²⁾。なかでも、細胞表面に局在する糖鎖は「細胞の顔」として、接着、細胞マーカー、シグナル伝達など重要な生理機能を有する。われわれは糖鎖がもつこのような多彩な機能に注目し、軟骨細胞の恒常性維持には糖鎖が重要な役割を果たしているだろうとの仮説のもと、軟骨組織の糖鎖解析と軟骨変性に伴う糖鎖構造の変化を明らかにしてきた。本稿において、その成果を紹介し、

糖鎖がもつ生体内での軟骨細胞の機能調節について言及したい。

I. N-結合型糖鎖

糖鎖は、グルコースやガラクトースなどの糖が鎖状に連なった物質で、細胞表面やタンパク質（糖タンパク質）、脂質（糖脂質）の先端に結合し存在する。動物が作り出す糖タンパク質は大きく2つに大別される。アスパラギン（N）残基の酸アミドに結合するN-結合型糖鎖と、セリンあるいはスレオニン残基の水酸基に結合するO-結合型糖鎖である。このうち、N-結合型糖鎖は見かけ上著しい多様性があり、主にマンノースとN-アセチルグルコサミンからなる高マンノース型、ガラクトース、シアル酸、フコースが結合した複合型、さらには混成型、哺乳動物にはこれまで見出されていないキシロース含有型のサブグループがある（表1）³⁾。われわれは、軟骨組織の糖鎖の中で、このN-結合型糖鎖をターゲットにした解析を行ってきた。

1. 軟骨組織中のN-結合型糖鎖解析（図1）

生後15週齢の成熟日本白色家兔の膝正常軟骨組織および前十字靭帯切断により生じさせたOA（変性）

軟骨を経時的に採取し、解析を行った。採取した軟骨片をタンパク質消化酵素のトリプシン、キモトリプシン、プロナーゼ、糖鎖遊離酵素のN-グリコシダーゼFにて処理してN-結合型糖鎖を切り出す。その切り出したN-結合型糖鎖をゲル濾過することにより精製する。精製したN-結合型糖鎖を2-アミノピリジンにてピリジルアミノ（PA）化して蛍光標識化し、それをゲル濾過にて精製する⁴⁾。そして、精製した蛍光標識化糖鎖を二次元高速液体クロマトグラフィ（HPLC）法にて解析する⁵⁾。具体的にはODSカラムにて疎水性分画して変化のあった糖鎖を分取し、それをamideカラムにて親水性分画する。それぞれの分析で得られた溶出時間をグルコース・ユニット値に変換し、データベース検索により候補となる糖鎖を絞り込む。最終的には、分取した糖鎖の質量分析による解析などを行うことにより糖鎖を同定する⁶⁾。

2. OA 変化に伴う軟骨組織中の糖鎖変化⁸⁾

OA軟骨においては、明らかな組織学的変化が生じる以前の術後7日目よりN-結合型糖鎖構造の変化を示すピークパターンの変化が認められた（図2A）。この変化をさらに解析することにより、変化している2

表1 N-結合型糖鎖のサブグループと構造（文献3より）

サブグループ	糖鎖構造
複合型	
高マンノース型	
混成型	
キシロース含有型	

木幡 陽, 糖と脂質の生物学 (シリーズ・バイオサイエンスの新世紀第4巻), 1-7, 2001, 共立出版より許可を得て転載

図1 軟骨組織中の N-結合型糖鎖解析方法

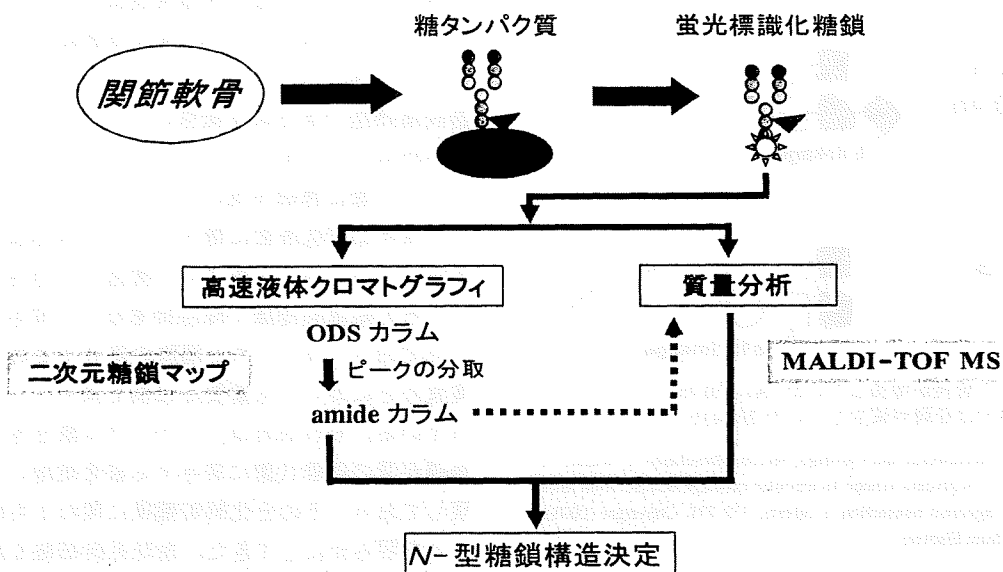
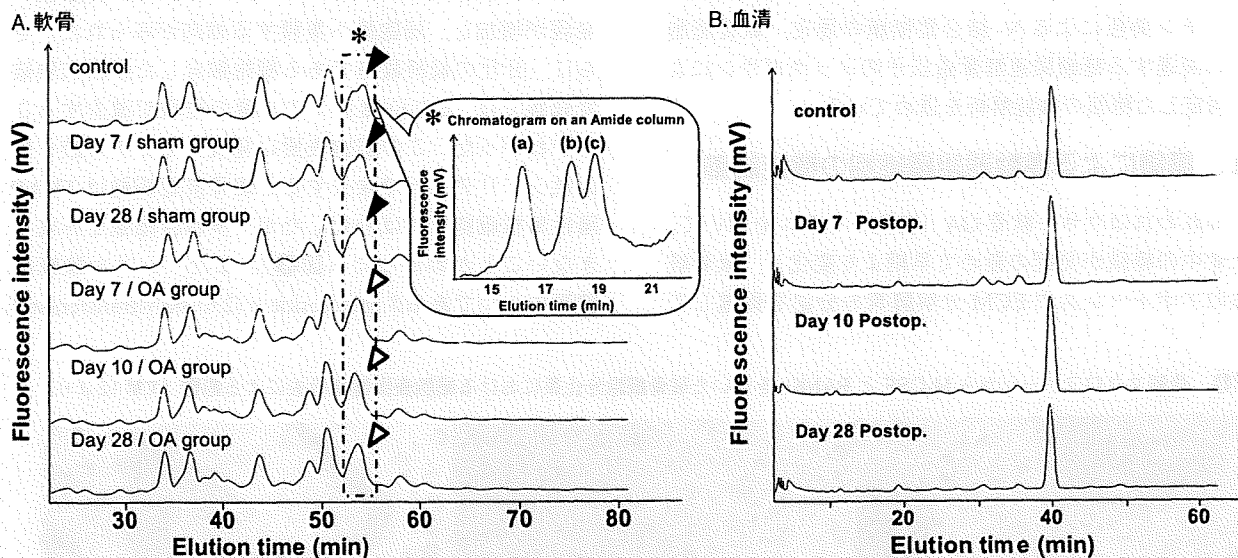


図2 軟骨および血清中の糖鎖構造解析結果 (文献8より)



- A. 術後7日目より OA グループにおいて軟骨中の N-結合型糖鎖構造の変化を示すピークパターンの変化を認める。
- B. 血清中の N-結合型糖鎖構造には変化を認めない。

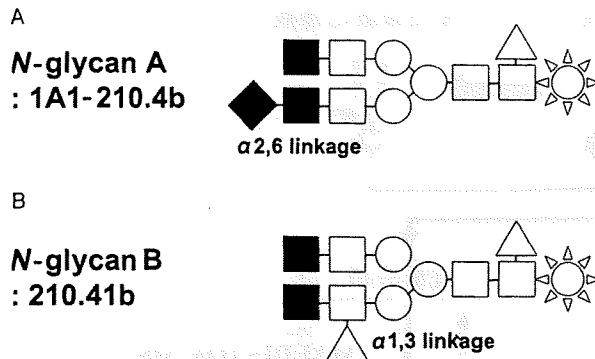
Reprinted from Osteoarthritis and Cartilage, Vol.16, Matsuhashi T, Iwasaki N, et al, Alteration of N-glycans related to articular cartilage deterioration after anterior cruciate ligament transection in rabbits, 772-778, Copyright (2008), with permission from Elsevier.

つの複合型 N-結合型糖鎖が同定された。1つは 1A1-210.4b (図3 A) であり、これは OA 軟骨中で発現が増加していた。一方、210.41b (図3 B) は OA 組織中では発現が減少していた。なお、血清中の N-結合型糖鎖は正常と OA 軟骨間に有意な変化は認めなかった (図2 B)。

3. 軟骨組織中の N-結合型糖鎖の機能

上述したように軟骨組織の OA 変化の極めて早期より N-結合型糖鎖に変化が生じていることが明らかとなった。一般に OA の発症初期には、その発症誘因となる何らかの刺激に軟骨細胞が反応し、アポトーシスや ECM 分解酵素の分泌が生じるとされている。これらが引き金となり、ECM の分解が促進され、軟骨組織の変性が生じていくとされる^{9)・10)}。したがって、今

図④ 軟骨中で変化していた複合型 N- 結合型糖鎖 (文献 8 より)



A. OA 軟骨中で発現が増加していた 1A1-210.4b
 B. OA 組織中では発現が減少していた 210.41b

Reprinted from Osteoarthritis and Cartilage, Vol.16, Matsuhashi T, Iwasaki N, et al, Alteration of N-glycans related to articular cartilage deterioration after anterior cruciate ligament transection in rabbits, 772-778, Copyright (2008), with permission from Elsevier.

回同定した N- 結合型糖鎖は, OA 変化を生じさせる軟骨細胞の機能調節に関与していると推測される。現在, レクチン染色による N- 結合型糖鎖の局在, 軟骨細胞中の関連する糖鎖関連酵素遺伝子のノックダウンにより同定した糖鎖の機能解析を進めている。

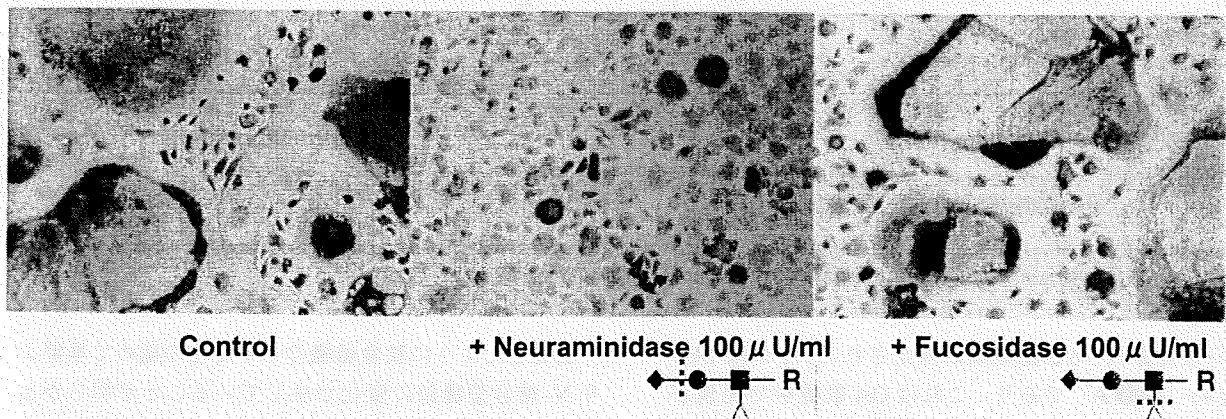
II. 糖鎖による運動器組織細胞の機能制御

われわれはウサギ軟骨 OA (変性) モデルを用いて, 軟骨中の糖鎖が発症の極めて早期より変化し, 軟骨細胞のアポトーシスや ECM 分解酵素の分泌を促進して

いる可能性を示した。誌面の都合上, 詳細は記載しないが, マウス軟骨変性モデルを用いて, 軟骨変性に伴い軟骨細胞のある種の糖鎖関連酵素遺伝子の発現が変化し, それに関連する N- 結合型糖鎖にも変化が生じたことを明らかにした。さらに, われわれは同じ運動器組織細胞である破骨細胞に対するシアル糖鎖の機能解析も行ってきた¹²⁾。

シアル酸は糖鎖先端に存在するアミノ糖の一種であり, 様々な細胞表面に糖タンパクや糖脂質の一部として存在する。シアル酸はその構造的多様性や結合様式によって細胞間認識や細胞接着などに関与すると考えられており, ウイルスと細胞の融合や受精, 赤血球の貪食などにおいても重要な役割を果たすことが報告されている。われわれは, このシアル酸を含むシアル糖鎖が骨の新陳代謝に関与する破骨細胞にも豊富に発現しており, その分化制御機構に関わる可能性があることを明らかにしてきた。血球系幹細胞を起源とするマクロファージ系細胞である破骨前駆細胞には, ガラクトースと $\alpha(2,3)$ 結合または $\alpha(2,6)$ 結合するシアル酸がともに発現しており, これらは RANKL 刺激後に発現が増加し, 細胞膜へ集積する傾向がみられた。さらに, 分化の最終段階である細胞融合した多核成熟破骨細胞では, $\alpha(2,6)$ 結合シアル酸の発現が減少することがわかった。この細胞表面に発現するシアル酸を外因性シアリダーゼで除去すると破骨前駆細胞は TRAP 陽性単核細胞までは分化したが, 多核巨細胞を形成できないことがわかった (図④)。また, シアル酸転移酵素の1つである β galactoside $\alpha(2,6)$ sialyltransferase-I

図④ 骨髄マクロファージから M-CSF と RANKL を用いた破骨細胞分化系における細胞表面糖鎖除去による影響 (文献 12 より)



コントロールやフコシダーゼ (フコース切断酵素) で処理した細胞では, 酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ陽性の多核巨細胞 (成熟破骨細胞) が形成されているが, ノイラミニダーゼ (シアル酸切断酵素) で処理した細胞は, 多核巨細胞の形成が阻害されている。(× 200 倍)

Reprinted from Bone, Vol.41, Takahata M, Iwasaki N, et al, Sialylation of cell surface glycoconjugates is essential for osteoclastogenesis, 77-86, Copyright (2007), with permission from Elsevier.

(ST6Gal-I) 遺伝子の発現をノックダウンした細胞でも同様に多核破骨細胞の形成が阻害されたことから、シアリル糖鎖が破骨細胞の分化、特に細胞融合過程において重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

このように、糖鎖は生体内において軟骨や骨などの運動器組織細胞の機能制御を担っている可能性があり、運動器疾患の発症にも大いに関与していることが予想される。

❖ おわりに

今後は、軟骨細胞レベルでの N-結合型糖鎖解析およびその機能の解明を進め、最終的には糖鎖関連酵素

遺伝子の組織特異的遺伝子破壊動物を作製し、生体内での軟骨組織に対する糖鎖機能の解明を行っていく予定である。糖鎖生物学的アプローチを用いた OA の病因解明に関する研究は、これまでほとんど行われていない。OA 研究に糖鎖生物学を融合させることにより、今まで明らかにされなかった新たな知見が得られ、予防法や治療法の開発につながっていくと考えられる。さらに、糖鎖を基盤マテリアルに導入することにより、軟骨細胞の接着性や増殖性の制御が可能な機能性 scaffold マテリアルが開発され、軟骨再生医療への応用も可能になると考える。

■ 参考文献

- 1) Wang X, Inoue S, et al : Proc Natl Acad Sci USA 102, 15791-15796, 2005.
- 2) Yamashita K, Ideo H, et al : J Biol Chem 268, 5783-5789, 1993.
- 3) 木幡 陽 : 糖と脂質の生物学 (シリーズ・バイオサイエンスの新世紀第 4 巻), 1-7, 共立出版, 2001.
- 4) Hase S, Ikenaka T, et al : Biochem Biophys Res Commun 85, 257-263, 1978.
- 5) Nakagawa H, Kawamura Y, et al : Anal Biochem 226, 130-138, 1995.
- 6) Tomiya N, Awaya J, et al : Anal Biochem 171, 73-90, 1988.
- 7) Kuroguchi M, Nishimura S-I : Anal Chem 76, 6097-6101, 2004.
- 8) Matsubashi T, Iwasaki N, et al : Osteoarthritis Cartilage 16, 772-778, 2008.
- 9) Bluteau G, Conrozier T, et al : Biochim Biophys Acta 1526, 147-158, 2001.
- 10) Goldring MB : Arthritis Rheum 43, 1916-1926, 2000.
- 11) Malfait AM, Liu RQ, et al : J Biol Chem 277, 22201-22208, 2002.
- 12) Takahata M, Iwasaki N, et al : Bone 41, 77-86, 2007.

岩崎倫政

1998年 北海道大学大学院医学研究科外科系専攻博士課程修了
2000年 同運動器再建医学分野助手
2005年 北海道大学医学部附属病院整形外科講師

特集

上肢の人工関節—臨床成績と問題点—

II. 手指関節

新たな人工手関節

—開発状況と問題点—

New design of total wrist prosthesis

石川淳一 岩崎倫政 三浪明男

J. Ishikawa: ていね整形外科・リハビリクリニック
N. Iwasaki, A. Minami: 北海道大学大学院医学研究科整形外科

Key words

- 人工手関節 (artificial total wrist)
- 新たなデザイン (new design)
- 投げ矢運動 (dart throw motion)

70 (302) 関節外科 Vol.29 No.3 (2010)

はじめに

1967年にSwansonが関節リウマチ(RA)の手関節に対してシリコン人工手関節を応用したが、シリコン滑膜炎やインプラントの破損など大きな問題点があった¹⁾。1970年代後半より欧米で全人工手関節としてさまざまな機種が開発、使用されている。しかし、1~2年の短期成績は良好であるものの、長期にわたり良好な成績が得られるものはいまだ存在しないのが現状である。わが国では現在までのところ臨床で使用可能な人工手関節は存在せず、RA手関節に対しては部分あるいは全手関節固定術が選択されてきた²⁾。除痛は得られるものの固定術による可動域消失はADLに多大な障害をもたらすことが欠点である。

著者らは長期使用に耐えうる新たな人工手関節の開発に取り組んでおり、本稿では、これまでの開発経緯と現在までの進行状況について概説する。

これまでの人工手関節の問題点

文献検討

欧米にて報告されている種々の人工手関節の成績のうち、4年以上の経過観察を行っているものを文献的に検討した。対象とした機種は、

- ①Meuli (Zimmer, Switzerland)³⁾
- ②Volz (Howmedica, USA)⁴⁾
- ③Trispherical (USA)⁵⁾
- ④Biaxial (Depuy, USA)⁶⁾
- ⑤Menon (KMI, CA)⁷⁾
- ⑥RWS (Howmedica, USA)⁸⁾
- ⑦Guepar (France)⁹⁾

の7機種である。関節面の形状をもとに3群に分類できた。

Meuli prosthesisはball and socketの関節面を有し、回旋を含めあらゆる方向への運動が可能である。

0286-5394/10/¥400/論文/JCOPY

Volz, Trispherical, RWSは半拘束型であり、屈曲、伸展運動が主であるが、ある程度の橈尺屈運動も可能である。

Biaxial, Guepar, Menonは楕円型(ellipsoidal)の関節面をもつ非拘束型である。

各機種のfailure rateは、

Meuli: 10例/38例(26%)

Volz: 11/61(18%)

Trispherical: 8/87(9%)

Biaxial: 11/57(19%)

Menon: 3/37(8%)

RWS: 1/27(4%)

Guepar: 11/72(15%)

であった。

原因としては、手根骨側の弛みが29例(53%)と圧倒的に多かった。コンポーネントの弛みは手根骨側で高率に発生しており、橈骨側ではきわめて少なかった。

手根骨側の弛みは、

Meuli: 8/38(21%)

Volz: 15/61(25%)

Trispherical: 5/87(6%)

Biaxial: 8/57(14%)

Menon: 0/37(0%)

RWS: 11/27(41%)

Guepar: 2/72(3%)

で認められ、semi-constrained type, ball and socketで高頻度であった。軟部組織のimbalanceによって掌尺屈変形をきたした頻度は6.8%であった。さらに掌側への脱臼は4%に認めた。

いずれの機種においても長期でのfailure rateは高く、最も大きな問題は手根骨側のコンポーネントの弛みと、周囲軟部組織の拘縮および手関節伸筋腱の作用低下による掌尺屈変形、および掌側脱臼であると考えられた。

これまでの人工手関節の解決すべき問題点をまとめると、

- ①インプラント設置後のアライメント
- ②コンポーネントの固定

③軟部組織のバランス

の3つがあげられる。正常手関節の回転軸は橈骨長軸の尺側および掌側を通ることから、上記人工手関節では橈骨側のインプラントに尺側および掌側のoff-setを設けており、回転中心が正常手関節に近くなるようデザインされている。にもかかわらず手根骨側での弛みや破損が高頻度である原因として、人工関節によってもたらされる手関節運動が非生理的であり、手根骨インプラントと骨の間に異常なストレスが働くことが大きな原因と考えられる。

■運動解析

著者らは新鮮屍体の正常手関節の運動解析を行い、矢状面での伸展、屈曲より投げ矢面(dart throw plane)での伸展、屈曲運動がより生理的であり、手関節周囲軟部組織に加わる負荷が少ないことを報告した¹⁰⁾。人工手関節面のデザインとして、このdart throw planeでの運動を可能とするデザインは、以上の問題点を解決する可能性がある。

さらに軟部組織のバランスの問題として、とくにRA手関節では掌側関節包の拘縮や手関節伸筋腱の脆弱を伴っている。最も重要な手関節伸筋腱は橈背側に位置しており、dart throw planeでの伸展は手関節伸筋腱のレバーアームの観点からもきわめて有効な運動であり、掌尺屈変形の防止につながるのではないかと考えられる。

新たな人工手関節モデル

著者らは、正常手関節三次元CT像より新たな人工手関節モデルを作製した(図1)。新しい人工手関節のコンセプトは生体関節面形状に近づけ、さらに骨切除量を少なく、また脱臼を防止しつつ投げ矢運動(dart throw motion)を再現する表面置換半拘束型である。摺動面はdart throw planeでの掌背屈運動をもたらすため、橈骨ステム軸に対して10°の回旋を設けた。コンポーネントは橈骨・手根骨ステム・骨頭の3

partsよりなり、手根骨側は第3中手骨基部まで届くステムをもつ。また、高頻度に発生する手根骨側の弛みに対応するため両側の第2と第4中手骨へスクリュー固定を行うことが可能である。

手関節は橈骨手根関節、手根中央関節で2関節運動を行うため、摺動面形状は橈骨手根関節をシミュレーションした2つの半楕円形を組み合わせたものと、手根中央関節をシミュレーションした卵円形のを考案した(図1)。Moritomoら¹¹⁾は、*in vivo*での運動解析より手根中手関節の運動軸はdart throw motionに一致し、その運動面形状は卵円形であるとしている。卵円形は月状骨側(尺側)の曲率を舟状骨側(橈側)より小さくすることで掌背屈運動に伴い生理的な回旋

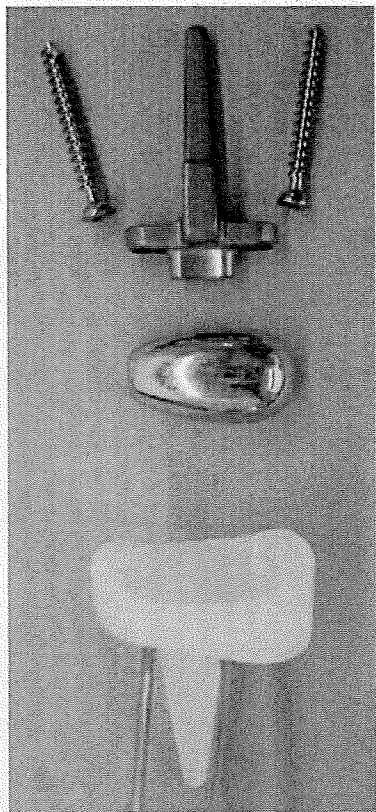
(回内・外)運動が生じることを期待した。さらに卵円形摺動面として橈尺屈にあそびを有する(橈屈5°, 尺屈25°)もの(橈尺屈半拘束型)と橈尺屈を完全に拘束したもの(橈尺屈完全拘束型)の2つを作製した。

■ X線解析

実際のモデルを解剖用屍体4手関節に挿入し、最大手関節掌背屈位にてX線撮影を行った(図2)。置換前の平均可動域は背屈：40°, 掌屈：57°に対して、置換後の平均獲得可動域は背屈47°, 掌屈：42°であった。手根骨の高さを示すcarpal height ratioは置換前が0.501に対して、置換後は0.500であり、正常な手根骨高が維持されており、設計上の掌背屈可動域(背屈50°, 掌

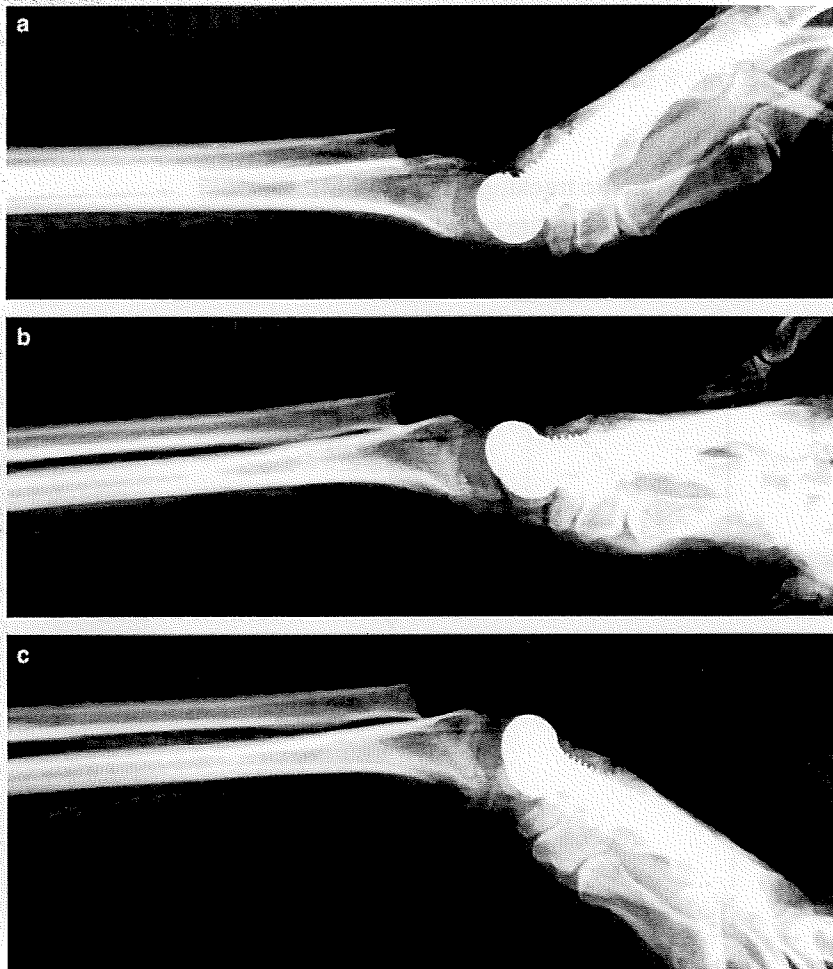
■ 図1 新しい人工手関節モデル

橈骨ステム、手根骨ステム、骨頭の3 partsよりなる。写真はmidcarpal jointをシミュレーションした卵円形の摺動面デザイン。



■ 図2 置換後のX線写真

a: 背屈。b: 中間位。c: 掌屈。



屈50°)と同様の可動域獲得が可能であった。

運動解析

先に述べた3つの摺動面(2つの半楕円形・卵円形橈尺屈半拘束・卵円形橈尺屈完全拘束)において意図したdart throw planeでの運動が得られているか、またどの摺動面が正常手関節運動に近似しているかを検討するため、magnetic tracking deviceを用いて運動解析を行った。屍体上肢(新鮮凍結1体, 解剖用1体)を肘関節近位で切断し、肘関節90°屈曲位, 前腕回内・外中間位で固定した。また、第3中手骨骨幹部に磁場センサーを固定した。橈側・尺側手根伸筋腱, 橈側・尺側手根屈筋腱の4つに重錘を下げ、手関節掌背屈運動を再現した。

解析法として、手関節橈尺方向をX軸, 掌背方向をY軸, 近位, 遠位方向をZ軸として三次元座標を決定し、手関節掌背屈運動時の運動方向および回転角度を測定した(図3)。

dart throw planeでの運動が再現されているかどうかを検討するため、掌背屈運動方向をXY平

面の α 角で検討すると、いずれの摺動面でも置換前と同様のdart throw motionが再現されていた。 α 角は背屈で置換前: -70.1° , 半楕円形: -59.5° , 卵円形半拘束型: -70.4° , 卵円形完全拘束型: -65.8° であった。掌屈では置換前: 102.3° , 半楕円形: 96° , 卵円形半拘束型: 104° , 卵円形完全拘束型: 112.2° であった。背屈・掌屈とも卵円形半拘束型で最も置換前と近似したdart throw motionが再現された(図4)。

掌背屈回転角度(角度 β)は背屈が置換前: 50.4° , 半楕円形: 43.9° , 卵円形半拘束型: 52.3° , 卵円形完全拘束型: 48° であった。掌屈は置換前: 72.9° , 半楕円形: 63° , 卵円形半拘束型: 56.9° , 卵円形完全拘束型: 47.7° であった。置換後はいずれの摺動面でも掌屈が低下していた(図5)。

回内・外運動, すなわちZ軸周囲の回旋角度 γ は、半楕円では 20° 以上であったが、卵円形で $1\sim 2^\circ$ とわずかであった。半楕円形では過大な回旋運動が起こっていたのに対して、卵円形

図3 magnetic tracking deviceを用いた運動解析

角度 α : XY平面上の運動方向

角度 β : 掌背屈度

角度 γ : XY面の回旋角度

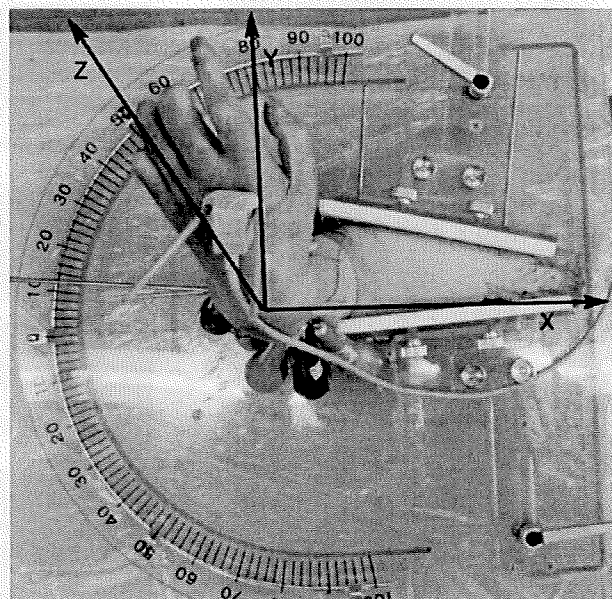
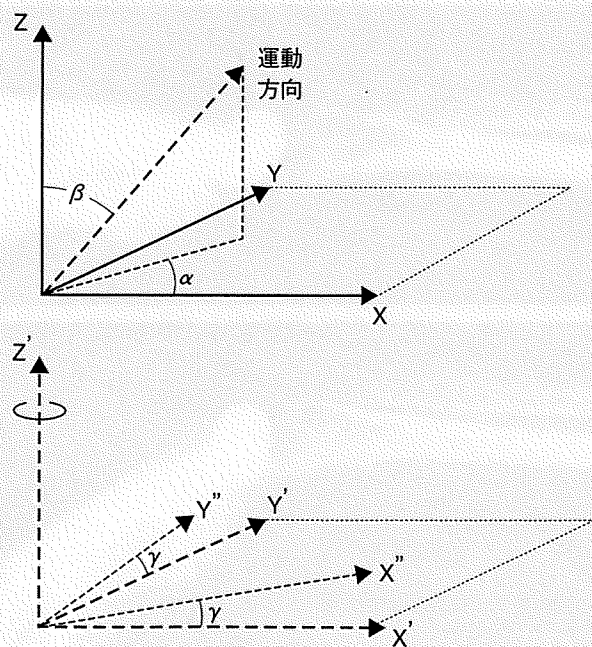
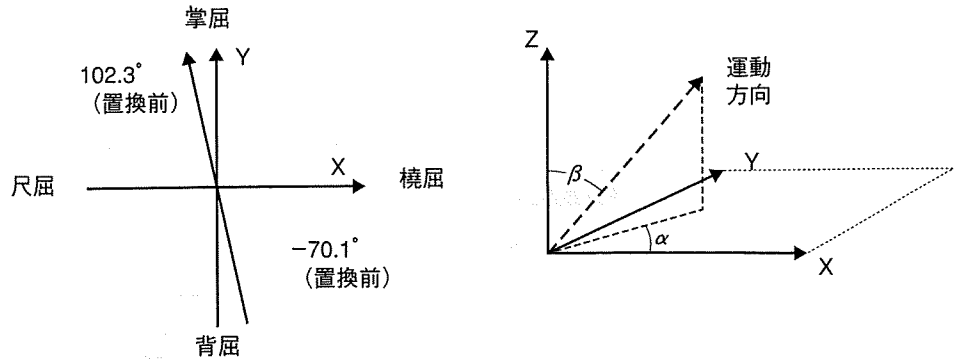
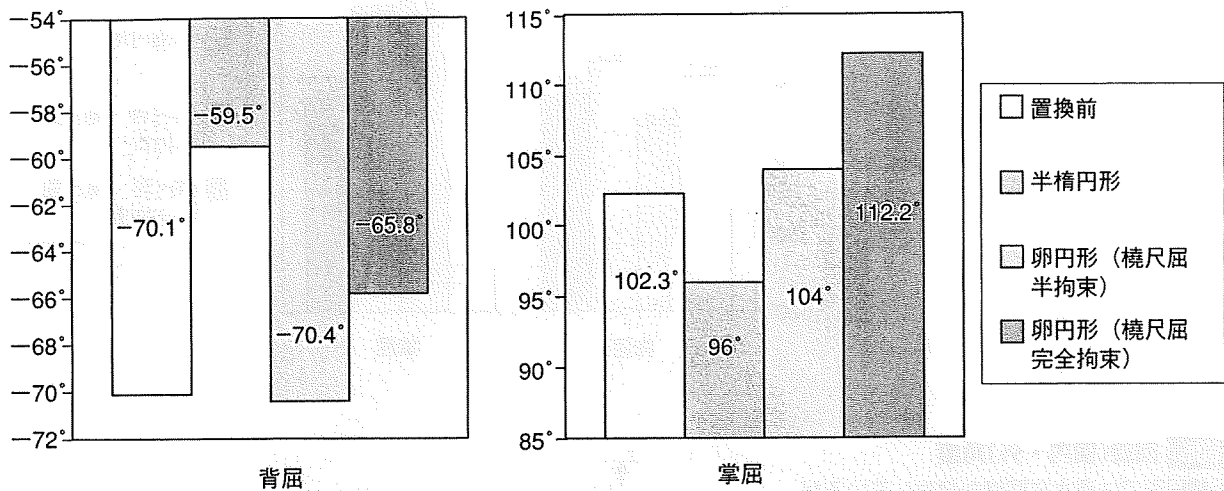


図4 XY面上での運動方向

卵円形(橈尺屈半拘束型)で最も正常と近似したdart throw motionが得られている。



角度 α (運動方向)



では回旋運動はほとんど起こらず安定していた(図6)。

考察とまとめ

手関節は橈骨手根関節, 手根中央関節の2関節を有し, 掌背屈, 橈尺屈さらに回内外の複雑な運動様式をもつため, 1関節の人工関節で置換することに矛盾と困難が生じる。正常手関節の運動解析では, 近位手根列は介在部分 intercalated segment であり, 遠位手根列の運動に誘導されること, 手関節の回転中心は有頭骨頭にあること, 生理的運動である dart throw motion は手根中央関節が主であることから, 人工手関節では手根中央関節の置換をめざすことが理論的であると考え。

今回いずれの摺動面でも dart throw motion が

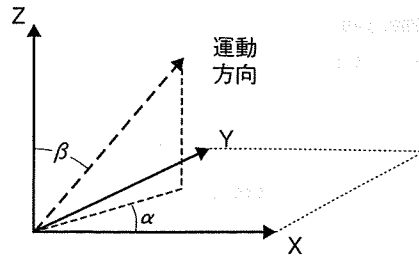
得られていたが, 橈骨手根関節をシミュレーションした半楕円形では回旋不安定性を認めたのに対して, 手根中央関節をシミュレーションした卵円形では安定しており, とくに橈尺屈半拘束型では置換前に近似した dart throw motion が得られていた。

著者らが考案した新たな人工手関節は, 生理的な dart throw motion の再現により, 理想的な人工手関節となる可能性が示唆され, 臨床応用に期待できると考える。

厚生労働省の外郭団体であるPMDAでの審査を終了後, さらに北海道大学でのIRBも通過し, 現在医師主導型治験として臨床応用を予定しているところである(本研究の大部分は厚生労働省科学研究「関節リウマチに対する上肢人工関節開発研究」によるものである)。

図5 掌背屈角度

掌屈角度は低下するが背屈は維持されている。



角度 β
(掌背屈角度)

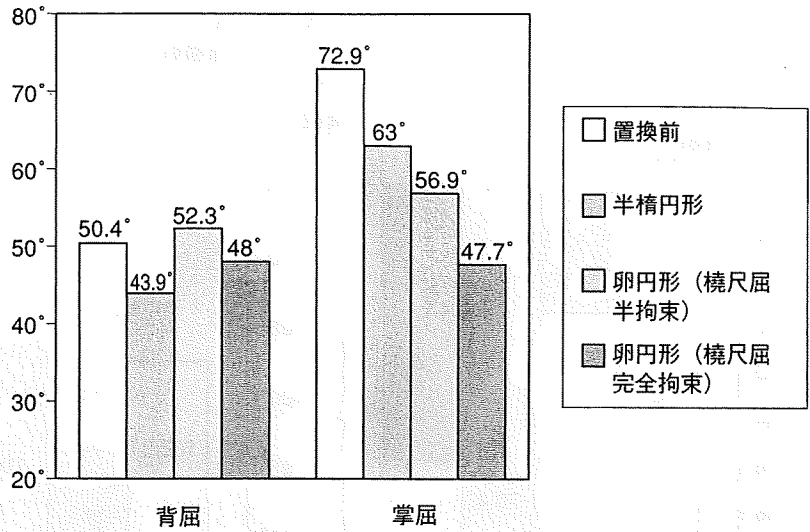
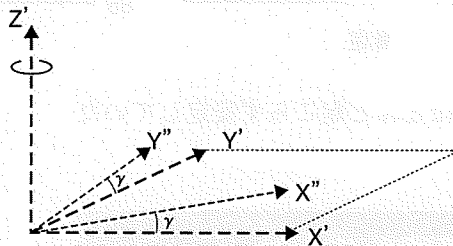
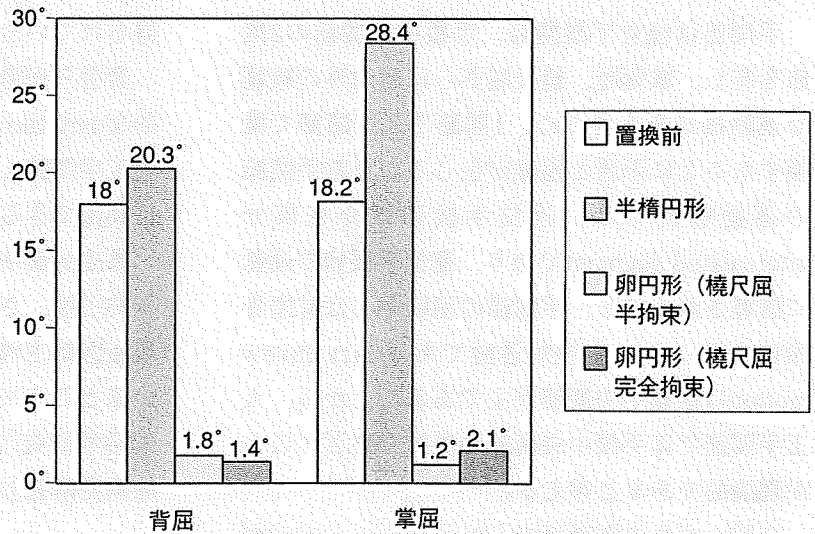


図6 回旋(回内・外)角度

半橢円形では過大な回旋が発生しているが卵円形では1~2°で安定している。



角度 γ
(回旋角度)



文献

- 1) Swanson AB : Flexible implant arthroplasty for arthritic disabilities of the radiocarpal joint. *Orthop Clin North Am*, 4 : 383-394, 1973.
- 2) 石川淳一, 三浪明男 : RA上肢の手術 最近の動向 : RA手関節の手術. *整・災外*, 47 : 733-740, 2004.
- 3) Meuli HC, Fernandez DL : Uncemented total wrist arthroplasty. *J Hand Surg*, 20-A : 115-122, 1995.
- 4) Volz RG : The development of a total wrist arthroplasty. *Clin Orthop*, 116 : 209-214, 1976.
- 5) Figgie MP, Ranawat CS, Inglis AE, et al : Trispherical total wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis. *J Hand Surg*, 15-A : 217-223, 1990.
- 6) Cobb TK, Beckenbaugh RD : Biaxial total-wrist arthroplasty. *J Hand Surg*, 21-A : 1011-1021, 1996.
- 7) Menon J : Universal total wrist implant : experience with a carpal component fixed with three screws. *J Arthroplasty*, 13 : 515-523, 1988.
- 8) Rahimtoola ZO, Rozing PM : Preliminary results of total wrist arthroplasty using RWS prosthesis. *J Hand Surg*, 28-B : 54-60, 2003.
- 9) Fourastier J, Le Breton L, Alnot Y, et al : Guepar's total radio-carpal prosthesis in the surgery of the rheumatoid wrist. Apropos of 72 cases reviewed. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 82 : 1008-1015, 1996.
- 10) Ishikawa J, Cooney WP, Niebur GL, et al : The effects of wrist distraction on carpal kinematics. *J Hand Surg*, 24-A : 113-120, 1999.
- 11) Moritomo H, Murase T, Goto A, et al : *In vivo* three-dimensional kinematics of the midcarpal joint of the wrist. *J Bone Joint Surg*, 88-A : 611-621, 2006.

関節リウマチ肘の屈曲伸展運動における肘周囲筋の筋放電積分値の解析

中村 順之¹ 木村 貞治² 畑 幸彦³

内山 茂晴¹ 加藤 博之¹

¹信州大学整形外科

²信州大学医学部保健学科

³信州大学医学部附属病院リハビリテーション部

Amplitude of the Integrated Electromyograms for Elbow Flexor and Extensor Muscles during Elbow Flexion-Extension Motion in Patients with Rheumatoid Arthritis

Yoshiyuki Nakamura¹ Teiji Kimura² Yukihiko Hata³

Shigeharu Uchiyama¹ Hiroyuki Kato¹

¹Department of Orthopaedic Surgery, Shinshu University School of Medicine

²Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Shinshu University

³Department of Rehabilitation Medicine, Shinshu University School of Medicine

The purpose of this study was to investigate the role of muscular activity in performing the elbow flexion-extension motion in patients with rheumatoid arthritis (RA). We measured %I-EMG (% integrated electromyography) from the biceps brachii (BB), brachioradialis (BR), medial head of triceps brachii (TM), and lateral head of triceps brachii (TL) muscles during elbow extension-flexion motion in 14 normal subjects and 13 RA patients with elbow lesion Larsen grade IV. In addition, 6 RA patients were measured before and after total elbow arthroplasty (TEA). In the RA patients %I-EMG of BB, BR, TR, and TL were significantly greater than those in normal subjects during elbow extension motion as well as elbow flexion motion. In the TEA patients, no significant difference was detected in their %I-EMG among the four muscles before and after TEA.

【緒言】

肘関節の運動特性は、関節可動域と不安定性で表されてきた。しかし関節リウマチ (RA) 肘あるいは人工肘関節置換術 (Total Elbow Arthroplasty: TEA) 後の状態を評価するには、これらの指標では不十分である。肘関節の運動特性を定量的に、かつ生体力学的に解析する手法を確立することが、TEA 開発には必須である。著者らは RA 患者の肘関節屈曲・伸展運動時における内反・外反方向の加速度計測を行い既に報告した¹⁾。今回は RA 肘の屈曲・伸展運動時における筋活動特性を表面筋電信号を用いて定量的に解析した。

【対象および方法】

肘関節に愁訴、外傷の既往が無く、徒手的に肘関節の不安定性が無いボランティア女性 14 例の右肘 14 肘 (年齢: 50~74 歳, 平均 59.9 歳) を対照群とした。RA 群は、13 例 13 肘で年齢は 55~75 (平均 63.6) 歳であった。Larsen 分類は全肘が Grade IV であった。左右別は右 11 肘, 左 2 肘であった。TEA 施行群は 6 肘 (年齢: 56~69 歳, 平均 63.8 歳, 術後経過観察期間: 4~20 ヶ月, 平均 9.8 ヶ月) であった。本研究の実施に際しては

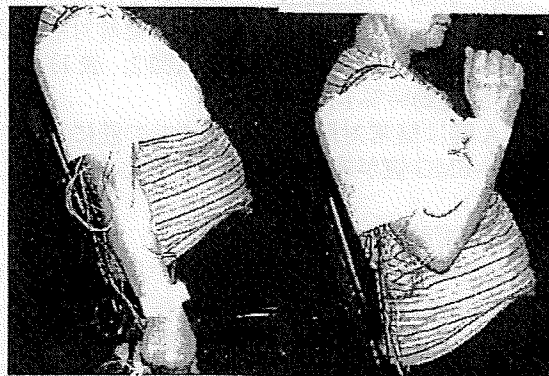


図1 %I-EMG測定 a:肘伸展, b:肘屈曲運動

本学医学部の臨床研究に関する倫理審査委員会の承認を得た。

測定においては被検者を背もたれ付きの椅子に座らせ、上腕をバスタバンドで固定した。運動課題は電子メトロノームの音声信号と LED の光にあわせた前腕回内外中間位での肘関節の自動的屈曲伸展運動とし屈曲運動に 1 秒間、伸展運動に 1 秒間とした (図 1 a, b)。

表面筋電図の計測は Biceps brachii (BB), Brachioradialis (BR), medial head of Triceps brachii (TM), lateral head of Triceps brachii (TL)

Key words : total elbow arthroplasty (人工肘関節置換術), electromyogram (筋電図), rheumatoid arthritis (関節リウマチ)

Address for reprints : Yoshiyuki Nakamura, Department of Orthopaedic Surgery, Shinshu University School of Medicine, 3-1-1 Asahi, Matsumoto, Nagano, 390-8621 Japan