수근관증후군 : 자기공명영상과 신경전도검사의 상관 관계

서울특별시립 보라매병원 신경과, 신경외과, 진단방사선과†, 서울대학교 의과대학 신경과학교실‡*

박성호 · 남현우 · 최원준 · 양희진* · 정혜원† · 김삼수† · 이상형* · 이용석 · 송치성† · 정영섭* · 이광우‡

Carpal Tunnel Syndrome : Correlation between Magnetic Resonance Imaging and Nerve Conduction Study

Seong-Ho Park, M.D., Hyunwoo Nam, M.D., Won-Joon Choi, M.D., Hee Jin Yang, M.D.*, Hye Won Chung, M.D.†, Sam Soo Kim, M.D.†, Sang Hyung Lee, M.D.*, Yong-Seok Lee, M.D., Chi Sung Song, M.D.†, Young Seob Chung, M.D.*, Kwang-Woo Lee, M.D.‡,

Departments of Neurology, Neurosurgery*, and Diagnositic Radiology†,
Municipal Boramae Hospital, and Department of Neurology‡,
Seoul National University College of Medicine

- Abstract -

Purpose : Carpal tunnel syndrome (CTS) is a disorder of median nerve at wrist. It is usually diagnosed through clinical manifestation and nerve conduction study (NCS). However, sometimes, NCS does not provide a reliable evidence to reach the diagnosis. Thus, authors performed this study to determine whether NCS was correlated with specific parameters measured on magnetic resonance imaging (MRI) which might become a potential complemental diagnostic tool. **Methods** : We performed MRI in 34 wrists of 18 patients with clinical manifestations of CTS and pathologic nerve conduction values and analyzed them at levels of the distal radioulnar joint, pisiform and hook of hamate, **Results** : Increase in the cross-sectional area of the median nerve at the pisiform level and flattening, increased signal intensity, and contrast enhancement of the median nerve at levels of the pisiform and hook of hamate were statistically significant. Change in cross sectional areas between the distal radioulnar joint and hamate and the signal intensities at levels of pisiform and hamate were well correlated with the median nerve conduction velocity. **Conclusions** : Characteristic MRI findings in CTS reported previously were well demonstrated and some of MRI parameters are well correlated with nerve conduction study. MRI, despite cost, may help in evaluating CTS.

Key Words : Carpal tunnel syndrome, Magnetic resonance imaging, Nerve conduction study

서 론

수근관증후군은 수근관 내의 정중신경이 압박됨으로써 손가락 저림과 무감각, 손목의 통증, 야간 및 운동시 증상의 악화, 근력약화 등의 임상 증상과 감각저하, Tinel sign, Phalen sign, 근위축 등의 징후를 보이며 신경전도검사상 특징적인 정중신경의 이상을 보이는 질환으로서 상지에서 가장 흔한 압박신경병증이다[1-3]. 수근관증후군에서 손목 자기공명영상술은 병태생리기전의 이해를 위해 시도되었으며, 자기공명영상술의 기술적

교신저자 : 이 상 형
서울특별시 동작구 신대방 2동 395
서울특별시립 보라매병원 신경외과
TEL) 02 - 840 - 2481, FAX) 02 - 831 - 0714, e - mail) nslee@brm.co.kr

* 이 논문은 1998년도 보라매병원 공동임상연구비의 보조로 이루어졌음.

발전과 함께 수근관증후군의 특징적인 영상 소견들이 발견됨으로써 진단적 도구로서 가능성을 인정받고 있다. 특히 임상적으로 수근관증후군이 의심되지만, 신경전도검사에서 이상 소견이 보이지 않는 경우, 수근관증후군의 이차적 원인이 강력히 의심되는 경우, 그리고 수술적 치료 후의 추적 검사가 필요한 경우에 진단적 유용성이 있을 것으로 제시되었다[4-8].

이에 저자들은 수근관증후군 환자의 손목 자기공명영상 소견을 관찰하고 이 소견과 신경전도검사 소견과의 상관 관계를 분석하였다. 이 연구를 통하여 수근관증후군 환자에서 자기공명영상이 갖는 진단적 가치를 분석하였다.

대상과 방법

1. 대상

서울특별시립 보라매병원 신경과 외래를 방문한 환자 중 수근관증후군의 특징적인 임상 증상과 징후를 가진 연속적인 환자 18명(남자; 1, 여자; 17)의 35손목(우측: 17, 좌측: 18)에 대해 손목 자기공명영상술을 시행하였다. 양측 손목 증상이 있는 환자 16명과 일측 손목 증상이 있는 1명에 대해서는 양측 손목에 대해 자기공명영상술을 시행하였고 또 1명의 일측 증상 환자는 증상이 있는 쪽만 자기공명영상술을 시행하였다. 분석은 증상이 있는 34손목에 대해서만 시행하였다. 모든 환자에서 양측 정중신경에 대한 신경전도검사를 하였다. 환자의 연령은 37세에서 62세까지 평균 52세였고, 평균 유병 기간은 1개월에서 20년까지 평균 48.3개월이었다.

2. 방법

1) 손목 자기공명영상

1.0 Tesla (Siemens Medical System, Erlangen, Germany) 자기공명영상기기를 이용하여, 원위 요척골관절(radiao-ulnar joint)부터 중수지골 기저부(metacarpal base)까지 T1-강조영상, T2-강조영상 그리고 조영증강 지방억제(fat-suppression) T1-강조영상 사진을 얻었으며 T1-강조영상은 560 msec와 15 msec, T2-강조영상은 4000 msec와 96 msec, 조영증강 지방억제 T1-강조영상은 660 msec와 15 msec로 반복시간 및 에코시간을 각각 설정하였다. 영상의 절편 두께는 3 mm, 절편간 간격은 0.6 mm, 화소수는 144×256으로 하였다. 조영제는 omniscan (Gadolinium pentotate) 0.1 mmole/kg를 정맥주사하였다.

2) 정중신경의 영상 분석

영상 분석의 지표로서, 정중신경이 수근관으로 들어가기 전의 기준점으로 원위 요척골관절 수준, 수근관의 근위부로서 두상골(pisiform) 수준, 그리고 수근관의 원위부로서 유구골(hamate)의 고리(hook) 수준의 세 위치를 정하였다. 이 세 위치에서 정중신경의 단면적, 편평도(flattening ratio), T2-강조영상에서의 신호강도, 그리고 조영증강 정도를 평가하였다.

정중신경의 단면적은 각 위치에서 최대 가로길이와 최대 세로길이를 곱한 뒤 여기에 $\pi/4$를 곱하여 계산하였으며, 편평도(flattening ratio)는 각 수준에서 최대 가로길이를 최대 세로길이로 나눈 값으로 계산하였다[22]. 정중신경의 신호강도는 grade 1에서 grade 4까지로 구분하였으며, T2-강조영상에서 근육과 같은 정도의 신호강도를 보인 경우를 grade 1으로, 지방과 같은 정도의 신호강도를 보인 경우를 grade 4로 하였고 그 중간 단계의 신호강도를 grade 2와 grade 3으로 구분하였다.

정중신경의 조영증강 정도는 조영증강이 되지 않은 경우를 grade 0으로, 경한(mild) 조영증강을 보인 경우를 grade 1으로 강한(marked) 조영증강을 보인 경우를 grade 2로 하였다.

이상의 정중신경의 지표에 대한 자기공명영상 사진의 분석은 임상 증상을 모르는 2명 이상의 방사선과 의사의 합의에 의해 결정하였다.

3) 신경전도검사

Excel V (Cadwell, Kennewick, USA)기기를 사용하여 순향적 방법(orthodromic technique)으로 신경전도검사를 하였다. 척골신경과 근위 정중신경의 운동 및 감각신경전도검사 결과가 정상이면서 정중운동신경의 손목 부위 자극시 말단잠복기가 3.6 msec 초과, 또는 정중 감각신경의 손가락-손목 구간의 신경전도속도가 41.3 m/sec 미만, 또는 손바닥-손목 구간의 신경 전도 속도가 34.1 m/sec 미만인 경우 수근관증후군에 부합하는 전기생리학적 이상 소견으로 판단하였다. 운동 및 감각 신경전도검사 결과 중 전위가 형성되지 않는 경우에는 해당 말단잠복기에 전체 말단잠복기 변수 중 최고 순위 변수가 될 수 있는 10을, 해당 신경 전도 속도에는 전체 신경 전도 속도 변수 중 최저 순위 변수가 될 수 있는 0을 배정하였다.

4) 통계 분석

원위 요척골관절, 수근관 근위부, 원위부에서 정중신경 단면적, 편평도, 신호강도, 조영증강의 정도를 비교

하였다. 이 세 위치에서 정중신경의 영상 소견과 운동신경의 말단잠복기, 감각신경 전도 속도와의 상관 관계를 조사하였다. 통계 분석은 paired t-test, Chi-square test, one-way ANOVA방법을 이용하였다.

결 과

1. 신경전도검사 결과

증상이 있는 모든 손목에서 신경전도검사상 이상을 보였다. 이중 손가락-손목 구간의 감각신경 활동 전위가 형성되지 않은 경우가 20예, 손바닥-손목 구간의 감각신경 활동 전위가 형성되지 않은 경우가 15예, 운동신경의 말단에서 복합 근육 활동 전위가 형성되지 않은 경우가 7예였다.

2. 정중신경 자기공명영상 소견

두상골 수준의 정중신경 단면적은 원위 요척골관절 수준의 정중신경 단면적보다 통계적으로 유의하게 컸지만 유구골 수준의 정중신경 단면적은 원위 요척골관절 수준의 정중신경 단면적과 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1). 두상골과 유구골 수준의 정중신경 편평도는 원위 요척골관절 수준의 편평도보다 통계적으로 유의하게 컸다(Table 1). 두상골과 유구골 수준의 정중신경 신호강도 및 조영증강의 정도는 원위 요척골관절 수준의 신호강도보다 증가되어 있었다($p<0.001$).

3. 자기공명영상 소견과 신경전도검사 소견의 상관 관계

신경전도검사 결과 중 파형이 나오지 않는 예에서 임의로 최대 혹은 최소 수치를 부여하여 이를 단순히 산술적으로 비교할 수 없었다. 따라서 이 검사 결과를 세개의 집단으로 나누었다(Table 2). 이를 이용해서 손목부위 세 위치에서 정중신경의 단면적 및 그 변화와 신경전도검사와의 연관성을 조사하였을 때 손가락-손목 구간 신경 전도 속도와 유구골 위치 정중신경 단면적에서 요척골 정중신경 단면적을 뺀 값은 통계적으로 유의한 연관성이 있었다. 손가락-손목 구간 신경 전도 속도가 30 m/sec 이상인 집단에서 정중신경 단면적이 유구골 위치에서 요척골 위치에 비해 증가하였고 30 m/sec 미만인 집단에서는 감소하였다. 파형이 형성되지 않는 집단에서는 오히려 단면적이 증가하였다. 이러한 변화는 모두 통계학적인 유의성이 있었다. 신호강도를 조사했을 때 30 m/sec 이상인 집단과 30 m/sec 미만인 집단은 차이가 없었으나 30 m/sec 이상인 집단과 파형이 형성되지 않는 집단은 신호강도의 차이가 있었는데 후자에서 고신호강도를 보이는 예가 통계적으로 유의하게 많았다. 손바닥-손목구간 신경 전도 속도와 요척골 정중신경 단면적과도 유의한 연관성이 있었다(Table 3).

정중신경의 편평도와 신경전도검사 결과는 통계적으로 유의한 연관 관계가 없었다(Table 4). 두상골, 유두골 위치에서 정중신경의 T2-강조영상 신호강도는 손가락-손목 구간 신경 전도 속도 및 손바닥-손목구간 신경 전도 속도와 통계적으로 유의한 연관 관계가 있었다. 조영증강 소견은 신경전도검사와 연관 관계가 없었다(Table 5).

고 찰

본 연구에는 양측성 증상을 가진 환자가 많고 신경전도검사에서 전위 형성이 되지 않는 예가 많아서 다른 연구나 실제 임상에서보다 상대적으로 증상이 심한 환자

Table 1. *MRI parameters (area, flattening ratio) of median nerve at levels of distal radioulnar joint, pisiform, and hook of hamate, respectively.*

	Mean	N	SD	p value
Area at RU (mm^2)	9.70	34	4.10	NA
Area at P (mm^2)	13.80	34	3.73	<0.001
Area at H (mm^2)	11.10	34	3.95	0.21
FR at RU	1.83	34	0.51	NA
FR at P	2.62	34	0.89	<0.001
FR at H	2.46	34	0.85	0.001

NA ; not avaialble
Area calculation-See text.
N; number, SD ; standard deviation, RU ; at distal radioulnar joint, P ; at pisiform, H ; at hook of hamate, FR ; flattening ratio

Table 2. *Grading of Nerve Conduction Study.*

Grade	Terminal latency		Finger-wrist sensory NCV		Palm-wrist sensory NCV	
	Criteria	N	Criteria	N	Criteria	N
0	normal latency (<3.6 msec)	4	mildly abnormal (>30 m/sec)	9	mildly abnormal (>30 m/sec)	8
1	Abnormal (>3.6 msec)	23	severely abnormal (<30 m/sec)	5	severely abnormal (<30 m/sec)	14
2	no potential	7	no potential	20	no potential	12

NCV ; nerve conduction velocity, N ; number

Table 3. *Correlation between MRI parameters (area and area difference) and nerve conduction study(motor terminal latency and sensory nerve conduction velocities) (One-way ANOVA)*

p value	Area RU	Area P	Area H	Area P - Area RU	Area H - Area RU
Motor TL (msec)	0.13	0.20	0.37	0.78	0.27
Sensory NCV f-w (m/sec)	0.007*	0.13	0.098	0.82	0.002*
Sensory NCV p-w (m/sec)	0.027*	0.27	0.65	0.23	0.059*

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).
RU ; at distal radioulnar joint, P ; at pisiform, H ; at hook of hamate, TL ; terminal latency, f-w: finger-wrist, p-w ; palm-wrist, NCV ; nerve conduction velocity

Table 4. *Correlation between MRI parameters (flattening ratio and change in flattening ratio) and nerve conduction study(motor terminal latency and sensory nerve conduction velocities) (One-way ANOVA)*

p value	FR at RU	FR at P	FR at H	FR at P/FR at RU	FR at H/FR at RU
Motor TL (msec)	0.67	0.90	0.23	0.81	0.43
Sensory NCV f-w (m/sec)	0.58	0.83	0.077	0.43	0.68
Sensory NCV p-w (m/sec)	0.51	0.90	0.91	0.99	0.79

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).
FR ; flattening ratio, RU ; distal radioulnar joint, P ; pisiform, H ; hook of hamate, TL ; terminal latency, f-w ; finger-wrist, p-w ; palm-wrist, NCV ; nerve conduction velocity

Table 5. *Correlation between MRI parameters (signal intensity and contrast enhancement) and nerve conduction study*

P value	Signal Intensity at T2WI by Location			Contrast Enhancement by Location		
	Radioulnar	Pisiform	Hamate	Radioulnar	Pisiform	Hamate
Motor TL (msec)	0.56	0.21	0.48	0.88	0.36	0.16
Sensory NCV f-w (m/sec)	0.17	0.023*	0.042*	0.43	0.19	0.30
Sensory NCV p-w (m/sec)	0.57	0.018*	0.034*	0.88	0.11	0.61

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).
TL ; terminal latency, f-w ; finger-wrist, p-w ;: palm-wrist, NCV ; nerve conduction velocity

가 많이 포함된 것으로 생각된다[9].

본 연구에서 수근관증후군의 자기공명영상 소견이 신경전도검사 소견과 통계적으로 의미 있는 상관 관계가 있음을 알 수 있었다. 선행한 다수의 연구들은 두 소견의 상관 관계에 대해서 통계적으로 의미 있는 결과를 제시하지 못했으며 일반적으로 이 두 소견은 서로 상관 관계가 없는 것으로 받아들여지고 있다[8,10,11]. 이러한 선행 연구들에서의 상관 관계 분석은 신경전도검사 소견 중에서 전위 형성이 관찰되지 않은 경우, 즉 신경 전도가 전혀 이뤄지지 않은 경우를 제외하고 시행되었다. 그러나 실제 수근관증후군 환자의 신경전도검사 소견에서 전위 형성이 관찰되지 않는 경우도 존재하므로, 이 경우를 포함하지 않은 상관 관계의 분석 결과는 한계점을 가진다. 이에 저자들은 전위 형성이 관찰되지 않은 경우를 포함한 전체 신경전도검사 소견의 상관 관계 분석을 위해 이 경우의 말단 잠복기에는 순위 척도로서 최고 순위의 변수를 그리고 신경 전도 속도에는 순위 척도로서 최저 순위의 변수를 배정하고 이를 등급으로 나누어 분석함으로써 통계적으로 의미 있는 상관 관계를 제시할 수 있었다.

손가락-손목 감각신경 전도 속도와 정중신경 단면적의 변화를 비교하였을 때 신경 전도 속도가 높은 집단은 낮은 집단에 비해 정중신경 단면적이 더 큰 것을 알 수 있었다. 파형 형성이 되지 않는 경우 신경 단면적이 다시 증가하지만 이는 신경의 부종에 의한 것임을 신호강도를 비교한 결과를 통해 알 수 있었다. 이는 기존의 문헌[12-14]에서 유구골 위치에서 정중신경 단면적이 늘어나는가 줄어드는가에 대해 서로 상이한 결과가 보고된 이유를 설명하는 것으로 생각된다.

수근관증후군에서 자기공명영상의 특징적 소견으로서, 정중신경의 두상골 수준에서 단면적 증가, 신호강도 증가, 조영증강, 유구골 위치에서 단면적 감소, 편평도 증가, 굴곡도(bowing) 증가, 신호강도 증가, 조영증강, 그리고 심부인대지방(deep tendon fat)의 감소, 굴곡근 건활막염(flexor tenosynovitis) 등이 현재까지 제시되었으나[2,12,15-17] 이상의 영상 소견이 수근관증후군에 대해서 특이적인지 여부는 결론지어지지 않았다[9,18,19].

저자들은 수근관증후군 환자를 대상으로 수근관내 진입 이전과 이후의 정중신경 영상 소견을 비교함으로써 자기공명영상의 진단적 가치에 대한 평가를 시행하였으

며, 그 결과로 정중신경의 두상골 및 유구골 위치에서의 편평도 증가, 신호강도 증가, 조영증강, 그리고 두상골 위치에서의 단면적 증가가 진단적 가치가 있음을 제시하였다. 그리고 두상골, 유구골 위치에서의 정중신경 신호강도 증가는 감각신경 전도 속도와 유의한 상관 관계가 있음을 제시하였다. 요척골 위치를 기준으로 하였을 때 유구골 위치에서의 정중신경 단면적 변화는 감각신경 전도 속도와 유의한 상관 관계가 있었다. 특히 감각신경의 파형이 형성되는 정도의 수근관증후군에서는 신경 단면적이 감소할수록 신경전도속도가 감소하지만 파형이 형성되지 않을 정도로 수근관증후군이 심해지면 오히려 신경 단면적이 증가하고 그 이유가 신경의 부종 때문이라는 사실은 이전에 보고된 바 없다.

수근관증후군에서 자기공명영상은 고비용이 요구된다는 점과 영상 소견이 보고자에 따라 차이가 있어서 최초 진단도구로서는 한계를 가지고 있으나, 다음의 경우 진단에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

첫째, 임상 증상 및 전기생리학적검사만으로 수근관증후군의 진단이 불확실한 경우 확진에 도움을 줄 수 있다. 임상적으로 수근관증후군으로 진단받은 환자의 5~10%에서 신경전도검사가 정상일 수 있으며, 임상적으로 일측 수근관증후군으로 진단받은 환자에서 증상이 없는 반대측 손목의 비정상 신경전도검사 결과가 50%까지 관찰되었고, 수근관증후군의 임상 증상이 없는 환자의 20%에서 비정상 신경전도검사 결과가 관찰됨이 보고되었다[20,21]. 그러므로 임상 진단과 전기생리학적 진단이 일치되지 않을 경우 확진을 위해 손목 자기공명영상이 적응될 수 있다. 본 연구에서는 거의 모든 환자가 양측 수근관 증상을 호소하였고 신경전도검사상에서도 수근관증후군에 합당한 소견이 나와서 위와 같은 결론을 도출할 수는 없었다. 그러나 자기공명영상 소견이 신경전도검사를 반영한다는 결과를 얻었으므로 임상 증상과 신경전도검사 소견이 상이할 경우 진단에 도움이 될 것으로 생각된다. 향후 이러한 환자들을 대상으로 하여 추가적인 연구를 할 필요가 있다.

둘째, 이차적 원인에 의한 수근관증후군 진단에 도움을 줄 수 있다. 수근관증후군의 이차적 원인으로 골절, 탈구, 비정상 근육 등의 근골격계 병변과 국소 연부조직 종양, 과형성 활막(hypertrophic synovium), 혈종 등의 비정상 공간점령성 병변이 있으며, 이러한 이차적 원인이 강하게 의심될 경우 손목 자기공명영상이 적응될 수 있다[14]. 본 연구 과정에서 활막염이 발견된 경우가 한 예 있었고 증상과는 상관없는 결절종이 발견된 예도 하나 있었다.

셋째, 수술 이후 지속되는 임상 증상의 원인을 감별 진단하기 위한 추적 검사로서 유용하다.

향후 연구에서는 수근관 수술을 받은 수근관증후군 환자군에서 수술 전후 각각 시행한 자기공명영상 소견을 비교함으로써, 수술 후에도 지속되는 임상 증상과 연관된 영상 소견, 수술 후 임상적 호전과 연관된 영상 소견의 변화, 또 수술후 예후와 연관된 수술전 자기공명영상 소견 등을 분석하는 것이 수근관증후군의 병태생리 기전 이해를 돕고, 보다 효과적인 치료방침을 결정하며, 정확한 예후를 판정하는 데 도움을 줄 것으로 판단된다.

결론적으로, 자기공명영상상 정중신경의 두상골 및 유구골 위치에서의 편평도 증가, 신호강도 증가, 조영증강, 그리고 두상골 위치에서의 단면적 증가가 수근관증후군에서 진단적 가치가 있으며 MRI상 단면적과 신호강도는 신경전도속도와 상관 관계가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Seo DW, Lee BS, Jeon BS, Oh HJ, Na DR, Park SH, et al.. Clinical studies on carpal tunnel syndrome. *JKNA* 1994; 12(1):80-86.
2. Dawson DM. Entrapment neuropathies of the upper extremities. *NEJM* 1993;329:2013-2018.
3. Stevens JC, Sun S, Beard CM, O'Fallon WM, Kurland LT. Carpal tunnel syndrome in Rochester, Minnesota, 1961 to 1980. *Neurology* 1988; 38:134-138.
4. Weiss KL, Beltran J, Shamam OM, Still RF, Levey M. High-field MR surface-coil imaging of the hand and wrist. Part I. Normal anatomy. *Radiology* 1986;160:143-146.
5. Jacob Z, Martin S, Nabil A, Ebraheim W, Thomas J. Anatomic relations between the median nerve and flexor tendons in the carpal tunnel: MR evaluation in normal volunteers. *AJR* 1989;153:533-536.
6. Martin S, Jacob Z, Nabil A, Ebraheim W, Thomas J. Carpal tunnel changes and median nerve compression during wrist flexion and extension seen by magnetic resonance imaging. *J Hand Surg* 1990;15A:934-939.
7. Yushioka S, Okuda Y, Tamai K, Hirasawa Y, Koda Y. Changes in carpal tunnel shape during wrist joint motion: MRI evaluation of normal volunteers. *J Hand Surg* 1993;18B:620-623.
8. Claude PJ, Svein IB, Svein IM, Rolf N. Quantitative MRI and electrophysiology of preoperative carpal tunnel syndrome in a female population. *Scand J Plast Reconstr Hand Surg* 1997; 40(6):642-649.
9. Seyfert S, Boegner F, Hamm B, Kleindienst A, Klatt C. The value of magnetic resonance in carpal tunnel syndrome. *J Neurol* 1994;242:41-46.
10. Krista M, Guangping D, Ansel C, Robert SB, Richard ES. Quantitative MR imaging of carpal tunnel syndrome. *AJR* 1999;172:1581-1586.
11. Bak L, Bak S, Gaster P, Mathiesen F, Ellemann K, Bertheussen K, et al.. MR imaging of the wrist in carpal tunnel syndrome. *Acta Radiologica* 1997;38:1050-1052.
12. Mesgarzadeh M, Schneck CD, Bonakdarpour A. Carpal tunn-

nel: MR imaging. II. Carpal tunnel syndrome. *Radiology* 1989;171:749-754.
13. Sugimoto H., Miyaji N., Ohsawa T. Carpal tunnel syndrome: Evaluation of median nerve circulation with dynamic contrast-enhanced MR imaging. *Radiology* 1994;190:459-466.
14. Wolfgang B. Radiologic imaging of the carpal tunnel. *Euro J Radiol* 1997;25:112-117.
15. Murphy RX Jr., Chernofsky MA, Osborne MA, Wolson AH. Magnetic resonance imaging in the evaluation of persistent carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg[Am]* 1993;18:113-120.
16. Dalinka MK, Meyer S, Kricun ME, Vanel D. Magnetic resonance imaging of the wrist. *Hand Clin* 1991;7:87-98.
17. Healy C, Watson JD, Longstaff A, Campbell MJ. Magnetic resonance imaging of the carpal tunnel. *J Hand Surg* 1990; 15:243-248,
18. Richard BR. The role of imaging in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Invest Radiol* 1993;28(11):1059-1062.
19. Daniel MR, Mark ES, John T. Carpal tunnel syndrome: Are the MR findings a result of population selection bias? *AJR* 1997;169:1649-1653.
20. Grundberg AB. Carpal tunnel decompression in spite of normal electromyography. *J Hand Surg* 1983; 8:348-349.
21. Phalen GS. Reflections on 21 years' experience with the carpal tunnel syndrome. *JAMA* 1970;212:1365-1368.