

견관절의 관절 기계적수용기

대구대학교 재활과학대학원 물리치료전공

권 오 현

영남대학교의료원 재활의학과

육 군 창

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

배 성 수

Joint mechanoreceptors of shoulder

Kweon, Oh-Hyun, T.C.M.D., P.T., M.S.

Major in Physical Therapy, Graduate School of Rehabilitation Science, Taegu University

Yuk, Goon-Chang, P.T.

Department of Rehabilitation Medicine, Yeungnam University

bae, sung-soo, P.T., Ph.D.

Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University

<Abstracts>

Proprioception can be defined as a specialized variation of touch that encompasses the sensation of joint movement(kinesthesia) and joint position(static joint position sense). Several types of joint and muscular mechanoreceptors provide proprioceptive information for joint stability. Joint mechanoreceptors have been classified into four types based of activation characteristics : Ruffini endings, Pacinian corpuscles, Golgi tendon organlike endings, free nerve endings. The paper review the morphology, distrubution, function of mechanoreceptors in shoulder joint.

I. 서론

견관절은 신체의 다른 관절들에 비해 큰 관절범위와 자유도를 지니고 있으며, 이상적인 기능을 수행하거나 유지하기 위해서는 가동성과 안정성간의 균형이 필요하다. 이러한 견갑상완 관절의 안정성을 위해서 정적 동적 요소들의 복잡한 상호작용들이 관여한다(이진희와 김진상, 2000; Griffin, 2003; Lephart, 2000; McMahan, 2002; Mylers, 2002). 관절낭인대 조직들은 관절의 역학적 안정성을 제공하고, 신경근 조직들은 동적인 안정성을 제공해준다. 또한 관절낭인대 조직은 역동적 견관절 안정에 필요한 감각신경적 정보를 제공한다(Carpenter 등, 1998; Diederichsen 등, 2002).

체성감각계는 다른 신체분절이나 지지면상에서 신체 분절이 어떻게 놓여있는가에 대한 정보를 전달한다. 이러한 체성감각계는 피부나 근육, 관절에 위치한 말초감각수용기들로부터 감각정보를 전달받으며, 이러한 정보들은 촉각과 고유수용성감각으로 나누어진다.

많은 연구자들이 joint sensation 또는 proprioception, kinesthesia의 용어와 관련한 정의를 내렸는데, 현대 대부분의 저자들은 고유수용성감각을 관절움직임과 관절위치 감각을 포함하는 특수한 촉각으로 정의한다(Lephart, 2000). 고유수용성감각은 관절움직임(운동감각)과 관절위치(정적인 관절 감지)에 대한 감각으로 나눌 수 있으며(Grigg, 1994; Lephart, 1997), 운동감각은 수동동작을 감지하는 역치를 측정함으로써 평가하고, 관절위치감각은 수동적으로 움직여진 신체분절을 다시 동일한 위치로 재현하거나 능동적 움직임을 재현하는 것을 평가함으로써 양적 평가할 수 있다(Janwantanakul 등, 2001; Lephart, 2000).

II. 관절 기계적수용기(Joint Mechanoreceptors)

감각수용기의 하나인 관절 기계적수용기는 관절 위치와 움직임을 감지하는 기능을 하며, 이들은 근기능을 조절 또는 수정하는 것에 관여한다. 동물과 인간의 관절 기계적수용기 형태와 분포, 크기에 대한 여러 연구들이 있다(Freeman과 Wyke, 1967; Zymny, 1988). Freeman과 Wyke(1967)는 고양이의 슬관절 41에 대한 조직학적 연구에서 형태와 기능에 따라 관절 기계적수용기들을 Ruffini 종말(Ruffini ending), Pacinian 소체(Pacinian corpuscles), Golgi tendon organlike receptors, 자유신경종말(Free nerve endings)의 4가지로 분류했다.

1. Ruffini 종말(Type I)

관절낭의 표층에 많이 분포하며, 인대와 연골, 피부에서도 보여진다. 다양한 종과 조직에 따라 Ruffini 종말의 형태와 이름은 다르게 묘사되어 Golgi-Mazzoni bodies, Meissner corpuscle, basket ending, ball-of-thread endings, bushlike, spray endings의 이름으로 불려졌다. Ruffini 종말은 단일 수초축삭에 2-6겹의 얇은 피포된 구상 소체(encapsulated globular corpuscles)로 구성되어 있으며, 구심성 신경섬유의 직경은 5-9 μ m로 다양하다. 이 형태의 종말은 같은 관절내에서도 다양한 크기를 보인다.

Ruffini endings는 역학적 스트레스에 낮은 역치를 보이며, 순응이 늦다. 그러므로 정적인 관절 위치와 관절내 압박, 관절회전의 폭과 속도에 관한 신호를 전달하는 것으로 보인다(Freeman, 1967; Lephart, 2000; Zymny 1988).

2. Pacinian 소체(Type II)

인간의 관절낭에서 Pacinian 소체에 대해 1874년이 Rauber가 최초로 묘사했다(Zymny, 1998). Pacinian 소체도 다양한 형태학적 특성 때문에 Krause's Endkörperchen, Vater-Pacinian corpuscles, Golgi-Mazzoni bodies, bulbous corpuscles 등의 이름으로 불려다. Pacinian 소체는 막으로 둘러싸인 원뿔형의 소체로써 관절내부에서 발견되는 것들은 관절외부에서 발견된 것들보다 직경이 작은 편이어서 넓이는 20-40 μ m, 길이는 150-250 μ m 정도

를 보였다. Ruffini 종말에 비해 역학적 스트레스에 대한 역치는 낮고, 순응은 빠르다. 그러므로 Pacinian 소체는 정적 상태나 일정 속도의 관절 회전에는 비활성상태로 유지되다가 감속이나 가속시 매우 민감하게 활성화된다. 이 같은 특성 때문에 역동적 관절 기계적수용기라고 불리기도 한다(Freeman, 1967; Lephart, 2000; Zymny 1988).

3. Gogi tendon organlike endings(Type III)

Gogi tendon organlike endings은 인대나 연골에 분포하며, 관절수용기 중에서는 크기가 큰 편이다. 모양이 Ruffini 종말과 비슷하여 spray endings로 불린다. 이 형태의 큰 관절수용기는 얇은 막으로 둘러싸인 방추형 소체들로 건의 Golgi tendon organ과 상동기관으로 보여진다. 연결된 신경섬유의 직경은 13-17 μ m정도이다.

순응이 늦으며, 역학적 자극에 대해 높은 역치를 보이며, 완전히 고정된 관절에서는 작용하지 않는다. 역치가 높기 때문에 정상 관절 움직임 범위내에서의 끝부분을 감지하는 것으로 여긴다(Freeman, 1967; Lephart, 2000; Zymny 1988).

4. 자유신경종말(Type IV)

자유신경종말은 다른 관절수용기들에 비해 수적으로 매우 우세하게 관절조직에 광범위하게 분포하고 있으며 통증 수용기로 분류된다(Wyke, 1981). 0.5-5 μ m직경의 수초 또는 무수초 축삭에 연결되어 있다. 정상적인 상태에서는 비활성을 보이다가 관절조직이 역학적 손상을 받거나 화학적 물질에 접하게 되면 반응하게 된다. 특히 serotonin이나 histamine, bradykinin, prostagladin 등의 염증매체에 민감하게 반응한다(Freeman, 1967; Lephart, 2000; Zymny 1988).

III. 근수용기(Muscular mechanoreceptors)

근방추와 Golgi tendon organs(GTOs)과 같은 근수용기들은 역학적 감각정보를 CNS로 신호화하여 전달한다. 특히 근방추는 고유수용성감각의 정확성에 많이 기여하며, 움직임의 방향과 근길이 변화의 속도와 위치를 CNS로 feedback 해준다(Moffett, 1993).

근방추는 출생시 그 수가 고정되며, 노화에 따라 그 수가 변하지는 않는다. 근방추에 대한 연구에서 방추속근내의 구심성 신경섬유들은 전통적으로 2 가지로 분류한다. 하나는 Dynamic bag1과 nuclear chain fibers와 연결된 굵은 구심성 축삭들이고, 다른 하나는 nuclear chain과 static bag2와 연결된 가는 구심성 축삭들이다. Bag1 섬유들은 Gamma1 운동신경원에 의해 신경지배를 받으며, 갑작스런 스트레치동안 발생하는 근의 길이 변화에 더 민감하게 발화된다. Gamma2 운동신경원의 신경지배를 받는 chain 섬유들은 정적인 근 길이연장에 더 민감하다. Bag2 섬유들은 bag1과 chain 섬유 모두의 특성을 가지고 있으며, 이들은 반사와 수의적 근수축동안 광범위하게 일어나는 근길이의 변화를 감지하는데 기여한다. 그러나 이 연구들은 고양이를 대상으로한 실험들이므로 아직 그 결과를 인간에게도 동일시 하지는 않는다(Nyland, 1998).

GTOs는 근육의 건 부위에 위치하고 있는 근 수용기이다. 근육이 수축하면서 건을 당기면 교원섬유질이 찢어지며 구심성 신경원의 수용기 종말이 비틀어지게 된다. 이러한 비틀림은 이 수용기들의 활성화전위 방전률을 증가시키고, 이 신호는 운동신경원으로 주사하는 척추의 중

간신경원까지 전해지게 된다. GTOs의 활성이 증가되면 근육을 신경지배하는 운동신경원을 억제하는 반면 길항근의 운동신경을 흥분시킨다(Lephart, 1997; Moffett, 1993).

IV. 견관절 신경해부학적 고찰

견갑하신경(Subscapular nerve)은 오혜돌기하 점액낭(subcoracoid bursa)과 견갑상완 관절의 전방을 신경지배한다. 액와 신경은 3개의 분지를 내서 관절낭의 전방과 후방 그리고 작은 가지를 관절낭 하방으로 뻗고 있다. 외측 흉부신경은 오혜돌기와 오혜쇄골 인대에 작은 분지를 뻗고 견봉하 점액낭(subacromial bursa)과 오혜견봉 인대, 전방 견쇄관절을 신경지배한다(Morisawa, 1998). 견갑상신경 분지도 액와신경과 더불어 인접한 견갑상완 관절낭에 분지를 한다. 견갑상신경은 오혜돌기와 오혜쇄골 인대, 오혜상완 인대 그리고 견봉하 점액낭과 견쇄 관절낭의 후방까지 가지를 뻗는다(Aszmann 등, 1996; Diederichsen, 2002). 견갑상완 관절낭의 전하방과 전상방의 신경조직들이 풍부하게 있다. 더욱이 그 신경을 따라 위성신경절에서 관절까지 교감신경섬유들의 일부가 연결되어 있다(Gallagher 등, 1996)

인간 견관절 관절 기계적수용기들의 형태와 분포, 숫자에 대한 연구들이 있다 (Bresch, 1995; Guanche 등, 1999; Mikihiro, 2000; Morisawa, 1998; Nyland, 1998; Robinson 등, 1995; Steinbeck 등, 2003; Vangsness 등, 1995). Steinbeck(2003)은 사체 11구의 하방 견갑상완인대에 대한 신경조직학적 연구에서 Ruffini 종말이 많이 분포함을 보고했다. Guanche 등(1999)과 Robinson 등(1995)은 견갑상완 관절낭과 견갑순, 인대들에서 4종류의 종말들을 확인했다. Morisawa(1998)는 오혜견봉 인대에서 Ruffini 종말, Pacinian 소체, Golgi tendon organ like receptors, 자유신경종말들 뿐만아니라 비전형적(non-typical) 신경종말과 비분류(unclassifiable)된 신경종말들을 찾을 수 있었다. 관절 기계적수용기들은 노화에 따라 그 수는 감소하고, 견봉하 충돌(subacromial impingement) 환자들은 골절환자에 비해 수용기의 수가 적었다. Mikihiro(2000)는 27명의 오혜견봉 인대의 견봉측과 중간, 오혜돌기측 3곳에 대한 면역조직학적 검사에서 회선근군 tears군이 견관절 탈구군에 비해 신경종말이 많다고 보고했다. Vangsness 등(1995)은 사체 8구의 견관절 상완견갑인대, 오혜쇄골 인대, 오혜견봉 인대, 견봉쇄골 인대조직 뿐만아니라 주변 결합조직에서도 신경종말들의 존재를 확인했다. 견관절 인대들에서는 Ruffini 종말의 수가 많았으며, Pacinian 소체도 큰 인대에서 많이 발견되었다. 견갑순에서는 관절수용기는 볼 수 없었지만 주변 결합조직인 관절순의 섬유연골 조직 말초1/2 부분에서 자유신경종말이 발견되었다. 견봉하 점액낭에서는 다른 큰 관절수용기들은 보이지 않았지만 자유신경종말과 비슷한 종말들이 간간히 보였다.

VI. 결론

관절낭과 인대에 있는 수용기들의 주 기능은 alpha 운동신경원의 직접적인 반사활성을 일으키는 것이다. 여러 연구자들이 인대와 관절낭에 전기적, 역학적 자극을 가한 후 섬유성 관절낭과 근육들간의 척수반사가 존재함을 밝혔다(Beard 등, 1993; Guanche, 1995; Knatt 등, 1995). 또한 관절낭과 인대의 관절수용기들은 gamma운동신경원 활성화에도 직접적인 영향을 주는 것으로 보여진다(Barrett, 1991; McNair 등, 1992). Gamma 운동신경원의 활성이 증가

하면 근방추의 민감성을 조절하여 관절 안정성을 촉진하고 간접적으로는 근 뻘뻘함(stiffness)을 조정한다. 증가된 근 뻘뻘함은 관절 뻘뻘함을 강화하여 갑작스런 관절전위를 막아준다(Sjolander 등, 2002)..

최근 연구들에서는 인대에 가해지는 부하가 약하거나 충분하지 않을 경우 골격운동계(skeletomotor system)는 직접적인 영향을 받지 않는 것으로 보고되었다(Pope 등, 1990; Solomonow 등, 1987). 근육이 이완된 상태에서 근반사잠복기(muscle reflex latencies)는 110-220ms정도이며, 이는 관절에 불안정을 초래할만한 외상이 가해질 경우 견관절을 보호하기에는 너무 느린 편이다(Latimer 등, 1998). 따라서 견관절 보호를 위해서는 관절낭이나 인대 보다 근육이나 건으로부터의 고유수용성감각정보가 운동감각정보로 더 많이 기여하는 것으로 여겨진다(Diederichsen, 2002).

관절 고유수용성감각은 손상을 예방함에 있어서 통증보다 우세하다. 유해성 수용기기의 전달 속도는 초당 1-3m인 반면 관절수용기에 의해 시작된 반사궁들은 초당 70-100m의 속도로 빠른 편이다(Grigg, 1994). 그러므로 손상을 예방함에 있어서는 통증보다 고유수용성감각이 더 중요한 것으로 보여진다(Lephart, 1997).

관절 고유수용성감각은 운동(Brindle, 1999; Hess, 2000; Hurley, 1997; Lephart, 2000)과 보조기(McNair 등, 1996; Perlau 등, 1995)를 통해서 강화된다. Myers 등(2003)은 근전도를 이용하여 다양한 수준의 견관절 근수축(최대근수축의 0%, 20%, 50%) 시 근반사잠복기를 측정했는데, 전반적으로 근수축 시 근반사잠복기가 빨라졌다. 이는 반사가 일어나는 동안 어느 정도 근활성이 동반되면 반사 상태도 유의하게 변화함을 의미한다.

정상인의 주동 견관절과 비주동 견관절 사이의 고유수용성감각의 차이는 없었으며, 수술을 받은 대상자들의 견관절과 반대측 견관절 간에도 유의한 차이는 보이지 않았다. 이는 수술도 고유수용성감각 복원에 기여함을 의미한다(Aydin 등 2001; Pap, 2000).

관절 불안정성(Warner 등, 1996)이 있거나 전방 탈골(Smith와 Brunolli, 1986) 시 고유수용성감각이 떨어지며, 근파로가 발생해도 견관절의 위치감각은 저하된다 (Carpenter 등, 1998; Forestier, 2002). 노화에 의한 골관절염은 관절불안정을 유발시켜 고유수용성감각을 감소시킨다(Sharma와 Pai, 1997).

<참고문헌>

- 이진희, 김진상 : 상완견관절의 안정적 구조에 대한 연구, 대한물리치료학회지, 12(3), 433-444, 2000.
- Aszmann OC, Dellon AL, Birely BT, Birely BT et al : Innervation of the human shoulder joint and its implication for surgery, Clin Orthop, 330, 202-207, 1996.
- Aydin T, Yildiz Y, Yanmis I et al : Shoulder proprioception : a comparison between the shouder joint in healthy and surgically repaired shoulders, Arch Orthop Trauma Surg, 121, 422-425, 2001
- Bresh JP, Nuber G : Mechanoreceptors of the middle and inferior glenohumeral ligaments : histologic study of human cadaver shoulders, J Shoulder Elbow Surg, 4, 563-564, 1995.
- Barrett DS, Cobb AG, Bentley G : Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees, J Bone Joint Surg 73B, 53-56, 1991.

Beard DJ, Kyberd PJ, Fergusson CM et al : Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament, *J Bone Joint Surg*, 75B, 311-315, 1993.

Brindle TJ, Nyland R, Shapiro R et al : Shoulder proprioception: latent muscle reaction times, *Med Sci Sports Exerc*, 31(10), 1394-1398, 1999.

Carpenter JE, Blasler RB, Pellizzon GG : The effects of muscle fatigue on shoulder joint position sense, *Am J Sports Med*, 26, 262-265, 1998.

Diederichsen L, Krogsgaard M, Voigt M et al : Shoulder reflexes, *J Electromyogr Kinesiol*, 12, 183-191, 2002.

Forestier N, Teasdale N, Nougier V : Alteration of position sense at the ankle induced by muscular fatigue in human, *Med Sci Sports Exerc*, 34(1), 117-122, 2002.

Freeman MAR, Wyke B : The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat, *J Anat*, 101, 505-532, 1967.

Gallagher MA, Zuckerman JD, Cuomo F et al : The effect of instability and subsequent anterior shoulder repair on proprioceptive ability, *Orthop Trans*, 20(1), 274, 1996.

Griffin LYE : Neuromuscular training and injury prevention in sports, *Clin Orthop*, 409, 53-60, 2003.

Grigg P : Peripheral neural mechanisms in proprioception, *J Sports Rehab*, 3, 2-17, 1994.

Guanche CA, Knatt T, Solomonow M et al : The synergistic action of the capsule and the shoulder muscles. *Am J Sport Med*, 23, 301-306, 1995.

Guanche CA, Noble J, Solomonow M et al : Periarticular neural elements in the shoulder joint, *Orthopaedics*.

Hess SA : Functional stability of the glenohumeral joint, *Manu Ther*, 5(2), 63-71, 2000.

Hurley MV : The effects of joint damage on muscle function, proprioception and rehabilitation, *Manu Ther*, 2(1), 11-17, 1997.

Knatt T, Guanche C, Solomonow M et al : The glenohumeral-biceps reflex. *Clin Orthop*, 314, 247-252, 1995.

Latimer HA, Tibone JE, Berger K : Shoulder reaction time and muscle firing patterns in response to an anterior translation force, *J Shoulder Elbow Surg*, 7, 610-615, 1998.

Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL et al : The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries, *Am J Sports Med*, 25, 130-137, 1997.

Lephart SM, Fu FH : Proprioception and neuromuscular control in joint stability, *Human Kinetics*, 2000.

McMahon PJ, Lee TQ : Muscle may contribute to shoulder dislocation and stability, *Clin Orthop*, 403S, S18-S25, 2002.

McNair PJ, Stanley SN, Strauss GR : Knee bracing : Effects on proprioception, *Arch Phys Med Rehabil*, 77, 287-289, 1996.

Mikihito T, Seiichiro O, Shinji F et al : Quantitative analysis of neural distribution in human coracoacromial ligaments, *Clin Orthop*, 373, 125-134, 2000.

Moffett DF, Moffett SB, Schauf CL : *Human Physiology*, St Louis Mosby-Year Book, inc. 1993.

Morisawa Y : Morphological study of mechanoreceptors on the coracoacromial ligament, *J Orthop Sci*, 3, 102-110, 1998.

Mylers JB, Lephart SM : Sensorimotor deficits contributing to glenohumeral instability, *Clin Orthop*, 400, 98-104, 2002.

Myers JB, Riemann BL, Ju YY et al : Shoulder muscle reflex latencies under various levels of muscle contraction, *Clin Orthop*, 407, 92-101, 2003.

Nyland JA, Caborn DNM, Johnson DL : The human glenohumeral joint. A proprioceptive and stability alliance, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 6, 50-61, 1998.

Pap G, Myler M, Weiler HT et al : Proprioception after total knee arthroplasty. A comparison with clinical outcome, *Acta Orthop Scand*, 71(2), 153-159, 2000.

Perlau R, Frank C, Fick G : The effect of elastic bandages on human knee proprioception in the uninjured population. *Am J Sports Med*, 23, 251-255, 1995.

Pope DF, Cole KJ, Brand RA : Physiological loading of the anterior cruciate ligament does not activate quadriceps or hamstrings in the anesthetized cat, *Am J Sports Med*, 18, 595-599, 1990.

Robinson AP, Tarse DS, Koch B et al : Mechanoreceptors in capsular and juxtalabral tissue of the human shoulder, *J Shoulder Elbow Surg*, 2, S2, 1995.

Sharma L, Pai YC : Impaired proprioception and osteoarthritis, *Curr Opin Rheumatol*, 9, 253-258, 1997.

Sjolander P, Johansson H, Djupsjobacka M : *J Electromyogr Kinesiol*, 12, 167-176, 2002.

Smith RL, Brunoli J : Shoulder kinesthesia after anterior glenohumeral joint dislocation, *Phys Ther*, 69, 106-112, 1986.

Solomonow M, Baratta R, Zhou BH et al : The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med*, 15, 207-213, 1987.

Steinbeck J, Bruntrup J, Greshake O et al : Neurohistological examination of the inferior glenohumeral ligament of the shoulder, *J Ortho Research*, 21, 250-255, 2003.

Swanik KA, Lephart SM, Swanik B et al : The effects of shoulder plyometric training on proprioception and selected muscle performance characteristics, *J Shoulder Elbow Surg*, 11, 579-586, 2002.

Vangsnæs CT, Ennis M, Taylor JG et al : Neural anatomy of the glenohumeral ligaments, labrum, and subacromial bursa, *Arthroscopy*, 11(2), 180-184, 1995.

Warner JJP, Lephart SM, Fu FH : Role of proprioception in pathoetiology of shoulder instability, *Clin Orthop*, 330, 35-39, 1996.

Zymny ML : Mechanoreceptors in articular tissues, *Am J Anat*, 182, 16-32, 1988.