

무릎관절에서의 단계별 도수견인에 따른 견인력과 연성변이와의 관계

배태수[#], 허 현^{*}, 김경훈^{*}, 안재용^{**}

Relationship between Traction Force and Elongated Displacement Under Graded Manual Traction of Knee Joint

Tae Soo Bae[#], Hyun Heo^{*}, Kyung Hun Kim^{*} and Jae Yong Ahn^{**}

ABSTRACT

Although manual traction, one of pain therapies, was applied in clinic to relief pain, the study was rare on the manual force and displacement of ligaments at knee joint during manual traction. The aim of this study is to quantify not only manual force at knee joint but also elongated displacement of joint ligament by C-arm scanning and motion analysis. Twenty-one healthy subjects were tested with manual traction from grade I to grade III under neutral position by a physical therapist. We calculated traction force using joint forces of both hands and elongated displacement of joint ligament were measured. The results showed that traction forces by C-arm scanning analysis were averagely 1.67-fold greater than those by motion analysis, but elongated displacements were instead averagely 2.36-fold smaller than motion analysis. Finally, we could estimate relationship between traction force and elongated displacement at knee joint by two methods.

Key Words : Manual traction (도수견인), Traction force (견인력), Elongated displacement (연성변이)

1. 서론

도수견인(manual traction) 치료는 척추 중에서도 경추(cervical spine)와 요추(lumbar spine)부위에서의 추간판탈출증, 추간판병변, 척추후관절(facet joint)의 퇴행성 관절염 등으로 인한 통증의 경우에 적용되고, 요추부의 근육연축(muscle spasm)을 감소시킬 목적으로 주로 행하여지는 물리치료 방법 중의 하나로 알려져 있다.¹ 최근에는 경추와 요추에 관련

된 견인 치료 연구들을 바탕으로 도수견인 치료에서 기계견인(mechanical traction) 치료로 발전되어 임상에서 그 수요가 늘어나고 있다.

경추와 요추에 대한 도수견인 치료와는 달리 평균 250 만 km 이상을 걸을 때 사용되는 무릎관절에 대한 도수견인 치료에 대한 연구는 미비한 실정이다. 경추와 요추에 대한 도수견인 치료처럼 무릎관절에 대한 도수 견인치료 역시 그 치료효과는 강조되고 있지만, 기계견인으로 발전하지 못함

☞ 접수일: 2007년 9월 27일; 게재승인일: 2008년 1월 14일

교신저자: 재활공학연구소 인체공학연구팀

E-mail: bmebae@iris.korec.re.kr Tel. (032) 500-0771

* 재활공학연구소

** 제일병원, 관동대학교 의과대학

으로 인해 일부 물리치료사에 의해 소수의 운동선수들을 대상으로만 시행되고 있다. 이는 무릎관절 도수 견인에 따른 도수 견인력(traction force)과 견인력에 의해 무릎관절 주변 여러 인대들의 연성변이(elongated displacement)에 대한 정량적인 분석을 한 연구사례를 찾아보기 어렵기 때문이다.

현재까지 소개된 무릎관절 치료기로는 무릎관절 대체 수술이나 무릎 십자인대 재건술과 같은 정형외과적 수술 후 환자의 재활훈련을 목적으로 널리 사용되고 있는 CPM (continuous passive motion) 이 있다. 그러나 CPM 의 경우 주로 무릎관절의 운동반경(range of motion)회복에 대한 훈련기이므로 무릎관절 주변의 다양한 병변으로 인한 근육 연축에 대한 통증 완화 치료기로는 제시되지 못하고 있다. 따라서 무릎관절에 대한 도수견인 치료가 기계견인 치료로 발전되어 널리 보급 되어지기 위해서는 도수견인 치료시 견인력과 주요 인대의 연성변이에 대한 정량적인 정보가 선결적인 요소라 할 수 있다.^{2,3}

그러므로 본 연구에서는 기존의 도수 견인치료에서 배제되고 있는 무릎관절에 주안점을 두었으며, 현재 개별 치료사들의 느낌과 경험에만 의존하고 있는 견인력과 관절 인대의 연성변이(elongated displacement)를 보다 과학적으로 정량화 하고자 하는 데 그 목적이 있다. 또한 무릎관절 통증관련 견인 방법으로는 지속적이기보다 간헐적으로 견인과 휴식을 반복하는 방법을 채택하였다. 무릎 도수 견인 단계를 총 4 단계 혹은 5 단계로 나눌 때,⁴ 실제 적용가능성과 피검자의 안전을 고려하여 1 단계에서 최대 3 단계만을 고려하였다. 마지막으로 정상인을 대상으로 한 임상실험을 통하여 무릎관절에 적용 가능한 견인력을 정의하고, 또한 각 견인력에 따른 관절 인대의 변이에 대한 생체역학적인 연구를 수행함으로써 도수 견인력과 관절 인대의 연성변이와의 관계를 생체역학적으로 분석하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 피검자 선정

피검자는 20 대 중반의 남성으로 23 세~27 세에 있는 남성을 택하였으며, 선정 기준은 신체 비만 지수의 지표 중의 하나인 BMI (body mass index)를 이용하여, 그 값이 $22 \pm 1 \text{ kg/cm}^2$ 인 사람만을 그 대상

으로 삼았다. 이때 피검자는 정형외과적으로 무릎관절에 손상 이력이 없는 사람으로 제한하여 정하도록 하였다. 다음의 조건을 충족하는 21 명의 피검자를 선발하였고, 이들의 신체 치수는 Table 1 과 같다. 또한 치료사는 임상에서 도수 견인 치료 경력이 10 년 이상인 사람을 기준으로 선출하였다.

Table 1 Selection of subjects

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/cm^2)
Average	25.5	174.76	66.8	21.80
Std dev.	1.03	3.52	3.73	0.96

2.2 무릎 관절 근력 평가

무릎 도수견인의 경우 무릎 관절력에 큰 영향을 받기 때문에 각 피검자에 대하여 최대근력 측정기(Multi-Joint System 3 pro, Biodex Medical system, USA)를 이용하여, 무릎관절의 중립 자세(무릎 관절 각도 30 도)를 한 상태의 최대 자발성 등척성 실험(maximum voluntary contraction isometric test)을 실시함으로써 개별 피검자의 최대 근력 정보를 확보하고자 하였다. 무릎관절의 신전/굴곡 운동에서의 토크와 각도, 그리고 각속도를 측정하기 위 측정기에 지그(jig)를 사용하여 대퇴부(thigh)와 정강이(shank) 부위에 단단히 고정시켰으며, 무릎관절의 회전축을 센서부의 회전축과 일치시켰다. 무릎관절 각도는 중립상태인 30 도에 대해 정적 상태에서 근육이 낼 수 있는 최대 토크를 측정하였다. 신전과 굴곡을 각각 3 초간 실시하였고 피로를 피하기 위해서 그 사이에 1 분간 휴식을 취했다. 한 각도에서 2 회 반복 실험하였다. 각도를 바꾸면서는 세팅을 바꾸는 것도 고려를 하여 2 분간 휴식을 취하였다.

2.3 동작분석을 통한 무릎 도수견인 평가

본 연구에서는 동작분석을 통해 무릎 도수견인시 견인력과 관절인대의 신연변이를 정량화 하고자 하였다. 실험장비로는 적외선 카메라 8 대, CCD 카메라 2 대, 데이터 처리장치, PC 등으로 구성되어 있는 3 차원 동작분석기(Eagle4, Motion Analysis Inc., USA)를 사용하였다(Fig. 1).

총 8 개의 6 mm 반사마커(정적 측정 오차 0.02mm, 동적 측정 오차 0.13mm)를 이용하여 대퇴

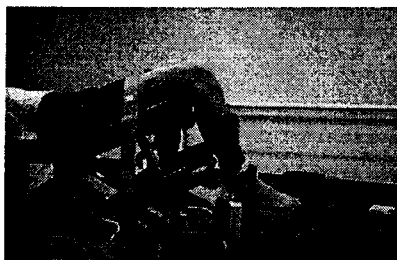


Fig. 1 Motion analysis with custom-defined marker sets

내외과(medial/lateral femoral condyle)에 각각 하나씩, 대퇴부과 정강이 부위의 내외측 및 전방에 부착하였다(Table 2).

또한 이들 중 내측면에 붙인 마커 2 개는 실험 도중 사라질지 모르는 마커를 보정하기 위해 생성한 것이다. 8 개의 마커들을 이용하여 대퇴골과 경골의 중심을 찾아내어 골격(bone segment)을 단순화시켰다.

피검자는 고관절이 30 도 굴곡된 상태로 대퇴 부위가 안정적으로 설정된 환자용 침대에 누운 다음 무릎은 침대 밖으로 늘어뜨린다. 이 자세를 중립자세 혹은 정적 자세라 정의하고 고정된 동작을 캡처하였다.

도수 견인 동작은 경골의 신연(distraction)을 돕기 위해서 치료사는 피검자의 발쪽에서 환자의 무릎을 향한 상태로 선다. 다음 피검자의 발목에 감싸주는 가죽끈을 맨다음 양쪽에 30 도 각도로 힘측정기(CHATILLON DFS, Nexgen ergonomics, Inc.)를 달아 치료사가 잡아당길 수 있게 한다. 치료사는 견인력 강도에 따라 3 등급으로 구분하여 이를 순차적으로 견인하였다. 견인시 대퇴골과 경골 사이의 길이 변화를 측정하여 변이를 계산하였다(Fig. 2).

2.4 C-arm 을 통한 무릎 도수견인 평가

C-arm(OEC 9800 Plus, General Electronic, USA)을 이용하여 무릎 도수견인시 대퇴골과 경골간의 간격 변화를 측정하였다. 본 실험에는 앞서 선정된 피검자 중 무릎 근력 및 견인 상태가 우수한 피검자 5 명에 한정하여 실험하도록 하였다.

무릎 도수견인은 동작분석시 사용했던 동일한 침대와 동일한 무릎각도를 유지한 상태로 실험에 임하였으며, 정형외과 전문의가 참석하여 무릎관절의 해부학적 축을 정렬한 상태에서 전문 물리치료사의 도움을 받아 무릎 도수견인을 수행하였다.

Table 2 Marker Positions for motion capture

Segment	Description	Marker Placement
1	femur	medial lower lateral 1/3 surface of thigh
		lateral lower lateral 1/3 surface of thigh
		anterior lower lateral 1/3 surface of thigh
		medial condyle of femur
		lateral condyle of femur
2	tibia/fibula	medial lower lateral 1/3 surface of shank
		lateral lower lateral 1/3 surface of shank
		medial lower lateral 1/3 surface of shank
		medial condyle of femur
		lateral condyle of femur

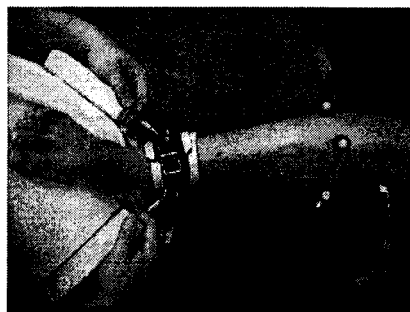


Fig. 2 Traction test using motion analysis equipment

또한 방사선 장비 사용의 제한으로 인해 실제 수술실에서 본 실험이 이루어짐으로 피검자와 연구자 모두는 수술복을 갖춘 다음 실험에 임했다(Fig. 3).

촬영된 영상들은 영상 필터(Fresco filter, Adobe Photoshop 7.0)를 통하여 대퇴골과 경골의 경계부위를 정하였고, 경골에 해부학적 축을 설정한 다음 대퇴골과의 각도를 30 도를 설정하여 대퇴골의 해부학적 축을 생성시켰다. 그런 다음 경골의 측면상단 부위와 대퇴골의 각 골간의 간격을 측정함으로써 연성 변이를 계산하도록 하였다(Fig. 4).

3. 실험 결과

3.1 무릎 관절 근력 평가

총 21 명의 피검자의 무릎관절에 대하여 최대 자발성 등척성 실험을 수행하였다. 평균적으로 신전근이 굴곡근에 비해 약 1.22 배 정도 더 큰 것으로 나타났다.

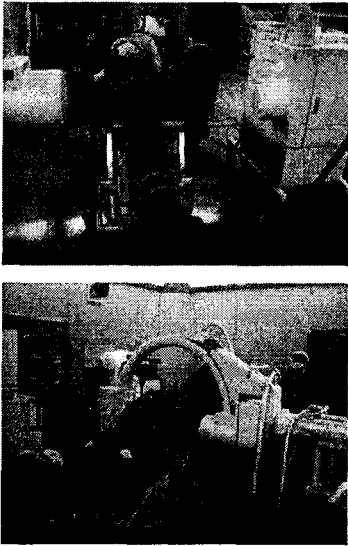


Fig. 3 Traction test using a C-arm equipment

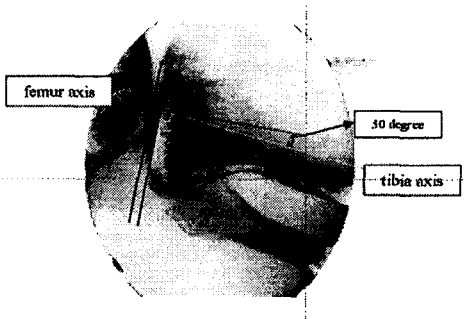


Fig. 4 Measurement of traction displacement

신전근의 경우 평균 121.9 Nm(편차 19.13Nm), 굴곡근은 101.87 Nm(편차 15.31Nm)로 통계적으로 신전근이 굴곡근보다 약 20% 정도 더 크게 나타나는 것을 확인하였다.

3.2 동작분석을 통한 무릎 견인

무릎 도수견인 전문 물리치료사에 의해 수동으로 각 피검자에게 무릎 도수견인을 실시하도록 하였다. 이 때 양 손에서 각각 걸리는 견인력이 일정하지 않을 경우 무릎관절의 축이 편향됨으로 잘못된 결과를 도출할 수가 있다. 따라서 본 연구에서는 무릎 견인시 전문 물리치료사의 양손에 있는 힘측정기의 값들에 대해서 좌우 균형 정도를 먼저 확인해 보았으며, 그 결과 1 단계에 대하여 오른손에 대한 왼손의 견인력 비가 0.98 ± 0.07 로 왼손이

조금 더 크게 나타났으며, 2 단계에 대해서는 1.01 ± 0.06 로 오른손이 더 크게 나타났다. 마지막으로 3 단계에 대해서는 0.98 ± 0.03 로 왼손이 조금 더 큰 것으로 나타났다.

따라서 무릎 견인력 1-3 단계에 따른 결과를 통하여 실제 각 단계별로 연속적으로 무릎 도수견인이 진행되면서도 약간의 차이는 존재하나 통계적으로 무시할 수 있는 정도의 차이임으로 실험 중에는 편향되는 것이 없었음을 알 수 있었다 ($p < 0.05$).

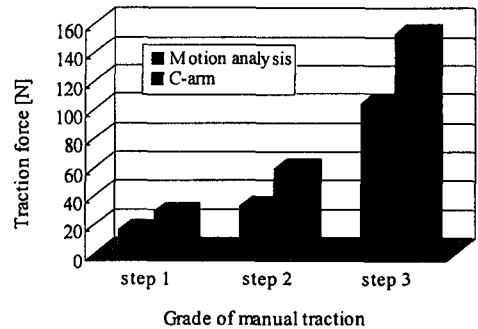


Fig. 5 Comparison of traction force between motion analysis and C-arm analysis

무릎 도수견인에 따른 좌우 균형을 정량적으로 확인하였으며, 이를 바탕으로 하여 견인력과 그에 따른 관절 인대의 신연 변이를 각각 계산해 보았다. 그 결과 1 단계에서는 평균 17.05 N, 2 단계는 32.72 N, 그리고 3 단계에서는 104.10 N 으로 나타났다(Figs. 5-6).

3.3 C-arm 을 통한 무릎 견인

수술실에서 방사선 장비인 C-Arm 을 이용하여 무릎 도수견인 전문 물리치료사에 의해 수동으로 각 피검자에게 무릎 도수견인시 견인력과 관절 인대의 신연 변이를 구하고자 하였다. 동작 분석에서와 마찬가지로 대퇴골과 경골의 축을 정형외과 전문의의 도움을 받아 정렬한 후 1-3 단계 무릎 도수견인을 실시하였다. 이 때 각 단계에 따른 양손 견인력의 균형정도를 살펴본 결과 1 단계에서는 오른손과 왼손의 비율이 1.00 (편차 0.23)로 나타났다. 2 단계에서는 0.98 (편차 0.13)으로 왼손이 좀 더 큰 견인력을 나타내었다.

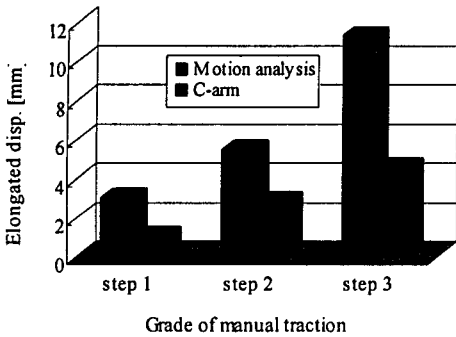


Fig. 6 Comparison of elongated displacement between motion analysis and C-arm analysis

마지막으로 3 단계에서는 0.83(편차 0.18)으로 오른손에 비해 왼손의 움직임이 큰 것으로 나타났다. 즉 3 단계 무릎 도수견인시의 견인력에 대한 평가의 경우 축 정렬의 잘못으로 인한 오차를 포함하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 무릎 견인력 1-3 단계에 따른 결과를 통하여 실제 각 단계별로 연속적으로 무릎 도수견인이 진행되면서 1, 2 단계와 3 단계간에서는 약간의 차이만 있을 뿐 통계적으로는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다 ($p < 0.05$).

무릎 도수견인에 따른 좌우 균형을 정량적으로 확인하였으며, 이를 바탕으로 하여 견인력과 그에 따른 관절 인대의 신연 변이를 각각 계산해 보았다. 그 결과 1 단계에서는 평균 29.35 N, 2 단계는 59.40 N, 그리고 3 단계에서는 152.78 N으로 나타났다. 동작분석시 관절 인대의 신연 변이의 현상과 동일하게 1 단계에서 3 단계로 갈수록 점점 그 편차가 더 커짐을 알 수 있었다(Figs. 5-6).

3.4 동작분석과 C-arm 결과 비교

무릎 도수견인 1-3 단계에 대해 동작분석 방법(MA)과 C-arm(CA)을 이용한 결과를 비교해 보았다. 그 결과 무릎 견인력에 있어서는 단계에서 MA에 비해 CA가 각각 1.72, 1.82, 그리고 1.47 배 정도 더 큰 견인력을 나타냈다. 그러나 관절인대의 연성변이의 경우는 견인력과는 반대로 CA에 비해 MA가 각 단계별로 2.70, 1.92, 그리고 2.47 배가 더 큰 것으로 나타났다. 또한 견인력의 경우 1 단계에 비해 2-3 단계가 MA의 경우 각각 1.92, 6.10 배 정도, CA의 경우는 2.02, 5.21 배 정도 증가 하는 것으로 나타났고, MA와 CA 증가폭이 유사함을 알 수 있

었다.

그리고 연성 변이의 경우 1 단계에 비해 2-3 단계가 MA의 경우 각각 1.80, 3.69 배, CA의 경우는 2.54, 4.05 배 정도 증가 하는 것으로 나타났다.

4. 토론

무릎관절에 대한 주요한 물리치료법 가운데 하나인 도수견인 치료의 경우 정확한 견인력에 대한 정보가 부재한 것과 더불어 견인력에 따른 여러 인대들의 신연 정도가 전적으로 물리치료사의 직관적 판단에만 의존할 뿐 정량적으로 분석되지 않고 있는 것이 현실이다. 즉 무릎관절의 도수견인시 정상인의 견인력-연성변위에 대한 데이터조차도 없는 상황 속에서 다양한 무릎관절 질환 환자들을 대상으로 정량적 분석을 한다는 것은 상당한 위험을 감수해야 하는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 환자들에게 적용하기에 앞서 정상인들에 대한 정보를 획득하는 것이 필수적이다.

정상인을 대상으로 동작분석과 C-arm을 이용하여 각각 무릎관절의 도수 견인력과 신연 변이를 각각 측정해 보았다. 무릎 견인실험은 총 3 단계로 무릎 도수견인이 진행되었다. MA시 견인력의 경우 1 단계에 비해 2 단계가 약 2 배의 견인력 증가를 보였고, 2 단계에 비해 3 단계의 경우 약 3 배의 견인력 증가를 나타냈다. 그러나 CA시 견인력의 경우 1 단계에 비해 2 단계가 2.02 배, 2 단계에 비해 3 단계가 2.57 배로 다소 상이한 결과를 보였다. MA시 연성변이의 경우 1 단계에 비해 2 단계가 1.8 배, 2 단계에 비해 3 단계가 2.06 배로 일정한 폭으로 증가하는 것을 볼 수 있었다. 그러나 CA시 연성변이는 1 단계에 비해 2 단계가 2.54 배, 2 단계에 비해 3 단계 1.6 배 정도로 1 단계에서 2 단계로 진행될 때 보다 큰 연성변이가 나타났다.

MA의 견인력이 CA의 견인력보다 작게 적용되었는데도 불구하고, MA의 연성변이가 CA의 연성변이에 비해 더 크게 나왔다. 그 원인은 몇 가지로 추론해 볼 수 있다. 먼저 MA와 CA의 초기 실험 설정 문제를 들 수 있다. 피검자의 무릎관절을 견인할 때 MA의 경우 전문 물리치료사가 나름대로의 무릎관절의 해부학적 축을 맞추어서 한 것이고, CA의 경우는 C-arm과 정형외과 전문의의 자문으로 해부학 축(anatomical axis)을 맞춘 것에서 그 차이를 발견할 수 있을 것이다. 즉 해부학적

측의 상이함으로 나타난 결과라고 할 수 있다.⁵ 또 하나는 무릎 건인의 경우 3 차원 공간상에서 이루어지는 데 반해 C-arm 의 측정은 시상면(sagittal plane)에서만 촬영됨으로 인해 연성변이가 다소 작게 계산될 가능성도 배제할 수 없다. 마지막으로 MA 의 연성변이 측정값이 대퇴골과 경골 상에 붙어있는 반사마커의 움직임에 의존적이므로, 무릎 도수건인시 적은 힘에도 피부의 움직임이 더 크게 나타남으로 기인한 것으로 사료된다.⁶ 따라서 동작 분석을 통하여 무릎관절의 도수건인에 대한 평가가 C-arm 을 이용한 평가에 비해 방법적인 측면에서는 상대적으로 간소하며 접근성이 좋으나, 보다 정확한 건인력-연성변이에 대한 정보를 가지고 대퇴골과 경골간의 간격을 넓혀줌으로 주변 인대에 직접적인 자극을 줌으로 치료효과를 증대하는 측면에서는 오히려 C-arm 을 이용한 평가방법이 더 적합한 것으로 나타났다.

무릎관절에 대한 도수건인 치료가 기계건인 치료로 진보되기 위해서는 무엇보다도 무릎관절에 대한 초기자세 설정에 대한 방법과 많은 훈련이 필요할 것이며, 또한 피부의 움직임으로 인한 부정확한 정보들을 보정해 줄 수 새로운 방법이 제시되어야 할 것이다. 이를 위해서는 임상경험이 풍부한 물리치료사들에 대한 인력이 확보되어야 할 것이며, 이를 통하여 다양한 연령대에 대한 실험들이 수행되어야 할 것이다. 이를 통해 기존에 행해지고 있는 도수건인 치료법의 문제점과 개선방안들도 좀더 과학적으로 제시되어야 할 것이며, 실험결과를 DB 화함으로 대표적인 건인력-연성변이의 관계를 도출해 내는 연구가 향후 진행되어야 할 것으로 사료된다.

마지막으로 건인치료시 환자의 상태를 눈으로 확인하면서 환자에게 안전하면서도 효과적인 치료를 공급하기 위해서는 3 차원 공간상에서 움직이는 대퇴골과 경골의 위치를 실시간으로 추적 평가할 수 있는 간소하면서도 접근이 용이한 새로운 평가 방법들이 개발되어야 할 것으로 사료된다.

5. 결론

무릎 도수건인 치료가 무릎관절 관련 통증 치료에 효과가 있지만, 무릎 도수건인시 건인력과 주요 인대의 연성변이에 대한 정보는 부재하였다. 본 연구에서는 동일한 무릎 도수건인에 대하여 두 가

지 방법 즉 MA 와 CA 방법을 사용함으로 정상인의 건인력과 연성변이와의 관계를 획득할 수 있었으며, 향후 무릎관절에 대한 기계건인시 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 향후 연구에 있어서는 정상인에 대한 정보를 바탕으로 질환별로 환자군을 나누어서 점진적으로 건인력-연성변위에 대한 실험을 수행해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Warwick, R. and William, S., "Arthrology in Gray's anatomy," 35th British edition, WB Saunders, 1973.
2. Salter, R. B., "The biologic concept of continuous passive motion of synovial joints. The first 18 years of basic research and its clinical application," Clin. Orthop. Relat. Res., Vol. 242, pp. 12-25, 1989.
3. Salter, R. B., "Continuous passive motion: from origination to research to clinical applications," J. Rheumatol, Vol. 31, No. 11, pp. 2104-2105, 2004.
4. Maitland, G. D., "Peripherical manipulation," 3rd edition, Butterworth-Henemann, 1991.
5. Mulligan, B. R., "Manual therapy "NAGS," "SNAGS," "MWMS": etc.," 4th edition, Plane View Press, 1999.
6. Yuan, X., Ryd, L. and Blankevoort, L., "Error propagation for relative motion determined from marker positions," J. Biomech, Vol. 30, No. 9, pp. 989-992, 1997.