

국산 체외고정구의 강성도 측정

영남대학교 의과대학 정형외과학교실 · 산업기술 연구소*

인주철 · 염영일* · 이일기* · 안면환 · 안종철 · 김세동 · 추도식

—Abstract—

Biomechanical Study of Rigidity in the Domestic External Fixator Preliminary Report about the Mechanical Characteristics of the Domestic Product Comparing with the Imported Fixators

Joo-Chul Ihn, M.D., Young-Il Youm, Ph.D., Il-Key Lee, Ph.D., Myeun-Wan Ahn, M.D.,
Jong-Chul Ahn, M.D., Se-Dong Kim, M.D., Do-Sik Choo, M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Yeung-Nam University, Taegu, Korea.
Research Institute of Industrial Science and Technology

The bone plate, nail and external fixation apparatus have been introduced for the union of the fractured bones. Recently, the external fixation technique has been revived, especially for the healing of the fractured tibia, femur, pelvis and forearm bones. The device was intended to neutralize a comminuted fracture by provision of interfragmentary compression. Numerous different types of external fixation apparatuses have been developed in U.S.A. and other European countries. However, in our country, the apparatuses have been imported and utilized for the surgical application without any experimental confirmation.

For the elucidation of the usage of imported external fixation devices, the stiffness of the external fixation devices (Orthofix, Monofixateur, and Hoffmann) were analyzed experimentally. MTS and universal testing machine(UTM) were used for the experimental analysis under the different loading conditions of axial compression, antero-posterior and medio-lateral bending. Furthermore, the stiffness and yielding load of the laboratory developed unilateral type of external fixation device were compared with those of the imported ones. In addition to this, the configuration of laboratory developed device was changed for the parametric study under the axial compression. The stiffness and yielding load of the laboratory developed device were sufficient for surgical application. However, the weight of our laboratory developed model is 1.2 times the average weight of imported ones. The reduction of weight may be needed for more convenient surgical application

Key Words : External fixator, Biomechanical study, Domestic Product

*본 논문의 요지는 대한골절학회 제 12차 추계학술대회에 발표되었음.

정형외과 영역에서의 기기술은 기계문명의 발달, 인구 구성의 고령화, 경제 성장등의 다양한 요소에 의해 그 중요성이 일반인들에게도 깊이 인식되어 왔다. 그러나, 국내에서 사용되고 있는 골절 고정기구 및 인공관절 등의 정형외과용 의공제품은 거의 전량 수입에 의존하고 있다. 수입되고 있는 정형외과용 의공 제품은 구미에서 오랜 경험을 바탕으로 개발되었으므로 임상에서 우선 사용상 큰 문제점은 없으나, 이러한 고가의 기기들은 선진 각국에서의 시술자 혹은 자국의 시술 대상 환자의 필요에 따라 개발되었으므로, 국내 시술자의 입장에서는, 수입되고 있는 고정기구 및 인공관절등의 각 기구들의 특성을 정확하게 이해하기가 힘들고, 또한 이러한 기기가 반드시 한국인에게 적합하게 설계되었다고도 할 수 없다^{1,2,9)}. 결국, 이러한 기구들의 사용에 있어서, 한국인에서의 적합성과 각 기구에 대한 직접적인 기계적 특성에 대한 정확한 판단 기준의 근거와 정보가 없는 상태로, 현실적으로는 국외에서 습득한 경험과 관련문헌에 의한 정보에 의존하여 임상적용을 실시하고, 그 결과에 대한 분석을 시도하여 왔다¹⁰⁾.

본 연구진에서는 이와 같은 관점에서 일차적으로 파악된 골격을 고정시키는 방법으로 널리 사용되고 있는 체외고정구의 설계 및 제작을 자체에서 실시하였고, 실제 임상에서 적용하여 문제점을 보완하여 오고 있다. 수입되고 있는 체외고정구(Orthofix, Monofixateur, Hoffmann)의 기계적 특성⁸⁾을 먼저 분석하여, 자체 체외고정구의 제작을 시도하였고, 임상적용의 역학적 근거를 얻기 위해, 일차적으로 강성도 및 항복하중을 측정하여 기계적 특성을 상대 비교하였다. 또한 본 기구의 임상적용시 피부등의 연부조직의 상태등의 여러가지 조건에 의해서 임의로 변형될 수 있는 요소인, 핀의 사용 수 및 지름, 골격부에서부터 clamp까지의 거리, clamp간의 거리 등의 변화에 따른 기계적 특성, 즉 강성도를 측정하여⁸⁾, 임상에서 보다 적절한 시술 방법의 근거를 얻고자 하였다.

1. 자체 체외고정구의 제작

본 연구의 수행을 위해서 경북지역의 임상의를 대상으로 하여 체외고정구의 사용에 대한 설문조사를 실시한 결과, 연부조직등의 여러가지 여건으로 인해 일시적 혹은 장기간의 사용에 편리한 unilateral 고정 방식의 체외고정구를 자체 설계 및 제작을 시도하였다(Fig. 1). 이러한 형태의 고정구를 설계를 위해서, 먼저 기존 수입 체외고정구의 기계적 특성을 상대 비교한 결과⁸⁾, clamp부분의 unilateral형의 관절의 ball-and-socket의 접촉이 무엇보다도 제작에 있어서 중요할 것으로 사료되었다. 실제 기존의 수입 제품 중에서도, ball-and-socket의 제작의 결함으로 인해 강성도, 특히 항복하중이 현저히 감소된 제품도 있었으며⁸⁾, 이러한 기구가 수입 당시에 아무런 검증과 비판없이 임상에서 적용되어 왔음을 알 수 있다. 설계된 본 체외고정구의 완성을 위해서는 NCD 가공을 통한 ball의 제작에 많은 시간과 노력을 요하였고, 핀의 결합과 clamp부분의 적합한 고정을 위해서는 torque wrench 등의 보조기구를 자체 제작하였다(Fig. 2).

Fig. 1. External fixator developed by RIST and Yeungnam University

Fig. 2. Accessory devices for the external fixator
A: torque wrench, B: standard wrench, C: rod holder

2. 실험방법

본 연구에서는, 자체 설계한 체외고정구의 제작의 적합성을 평가하기 위해서, 체외고정구의 주요 성능의 기준중에서, 일차적으로 외부에서 하중을 작용시킬 때 골절부위의 변형을 최소화하려는 능력 즉 강성도(stiffness)를 측정하고, 제작된 기구가 견딜 수 있는 항복하중을 측정하여 실험적인 해석(experimental analysis)⁸⁾만을 시도하였다.

본 기구의 임상적용의 합당성을 얻기 위해서, 만능시험기(universal test machine) 및 MTS를 이용하여 강성도 및 항복하중만 측정하여, 기존의 수입 체외고정구인 Orthofix, Monfixateur 및 Hoffmann등과 실제적인 기계적인 특성을 상대 비교하였다⁸⁾. 작용하중은 축하중, 전후 굽힘하중, 좌우 굽힘하중 등의 3가지 형태로 결정하였고, 축하중을 작용함에 있어서 항복이 일어나는 상태를 측정하여 각 기구의 항복하중을 측정하였다.

또한, 자체 제작된 체외고정구를 이용하여, 핀의 사용 수(No.) 및 지름(d), 골격부에서부터 clamp까지의 거리(I), clamp간의 거리(L) 등의 변화에 따른 기계적 특성, 즉 강성도의 변화를 측정하여 분석하

였다. 표준상태를 핀의 사용 수를 2개, 지름을 6mm, 골격부에서부터 clamp까지의 거리를 6cm, clamp간의 거리를 20cm으로 하였고, 이러한 표준형상에서 1개의 요소를 각각 변화하여 축하중 상태에서의 강성도를 측정하여 상대 비교하였다(Fig. 3). 각 각의 변화된 요소는, 핀의 사용 수를 3개로, 지름을 5mm, 골격부에서부터 clamp까지의 거리를 8cm, clamp간의 거리를 15cm으로 하였다.

본 연구에서 사용한 성능실험은 각기구 자체의 강성도와 항복하중을 파악하는데 주목적을 두었으므로 골격구조 대신에 알루미늄 환봉을 이용하여 실험의 일관성을 기하였다. 실험 하중에 대한 변위측정을

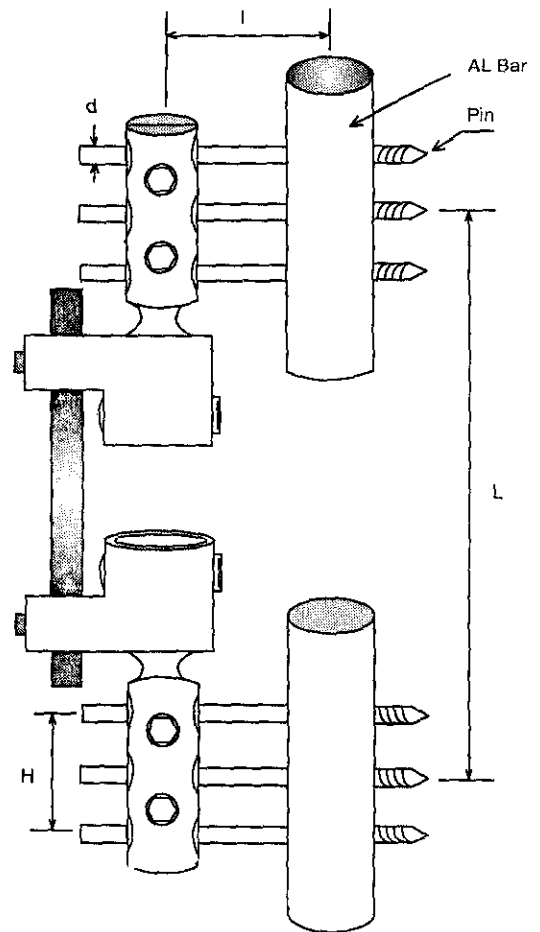


Fig. 3. Configuration and standard size of the experimental model
d: diameter of the pin (6mm), I: distance between the aluminium bar and the pin clamp (20cm), L: distance between pin clamp (6cm)

통한 강성도의 측정을 위해서는, 각 체외고정구를 알루미늄 환봉에 고정하여 MTS 및 UTM에 정착한 후, 전체 구조물이 항복하중을 받을 때까지 하중을 가하여 X-Y plotter를 통해 도시한 선도를 구하고, 이를 분석하였다. 하중의 형태 및 요소의 변화에 따라 각 기구에 대해 3회씩 반복하였으며, 3회 반복한 강성도 및 항복하중의 평균치를 사용하여 분석하였다. 각 기구의 screw는 torque wrench를 이용하여 170kg-cm로 균일하게 조인 후 실험하였다. 한편 압축하중을 가할 때 하중을 지지하는 알루미늄 선단은 편평한 부하판(flat load wahher)를 부착하여 일정한 면에서 하중을 받도록 했으며, 하중속도는 가장 정적인(static) 하중조건인 1mm/min로 일정하게 가하였다(Fig. 4).

성 적

만능시험기를 이용한 실험적 해석에 의한 각 체외고정구의 종류에 따른 강성도 및 항복하중을 상대비교한 후에, 여러가지 인자의 변화에 따른 자체 제작 체외고정구의 강성도의 변화를 관찰한 결과는 다음과 같다(Table 1-3).

축하중 상태에서 각 기구에 작용하는 항복하중은, Monofixateure에서 100N, Orthofix에서 850N, 그리고 Hoffmann에서는 500N이었으며, 자체 제작된 체외고정기구는 1050N의 항복하중을 보였다(Table 1). 각 기구에 따른 강성도 상대 비교에서는 축하중시, Monofixateure는 2391N/cm, Orthofix는 2930N/cm, Hoffmann이 882N/cm이고, 자체 제작 체외고정기구는 1900N/cm으로 Monofixateure와 Orthofix에 비하여 다소 떨어지나, Hoffmann에 비해 2배 이상의 강성도를 보였다(Table 2). 전후 굽힘하중에서는 자체 제작 고정구의 강성도가 600N/cm으로, 수입체외고정기구의 약 2배 정도이며, 좌우 굽힘하중에서는 강성도가 1400N/cm으로 Monofixateure, Orthofix에 비해 우수하며, Hoffmann과 비교시 약 3배 정도의 강성도를 가지고 있었다.

자체 제작된 체외고정기구가 축하중 상태에서 여러가지 요소의 변화에 따른 강성도의 변화를 관찰한 결과, 핀의 지름을 6mm에서 5mm로 사용시 강성도

Table 1. Maximum yielding loads and weight with relation to devices

	yielding load (N)	weight (Gm)
Monfixateure	1,000	415
Orthofix	850	662
Hoffman	500	936
Laboratory developed	1,050	801

Table 2. Experimental analysis of the stiffness with relation to devices (N/cm)

	axial compression	A-P bending	M-L bending
Monfixateure	2,391	333	1,176
Orthofix	2,930	338	1,117
Hoffman	882	323	490
Laboratory developed	1,900	600	1,400

Fig. 4. Expermental analysis of the stiffness and yielding load using Unversal Testing Machine (UTM)

1550N/cm으로 약 20% 정도 감소하였고, 골격부에서부터 clamp까지의 거리를 6cm에서 8cm로 증가시킨 경우에는 1250N/cm으로 약 35% 정도 감소하였으며, 핀의 사용수를 2개에서 3개로 증가시킨 경우에는 2100N/cm으로 약 10% 정도 증가하였으며, clamp간의 거리를 20cm에서 15cm로 감소시킨 경우에는 2650N/cm으로 40% 정도의 증가됨을 관찰할 수가 있었다(Table 3).

Table 3. Experimental analysis of the stiffness according to the change of each parameter (N/cm)

Laboratory developed device	
Standard*	1,900
d (5mm)	1,550
I (8cm)	1,250
No. (3)	2,100
L (15cm)	2,650

*; Standard experimental model :

d : diameter of the pin (6mm), I : distance between the aluminium bar and the pin clamp (20cm), No. : numbers of pins (2), L : distance between pin cramps (6cm)

고 찰

최근 공학의 급속한 발달과 더불어 소위 고에너지 손상이 증가함과 동시에, 정형외과 영역의 기기술이 괄목할 만한 발전을 거듭하여 오고 있어서, 실제 임상외과 사용에 숙달하기도 전에 새로운 형태의 기기가 소개되어 오고 있다. 이러한 기기들의 대부분이 수입에 의존되어 사용이 되고 있다.

그러나, 1980년 초반부터 국내의 여러 학자들에 의해서 한국인의 형태학적 특성에 대한 연구와 더불어 외과기기의 국산화의 시도가 되어 오고 있다³⁻⁷⁾.

또한 근래에 국내에서 타 분야의 공업이 발달함에 따라, 1980년대 초부터 Numerical Controlled Machine(NCD)의 도입 및 기술의 축적등을 통해, 외과기기의 생산능력을 국내 기업에서 보유하게 되었고, 이와 같은 정형외과용 의공제품의 생산은 실제 선진국에서도 대부분이 중소기업의 담당자가 되어, 이에 대한 사회적인 관심도를 갖게 되었다³⁻⁷⁾. 인체에 사용할 수 있는 인체 적합한 재질의 수입 또는 제작이 가능하게 되어 재질에 대한 문제점이 현재 해결되어

오고 있다⁴⁻⁷⁾. 그러나, 이러한 기기술은 임상 및 기초분야의 오랜 경험 및 습득된 기술을 바탕으로 이루어진 종합적인 산물로서, 새로이 개발된 기기를 실제 임상에 적용한다는 것은 시술자 입장에서나, 환자들을 위해서도 쉬운 결정이 아닐 것으로 사료되어진다. 이러한 반면에, 골절의 고정기구 및 인공관절등의 기구에 대한 기초적인 연구 또는 이의 개발과 관련된 응용연구의 국내적인 시도가 없이는 전술한 바와 같은 현재의 국내적 한계를 탈피한 창의적이고 근본적인 기술축적이 어렵다고 사료된다.

본 연구진에서는 이와 같은 관점에서, 고가로 수입되어, 임상에서 흔히 사용되는 반면에, 기계적인 특성을 가진 구조물로써 국내에서 생산이 비교적 용이한 체외고정구의 설계 및 제작을 실시하였고, 실제 임상에서 제한적으로 적용하여 현재 문제점을 보완하여 오고 있다. 먼저 임상에서 보다 적절한 적용을 위해서 자체 제작된 체외고정구의 기계적 특성을 파악하고자 하였다.

일반적으로 여러가지 기기의 역학적인 해석을 위해서는, 실제 만능시험기등을 이용하여 기구의 강성도 및 용력을 측정하는 실험적 해석법과, 유한요소법을 이용하는 이론적인 해석법을 이용하여 왔다^{8,11-16)}. 본 연구에서는 일차적으로 국산체외고정구의 설계에 따른 제작의 적합성을 확인하고, 실제 인체의 적용가능성에 대해서 확인하고자 하였기 때문에, 실험적인 해석법을 이용하였다. 또한 기구의 설계 및 제작 과정에 있어서, 기구에 발생하는 용력의 해석은 현재 임상적용과 더불어 진행 및 관찰 중에 있다.

수입된 각 기구에 대한 기계적 특성을 실험적인 해석법으로 분석한 결과, 항복하중에서 Monofixateur의 경우는 1000N 이상에서 고정기구의 side bar의 굽힘이 관찰되었으나, 고정기구의 side bar가 단일구조이고 기계적 결합부가 적어서 기구의 무게에 비해 항복하중 및 강성도에서 강한 구조로 평가되었다. Orthofix기구는 고정구의 side bar가 단일 구조로 되어 있어서 사용이 편리하고 강성도가 Hoffmann에 비해 좋으나 850N 이상에서는 기구의 side bar와 핀 결합부분의 ball-and socket형 결합부에서 이완(slip) 현상을 보였다. Hoffmann의 경우는 고정기구의 side bar가 복합구조이고 고정구에 기계적 결합부가 타 기구에 비해 많아서 무게가 무거움에도 불구하고 항

항복중 및 강성도가 가장 약한 것으로 평가되었다⁸⁾. 자체 제작된 체외고정기구는 항복하중에서 Orthofix와 유사한 ball-and socket형으로 1050N 이상이며, Orthofix에서 보는 바와 같이 ball-and socket형의 결합부에서 이완현상을 보였다.

자체제작된 체외고정기구는 실험에 사용된 수입기구와 비교하여 높은 항복하중을 보이고 있어, 골절편을 정적 고정 및 동적 고정하는데 있어서 가장 적합할 것으로 사료되었다(Table 1). 강성도의 관점에서는 축하중시 Hoffmann에 비해 2배 정도 우수하나, Monofixateur, Orthofix에 비해 떨어졌다. 이는 side bar의 강성도와 관계하는 것으로 사료되었으며, 결국 높은 항복하중에 비해 다소간의 감소된 강성도는 동적인 고정에도 다소간 도움이 될 수 있을 것으로 사료되었고, 이러한 현상의 적합성에 대한 임상적, 역학적 추적 조사가 요할 것으로 사료되었다. 그러나 전후 굽힘 하중, 좌우 굽힘 하중의 경우, 실험에 사용된 수입기구에 비해 우수한 결과를 보이고 있어서, 골절의 치유에 지장을 초래하는 전단력 및 우력에 대한 고정의 효과가 증가될 것으로 사료되었다(Table 2).

자체 제작된 기구의 실제 임상적용시, 표준의 상태로만 적용하는 것이 아니라, 연부조직의 손상을 동반한, 소위 개방성골절에서 적용되기 때문에 상황에 따라, 여러가지 요소의 변화가 요하여서, 축하중 상태에서 핀의 지름, 핀의 사용길이, 핀의 사용 수, clamp간의 거리의 변화에 의한 강성도의 변화를 실험적 해석법을 통해 분석하였다(Table 3). 실험 결과에서 알 수 있는 것과 같이 적용 방법에 따라 현저한 강성도의 차이가 발생하고 있었다. 직관적으로는 충분히 이해할 수 있는 요소이나, 실험적 측정된 결과에서 핀의 지름이 굵을수록, 골격부에서부터 clamp까지의 거리가 작을수록, 핀의 사용수가 많을수록, clamp간의 거리가 작을수록 강성도가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 자체 제작 기구 뿐만 아니라 수입 기구의 시술 적용시에도 고려되어야 할 요소이며, 이러한 요소를 생역학적으로 확인 및 고려한 후에 적절히 사용함에 따라 골절의 치료의 목적에 따라 적절히 이용할 수 있을 것으로 사료되었다.

일반적으로 기구가 가지고 있는 결합부가 적고, 기구의 무게가 무거운 것이 사용에 불편한 반면에, 높은 강성도와 항복하중을 가질 수 있다. 가볍고,

편리하며, 적용이 다양한 체외고정기구의 제작은, 좋은 창의력(Idea)에 의한 설계와 설계된 형상을 정확하게 재현할 수 있는 제작능력에 비례한다고 할 수 있다. 자체 제작된 기구는 수입기구에 비해 상대적으로 우수한 강성도 및 항복하중을 가지고 있으나, 본 기구의 무게가 801 g으로 수입기구의 평균치인 671 g 보다 1.2배 정도 무거웠다(Table 1). 이에 대한 편리성과 생역학적인 면은 임상의 적용을 통한 적합성을 찾아야 할 것으로 사료되었다. 실제 임상에서 본 기구의 적용시에, Hoffmann이나 Monofixateur에 비해 비교적 단순 구조로써 사용이 편리하나, Orthofix에 비해 사용이 다소 복잡하다는 문제점을 가지고 있었다. 이에 따라 기계적인 관점에서 개선되어야 할 점으로는, 현재 사용되고 있는 재질인 stainless steel에서 강도가 필요하지 않은 clamp등의 부분을 알루미늄으로 대체하여 무게를 줄이고, 기구의 형상 및 잠금장치(locking)를 변경함으로 보다 사용이 편리한 체외고정기구를 설계, 제작할 수 있으리라고 사료되었다.

결 론

본 연구의 주목적은 자체 설계제작된 체외고정기구와 수입체외고정기구에서 발견될 수 있는 문제점을 확인하여 자체 제작된 기구의 개선에 반영하고자 하였으며, 또한, 본 기구의 사용 방법에 따른 장, 단점을 실험적으로 확인하였다. 그 결과를 요약하면, 다음과 같다.

1) 항복하중의 비교시, 수입기구인 Monofixateur는 1000N, Orthofix는 850N, Hoffmann은 500N이었고, 자체 제작된 체외고정구는 1050N으로, 자체 제작된 기구가 가장 우수하였다.

2) 자체 제작된 체외고정기구의 강성도는, 축하중시 Hoffmann에 비해 2배 정도 우수하나, Monofixateur 및 Orthofix에 비해 다소 떨어졌다. 그러나, 전후 굽힘하중 및 좌우 굽힘하중의 경우, 수입기구에 비해 우수한 결과를 보였다.

3) 사용 핀의 지름이 굵을수록, 골격부에서부터 clamp까지의 거리가 짧을수록, 핀의 사용수가 많을수록, clamp간의 거리가 짧을수록 강성도가 증가하므로, 이러한 기구의 제작 뿐만 아니라, 임상에서 적용시에 이러한 요소에 대한 고려가 요할 것으로 사

료되었다.

4) 자체 제작된 기구의 무게가 801 g 으로 수입 기구의 평균치인 671 g 보다 1.2배 정도로 무거우며, 임상적용에 있어서 Hoffmann이나 Monofixateur에 비해 사용이 편리하나, Orthofix에 비해서는 다소 불편하다는 문제점을 가지고 있어서, 이에 대한 개선이 요할 것으로 사료되었다.

본 연구의 결과, 본 연구진에 의해서 자체 설계 및 제작된 체외고정구로써, 개방성장골 골절에 적용이 가능할 것으로 사료되었다. 또한, 추후 설계된 형상을 정확하게 재현할 수 있는 제작 능력의 확보와 개량 뿐만 아니라 임상 경험의 축적을 통해, 보다 편리하고 골절치료에 적합한 체외고정구의 설계 및 제작이 가능하리라고 사료된다.

REFERENCE

1. 김상림, 김영민, 최인호, 성상철, 정진엽, 김덕호 : 한국인 대퇴골에 관한 형태학적 기초연구. 대한정형외과학회지, 제 21권 제5호 : 767-780, 1986.
2. 김봉건, 박재공, 구인회, 광경덕 : 정상 한국성인 대퇴골 길이와 형태 측정에 대한 연구. 대한정형외과학회지, 제 18권 제3호 : 431-435, 1983.
3. 김종인, 서근택, 유충일, 김경택 : 국산 생체용 금속의 임상적 시험. 최신의학, 제 30권 제4호 : 53-68, 1987.
4. 배대경, 김상훈, 최주, 김재수, 이종근 : 한국형 인공슬관절 신합금 개발을 위한 실험적 연구. 대한정형외과학회지, 제 21권 제6호 : 971-986, 1986.
5. 이한구, 안궁환, 정문상, 성상철, 이수호 : 국산 생체용 금속판의 동물 실험. 대한정형외과학회지, 제 19권 제4호 : 699-706, 1984.
6. 이한구, 정문상, 성상철, 최인호, 서병호 : AISI 316 LVM강으로 KAIST에서 제작한 금속판 및 나사의 생체 적합성에 대한 동물 실험. 대한정형외과학회지, 제 21권 제4호 : 531-537, 1986.
7. 이한구, 정문상, 정민영, 전재명, 안궁환, 신명철, 이규환 : 인체 골주입용 금속의 국산화를 위한 동물 실험. 대한정형외과학회지, 제 18권 제3호 : 425-430, 1983.
8. 인주철, 안면환, 서재성, 이종형, 이일기, 송정일, 강영훈 : 체외고정기구의 강성도 측정. 대한정형외과학회지, 제 25권 제2호 : 535-544, 1990.
9. 정현두 : 한국인 대퇴골 전만에 관하여. 전남의대잡지, 제 11권 제1호 : 163-167, 1974.
10. 차승균, 오동철, 이원석, 김억중, 정진용 : 개방성 경골 골절의 Monofixateur이용에 대한 임상적 고찰. 대한골절학회지, 제 3권 제2호 : 262-267, 1990.
11. Chao, E.Y.S., Briggs, B. T. and McCoy, M.T. : *Theoretical and experimental analysis of Hoffmann-Vidal external fixation system. External fixation, The current state of art. pp. 345-370, Baltimore, Williams and Wilkins, 1979.*
12. Chao, E.Y.S. : *Stress and rigidity analysis of external fixation device. Finite element in biomechanics. 2nd Ed., pp 120-121, Univ. of Arizona, 1980.*
13. Fleming, B., Paley, D., Kristiansen, T. and Pope, M. : *A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator Clin. Orthop., 241 : 91-105, 1989.*
14. McCoy, M.T. : *A biomechanical study of different external fixation device based on bone fracture stiffness. M. S. Thesis, Mayo Clinic, 1979.*
15. McCoy, M.T., Briggs, B. T. and Chao, E.Y.S. : *A comparative study of external fixators based on bond fracture stiffness. 26th Orthopedic Research Society, 5 : 173, Feb., 1980.*
16. Paley, D., Fleming, B., Catagni, M., Kristiansen, T. and Pope, M. : *Mechanical evaluation of external fixators used in limb lengthening. Clin. Orthop., 250 : 50-57, 1990.*