대한골절학회지 제13권, 제1호, 2000년 1월
The Journal of the Korean Society of Fractures
Vol.13, No.1, January, 2000

국산 방사선 투과성 원형 외고정 기기의 생역학적 특성

최인호 · 김준경＊ · 최귀원＊＊ · 정진엽 · 조태준, · 이기석

서울대학교 의과대학 정형외과학교실
한국과학기술연구원 고분자복합재료연구실＊, 한국과학기술연구원 의과학센터＊＊

<국문초록>

목 적 : 저자들은 기존의 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기의 단점인 무게, 방사선 비투과성을 보완하고자 탄소섬유수지를 이용하여 국산 방사선 투과성 원형 외고정기기(KRCRF, Korean radiolucent carbon/graphite ring external fixator)를 만들었으며, 이의 생역학적 특성을 기존의 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기 및 유사 외제 탄소섬유수지 원형외고정기기(Smith-Nephew carbon fiber circular external fixator)와의 비교를 통하여 고찰하였다.

대상 및 방법 : 인체 경골 대용으로 아크릴 원기둥에 각각의 외고정기기를 90。- 90。 및 135。 - 45。 형태로 olive 강선을 이용하여 고정하고, Instron model No. 8500을 이용하여 축성 압박(axial compression), 전후면 및 측면 굴곡 압박(anteroposterior and mediolateral bending) 부하를 가하여 강성도를 구하였다.

결 과 : 대체적으로 축성 압박 강성도는 국산 방사선 투과성 원형 외고정기기가 가장 우수하였고, 전후면 및 측면 굴곡 강성도는 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기, 국산 방사선 투과성 원형 외고정기기, 외제 유사 탄소섬유수지 원형 외고정기기의 순으로 측정되었다.

결 론 : 방사선 투과성, 무게, 생역학적 특성 등을 고려해 볼 때 국산 방사선 투과성 원형 외고정기기는 기존의 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기, 외제 유사 탄소섬유 원형 외고정기기를 대체하여 유용하게 사용될 수 있는 외고정기기라 사료된다.

색인 단어 : 국산 방사선 투과성 원형 외고정기기, 원형 외고정기기, 생역학적 분석

서 론

1951년 Ilizarov에 의해서 고안된 Ilizarov 원형 외고정기기는 신연 골형성(distraction osteogenesis)의 개념[10-14]을 배경으로 기계적 안정성, 축성 미세 운동(micro-axial motion)[8,15,24]의 허용, 동시에 다방면(multi-directional), 다평면 교정이 가능한 다양한 구성[2,5,8,28] 등의 장점을 가지고 임상적으로 골절의 고정뿐만 아

※통신저자 : 최 인 호
서울특별시 종로구 연건동 28번지 (110-744)
서울대학교병원어린이병원 정형외과
Tel : (02) 760-3640
Fax : (02) 760-3367
E-mail : inhoc@plaza.snu.ac.kr

* 본 논문은 1996-1998년도 보건의료 협동과제로서 위탁 연구비 지원을 받아 이루어졌음.

니라 골변형의 교정, 불유합, 골결손, 골단축의 치료 등정형외과의여러분야에유용하게사용되어왔다. 그러나, 그 재질이 스테인레스강(stainless steel)으로 되어무겁고, 방사선비투과성이라서단순방사선검사를 통한골형성의유무, 변형의교정 정도등을 파악하기어려운단점들이있었다. 이를보완하기위해 서일부선진제국(미국, 이태리등)에서는가볍고, 방사선투과성인탄소섬유수지(carbon /graphite)를 재질로 한 원형 외고정기기가 제작, 사용되고 있으나, 이런고가(高價)의외국산탄소섬유수지외고정기기의 사용이국내에서는수월하지않았다.

이에 저자들은 산학협동의 일환으로 탄소섬유수지를재질로하는국산방사선투과성원형외고정기기(KRCRF, Korean radiolucent carbon-fiber ring fixator)를 독자적으로개발하였다. 본논문에서는 KRCRF의 역학적특성을 기존의스테인레스강 Ilizarov 원형외고정기기, 외제(外製) 유사 탄소섬유수지 원형 외고정기기(Smith-Nephew's carbon fiber circular external fixator)와비교관찰하고자한다.

연구 대상 및 방법

1. 외고정기기-아크릴원기둥복합체실험 (fixator-pylon complex model test)

1.1. 재료

1.1.1. 아크릴원기둥

인체 장골의 대용으로 길이 406mm, 직경 38mm의 아크릴 원기둥을 사용하였으며, 하중 전환기(load cell) 장착을위한 13mm 직경의구멍 2개와관통강선 고정을위한 1.8mm의구멍 8개를만들었다.

1.1.2. 국산 방사선 투과성 원형 외고정기기(KRCRF, Korean Radiolucent Carbon/Graphite Ring Fixator, 동광메디칼, DKM)

KRCRF는 carbon/graphite 재질에 Dow epoxy resin으로 3-dimensional reinforcement 시킨, 즉 삼차원적으로 교차 방직된 연결섬유(3-dimensional cross-woven continuous fiber)의구성을가진 탄소섬유수지를 재료로만들어져서기존의 스테인레스강 Ilizarov 원형외고정기기보다50 60%정도 가벼우며(Fig. 2), 임상적으로단순방사선검사에서골조직관찰에적합한방사선 투과성을 보였다(Fig. 1). 내경 140mm, 180mm, 200mm의 반원형고정환을만들었으며, 원형고정환으로 만들기 위한 두 반원형 고정환의 고정과 원형고정환사이의연결은스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기 부품(Richards, Texas, USA)을 그대로 사용하였다. 300mm 길이의나선형금속봉 (threaded rod)을 사용하여 4개의 원형 고정환을 연결하였는데, 중간 두원형고정환의간격은 127mm로하고이외의원형고정환사이의간격은 60mm으로고정하였다(Fig. 3).

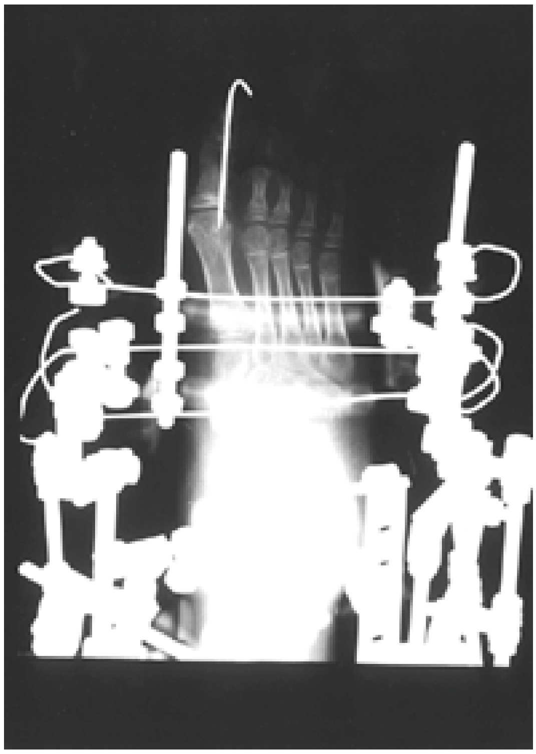


Fig 1. Clinical use of Korean Radiolucent Carbon/Graphite Ring Fixator(KRCRF). Anteroposterior radiograph of the foot with application of KRCRF for deformity correction in a 12-year-old patient shows excellent radiolucency.

1.1.3. 스테인레스강Ilizarov 원형외고정기기

스테인레스강을소재로하여 제조한 내경 140mm, 200mm의 반원형 고정환(Richards, Texas, USA) 2개를

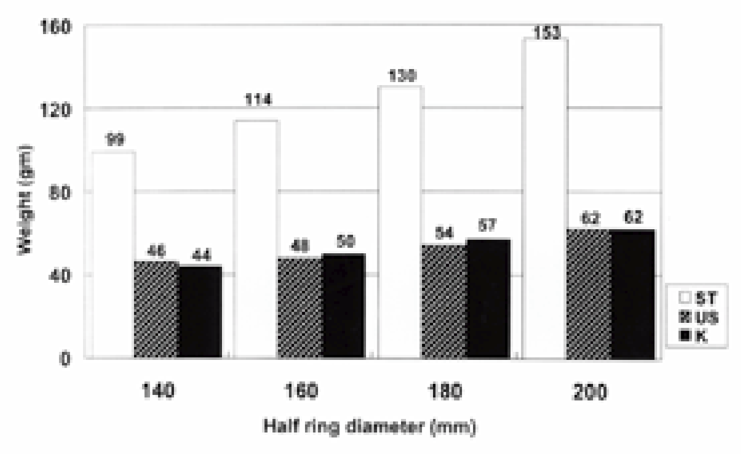


Fig 2. Comparison of the weight half rings between of Korean radiolucent carbon/graphite ring fixator(K), stainless steel Ilizarov system(ST) and Smith-Nephew carbon fiber circular external fixator(US).

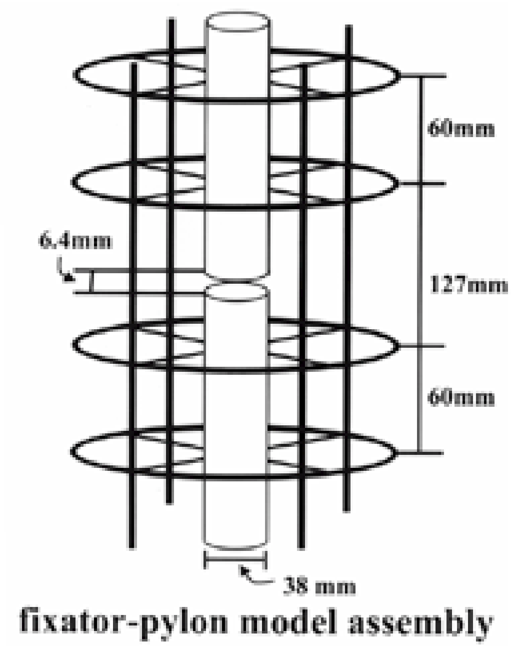


Fig 3. Schematic drawing of ring fixator-pylon complex.

결합하여원형고정환을만들고, KRCRF와동일하게 조립하여외고정기기를구성하였다.

1.1.4. 유사 탄소섬유수지 원형 외고정기기(Smith-Nephew's carbon fiber circular external fixator, Richards, Texas, USA)

Richards사의 내경 140mm, 180mm Smith-Nephew 탄소섬유수지 반원형 고정환(Smith-Nephew's carbon fiber circular external fixator) 2개를결합하여원형고정환을만들고, KRCRF와동일하게조립하여외고정기기를구성하였다.

1.2. 실험방법

경골에 고정하는 형태에 준하여 완성된 KRCRF, 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기, Smith-Nephew 탄소섬유수지원형외고정기기를아크릴원기둥에 부착하였다. 아크릴 원기둥을 외고정기기의 원형고정환중심에위치시킨후원기둥중앙부에서 6.4mm를절제하여골절간격을만들었다. 절단시에는 양분된 원기둥에 다이얼 계기(dial gauge)를 사용하여 공통중심성(concentricity)이 정확하게 유지되도록 하였다. 4개의 원형 고정환에 각각 2개씩, 총 8개의직경 1.8mm 스테인레스강olive 강선을아크릴 원기둥에 관통시킨 후 동력 강선 장력기(dynometric wire tensioner)를 사용하여 1300 Newton의 장력으로 고정하였다. olive 강선의 고정 형태는 90°- 90°인 경우와 135°- 45°인 경우로구별하였다. 완성된외고정기기-아크릴 원기둥 복합체(fixator-pylon model)에 대해서 Instron model 8500을 이용하여 축성 압박, 전후 및 측면 굴곡 강성도(axial compression, anteroposterior and mediolateral bending stiffness)를 측정하였다. 축성 압박부하는아크릴원기둥의장축방향으로가하였고, 굴곡부하의방향은 90°- 90°고정의경우는 2개의 olive 강선이이루는각을이분하는면을각각전후면과 측면으로 하였으며, 135°- 45°고정의 경우에는 135°를 이분하는 면을 그 전후면으로하고, 45°를 이

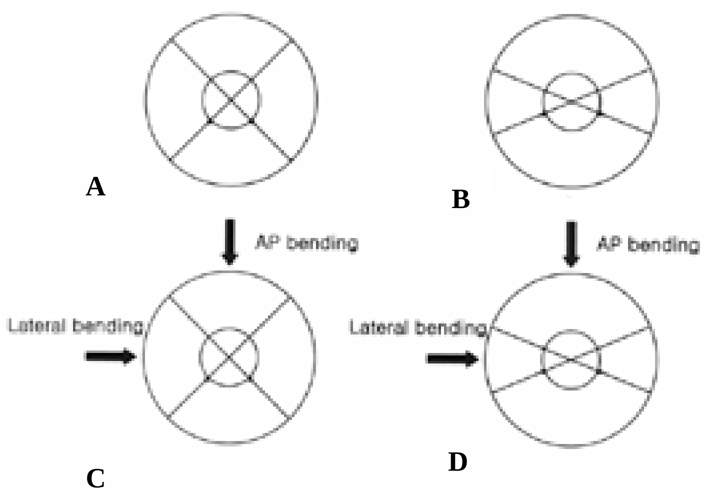
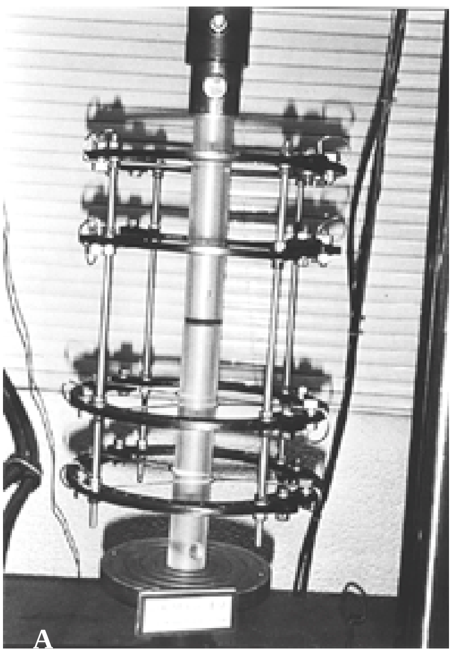


Fig 4. Schematic drawings showing the directions for anteroposterior and mediolateral bending tests. **A :** 90° - 90° configuration fixator-pylon complex model. **B :** 135° - 45° configuration fixator-pylon complex model. **C :** The direction of anteroposterior and mediolateral bending tests in 90° - 90° configuration fixator-pylon complex model. **D :** The direction of anteroposterior and mediolateral bending tests in 135° - 45° configuration fixator-pylon complex model.



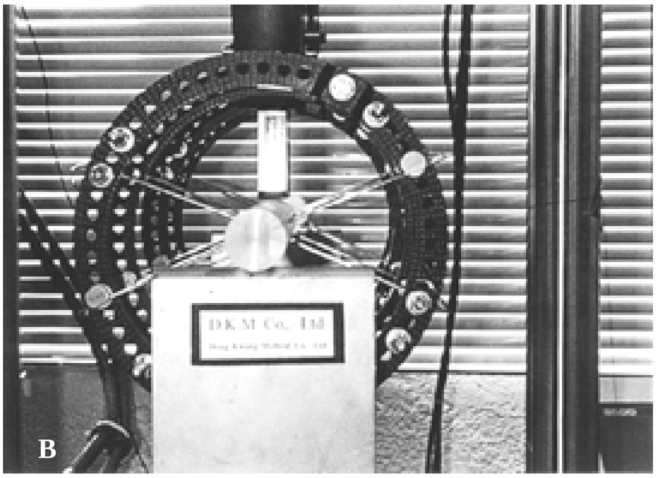


Fig 5. Korean radiolucent carbon/graphite ring fixator(KRCRF)-pylon model under test with Instron model No. 8500 **A** : axial compression test on 200mm diameter KRCRF in 135° - 45° configuration. **B** : anteroposterior(AP) compression test on 200mm KRCRF in 135° - 45° configuration.

분하는 면을 그 측면으로 하였다(Fig. 4, 5). 3가지 부하상태에 따라 동일 복합체에 대하여 동일한 부하검사를 10회씩반복하여시행하였으며, 매측정마다 olive 강선을 다시처음과마찬가지로 1300 Newton의 장력으로 긴장시켜 재고정하였다. 부하의 속도는 1mm/sec로 하였고 외고정기기-아크릴 원기둥 복합체의 모든 강성도는 부하-변형 곡선(load-deflection curve)의기울기로정의하였다.

2. 반원형고정환축성압박실험
(half ring axial compression test)

KRCRF와 Smith-Nephew 탄소섬유수지원형외고정기기의내경 140mm, 160mm, 180mm의반원형고정환에 Instron model 8500을이용해서수직으로압박을가하여부하-변위곡선(load-displacement curve)과파괴부하(failed load)를측정하여축성압박강성도를구하였다(Fig. 6). 각각3회씩반복하여실험하였다.

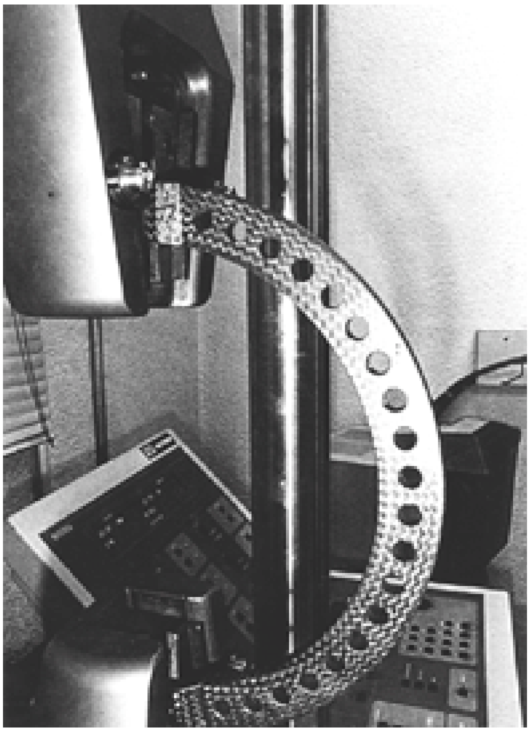


Fig 6. Axial compression test on Korean radiolucent carbon/graphite half ring.

3. 통계

결과에 대한 통계 처리는 각 군에서 측정 조건에 따른 결과의 비교를 위하여 Student t-test, Wilcoxon rank sum test, ANOVA test 등을 이용하여, p-value가 0.05이하인경우유의한것으로간주하였다.

결 과

1. 외고정기기-아크릴원기둥복합체실험 (fixator-pylon complex model test)

1.1. KRCRF와스테인레스강Ilizarov 원형외고정기기의비교

축성 압박 강성도(axial compression stiffness)는 내경 140mm인 경우 KRCRF가 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기에 비해 90°- 90°강선 고정 형태에서 18.8%(p=0.000), 135°- 45°강선 고정 형태에서 164%(p=0.000) 더 높은 값을 보였고, 내경 200mm인 경우 90°- 90°강선 고정 형태에서 19.5%(p=0.000), 135°- 45°강선 고정 형태에서 1.9%(p=0.002) 더 높은 값을 보였다(Fig. 7-A). 전후면 굴곡 강성도(anteroposterior bending stiffness)는 내경 140mm인 경우 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기가 KRCRF에 비해 90°- 90°강선고정형태에서 21.4%(p=0.000), 135°- 45°강선 고정 형태에서 13.3%(p=0.002) 더 높은 값을 보였고, 내경 200mm인경우 90°- 90°강선고정형태에서 17.2%(p=0.000), 135°- 45°강선 고정 형태에서 15.9%(p=0.000) 더높은값을보였다(Fig. 7-B). 측면굴곡 강성도(mediolateral bending stiffness)는내경 140mm인 경우는스테인레스강Ilizarov 원형외고정기기가KRCRF에 비해 90°- 90°강선 고정 형태에서 8.7%(p=0.001), 135°- 45°강선고정형태에서 17.5%(p=0.000) 더높은값을보였다. 내경 200mm인경우는 KRCRF가스테인레스강Ilizarov원형외고정기기에비해90°- 90°강선고정형태에서 2.5%(p=0.591), 135°- 45°강선 고정 형태에서 9.2%(p=0.068) 더높은값을보였으나이는통계적으로 유의하지는않았다(Fig. 7-C).

1.2. KRCRF와유사탄소섬유수지원형외고정기기(Smith-Nephew's carbon fiber circular external fixator)의비교

축성압박 강성도(axial compression stiffness)는 내경 140mm인 경우 KRCRF가 Smith-Nephew 탄소섬유수지 원형 외고정기기에 비해 90°- 90°강선 고정 형태에서 7.3%(p=0.000), 135°- 45°강선 고정 형태에서 3.4%(p=0.002) 더높은값을보였고, 내경 180mm인경우 90°- 90°강선 고정 형태에서 25.5%(p=0.000), 135°- 45°강선 고정 형태에서 10.7%(p=0.000) 더 높은 값을 보였다(Fig. 8-A). 전후면 굴곡 강성도(anteroposterior bending stiffness)는 내경 140mm인 경우 KRCRF가 Smith-Nephew 탄소섬유수지 원형 외고정기기에 비해 90°- 90°강선 고정 형태에서 10.5%(p=0.001), 135°- 45°강선 고정 형태에서 39.1%(p=0.002) 더 높은 값을 보였고, 내경 180mm인 경우 90°- 90°강선 고정 형태에서는 16.5%(p=0.000) 낮은값을보였다. 135°- 45°강선고정 형태에서 7.4%(p=0.073) 더높은값을보였으나 이는 통계적으로 유의하지는 않았다(Fig. 8-B). 측면 굴곡 강성도(mediolateral bending stiffness)는 내경

140mm인 경우는 KRCRF가 Smith-Nephew 탄소섬유수지 원형 외고정기기에 비해 90°- 90° 강선고정형태에서 4.9%(p=0.193) 더 높은값을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았고, 135°- 45° 강선 고정 형태에서 11.1%(p=0.003) 더 높은값을 보였다. 내경 180mm인 경우는 KRCRF가 Smith-Nephew 탄소섬유수지 원형 외고정기기에 비해 90°- 90° 강선 고정 형태에서 18.3%(p=0.000) 높은값을 보였으나, 135°- 45° 강선 고정 형태에서 7.7%(p=0.048) 더 낮은값을 보였다(Fig. 8-C).

1.3. KRCRF와 스테인레스강 Ilizarov 원형외고정기기 및 유사 탄소섬유수지 원형외고정기기의 비교

내경 140mm인 경우의 세 외고정기기의 비교에서 축성압박강성도는 KRCRF가 90°- 90° 강선고정형태에서 스테인레스강 Ilizarov 원형외고정기기에는 18.8% (p=0.000), Smith-Nephew 탄소섬유수지원형 외고정기기보다는 7.3%(p=0.000) 더 높은값을 보였고, 135°- 45° 강선고정형태에서는 각각 164%(p=0.000), 3.4%(p=0.002) 더 높은값을 보였다(Fig. 9-A). 전후면굴곡강성도에서는 KRCRF가 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기보다 90°- 90° 강선 고정 형태에서 21.4%(p=0.000), 135°- 45° 강선 고정 형태에서 13.3%(p=0.002) 낮은값을 보였으나, Smith-Nephew 탄소섬유수지원형외고정기기보다는 90°- 90° 강선고정형태에서 10.5%(p=0.001), 135°- 45° 강선 고정 형태에서는 39.1% (p=0.002) 더 높은값을 보였다(Fig. 9-B). 굴곡 강성도에서도 KRCRF는 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기보다는 90°- 90° 강선 고정 형태에서 8.7%(p=0.001), 135°- 45° 강선고정형태에서 17.5%(p=0.000) 낮은 값을 보였으나, Smith-Nephew 탄소섬유수지원형외고정기기보다는 90°- 90° 강선 고정 형태에

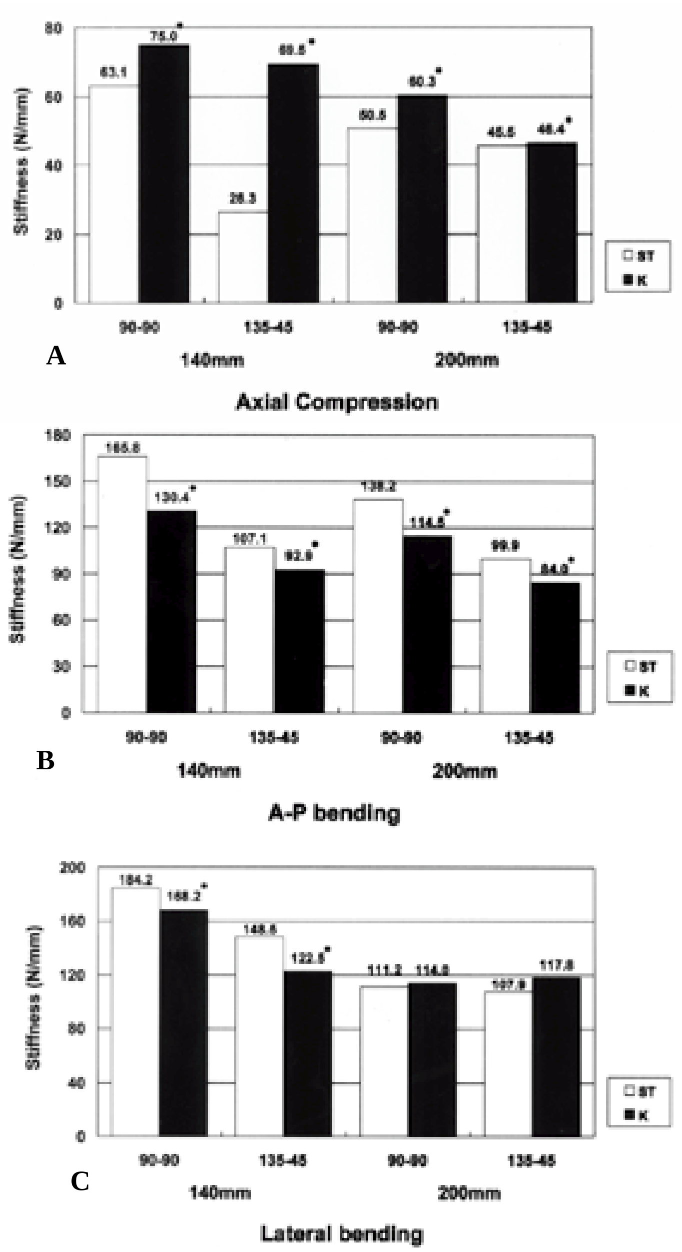


Fig 7. Comparison of the results of the fixator-pylon complex between Korean radiolucent carbon/graphite ring fixator(K) and stainless steel Ilizarov system(ST). **A** : axial compression stiffness. **B** : anteroposterior bending stiffness. **C** : mediolateral bending stiffness.
＊means statistical significance.

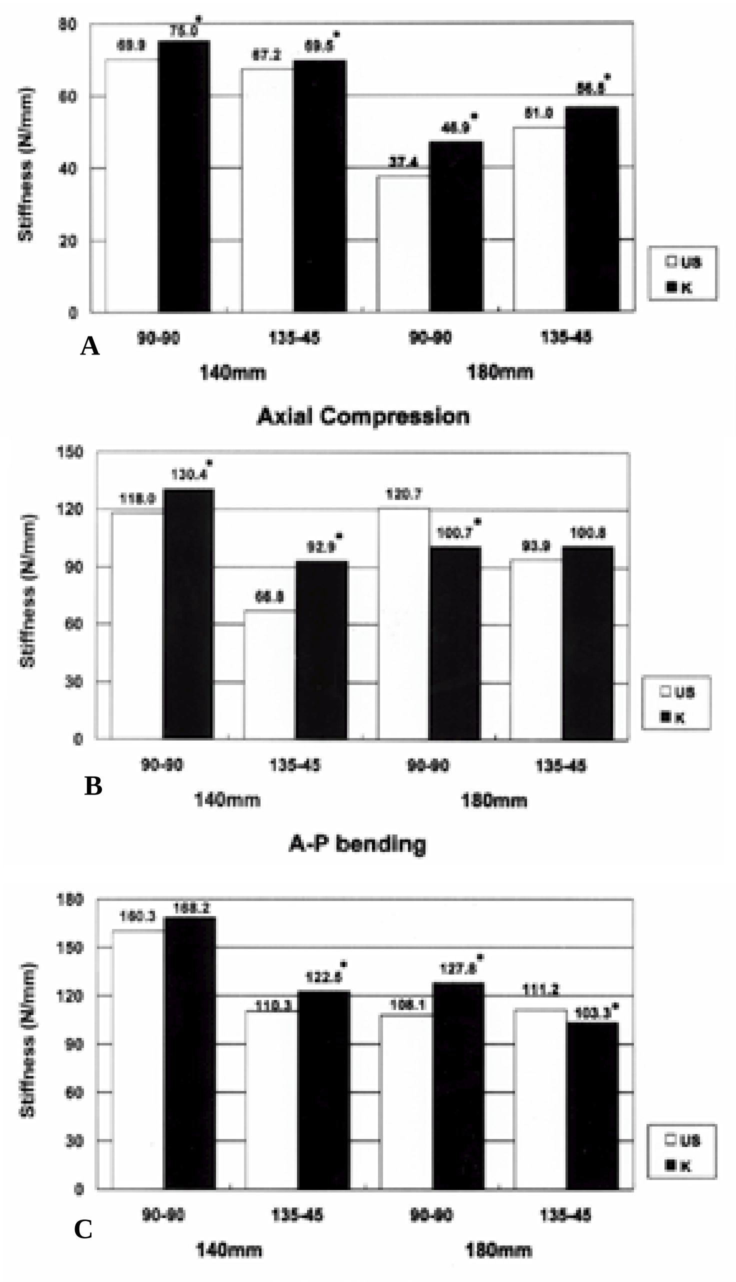


Fig 8. Comparison of the results of the fixator-pylon complex between Korean radiolucent carbon/graphite ring fixator(K) and Smith-Nephew carbon fiber circular external fixator(US). **A** : axial compression stiffness. **B** : anteroposterior bending stiffness. **C** : mediolateral bending stiffness. ＊means statistical significance.

서 4.9%(p=0.193), 135°- 45° **강선 고정 형태에서는** 11.1%(p=0.003) **더 높은 값을 보였다**(Fig. 9-C).

1.4. KRCRF의고정환크기에따른 기계적특성

축성 압박 강성도는 90°- 90° **강선 고정형태에서 내경** 200mm**의** KRCRF**가** 140mm**보다** 19.5% **낮았고,** 135°- 45° **강선 고정 형태에서 내경** 200mm**의** KRCRF**가** 140mm**보다** 33.3% **낮았다. 굴곡 강성도는** 90°- 90° **강선 고정 형태에서 내경** 200mm**의** KRCRF**가** 140mm**보다 전후면에서** 12.2%, **측면에서** 32.2% **낮았고,** 135°- 45° **강선 고정형태에서 내경** 200mm**의** KRCRF**가** 140mm**보다 전후면에서** 9.6%, **측면에서** 3.8% **낮았다**(Fig. 10).

2. 반원형고정환축성압박실험 (half ring axial compression test)

반원형 고정환의 파괴 부하에서 KRCRF **반원형 고정환이** Smith-Nephew **탄소섬유수지반원형고정환에 비해 내경** 140mm**의 경우는** 1.4%, **내경** 160mm**인 경우는** 21.5%, **내경** 180mm**인 경우는** 28.0% **높았으며, 내경** 140mm**의 경우를 제외하고는 통계적으로도 유의하였다**(Fig. 11-A). **부하-변위 곡선**(load-displacement curve)**에서도 전반적으로** KRCRF**가** Smith-Nephew **탄소섬유수지반원형고정환보다 높은 강성도를 보였다**(Fig. 11-B).

고 찰

이상적인 신연 골형성을 이루는 요건으로 생물학적 인자(biological factor) **와 기계적 인자**(mechanical factor)**를 생**

각할 수 있으며, 생물학적 인자로는 절골 방법, 절골 위치, 절골 부위 이개(diastasis) 유무등이있고, 기계적인자로는 고정의 안정성, 신연 속도와 리듬 등이 있다[3,4,,10-14]. 이들 요소 중 외고정기기의 안정성은 신연 골형성의 성공여부를 결정하는 하나의 중요한 요소이다. 이는고정이 불안정할 경우 절골부위에서전이(displacement)가 생길 수 있으며, 절골 부위에 골조직이 아닌 섬유조직이생기게 된다는점[13] 등에서 중요하다. 그러나, 너무 견고한고정은골경화를지연시킬수있으며, 적절한 축성 미세 운동(micro-axial motion)은 오히려 골형성에 유리하다고 알려져 있다[1,7,9,16-19,23,24,26,27,29]. 반면, 전단력(translational shear)은 골절치유와 골형성을 방해하는 것으로 알려져 있고, 굴곡(bending) 미세 운동도 골절치유를 촉진하지는않는것으로알려져있다[6]. 이상을고려할때신연골형성에 이상적인 외고정기기는 생역학적으로 안정성을 유지하면서, 축성 미세운동은허용하되, 굴곡및전단운동은 허용하지 않는특성을가져야 할 것으로사료된다. 이러한관점에서, 현재 사용되는 여러 형태의 외고정기기 중에 Ilizarov 원형 외고정기기가 가장 우수하다고 할 수 있다[8]. Ilizarov 원형 외고정기기는 원형의고정장치및 관통형(transfixing) 강선으로 이루어져 있는데, 생역학적으로 일측방 외고정기기 등에비해서비교적 우수한안정성을보이며, 체중부하시유연한강선의 굴곡을통한축성 미세운동을허용하는 장점이 있다[8,15,25]. 또한 원형 고정 형태이기 때문에 Orthofix 등의 일측방 외고정기기보다 훨씬 다양한 디자인이 가능하고, 동시에 다방면(multi-directional), 다평면교정이 가능하므로, 하지에서뿐만아니라, 상지단축및변

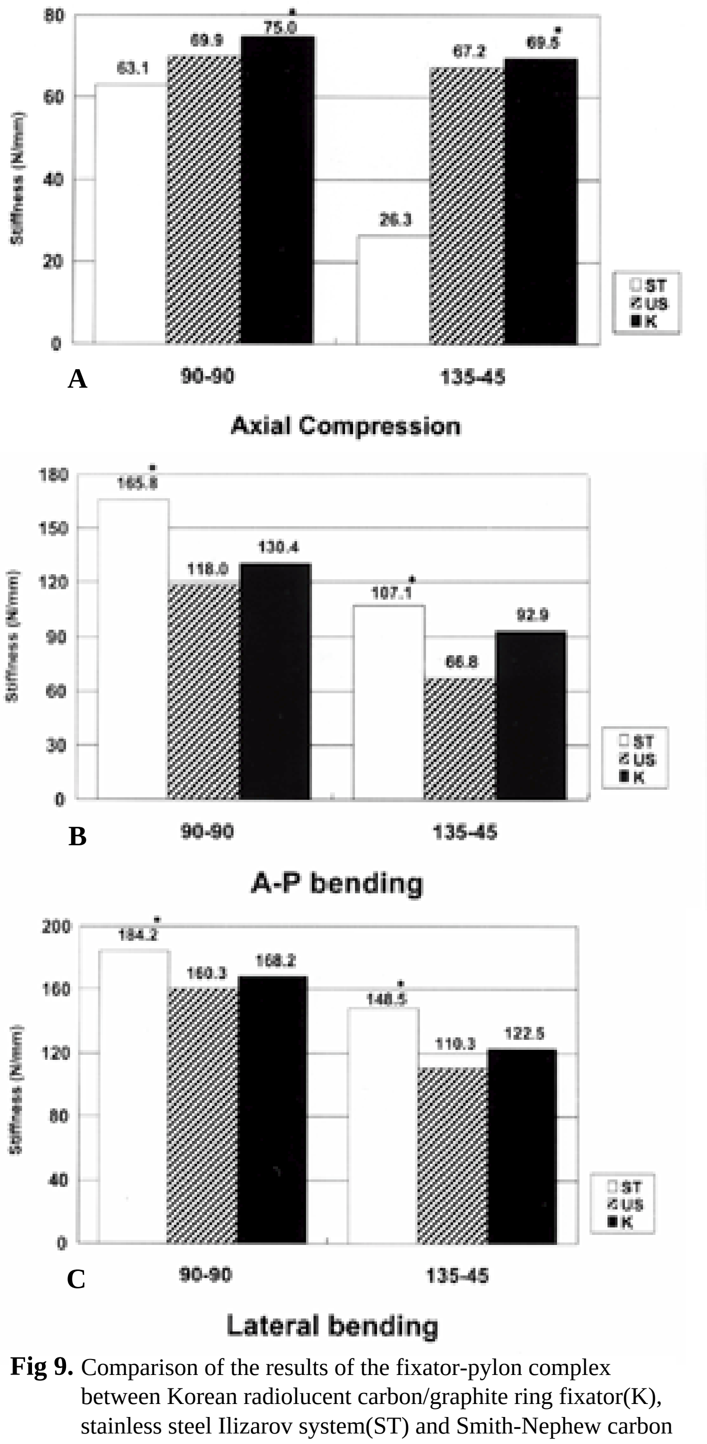


Fig 9. Comparison of the results of the fixator-pylon complex between Korean radiolucent carbon/graphite ring fixator(K), stainless steel Ilizarov system(ST) and Smith-Nephew carbon fiber circular external fixator(US) theis the ring diameters of 140mm. **A** : axial compression stiffness. **B** : anteroposterior bending stiffness. **C** : mediolateral bending stiffness. ＊means statistical significance.

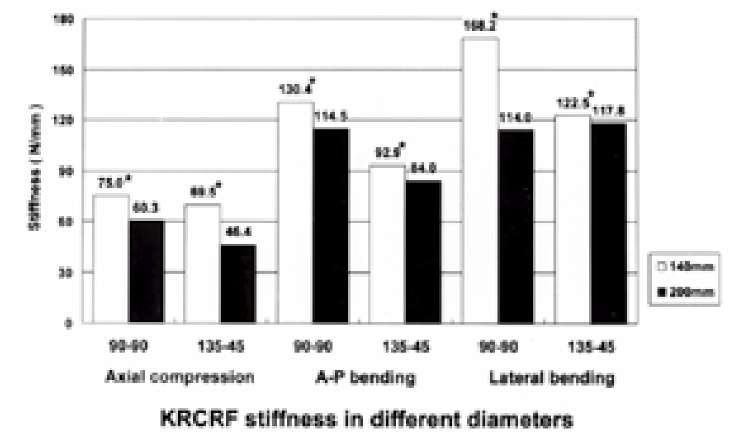


Fig 10. comparison of the results of axial compression, anteroposterior and lateral bending tests between 140mm and 200mm diameter Korean radiolucent carbon/graphite ring fixators.
*means statistical significance.

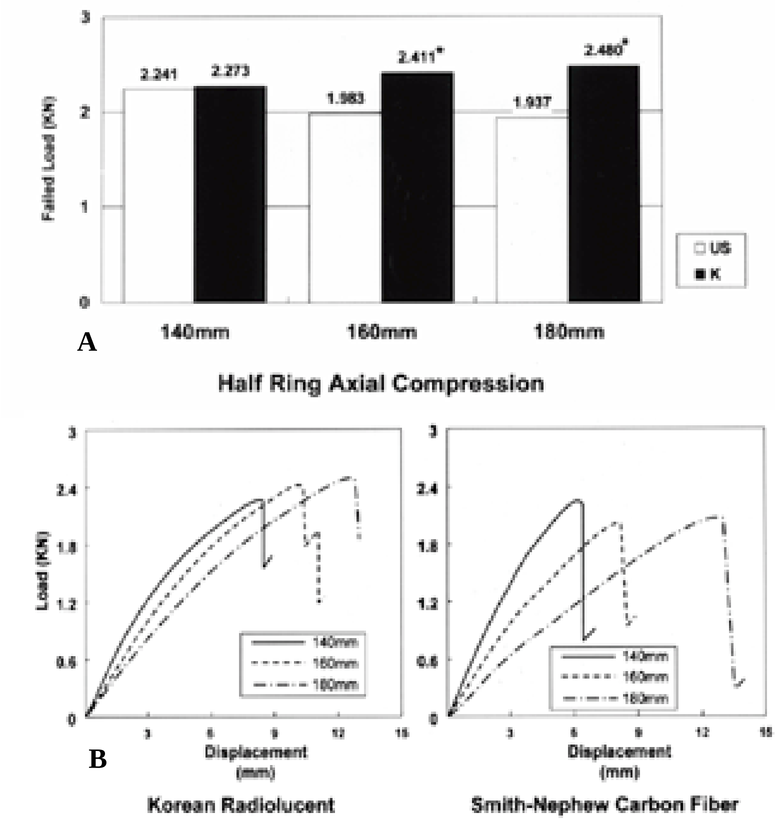


Fig 11. Comparison of axial stiffness of half ring of Korean radiolucent carbon/graphite ring fixator with that of Smith-Nephew carbon-fiber circular external fixator on axial compress. **A** : Failed load. **B** : Load-displacement curve.
*means statistical significance.

형, 복잡변형, 복합골절 등 치료가 용이하지 않았던 여러가지 질환에 매우 유용하게 사용될 수 있다[2,5,8,28]. 그러나 기존의 스테인레스강으로 만들어진 Ilizarov 원형 외고정기기는 다소 무겁고, 방사선 비투과성이라서 골형성의 유무, 변형의 교정정도 등을 파악하기 어려운 단점들이 있었다. 이에 스테인레스강의 생역학적 성질을 유지하면서, 가볍고, 방사선투과도가 높은 물질로의 대체 필요성이 대두되었다[20,21].

탄소섬유수지는 의학계에서 생체에 적합한 물질(biocompatible material)로 인정받고 있으며, 이를 강화시킨 graphite-reinforced resin composite는 임상적으로 건이나 인대손상의 복원, 연부 조직의 보완 등에 사용되고 있다[22]. 이러한 탄소섬유수지는 화학적으로 안정성이 있으며, 가볍고, x-ray나 gamma-ray의 흡수가 적은 장점이 있어 이를 원형외고정기기의 재료로 이용한다면 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다. 첫째, 방사선 투과성이 높아 신연 골부위의 방사선학적 판정에 많은 도움이 될 수 있고, 둘째, 같은 부피의 금속보다 무게를 감소시킬 수 있어 환자가 외고정기기를 착용할 때 불편을 줄일 수 있으며, 셋째, 외고정기기의 부피를 줄일 수 있다. 넷째, 내구성이 강하고, 다섯째, 피부색의 탄소 섬유 수지를 사용하면 미용적으로도 우수하다. 이러한 취지에서 선진 제국에서는 탄소섬유

수지를 이용한 원형 외고정기기가 개발되었고, 상기 한장점을가지고임상적으로유용하게사용되고있다. 하지만 이런 외제(外製) 외고정기기들은 고가(高價)이므로 국내에서 사용하기에는 다소간의 제약이 있었다. 이와같은상황에서본저자들은 산학협동의 일환으로순수국내기술을바탕으로하여 독자적인 국산방사선투과성원형 외고정기기(KRCRF, Korean radiolucent carbon-fiber ring fixator)를 개발하였고, 이에 대한 생역학적인 특성을 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기와 유사 외제 탄소섬유수지 원형 외고정기기와의비교를통해서고찰하였다.

본 연구에서 KRCRF는 전반적으로 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기, 외제(外製) 유사 탄소섬유수지 원형 외고정기기(Smith-Nephew 's carbon fiber external fixator)보다 우월한 축성 압박 강성도를 보였고, 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기보다는다소 뒤지지만 외제(外製) 유사 탄소섬유수지 원형 외고정기기(Smith-Nephew 's carbon fiber external fixator)보다는 우월한 전후 및 측면 굴곡 강성도를 보여 대체로 우수한 역학적 특성을 보였다고 할 수 있다. 하지만, 이처럼 우수한 KRCRF의 축성 압박 강성도는 신연골형성의관점에서볼때오히려두원형외고정기기에 뒤지는 생역학적 성질로 작용할 수 있는 바, 이것은우수한축성압박강성도가실제인체에작용하는 축성 압박 부하에 따른 신연골 형성 부위의 축성 미세운동(micro-axial motion)이 다른 두 원형외고정기기에 비하여 적을 수 있다는 점이다. 그러나, 아직까지어느정도의축성미세운동이골형성에가장 이상적인지에 대하여 확실하게 밝혀진 바가 없다는 점을감안한다면, KRCRF와스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기, 외제(外製) 유사 탄소섬유수지 원형 외고정기기(Smith-Nephew 's carbon fiber external fixator) 중에서어느것이더 신연골형성에유리한가 하는 논의는할 수없을것이며, 이에대한연구는향후계속진행되어야할것이다.

이상을종합하면, 저자들이순수국산기술을이용해서 carbon/graphite reinforced fiber를 재료로 하여 독자적으로개발한국산방사선투과성원형외고정기기는 기존의 스테인레스강 Ilizarov 외고정기기, 외제(外製) 유사탄소섬유수지 원형 외고정기기인 Smith-Nephew 탄소섬유수지원형외고정기기와비교할때, 역학적물성면에서뒤떨어지지않으며, 가볍고, 방사선투과성도뛰어난장점을지니고있다고여겨진다.

요약 및 결론

저자들은 carbon/graphite reinforced fiber를 재질로한 국산 방사선 투과성 원형 외고정기기(KRCRF)를 기존의 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기와 외제(外製) 유사탄소섬유수지 원형외고정기기인 Smith-Nephew 탄소섬유수지 원형 외고정기기와 생역학적인특성을비교하여다음과같은결과를얻었다.

1. KRCRF는 방사선 투과성이 뛰어나서 임상적으로골조직의방사선검사에적절하고, 그 무게도 가벼운특성을지닌다.
2. KRCRF는 전반적으로 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기, 외제(外製) 유사 탄소섬유수지 원형 외고정기기(Smith-Nephew 's carbon fiber external fixator)보다 우월한 축성 압박 강성도를 보였고, 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기 보다는다소뒤지지만외제(外製) 유사탄소섬유수지 원형 외고정기기(Smith-Nephew 's carbon fiber external fixator)보다는 우월한 전후 및 측면 굴곡강성도를보였다.
3. KRCRF는 원형 고정환의 직경이 감소하면 전반적으로 강성도가 증가하는 기존의 Ilizarov 원형 외고정기기의 일반적인 특성과 동일한 성질을 보였다.

이상과 같은 결과를 바탕으로 볼 때, KRCRF는 기존의 스테인레스강 Ilizarov 원형 외고정기기와 외제(外製) 유사탄소섬유수지 원형외고정기기인 Smith-Nephew 탄소섬유수지 원형 외고정기기를 대체하여 임상적으로유용하게사용될수있을것이다.

REFERENCES

1) **Aro HT, Kelly PJ, Lewallen DG and Chao EY** : The effects of physiologic dynamic compression on bone healing under external fixation. *Clin Orthop*, 256:260-273, 1990.

2) **Aronson J, Johnson E and Harp JH** : Local bone transportation for treatment of intercalary defects by the Ilizarov technique. Biomechanical and clinical considerations. *Clin Orthop*, 243:71-9, 1989.

3) **Bagnoli G and Paley D** : The compression-distraction apparatus of Ilizarov: Fundamental theoretical principles and mechanical characteristics. The Ilizarov method. SPA, Milan, Italy, *Masson Italia Editoni*:1-18, 1986.

4) **Canadell J** : Bone lengthening, Experimental results. J Pediatr Orthop Part B, 2:8-10, 1993.

5) **Catagni MA**, Bolano L and Cattaneo R : Management of fibular hemimelia using the Ilizarov method. *Orthop Clin North Am*, 22:715-722, 1991.

6) **Churches AE and Howlett CR** : The response of mature cortical bone controlled time varing loading. In : Cowin SC ed. Mechanical properties of bone. Vol 45. New York, *ASME pubilcation, AMD*:69-80, 1981.

7) **Egger EL, Gottsauner-Wolf F, Palmer J, Aro HT and Chao EY** : Effects of axial dynamization on bone healing. *J Trauma*, 34:185-192, 1993.

8) **Fleming B, Paley D, Kristiansen T and Pope M** : A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop*, 241:95-105, 1989.

9) **Goodship AE and Kenwright J** : The influence of induced micromovement upon the healing of experimental tibial fractures. *J Bone Joint Surg*, 67-B:650-5, 1985.

10) **Ilizarov GA** : Basic principles of transosseus compression and distraction osteosynthesis. *Orthop Traumatol*, 10:7-14, 1975.

11) **Ilizarov GA** : Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop*, 250:8-26 1990.

12) **Ilizarov GA** : General principles of transosteal compression and distraction osteosynthesis. In: proc. of Scientific Session of the Institutes of Traumatology and Orthopedics. *Liningrad*, 35-9, 1968.

13) **Ilizarov GA** : The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clin Orthop*, 238:249-81, 1989.

14) **Ilizarov GA** : The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop*, 239:263-85, 1989.

15) **Kay PR and Ross ERS** : Clinical measurement of the types of motion occuring in the Orthofix dynamic external fixator. In: Bone lengthening, Spain, *Universidad de Navarra*: 137-152, 1990.

16) **Kenwright J and Goodship AE** : Controlled mechanical stimulation in the treatment of tibial fractures. *Clin Orthop*, 241:36-47, 1989.

17) **Kenwright J, Richardson JB, Cunningham JL, et al.** : Axial movement and tibial fractures. A controlled randomised trial of treatment. *J Bone Joint Surg*, 73-B:654-659, 1991.

18) **Kenwright J, Richardson JB, Goodship AE, et al.** : Effect of controlled axial micromovement on healing of tibial fractures. *Lancet*, 22;1185-1187, 1986.

19.) **Kristiansen T, Fleming B, Neale G, Reinecke S and Pope M** : Comparative study of fracture gap motion in external fixation. *Clin Biomech*, 2:191-196, 1981.

20) **Lee DY, Choi IH, Chung CY, Cho T and Park YK** : Biomechanical analysis of translucent hexagonal external fixator. *J of Korean Fractures Society*. 2:379-387, 1997.

21) **Lee DY, Choi IH, Chung CY, Hwang KC adn Kim SJ** : Adjustable hexagonal external fixator. *J of Korean Orhtop Surgery*, 6:2176-2187, 1993.

22) **Litsky AS and Spector M** : Biomaterials. In; Simon SR ed. Orthopaedic Basic Science. *The American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 447-486, 1994.

23) **Noordeen MH, Lavy CB, Shergill NS, Tuite JD and Jackson AM**: Cyclical micromovement and fracture healing. *J Bone Joint Surg*, 77-B:645-8, 1995.

24) **Ostrum RF, Chao EYS, Bassett CAL, Brighton CT, Einhorn TA, Lucas TS, Aro HT and Spector M** : Bone injury, regeneration, and repair.

In; Simon SR ed. Orthopaedic Basic Science. *The American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 277-323, 1994.

25) **Paley D** : Biomechanics of the Ilizarov external fixator. Operative principle of Ilizarov: 33-41, Medisurgical video, Milan, *Italy*, 1991.

26) **Rubin CT and Lanyon LE**: Regulation of bone formation by applied dynamic loads. *J Bone Joint Surg*, 66-A:397-402, 1984.

27) **Steen H, Fjeld TO, Bjerkreim I, Tevik A, Aldegheri R and Trivella** G : Limb lengthening by diaphyseal corticotomy, callus distraction, and dynamic axial fixation. An experimental study in the ovine femur. *J Orthop Res*, 6:730-5, 1988.

28) **Testworth K, Krome J and Paley D** : Lengthening and deformity correction of the upper extremity by the Ilizarov technique. *Orthop Clin North Am*, 22:689-713, 1991.

29) **Wolf JW Jr, White AA 3d, Panjabi MM and Southwick WO** : Comparison of cyclic loading versus constant compression in the treatment of long-bone fractures in rabbits. *J Bone Joint Surg* 63-A:5, 805-10, 1981.

Abstract

Biomechanical Analysis of Korean Radiolucent Carbon/Graphite Ring Fixator

In Ho Choi, M.D., Jun kyung Kim, Ph.D.*, Kui won Choi, Ph.D., Chin Youb Chung, M.D., Tae-Joon Cho, M.D., Ki Seok Lee, M.D.**

Department of Orthopedic Surgery, Seoul National University College of Medicine, Polimer Composite Laboratory and Biomedical Research Center Korea Institute of Science and Technology**, Seoul, Korea*

Purpose : The mechanical stiffness of Korean radiolucent carbon/graphite ring fixator(KRCRF) was analyzed and compared with those of conventional stainless steel Ilizarov system and the Smith-Nephew carbon fiber circular external fixator.

Material and Methods : The transfixing olive pins of the circular fixator on the acryl pylon were assembled in 90°- 90° and 135°- 45° configuration, respectively. And the fixator-pylon model was loaded with Instron model No. 8500 in three testing modes: axial compression, anteroposterior(AP) bending and lateral bending.

Results : As compared with stainless steel Ilizarov fixator, the KRCRF was significantly more stiff on the axial compression test regardless of the ring size(140 mm and 200 mm diameters) and transfixation configuration. But, it was less stiff on the anteroposterior(AP) and lateral bending tests. When compared with the Smith-Nephew carbon fiber circular external fixator, the KRCRF was generally more stiff on the axial compression, AP and lateral bending tests regardless of the ring size(140 mm and 180 mm diameters) and configuration, except the AP bending stiffness in 90°- 90° configuration and lateral bending stffness in 135°- 45° configuration on the 180 mm diameter frame.

Conclusion : Considering the radiolucency, weight and biomechanical stffness, we think that the KRCRF is an excellent substitute for the imported circular fixators made of stainless steel or carbon/graphite.

Key Words : Korean Radiolucent Carbon/Graphite Ring Fixator, Biomechanical Anaylsis