

골절정복겸자가 하악골 골절정복에 미치는 효과에 관한 광탄성 연구

박진형 · 최병호 · 류태민 · 허진영*

연세대학교 치과대학 구강악안면외과학교실 (원주기독병원),
아산재단강릉병원 치과*

Abstract (J. Kor. Oral Maxillofac. Surg. 2002;28:464-471)

A PHOTOELASTIC STUDY ON EFFECTS OF BONE REDUCTION FORCEPS ON MANDIBULAR FRACTURE REDUCTION

Jin-Hyoung Park, Byung-Ho Choi, Tae-Min Yoo, Jin-Young Huh*

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, college of Dentistry, Yonsei University,

*Department of Dentistry, Asan Hospital, Ulsan University**

The purpose of this study was to evaluate the stress patterns within fractured mandibles generated by reduction forceps and to determine the optimal position of the reduction forcep. Twenty-seven mandibular models were fabricated using a photoelastic resin. Each of the three sets of mandible models prepared was osteotomized according to one of three different fracture types(symphysis, parasymphysis and body fractures). After reducing the cut segments, a reduction forcep was placed into different engagement holes to compress the segments. Photoelastic stress analysis was used to visualize the stress patterns within the fractured mandibular models generated by the reduction forcep.

In the case of symphysis or parasymphysis fractures, an optimum distribution of stress over the fracture site was achieved when placing the reduction forcep more than 12.5mm on either side of the fracture line between the midway level bisecting the mandible and 5mm below the level. In the case of body fractures, optimum stress distribution was achieved when the reduction forcep was placed more than 15mm from the fracture line on the midway level. In conclusion, a correct use of reduction forceps helps to provide a precise three-dimensional reduction for mandibular fractures.

I. 서 론

하악골골절의 치료는 골절편의 해부학적인 위치회복과 정확한 교합 및 하악기능의 회복을 목적으로 한다¹⁾. 이를 위한 치료방법으로서 약간 고정만 시행하는 비관혈적 방법이나 금속판을 이용한 골내고정을 시행하는 관혈적 방법이 오랫동안 사용되어 왔다. 그러나 약간고정을 이용한 치료방법은 구강위생불량, 음식물 섭취의 곤란, 언어장애 그리고 술후 장기간에 걸친 개구장애 등 환자에게 많은 지장을 주었다²⁾. 그리하여 약간고정을 시행하지 않고 수술직후부터 즉각적인 하악운동을 허용하면서 골유합을 유도하는 압박금속판³⁾을 이용한 골절편 고정방법이 지난 30여

년동안 사용되어 왔다. 그러나 압박금속판은 부피가 커서 구내 접근법으로 하악골 골절부위에 금속판을 고정시키기가 기술적으로 매우 어렵다. 그리하여 피부에 흉터를 남기지 않고 구내 접근법으로 금속판을 고정시킬 수 있는 소형금속판 고정방법^{4,7)}이 현재 널리 사용되고 있다.

이러한 금속판을 이용하여 골절편 고정 시, 골절편의 변이를 야기하지 않고 골절편에 금속판을 용이하게 고정하기 위하여 골절편을 잡고 유지시킬 수 있는 골절정복겸자가 흔히 사용되고 있다. 골절정복겸자는 골절부위에 골절편을 정복시키면서 골절면을 서로 밀착시켜 골절면의 접합면을 넓혀주는 작용을 하므로 골절편에 안정성을 높일뿐 아니라 골절편의 빠른 회복에 상당히 중요한 영향을 미친다. 그러나 골절편 정복을 위하여 골절정복겸자를 사용할 때 적용되는 쪽의 골절면은 압축되지만 반대쪽에서는 신장이 일어나 골절편에 정확한 정복이 이루어지지 않을 수 있다. 현재 많은 술자들이 골절부위에 따른 골절정복겸자의 정확한 사용 위치에 관한 객관적인 기준을 가지고 있지 않고, 더욱이 골절정복겸자로 인한 골절편의 올바른 정복이 이루어졌는지 육안으로 확인 할 수 없기 때문에 술자의 숙련도와 주관적인 판단에 의존해 골절정복겸자를 사용하고 있다. 골절정복겸자의 사용이

최 병 호

강원도 원주시 일산동 162번지
연세대학교 원주의과대학 구강악안면외과
Byung-Ho Choi
Department of OMFS Wonju Christian Hospital, Yonsei University
162 Ilsan-Dong, Wonju, Kwangwon-Do, Korea
Tel : 033-741-1430 Fax : 033-748-2025
E-mail : choibh@wonju.yonsei.ac.kr

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-20500-011-3) 지원으로 수행되었음.

골절정복에 미치는 효과에 관한 연구는 지금까지 보고된 것이 없다.

그리하여 본 논문에서는 하악골 골절정복 시 사용되는 골절정복검자의 최적의 위치를 제공하기 위하여, 골절정복검자에 의하여 하악골 내부에 발생하는 응력분포를 광탄성 실험법을 이용하여 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 광탄성 하악골 모형제작

광탄성 하악골 모형의 제작은 Rudman⁹⁾ 등이 기술한 방법에 따랐다. 먼저 하악골이 충분히 들어갈 수 있을 만한 크기의 거꾸집을 아크릴판을 이용하여 만들고 하악골에 분리재를 바른 후 받침을 이용하여 하악골을 거꾸집에 위치시켰다. 제작된 거꾸집에 하악골이 충분히 잠기도록 액체 실리콘(KE1402, Shinetsu, Japan)을 부어주었다. 4~5일 정도 실온에서 건조시킨 후 실리콘 주형에서 하악골을 분리해 내어 하악골의 음형을 가진 주형을 만들고 이 주형에 광탄성 재료인 Araldite(CIBA-GEIGY Co., Switzerland)와 경화제(HT-33)를 10:3의 비율로 혼합하여 만든 혼합용액을 주입하였다. 이것을 동결로(Riken Keiki Fine Instrument Co., Japan)에 넣어 5~6시간 동안 중합반응시켰다. 중합반응을 끝낸 실리콘 주형에서 광탄성 모델을 분리해냄으로써 광탄성 하악골 모형을 제작하였으며, 상기의 과정으로 27개의 광탄성 하악골 모형을 제작하였다.

2. 골절정복검자에 의한 하악골 모형 내 응력분포선 동결

제작된 광탄성 하악골 모형은 9개씩 세 개의 군으로 나누고, 각 군은 정중부, 견치부, 골체부 골절부위의 실험에 사용하였으며, 골절정복검자를 1회 사용할 때, 1개의 광탄성 하악골 모형을 사용하여 27개의 광탄성 하악골 모형을 사용하였다. 정중부 골절은 하악 중절치 사이를, 견치부 골절은 견치와 제 1소구치 사이를, 골체부 골절은 제 2소구치와 제 1대구치 사이를 절단하여 골절을 만들었다.

절단된 근심골편과 원심골편을 골절정복검자(Model 398.98, Synthesis, Austria)를 사용하여 정복 및 압박하였다. 사용한 골절정복검자는 가위 형태를 하고 있으며, 가압부, 힌지부, 손잡이부로 구성되어 있다. 손잡이부에는 골절편을 압박하고 유지할 수 있는 톱니 모양의 스톱퍼가 있다. 이 스톱퍼를 이용하여 골절편을 정복 및 압박할 수 있는 가압점의 범위는 20mm와 30mm 사이이다(Fig. 1). 골절정복검자의 침두부를 골절편에 적용하기 위하여 형성한 가압점의 위치는 하악골 높이의 중앙을 지나는 midway 높이와 이 midway의 상방 5mm를 지나는 높이, 그리고 하방 5mm를 지나는 높이의 각각에서 골절선 양측으로 10mm(A 가압점), 12.5mm(B 가압점), 15mm(C 가압점)로 하였다(Fig. 2). 골절정복검자에 의한 힘이 모든 광탄성 모형에 동일하게 작용하도록 하기 위하여 골절정복검자의 침두부를 가압점에 위치시킨 후 골절정

복검자의 손잡이에 있는 스톱퍼의 3개의 톱니만큼 골절편을 압박하였다.

골절정복검자에 의하여 정복 및 압박된 광탄성 모형을 동결로(Riken Keiki Fine Instrument Co., Japan)에 넣어 응력분포선 동결을 시행하여 광탄성 모형 내부에 생성된 응력분포선을 관찰하였다. 동결로 내부의 온도를 1~2시간에 걸쳐 120~130℃까지 서서히 상승시킨 후 이 온도를 3~4시간동안 유지시킨 다음, 시간당 2~4℃의 속도로 상온까지 하강시킴으로서 동결과정을 끝냈다(Fig. 3).

3. 3차원 광탄성 응력분석

3차원적 응력분석을 실행하기 위하여 모형의 외부와 내부에서 응력분포선 관찰을 하였다. 먼저 광탄성 하악골 모형에서 골절정복검자를 제거하고 광탄성 편광기(060 serise Polariscope, Measurement Group, USA)에 위치시켜, 모형을 정면으로 바라보는 방향에 나타난 외부 응력분포를 관찰하였다. 내부의 응력분포선 변화를 관찰하기 위하여 광탄성 하악골 모형을 교합면과 평행하게 midway 상방 10mm 높이와, midway 높이, 그리고 midway 하방 10mm 높이에서 절단하여 시편을 제작하였다(Fig. 4). 이렇게 제작된 광탄성 절단시편의 응력분포선을 주변 환경으로부터 간섭없이 관찰하기 위하여 alpha-bromnaphthalene과 유동파라핀을 용적비 1:0.585의 비율로 혼합한 용액이 담겨 있는 유리상자에 넣고 광탄성 편광기를 이용하여 동결된 응력분포선을 관찰하였다.

III. 결 과

모든 하악골 광탄성 모형에서 응력동결 후 광탄성 모형외부와 내부에 응력분포가 명확하게 남아있었으며, 골절정복검자의 위치에 따라 응력분포를 잘 나타내었다.

1. 정중부

가. Midway 상방 5mm 높이에 골절정복검자를 적용한 경우

A, B, C 가압점에서 하악골의 상단 및 상부의 설측과 순측에서 응력이 분포하였으나, 하악골의 하부에서는 설측에 응력이 분포하지 않았다(Fig. 5).

나. Midway 높이에 골절정복검자를 적용한 경우

A 가압점에 적용하였을 때는 하악골의 상연과 하연에 응력분포선이 분포하지 않았으며, 골절선의 상부에서는 순측과 설측 전방에서 응력분포를 관찰할 수 있었고, 중부와 하부의 설측에서 응력분포를 관찰할 수 없어, 응력의 분포가 상부에서 하부로 이동하면서 하악골 설측면의 응력이 감소하는 경향을 나타내고 있었다(Fig. 6-(A)).

B와 C 가압점에 골절정복검자를 적용했을 때는 하악골의 상연과 하연에서 응력분포를 관찰할 수 있었으며, 골절선의 상중하

부에서 순측부터 설측까지 응력이 분포되어 있었다(Fig. 6-(B),(C)).

다. Midway 하방 5mm 높이에 골절정복검자를 적용한 경우

A 가압점에 적용하였을 때, 하악골 상연에는 응력이 분포하지 않았고, 중부와 하부에서는 순측에서 응력이 분포하고, 설측에서는 응력분포를 관찰할 수 없었다. B와 C 가압점에서 하악골의 상연과 하연에서 응력 분포가 관찰되었으며, 상중하부에서도 순측과 설측에서 골절부위의 전반에 응력이 분포하고 있다(Fig. 7).

2. 견치부

응력분포는 정중부에서 관찰된 응력분포와 비슷한 응력 분포 경향을 나타내었다. A 가압점을 midway 높이에서 적용했을 때, 하악골의 상연과 하연에 응력이 분포하지 않았으며, 골절선의 상부에서는 골절편의 볼측에서 설측까지 응력이 분포하였으며, 중부와 하부에서는 설측에 응력분포선이 분포하지 않았다. B와 C 가압점을 midway 높이에서 적용하면 하악골의 상연과 하연까지 응력이 분포하였으며, 골절선의 상중하부에서 설측과 볼측까지 응력분포선이 분포하였다(Fig. 8). midway 하방 5mm 높이에서 A, B, C 가압점에 골절정복검자를 적용했을 때도 midway 높이에서의 결과와 비슷한 응력 분포경향을 나타내었다.

3. 골체부

골체부에서는 정중부, 견치부와 대조적으로 볼측에 분포하고 있는 응력분포의 폭이 정중부나 견치부에서보다 넓게 분포하고 있었다. 또한 midway 상방 5mm와 midway 하방 5mm에 골절정복검자를 적용하였을 때는 하악골의 상연과 하연에 응력이 분포하지 않았으며, 상중하부의 설측에 응력이 분포하지 않았다. midway 높이에서 A, B 가압점에 골절정복검자를 사용하였을 때, 하악골에의 상중하부에서 응력분포선이 분포하지 않았다. C 가압점에서는 하악골의 상연부터 하연까지 응력이 분포하고 있었으며, 골절선의 상중 하부 모든 높이에서 볼측에서 설측까지 응력이 분포하고 있었다(Fig. 9).

IV. 고 찰

실험에 사용한 골절정복검자는 통상의 가위 형태를 하고 있으며, 힌지부를 중심으로 한쪽에는 가압부가, 다른쪽에는 손잡이부가 있다. 가압부에는 서로 마주보는 방향으로 예각을 이루도록 벤딩되어 있는 첩두부가 있으며, 손잡이부에는 톱니모양의 스톱퍼가 있다. 또한 골절정복검자의 첩두부에는 미세한 요철이 형성되어 압박 및 고정 효과를 증진하고, 골절편을 압박 및 고정할 골절정복검자의 가압력은 스톱퍼에 의해 유지된다. 하악골 골절 치료에서 골절정복검자는 술자의 악력을 전달하여, 근심편과 원심편을 조작하고 정복하는 것이 그 주요 기능이다¹⁾. 본 연구에서는 이러한 골절정복검자의 첩두부 적용위치를 골절선을 따라 폭을

변화시키면서 사용하였을 때, 응력 분포가 첩두부의 적용위치에 따라 변화하였으며, 골절정복검자의 첩두부의 적용 폭을 증가시키면, 골내부에 형성된 응력이 더 넓은 영역에 대하여 응력분포선을 형성하는 것을 관찰하였다. 또한 가압점의 높이에 따라 상연이나 하연의 순측이나 설측의 일부분에 틈새가 발생할 수 있음을 관찰하였다. 그러므로 골절선의 틈새가 벌어지는 것을 막고 3차원적으로 완벽한 골절편의 밀착을 이루기 위해서는 골절정복검자의 적용 높이와 폭의 적절한 설정이 요구된다.

정중부와 견치부에서는 골절선을 기준으로 포물선과 같은 곡면의 형태를 하고 있으며, 이러한 곡면의 굴곡정도가 골절부위에 생성되는 응력분포에 상당한 영향을 미치게 된다¹⁾. 곡면의 굴절정도가 비슷한 정중부와 견치부 골절에서는 12.5mm 이상의 넓이로 골절정복검자를 적용했을 때 골절선 중심부분에 가장 넓게 응력이 분포하여, 응력분포의 중심이 하악골 내부에 위치하는 것을 관찰하였다. 또한 하악골의 상연과 하연의 골 두께 차이도 응력 분포에 영향을 주는 것으로 관찰되었다. midway 상방 5mm 높이에서 골절정복검자를 적용했을 때 하악골 하부에 분포한 응력이 작은 반면, midway 하방 5mm 높이에서 적용했을 때 하악골 상부에 분포한 응력은 midway 높이에서의 응력분포의 크기와 비슷한 결과를 보였다. 그러므로 정중부와 견치부 골절에서 골절편 전체에 걸쳐 응력이 분포하도록 하기 위하여 midway 높이와 midway 하방 5mm 높이 사이에서 12.5mm 이상의 가압점의 넓이를 적용하여야 하겠다.

골체부에서는 정중부, 견치부와는 달리 하악골면이 직선형태이기 때문에 골절정복검자를 적용했을 때 생성되는 응력분포의 중심이 볼측에 가깝게 형성되는 것이 관찰되었다. 실험결과에서 midway 높이에서의 응력분포가 볼측에 가장 넓게 분포하였고 설측으로 갈수록 감소하여, 가압점의 넓이가 15mm 이상일 때에는 설측까지 응력이 분포하였다. 또한 골체부에서 상연과 하연의 골 두께 차이가 정중부나 견치부에서보다 적었으며, 가압점의 위치가 midway 상방 5mm 높이와 하방 5mm 높이로 적용되었을 때 설측에 응력이 분포하지 않았다. 그러므로 골체부 골절에서 골절편 전체에 걸쳐 응력이 분포하도록 하기 위하여 midway 높이에서 15mm 이상의 가압점의 넓이를 적용하여야 하겠다.

하악골 우각부는 하악골체부와 하악지가 만나는 부위로 다양한 굴곡을 가진 형태이다⁹⁾. 이런 특수한 형태로 인하여 현재 우리가 사용하고 있는 대칭형의 골절정복검자를 하악골 우각부에 적용할 수 없었다. 이에 본 연구에서는 우각부에 대한 실험을 실행하지 않았다. 향후 지속적인 연구를 통하여 우각부 골절을 위한 새로운 형태의 골절정복검자의 개발이 필요하다고 생각된다.

하악골 모형에 생성되고 변화하는 응력의 분포를 관찰하기 위하여 본 연구에서는 3차원 광탄성 실험법을 사용하였다. 광탄성 레진으로 만든 모형에 하중을 가하면 모형내부에 하중의 크기에 따라 재료를 구성하고 있는 분자들의 위치변화가 발생되며, 이러한 분자들의 위치변화가 모형의 광학적 성질을 변화시키게 된다. 그리하여 모형내로 빛을 투과시키면 분자의 구조에 따라서 빛의 굴절각도와 속도가 달라져 응력의 크기에 따라 빛의 분포선이 생성된다. 이 빛의 분포선을 분석함으로써 광탄성 모형내의 응력분

포에 관한 정보를 얻을 수 있게 된다¹⁰⁾. 본 연구에서와 같이 복잡한 형상의 모형에서는 2차원 광탄성 분석법으로는 내부에 형성된 응력분포를 관찰할 수 없기 때문에, 3차원 광탄성 분석법을 실행하였다. 이는 골절정복검자에 의하여 광탄성 모형에 생성된 응력분포를 열을 가한 후 냉각시킴으로서 응력을 동결시켜, 동결 후 압원을 제거하여도 모형에 생성되었던 응력 분포가 사라지지 않게 하여, 동결이 끝난 모형을 절단하여 내부에 생성되어있는 응력 분포를 관찰하는 실험법이다¹¹⁾. 3차원 광탄성 실험법은 Umezaki 등¹²⁾, Nakagawa 등¹³⁾, Xie 등¹⁴⁾이 재료의 형태나 물성치, 편광의 정도 등에 따른 응력분포 변화를 공학분야 연구에 적용하였으며, Yamamoto 등¹⁵⁾, Michael 등¹⁶⁾, 안중철 등¹⁷⁾은 신체 내외부에 형성되는 응력이나 압력을 광탄성법으로 분석하여 정형외과학분야에 적용하였다. 치의학분야에서는 Rudman 등⁸⁾이 소형금속판이 하악골 골절에 미치는 영향을 광탄성법을 이용하여 연구하였으며, Asundi와 Kishen¹⁸⁾은 치아뿌리에 미치는 응력 분포에 관한 연구에 광탄성 실험법을 적용하였다. Nishimura 등¹⁹⁾은 인공치아 매식 후의 자연치와의 강성 비교 연구, Yoo 등²⁰⁾은 하악골 재건수술에 적용한 금속판에 대한 연구, Mentik 등²¹⁾은 근관기둥이 미치는 영향에 관한 연구에서 광탄성법을 적용하여 응력의 분포뿐 아니라 응력의 크기도 분석하였다. 본 연구에서도 골절정복검자가 골절편에 생성하는 응력의 분포뿐 아니라, 응력의 크기를 분석하였다면 더 정확한 결과를 얻을 수 있었을 것으로 생각된다.

V. 결 론

광탄성 하악골 모형을 이용하여 정중부, 견치부, 골체부 골절에서 midway 상방 5mm 높이, midway 높이, midway 하방 5mm 높이에서 10, 12.5, 15mm의 가압점 너이로 골절정복검자를 사용하여 골절편을 정복하고 압박한 후 3차원 광탄성 분석법으로 응력분포를 분석하였다. 그 결과 정중부와 견치부에는 midway 높이와 midway 하방 5mm 높이 사이에서 12.5mm 이상의 가압점 너이로 근심편과 원심편을 정복하는 것이, 그리고 골체부에는 midway 높이에서 15mm 이상의 가압점 너이로 정복하는 것이 효과적으로 골밀착이 이루어질 수 있었다.

참고문헌

1. Spiessl B, Rahn BA: Internal fixation of the mandible, Berlin: Springer. 1989.
2. 최병호, 유재하, 윤중호: Compression osteosynthesis로 하악골골절을 치료한 경우 골절선상의 치아가 감염에 미치는 영향. 대

- 한치과의사협회지 1994;32:69-74.
3. Perren SM, Russenberger M, Steinemann S, Müller ME, Allgöwer M : A dynamic compression plate. Acta Orthop Scand[Suppl] 1969;125:29.
4. Champy M, Lodde JP, Schmitt R, Jaegar JH, Muster D : Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. J Maxillofac Surg 1978;6:14-21.
5. Choi BH, Yoo JH, Kim KN, Kang HS : Stability testing of a two miniplate fixation technique for mandibular angle fractures An in vitro study. J Cranio Maxillofac Surg 1995;23:122-5.
6. Swaizumi M, Maruyama Y, Onishi K : Use of temporary miniplate for fixation in cases of mandibular fracture. J Craniofac Surg 1995; 6(5):417-20.
7. Edwards TJC, David DJ, Simpson DA, Abbott AH : The relationship between fracture severity and complication rate in miniplate osteosynthesis of mandibular fractures. Br J Plast Surg 1994;47:310-11.
8. Rudman RA, Rosenthal SC, Shen C, Ruskin JD, Ifju PG : Photoelastic analysis of miniplates osteosynthesis for mandibular angle fractures. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1997;84(2): 129-36.
9. Choi BH, Suh CH, Park JH, Yoo JH, Kim HJ : An effective technique for open reduction of mandibular angle fractures using new reduction forceps: technical innovations. Int J Oral Maxillofac Surg 2001;30:555-7.
10. Dally JW, Riley WF: Experimental stress analysis. 3rd ed. Seoul: McGraw-Hill. 1991.
11. Hetenyi M : The application of the hardening in three-dimensional photoelastic studies. J Appl Phys 1939;10:295-300.
12. Umezaki E, Kodama K, Shimamoto A : Evaluating the stress intensity factor using white light photoelastic experiment. Met Mater Int 2001;7(1):49-53.
13. Nakagawa Y, Yawata M, Kakio S : Enhancement of photoelastic constant of optical thin film waveguide assisted by surface acoustic wave. Ultrasonics 2000;38:590-3.
14. Xie H, Wang JA, Xie WH : Photoelastic study of the contact mechanics of fractal joints. Int J Rock Mech Min Sci 1997;34(5):865-74.
15. Yamamoto K, Hirokawa S, Kawada T : Strain distribution in the Ligament using photoelasticity: a direct application to the human ACL. Med Eng Phys 1998;20:161-8.
16. Michael RD, Abraham S, Jeff SBS : Photoelastic analysis of stresses produced by different acetabular cups. Clin Ortho 1999;369:165-174.
17. 안중철, 김세동, 안면환, 서재성, 류재만, 김상돈 : 정상인 기립위의 족저부 하중분포에 대한 광탄성 해석. 대한정형외과학회지 1994;29(4):1277-86.
18. Asundi A, Kishen A : Strain gauge and photoelastic analysis of in vivo strain and in vitro stress distribution in human dental supporting structures. Arch Oral Biol 2000;45:543-50.
19. Nishimura RD, Ochiai KT, Cupto AA, Jeong CM : Photoelastic stress analysis of load transfer to

사진부도 설명

- Fig. 1. Bone reduction forcep.
- Fig. 2. Midway and the positions of engagement holes.
- Fig. 3. Diagram for stress freezing.
- Fig. 4. Three places for model sections are parallel to the midway at 10mm intervals.
- Fig. 5. Mandibular model with symphysis fracture compressed 10mm on either side of the fracture line 5mm above the midway level. ;(a) frontal view of the model, (b), (c), (d) stress fringes in horizontal sections of the model.
- Fig. 6-(A). Mandibular model with symphysis fracture compressed 10mm on either side of the fracture line at the midway level. ;(a) frontal view of the model, (b), (c), (d) stress fringes in horizontal sections of the model.
- Fig. 6-(B). Mandibular model with symphysis fracture compressed 12.5mm on either side of the fracture line at the midway level. ;(a) frontal view of the model, (b), (c), (d) stress fringes in horizontal sections of the model.
- Fig. 6-(C). Mandibular model with symphysis fracture compressed 15mm on either side of the fracture line at the midway level. ;(a) frontal view of the model, (b), (c), (d) stress fringes in horizontal sections of the model.
- Fig. 7. Mandibular model with symphysis fracture compressed 12.5mm on either side of the fracture line 5mm below the midway level. ;(a) frontal view of the model, (b), (c), (d) stress fringes in horizontal sections of the model.
- Fig. 8. Mandibular model with parasymphysis fracture compressed 12.5mm on either side of the fracture line at the midway level. ;(a) frontal view of the model, (b), (c), (d) stress fringes in horizontal sections of the model.
- Fig. 9. Model with body fracture compressed 15mm on either side of fracture line at the level of the midway. ;(a) frontal view of the model, (b), (c), (d) stress fringes in horizontal sections of the model.

사진부도 ①

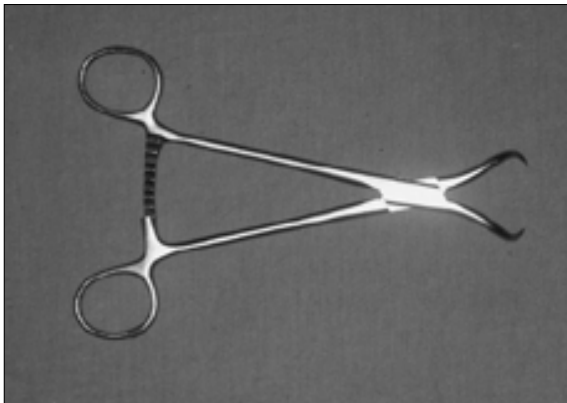


Fig. 1

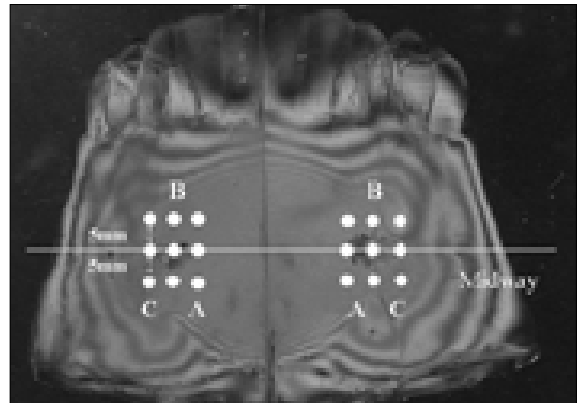


Fig. 2

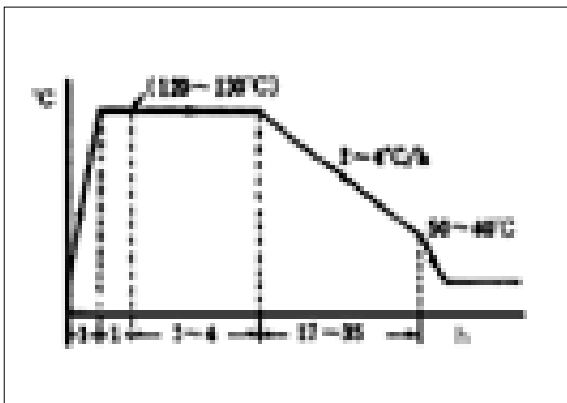


Fig. 3

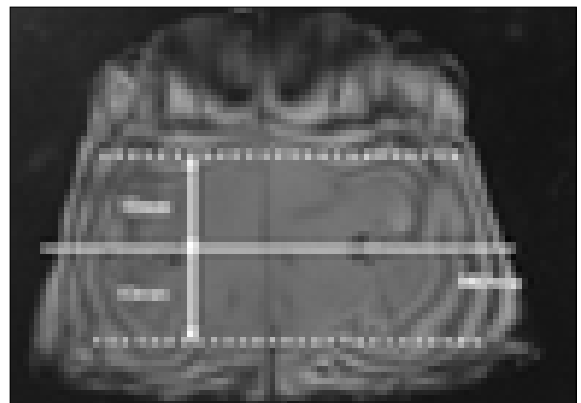


Fig. 4

사진부도 ②

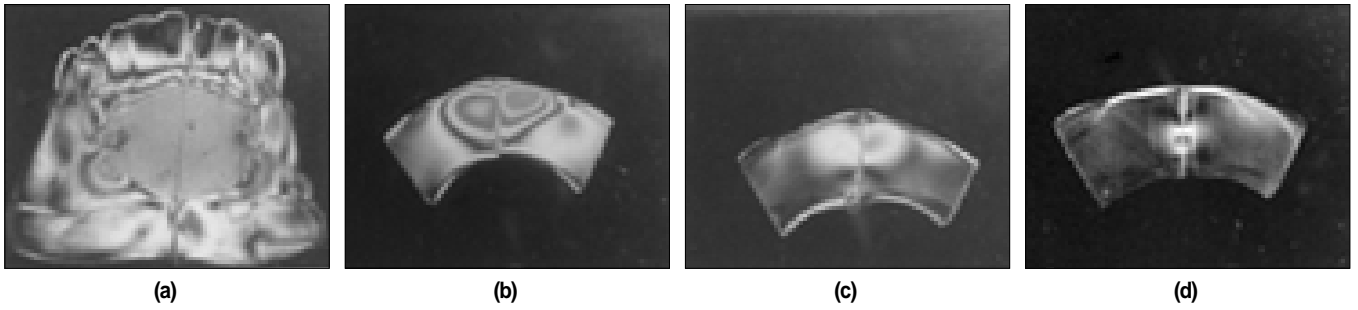


Fig. 5

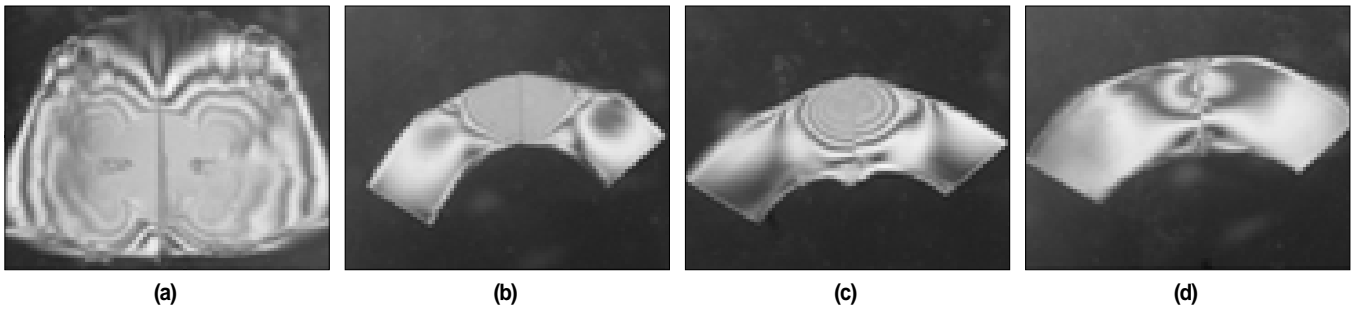


Fig. 6-(A)

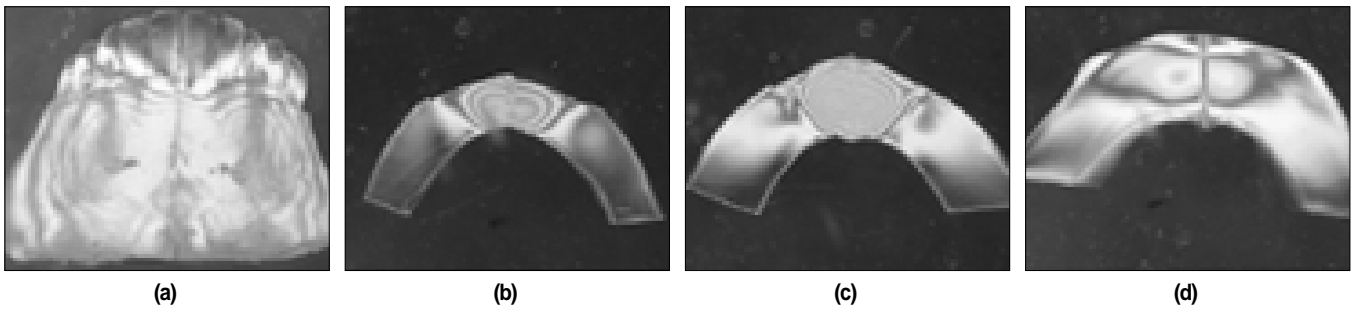


Fig. 6-(B)

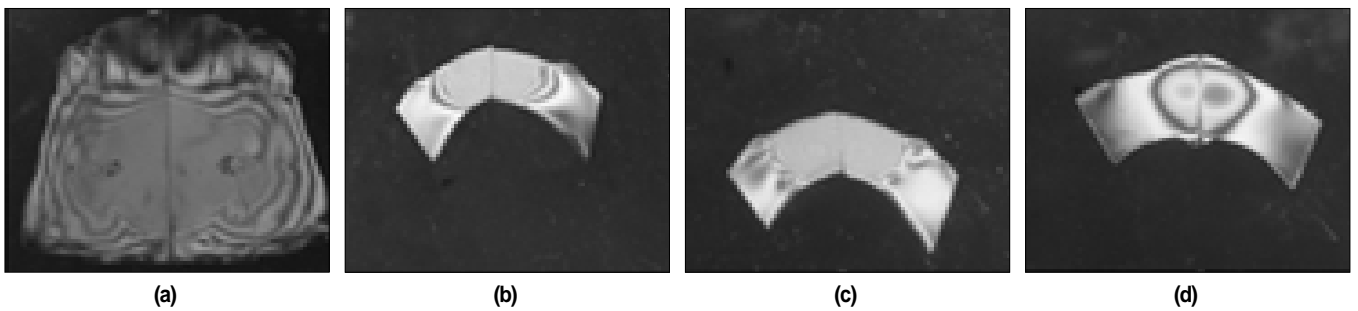


Fig. 6-(C)

사진부도 ③

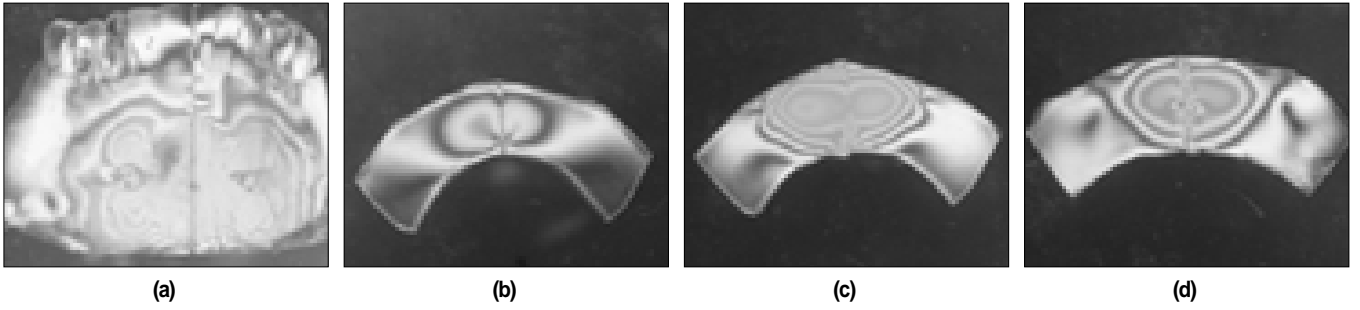


Fig. 7

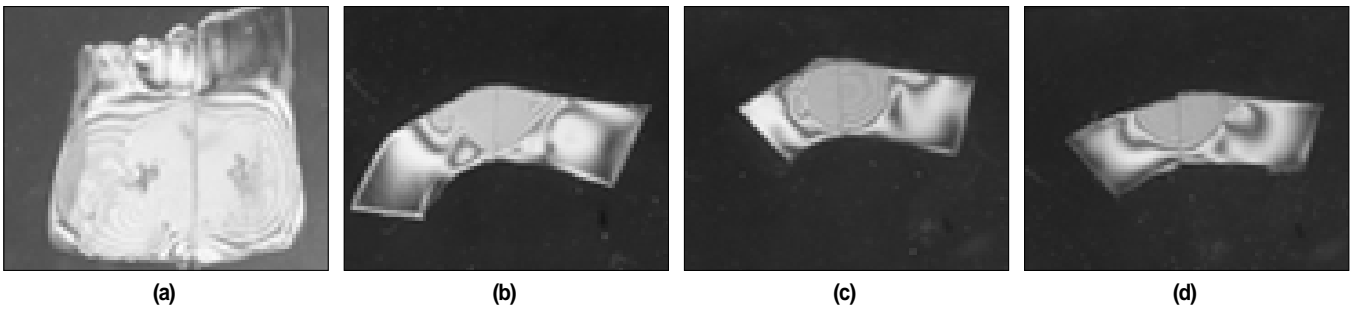


Fig. 8

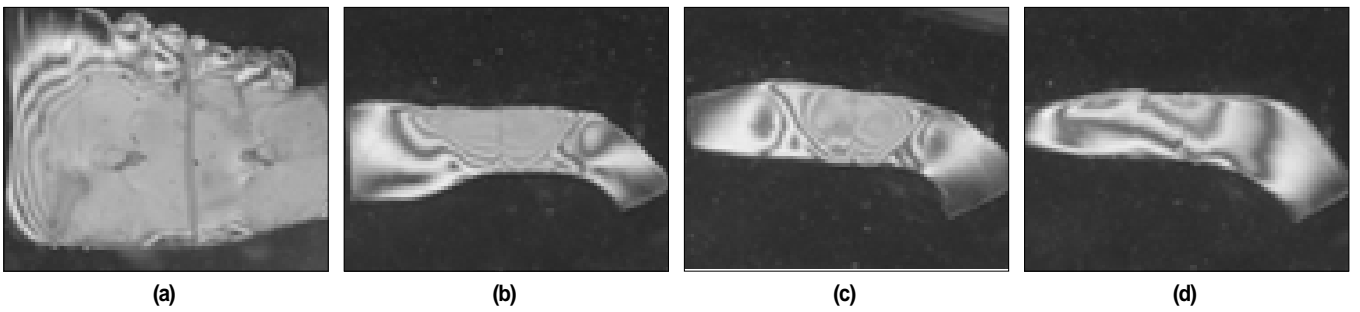


Fig. 9