

대퇴골 골절 수술 시뮬레이션

이 글에서는 고관절 부위의 대퇴골 골절에 대한 내고정 수술을 훈련할 수 있는 시뮬레이터의 연구개발에 관해서 소개한다.

대퇴골 골절과 치료

고관절은 몸통과 다리를 연결하는 관절로서 허벅지 뼈의 상부에 있는 둥근 공 모양의 부분과 소켓 모양의 골반 뼈로 구성된다. 보행할 때는 체중의 3~5배, 뛸 때는 체중의 10배까지의 힘이 고관절에 가해지는데 관절 질환과 골절이 많이 발생한다. 고관절부위 대퇴골 골절은 특히 신경 및 근육의 조절이 떨어지고, 골다공증이 많은 노인들에게서 많이 발생하며 인간의 수명이 연장됨으로써 그 발생 빈도가 매년 증가하는 추세다. 국민건강보험공단의 1999년부터 2003년 사이의 자

료를 살펴보면, 50세 이상에서 대퇴골 골절 건수가 남성은 1만 484건에서 2만 2,435건으로 114%, 여성은 1만 8,189건에서 4만 7,864건으로 164% 증가했다. 특히 노인의 대퇴골 골절은 발생 빈도가 높고 합병증과 사망률이 높으며 치료하더라도 1년 이내에 사망할 확률이 15~20%나 된다. 그리고 치료가 되더라도 장애가 남는 경우가 많다. 대퇴골 골절의 치료 원칙은 견고한 수술적 내고정(internal fixation)을 통하여 환자가 조기에 보행할 수 있게 함으로써, 침상에 누워만 있음으로 인하여 생기는 폐렴, 욕창, 요로 감염 등의 합병증을 예

방하는 것이다. 수술 후 1년 이내의 통산 사망률이 15~20%로 높지만, 수술 후 2주 이내에 보행이 가능하게 된 환자는 수술 1년 후에도 대부분 생존한다.

단순 골절이고 고정이 용이한 경우를 안정 골절이라 하고, 골절 상태가 복잡하고 정복(reduction)이 어려운 경우를 불안정 골절이라 한다. 젊은 연령층이나 활동력이 많은 노년층에게 발생한 안정 골절의 경우에는 내고정 수술(closed reduction and internal fixation)이 주로 추천된다. 불안정 골절의 치료방법은 환자의 나이, 활동력 정도, 골밀도, 다른 동반 질환, 여명과 순응

안형수 | 경북대학교 의과대학 해부학과, 교수
 박일형 | 경북대학교 의과대학 정형외과, 교수
 이두용 | 한국과학기술원 기계항공시스템학부, 교수

_e-mail : hyungahn@knu.ac.kr
 _e-mail : ihpark@knu.ac.kr
 _e-mail : lee.dooyong@kaist.ac.kr

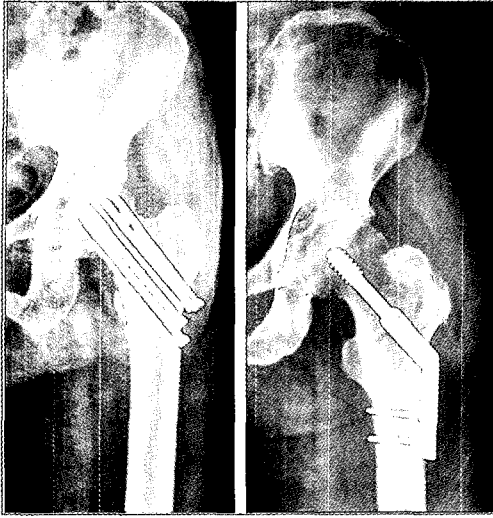


그림 1 내고정 수술 중 다발성나사못수술(좌)과 역동적 고나사수술(우)

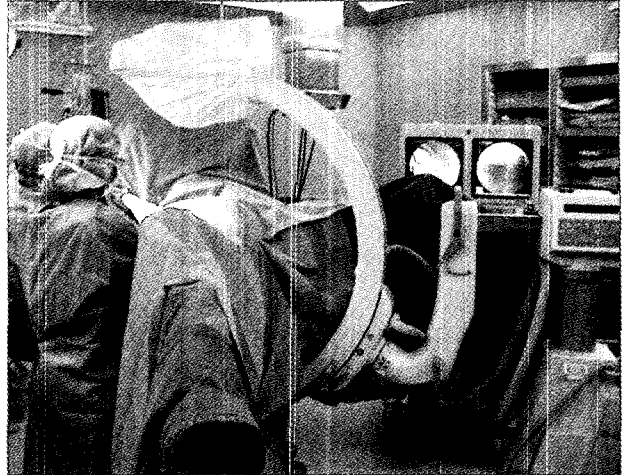


그림 2 대퇴골 골절 수술의 환경: 회전하는 C-arm을 통해서 촬영한 골절 부위의 상하, 좌우방향의 X선 영상을 관찰하여 가이드와이어(guide wire)의 삽입 방향과 깊이를 결정한다.

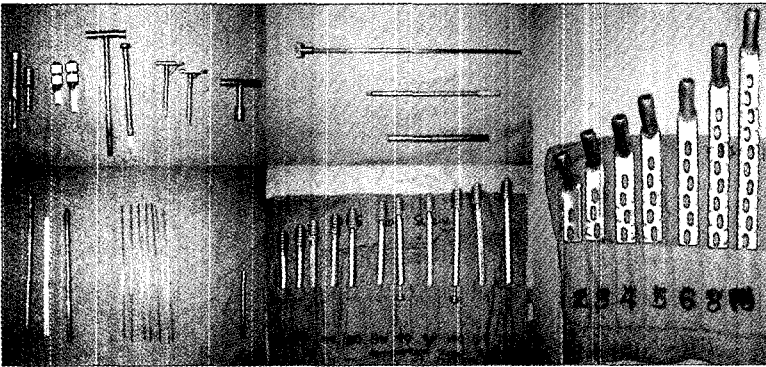


그림 3 내고정 수술용 도구

정도에 따라 결정된다. 만성질환이 없고, 활동력이 많으며 골상태가 양호한 환자라면 신속한 관혈적 정복 후 내고정을 실시한다. 활동력이 적고 만성질환이 있거나, 심한 골다공증이 있는 환자의 경우에는 인공관절 치환을 시행한다.

내고정 수술에는 다발성나사못(multiple pinning)수술, 역동적고나사(dynamic hip screw)수

술과 골수정 삽입술이 있다. 대퇴골 골절의 실제 수술에서 사용되는 빈도를 보면, 다발성나사못 수술이 20%, 역동적 고나사수술이 80% 정도이고 골수정 삽입술은 최근에는 거의 쓰이지 않는다. 다발성나사못수술은 부러진 골 상태가 비교적 양호하고 전위가 일어나지 않은 대퇴골 경부 골절일 때 사용되며, 대퇴골 경부에 지름 7~7.5mm의 나사 세 개를 정삼

각형 모양으로 평행하게 박아서 골절부위를 고정시키는 수술이다. 역동적 고나사수술은 골절 상태가 다발성 나사못 수술의 경우보다는 비교적 복잡한 경우에 사용된다. 이 수술에서는 역동적 고나사를 박아 넣을 삽입점(entry point)의 위치와 각도를 정확히 결정하는 것이 아주 중요하다. 내고정 수술을 시행할 때 삽입물의 선택은 골절의 위치와 모양, 환자의 상태, 시술자의 선호도와 경험, 내고정물 및 수술 기구와 수술 중 방사선 촬영의 용이성 등의 요인들에 의거하여 결정된다.

대퇴골 골절의 내고정 수술은 대퇴골 골절부위의 허벅지를 약 4~5cm만 절개한 후, C-arm을 통해서 촬영되는 X선 영상을 보면서 수행하는데 다음과 같은 어려움이 있다. 첫째, 절개부위가 작기 때문에 시야가 제한된다. 둘

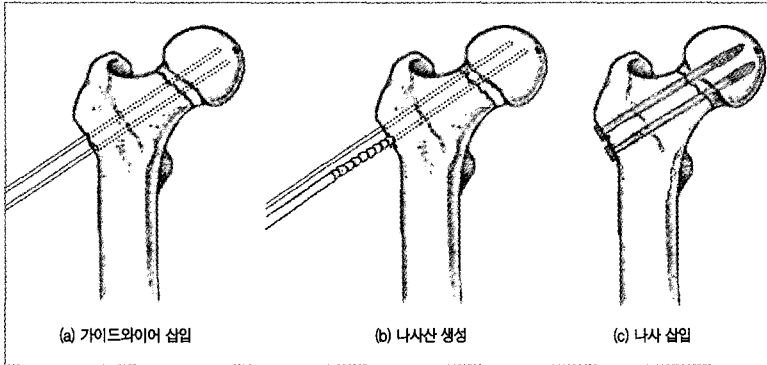


그림 4 다발성나사못수술

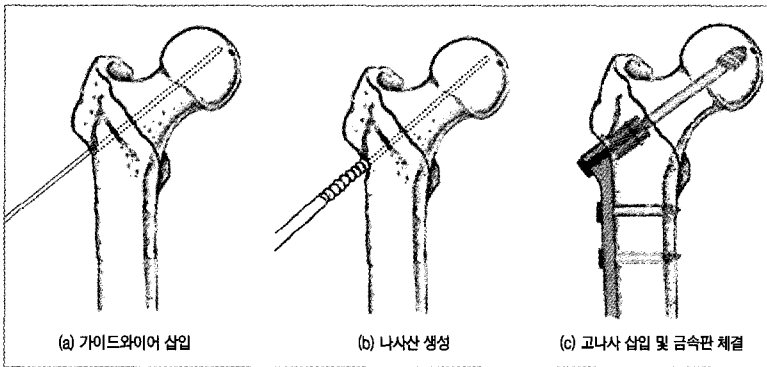


그림 5 역동적 고나사수술

째, 시술자가 2차원의 X선 영상을 관찰하여 수술 부위의 3차원 구조를 상상하고 내고정물의 삽입 위치와 방향을 결정해야 하는데, 그 허용 오차의 범위가 작다. 셋째, 뼈에 잘못 뚫은 구멍은 복구가 불가능하므로 실수가 용납되지 않는다. 넷째, X선 촬영을 통해 영상을 얻기 때문에 수술 시간이 길어질수록 의사와 환자가 많은 방사선에 노출된다. 다섯째, 실습용 인공 뼈 등 재료가 비싸서 수술 훈련의 비용이 높다.

다발성나사못수술의 개략적인 순서를 살펴보면, 먼저 X선 영상

을 보면서 부러진 뼈를 맞추고, 나사를 삽입할 위치와 방향을 결정한 후 세 개의 가이드와이어(guide wire)를 박는다. 중앙에 구멍이 있는 지름 4.5mm의 드릴을 이용하여 가이드와이어를 따라서 구멍을 뚫는다. 이 구멍에 탭을 넣고 나사가 들어갈 나사산을 만들어준다. 가이드와이어를 따라서 나사를 완전히 박아 넣은 후 가이드와이어를 제거한다. 역동적 고나사수술의 순서도 이와 비슷하다. 부러진 뼈를 맞추고 X선 영상을 보면서 고나사를 삽입할 위치와 방향을 결정한 후, 가

이드와이어를 대퇴골 머리 부분의 가운데로 박는다. 가이드와이어를 따라서 구멍을 뚫은 후 역동적 고나사를 박아 넣고 연결 금속판을 조립한다.

대퇴골 골절 내고정 수술 시뮬레이터

한국과학기술원과 경북대학교 의과대학은 공동으로 대퇴골 골절의 내고정 수술의 술기를 훈련할 수 있는 시뮬레이터를 개발하고 있다. 다발성나사못수술과 역동적 고나사수술의 공통적인 핵심 술기는 2차원 X선 영상을 관찰하면서 가이드와이어를 삽입할 위치와 방향을 3차원적으로 결정하는 공간 지각력과 드릴을 통해서 전달되는 햅틱 감각을 이용하여 뼈의 구조에 따른 재료의 작은 변화를 감지하고 삽입 깊이를 추정해내는 능력이다. 현재, X선 영상을 모사하고 햅틱 감각을 제공해 주는 그래픽 렌더링(rendering) 및 햅틱(haptic) 렌더링 모듈(module)과, 훈련과정을 평가할 수 있는 모듈이 개발되었다.

대퇴골의 표면 데이터를 이용하여 3차원 입체 영상을 생성하고, 블렌딩(blending)기법을 이용하여 X선 영상과 유사한 영상을 구현하였다. 나사못의 삽입이 완료된 후에는 수술 부위의 영상을 3차원으로 복원하여 수술의 결과를 확인할 수 있다.

드릴과 뼈 사이의 접촉 감각을

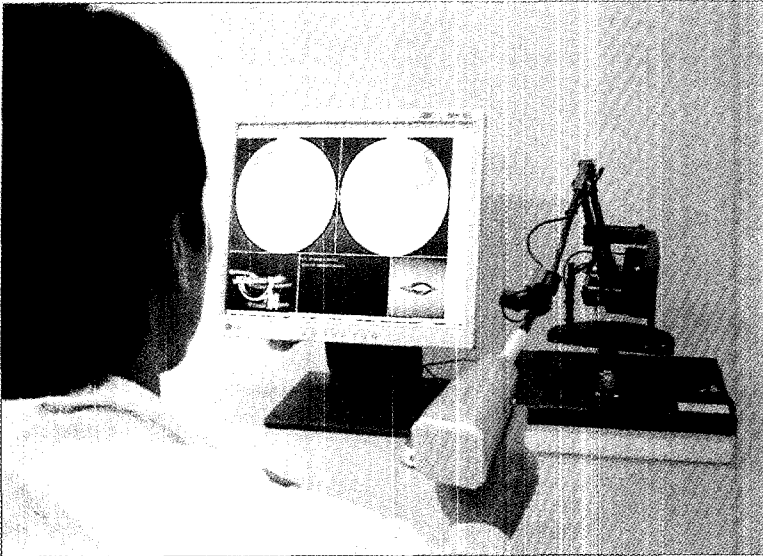


그림 6 KAIST-KNU 내고정 수술 시뮬레이터(KAIST 로봇 및 시뮬레이션 연구실, 경북대학교 의과대학병원)

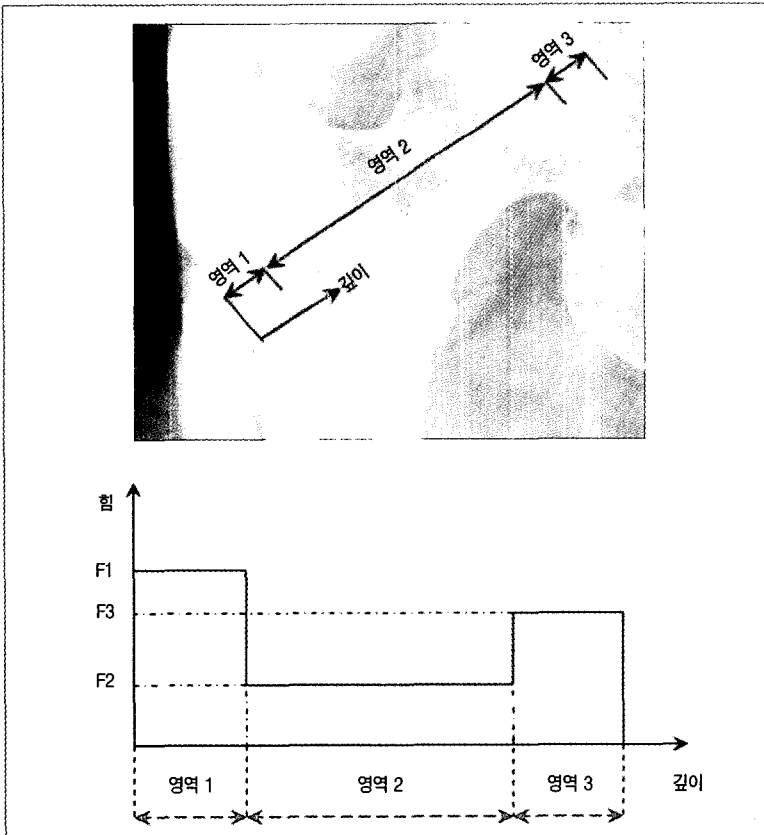


그림 7 대퇴골에 삽입된 깊이에 따른 반력의 변화

제공하기 위해서 드릴의 컴퓨터 모델과 대퇴골 모델 사이의 접촉을 감지하기 위한 검사가 실시간으로 이루어진다. 삽입 위치를 결정한 후 뼈 내부로 가이드와이어를 삽입할 때는, 삽입된 깊이에 따라 계산된 햅틱 감각이 제공된다. 일반적으로 뼈의 외부는 단단하고 내부는 비교적 무른 구조로 되어 있기 때문에, 뼈에 삽입된 깊이에 따라서 계산된 반력을 제공함으로써 시뮬레이션의 충실도를 높여야 한다.

시뮬레이터의 화면은 5개의 창으로 구성되었다. C-arm을 이용하여 위에서 아래로 찍은 X선 영상과 옆에서 찍은 영상을 보여주고, C-arm의 위치를 확인하고 변경할 수 있는 창이 있다. 실제 시술의 경우에는 한 대의 C-arm으로 한 번에 한 위치에서의 영상만 얻을 수 있고, 방사선 조사량을 최소화하기 위해 꼭 필요한 경우에만 간헐적으로 촬영하여 영상을 획득한다. 시뮬레이터에서는 초보자들을 위해서 C-arm의 위치를 연속적으로 변경하며 연속적인 X선 영상을 획득하며 훈련할 수 있는 기능을 추가하였다. 허벅지의 절개된 수술 부위와 노출된 대퇴골의 영상을 보여주고, 햅틱장치의 조작에 따라서 드릴의 위치와 방향이 표시된다.

수술 시뮬레이션이 끝난 후 사용자는 자신이 행한 수술의 결과를 확인할 수 있다. 다발성나사못 수술의 평가 인자는 시술 시간,



그림 8 시뮬레이션 화면의 구성 : 수직, 수평의 X선 영상, C-arm의 위치, 대화 창, 그리고 허벅지의 절개 부위를 보여준다.

되고 있다. 이 글에서는 신진 의사들을 교육하기 위한 시뮬레이터에 대해서 소개하였으나, 오랜 경험으로 숙련된 의사들을 위한 시뮬레이터도 필요하다. 대퇴골 골절의 경우에도 골절의 형태와 뼈의 구조 등 개인차가 많기 때문에, 실제로 의사들은 시술에 들어가기 전에 미리 촬영된 영상을 보면서 시술의 계획을 수립한다. 이러한 시술 계획 과정에서 계획된 시술을 연습해보고 그 결과를 평가할

재시도 횟수, 세 개의 삽입된 가이드와이어 사이의 평행도와 각도, 가이드와이어와 뼈의 중심선 사이의 거리, 가이드와이어의 삽입 위치 등 총 다섯 가지이다. 역동적 고나사를 이용한 내고정술의 경우에는 한 개의 가이드와이어를 삽입하므로 가이드와이어가 뼈의 중심에 삽입되었는지를 평

가인자로 활용한다.

맺음말

의료 시술의 술기를 훈련하는데는 기획, 비용, 기간 등 여러 가지 어려움이 있다. 이러한 어려움을 완화하고자 각종 시술에 대한 시뮬레이션들이 연구개발

수 있는 시뮬레이터는 시술자의 자신감을 높이고 시술의 성공률을 높이는 데 크게 기여할 수 있다. 현재, 개발되고 있는 대퇴골 골절 수술 시뮬레이터의 전문가 변별 능력, 술기 훈련 효과, 훈련에 영향을 주는 인자 등을 평가하기 위한 임상시험이 계획되고 있다.

기계용어해설

베이나이트(Bainite)

스프링재에 적합한 조직으로, 담금질 온도 500~ 300℃까지 급랭시킨 강(鋼)을 동일한 온도에서 항온도 변태시켰을 때 생기는 침상 트루스타이트.

균형판(Balancing Disk)

밸런싱 디스크. 터빈 펌프의 축에 양액할 때 발생하는 흡입 방향의 스러스트(thrust) 균형을 잡기 위하여 날개차 뒤에 고정시키는 원판.