

대퇴비구 충돌의 관절경적 치료 후 불충분한 증상 호전의 원인: 유한요소분석 모델 연구

The Etiology of Residual Symptoms after Hip Arthroscopic Treatment of Femoroacetabular Impingement: Analysis Using Finite Element Modeling

이정범* · 김원중 · 황득수 · 강 찬 · 연구웅

충남대학교 의학전문대학원 정형외과학교실, *건양대학교 의과대학 정형외과학교실

목적: 대퇴 비구 충돌의 관절경적 치료 후 통증이 지속되는 환자의 유한 요소 모델 분석을 통하여 통증의 원인을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 2004년 7월부터 2007년 7월까지 대퇴 비구 충돌로 진단받고 본원에서 관절경적 수술을 시행받은 10예의 환자를 대상으로 하였다. 술 후 통증 점수 3점으로 호전된 환자 5예를 비교군 A, 통증 점수 1점으로 재수술을 시행한 환자 5예를 실험군 B로 하였다. 환자들의 충돌 검사 자세에서 유한 요소 모델 분석을 시행하였으며, 대퇴 오프셋과 알파각을 측정하여 접촉 압력 혹은 von Mises stress와 비교하였다.

결과: 각 군 간의 차이점을 비교 분석한 결과 B군에서 수술 전에 von Mises stress와 접촉 압력이 모두 A군 보다 높았다. 수술 전 최대 응력 및 압력을 보인 부위는 모든 환자에서 대퇴 두경부의 전외측 부위로 나타났고, 이 부위의 제거 여부를 비교해 본 결과, A군에서 더 정확하게 제거되었다.

결론: 대퇴 비구 충돌의 유한 요소 모델 분석 결과 잔존하는 골성 변형이 통증의 원인으로 보이며, 환자의 통증 감소를 위해서는 정확한 변형의 위치 확인과 적절한 양의 골성 변형 제거가 중요하다.

색인단어: 대퇴 비구 충돌, 관절경, 골성 변형, 유한 요소 모델

서 론

고관절 관절경 수술의 적응증은 기구, 술기의 발달 및 다른 개방성 수술에 비하여 합병증이 적다는 이점으로 인해서 지속적으로 확대되는 추세이다. 그러나 관절경 수술이 빈도가 증가함에 따라 수술 후에도 증상이 지속되거나 추시 중 재발되어 재수술을 하는 경우도 증가되고 있는 것으로 보고되고 있다.¹⁾ Robertson 등²⁾은 대퇴 비구 충돌 증후군 환자의 고관절 관절경 수술에 대한 만족도는 60-70%에 그친다고 보고하였다. 이러한 원인으로는 불완전하게 제거된 비구순, 잔존하는 대퇴 비구 또는 경부의 골성 변형, 그리고 수술 후 비구-관절낭의 유착 등이 있으며, 그 중 가장

흔한 원인은 지속적인 대퇴 비구 충돌이라고 보고 되었다.^{1,3)} 이는 일차 관절경 수술 시 수술적 접근의 어려움으로 인하여 골성 변형의 치료를 적절하게 하지 못하였기 때문이라고 한다. 그러나, 골성 변형의 불완전한 제거에 대한 이론은 수술 후 시행된 방사선학적 계측을 통해서만 확인되는 것으로서 정확한 생역학적 연구가 뒷받침되지 않은 상태이다.

본 연구는 대퇴 비구 충돌 환자에서 골성 변형 제거의 정확도와 관절경적 치료 후 지속되는 고관절 통증의 원인과의 상관 관계를 유한 요소 모델(Finite Element Model, FEM)을 이용하여 분석하고자 한 것이다.

대상 및 방법

1. 해석 대상

2004년 7월부터 2007년 7월까지 캠 유형(Cam type) 대퇴비구 충돌 증후군으로 진단받고 관절경적 비구순 절제술(labrectomy) 및 대

접수일 2009년 12월 24일 게재확정일 2010년 2월 24일

교신저자 황득수

대전시 중구 문화로 33번지, 충남대학교 의과대학 정형외과학교실

TEL 042-280-7350, FAX 042-252-7098

E-mail dshwang@cnu.ac.kr

대한정형외과학회지 : 제 45권 제 6호 2010 Copyrights © 2010 by The Korean Orthopaedic Association

"This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited."

퇴 경부의 용기부 제거술(bumpectomy, femoroplasty)을 시행받은 환자 중에서 관절경 소견상 연골 상태가 Outerbridge⁴⁾ 분류 1등급 이하이고, 2년 이상 추시가 가능하였던 환자들을 선별하였다. 이 중 일차 관절경 수술 후 JOA 통증 점수⁵⁾ (JOA pain score, 0-3점)가 3점으로 호전된 환자 중 무작위로 5명을 선발하여 A군으로 분류하였다. 또한, 추시 시 통증 점수가 1점으로 측정되어 이차 관절경 수술을 시행하면서 비구순 파열의 불완전 절제나 비구-관절낭 유착이 관찰되지 않은 환자 8명 중 무작위로 5명을 선발하여 B군으로 분류하였다. 남자가 8예, 여자가 2예였으며 평균 연령은 31.5세(20-46세), 평균 추시 기간은 28개월(24-47개월)이었다. A, B군 각각 남자 4예, 여자 1예였으며, A군의 경우 평균 연령은 23.2 세(20-29세), 평균 추시 기간은 29개월(24-47개월)이었고, B군의 경우 평균 연령은 34.5세(25-46세), 평균 추시 기간은 27개월(26-34개월)이었다.

2. 모델 방법

유한 요소 모델(FEM) 방법을 위해 Amira software (Visage Imag-

ing, Inc., USA)를 이용하여 CT 데이터의 각 슬라이드로부터 비구와 대퇴 골두 영역을 분할(segmentation)한 뒤 비구와 대퇴골의 표면 모델(surface model)을 얻었다. 표면 모델로부터 내부가 채워진 비구와 대퇴골의 솔리드 모델(IGES model)을 만든 뒤 IGES 형식으로 저장하였다. 비구 연골은 두께 2 mm의 반구 형태로 모델링하였으며 비구부의 변연부(Acetabular rim)를 따라 모델링하였다. 비구 연골의 반지름은 대퇴 골두를 구로 근사하여 구하였다. 대퇴골두와 비구 연골의 솔리드 모델을 IGES 형식으로 저장한 뒤 I-DEAS 11 NX (UGS PLM Solutions Inc., U.S.A.)에서 메쉬(mesh)를 만들어 유한 요소 모델 입력(FEM Input) 파일로 저장하였다. 메쉬 요소(element)는 비구 연골은 1 mm 길이의 정사면체로 하였고, 대퇴골 골두는 경우 1.5 mm 길이의 정사면체로 하였다. 비구 연골의 물성치는 탄성계수(Young's Modulus) 12 MPa, 푸아송비(Poisson's ratio) 0.45로 하였고,⁶⁾ 대퇴 골두는 강체로 가정하였다.⁷⁾ 비구 연골의 내부면과 대퇴골 골두의 접촉 조건(contact condition)은 마찰이 없는 유한 슬라이딩 접촉(finite sliding contact)으로 하였으며 대퇴 골두를 마스터 접촉면(master surface), 비구 연골을 종속 접촉면(slave surface)으로 설정하였다(Fig. 1). 유한 요소 모델의 해석에서는 ABAQUS 6.5-1 (ABAQUS, Inc., USA)를 사용하였으며 경계조건(boundary condition)으로 비구와 접하는 연골의 외부면의 x, y, z 변위를 고정시켰다.

3. 움직임(Motion)

환자가 주된 통증을 호소하는 자세인 충돌 검사 자세, 즉 고관절을 90도 굴곡 후 내회전시키면서 유한 요소 모델 분석을 시행하였다. 수술 전과 후의 CT 데이터를 이용하여 대퇴골에 대해 90도 고관절 굴곡 상태에서 정상 운동 범위인 0도에서 40도까지 내회전을 5도 간격으로 증가시키면서 시행하였다. 이 때, 충돌이 40도 이전에 일어나서 해석이 안되는 경우 충돌이 일어나는 각도까지 가능한 최대한의 내회전을 주어 해석을 하였다.

충돌 검사 자세는 환자가 누워있거나 엎드린 상태에서 이루어 지므로 유한 요소 해석 시 대퇴 골두와 비구부 사이에 하중은 가하지 않았고 골두 중심에 회전 움직임을 주었다.

유한 요소 모델에 환자가 주된 통증을 호소하는 자세인 충돌 검사 자세, 즉 고관절을 90도 굴곡 후 내회전의 움직임을 주며 유한

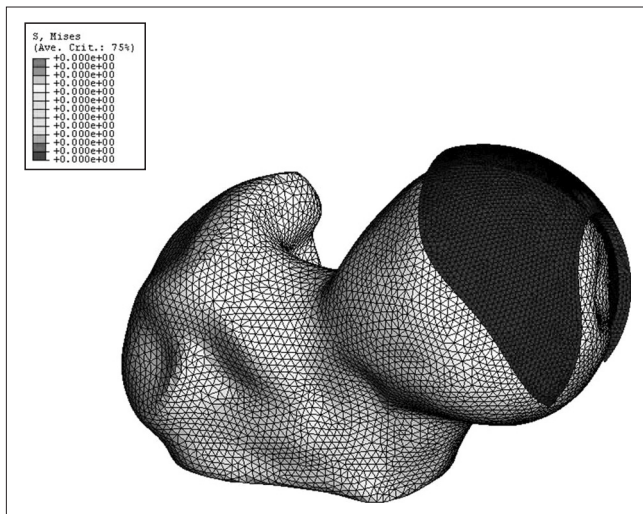


Figure 1. Three dimensional reconstructive view of femoral head. The blue colored covering of femoral head shows the contact area when hip joint rotates, and the sequential color table on the left side indicates the degree of contact pressure and von Mises stress.

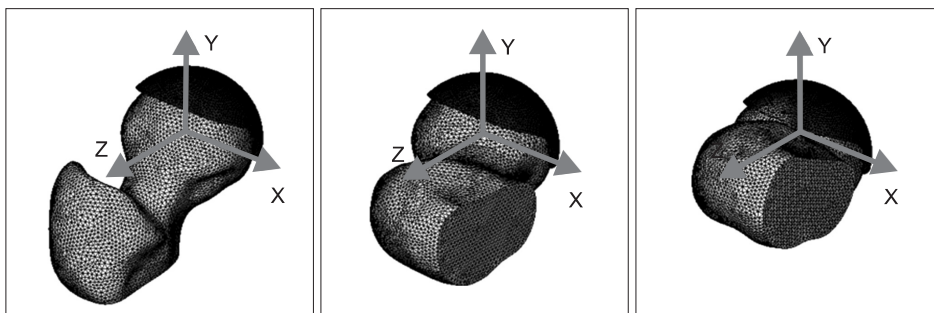


Figure 2. The correlation of motion and pressure was interpreted by the flexion degree (Z axis) and the internal rotation degree (X axis).

요소 해석을 수행하였다. 초기 자세는 CT 데이터에서 얻어진 골반과 대퇴골의 위치로 설정하였다. 회전 움직임의 중심은 대퇴골두를 구로 근사하였을 때 구의 중심으로 설정하였다. 회전 움직임을 중심으로 원점이 있는 3축 직교 좌표계(cartesian coordinate)를 설정하였다. 90도 굴곡 움직임은 Z축에 대한 회전이고 90도 굴곡 상태에서 내회전은 X축에 대한 회전이다(Fig. 2). 비구면을 고정시킨 상태에서 대퇴골두에 초기 자세로부터 90도의 굴곡 움직임을 주었다. 90도 고관절 굴곡 상태에서 내회전을 5도 간격으로 증가시키며 정상 운동 범위인 0도에서 40도까지 유한 요소 해석을 수행하였다. 이 때, 40도 이전에 충돌이 일어나는 경우 충돌이 일어나는 각도까지 가능한 최대한의 내회전을 주어 해석하였다.

4. 해석 내용

움직임(motion)을 주면서 비구 연골과 대퇴골 골두의 접촉면에서 접촉 압력과 von Mises stress를 계산하였고, 충돌이 일어났을 때 내회전 값과 변화량을 조사하였다. 모든 환자에서 수술 전, 수술 후에 응력 집중이 발생하는 부위를 확인하였고, 수술 후 응력 감소 여부를 확인하였다. 또한 수술 전과 후의 응력 차이를 관절 운동 범위 등의 임상 증상과 비교 분석하였고, 수술 전 방사선 사진에서 대퇴 오프셋 및 알파 각을 측정하여 응력과의 상관 관계를 조사하였다. 통계학적 방법은 기본적으로 SPSS 12.0 (SPSS for windows release, Chicago, IL, USA)을 사용하였고, Mann-Whitney 비모수 검정(양측 검정)을 이용하였다. 통계학적으로 $p < 0.01$ 인

경우 유의성이 있는 것으로 판단하였다.

결 과

1. 접촉 압력(Contact pressure) 비교

A군과 B군에 대해 각각 고관절 최대 내회전 상태에서의 수술 전후 접촉 압력의 평균을 측정하였다. A군에서는 수술 전 13.39 MPa (9.20–17.02 MPa), 수술 후 13.09 MPa (7.58–21.01 MPa)이었고, B군에서는 수술 전 24.53 MPa (11.97–35.16 MPa), 수술 후 17.70 MPa (7.19–35.92 MPa)이었다. 수술 후에 최대 내회전 각도에서 접촉 압력의 감소가 저명하지 않은 이유는 수술 전보다 최대 내회전 각도가 더 증가된 상태에서 접촉 압력을 측정했기 때문이다. 수술 전 최대 내회전 각도와 같은 각도에서 측정된 수술 후 접촉 압력은 A군에서 6.58 MPa, B군에서 11.35 MPa 측정되어 두 군 모두에서 감소되었다(Table 1).

2. von Mises stress 비교

A군과 B군에 대해 각각 고관절 최대 내회전 상태에서의 수술 전후의 von Mises stress의 평균을 측정하였다. A군에서는 수술 전 10.01 MPa (7.71–11.12 MPa), 수술 후 7.21 MPa (4.70–9.93 MPa)이었고, B군에서는 수술 전 11.92 MPa (5.31–24.92 MPa), 수술 후 7.10 MPa (4.31–10.62 MPa)이었다. 수술 후에 두 군 사이의 von Mises stress 차이는 접촉 압력의 차이보다 적었다(Table 1).

Table 1. The von Mises Stress and Contact Pressure of Groups A and B (Group A, Postoperative Pain Score was 3.; Group B, Postoperative Pain Score was 1.)

	Group A				Group B			
	Preoperative		Postoperative		Preoperative		Postoperative	
	VMS* (MPa) [†]	CP [‡] (MPa)	VMS	CP	VMS	CP	VMS	CP
Average	10.01	13.39	7.21	13.09	11.92	24.53	7.01	17.70
S.D. [§]	1.60	3.24	2.37	6.02	7.17	7.70	2.45	10.28
Maximum	11.12	17.02	9.93	21.01	24.93	35.16	10.62	35.92
Minimum	7.71	9.20	4.70	7.58	5.32	11.97	4.31	7.19
Average on preoperative maximal I.R.			5.07	6.58			4.37	11.35

*von Mises Stress; [†]megapascal; [‡]contact pressure; [§]standard deviation; ^{||}internal rotation (p value=0.841).

Table 2. Comparison of the Difference of Internal Rotation Range on Clinical Field and FEM Analysis

	Group A		Group B		Total	
	preoperative	postoperative	preoperative	postoperative	preoperative	postoperative
Clinical internal rotation range	21°	33°	20°	26°	20.5°	29.5°
Mean difference		12°		6°		9°
Analyzed FEM internal rotation range	21°	27°	19°	27°	20°	27°
Mean difference		6°		8°		7°

p value=0.222.

3. 운동 범위 비교

임상적으로 전체 환자에서 수술 후 평균 9도(0-20도)의 내회전 운동범위 증가를 보였다. 평균 각도 증가량은 A군에서 12도, B군에서 6도로 측정되어 A군에서의 더 큰 운동범위 증가를 관찰할 수 있었다. 그러나 유한 요소 모델에서는 90도 굴곡에서 내회전 시켰을 때 수술 후 평균 각도 증가량은 7도(0-15도)이었고, A군에서 6도, B군에서 8도로 나와 실제 임상에서 측정한 각도와는 차이가 있었다(Table 2).

4. 대퇴 오프셋 및 알파각과 von Mises stress, 접촉 압력의 비교

A군에서 알파 각은 수술 전 평균 65.4도(46-72도)에서 수술 후 평균 39도(35-41도)로 감소되었고, 대퇴 오프셋은 수술 전 평균 5.2 mm (2.6-8.8 mm)에서 수술 후 평균 10.4 mm (8.9-11.2 mm)로 증

가되었다. B군에서 알파 각은 수술 전 평균 68.2도(54-75도)에서 수술 후 평균 48도(40-53도)로 감소되었고, 대퇴 오프셋은 수술 전 평균 3.6 mm (1.9-5.2 mm)에서 수술 후 평균 7.4 mm (5.8-8.4 mm)로 증가되었다. 두 측정치 모두 A군과 B군에서 수술 후 정상 범위로 회복된 것을 알 수 있었다(Table 3). 이러한 알파 각과 대퇴 오프셋의 변화량을 접촉 압력과 von Mises stress와 비교해 봤을 때 양의 상관 관계가 있음을 확인할 수 있었다(Table 4).

5. 제거된 골성 변형의 분석

유한 요소 모델 분석을 통하여 수술 전 최대 응력을 보인 부분을 분석해 본 결과 위치는 모두 전외측으로 동일하였다. 또한 A군과 B군에서의 수술 전 최대 응력을 보인 부위와 수술 후 제거된 부위의 차이를 비교한 결과 A군에서는 전 예에서 최대의 접촉 압력을 보인 부분의 95.7%가 제거된 것으로 나왔으나, B군에서는 49.5% 밖에 제거되지 않은 것으로 나왔다(Fig. 3, 4).

각각의 결과에 대하여 Mann-Whitney 비모수 검정(양측 검정)을 이용한 통계적 유의성을 확인한 결과 A, B군 간의 수술 전, 후의 대퇴 오프셋의 변화량이 통계적으로 유의성이 있었고(p value=0.008), 그 외의 수치에 대하여서는 통계적으로 유의하지 않았다(p value > 0.01)

고 찰

대퇴비구 충돌은 1913년 Vulpius와 Stöffel⁸⁾에 의해서 보고된 이후에 지속적으로 연구되어 왔다. Ganz 등⁹⁾은 대퇴비구 충돌이 관절염의 원인이 되기 때문에 이에 대한 수술적 교정이 필요하다고 주장을 하였다. Lavigne 등¹⁰⁾은 이러한 대퇴비구 충돌을 세분화하여 비구 부위가 원인이 되는 핀쳐 유형(Pincer type)과 대퇴 경부

Table 3. Comparison of the Difference of Alpha Angle and Femoral Offset between Groups A and B

	Group A		Group B	
	Preoperative	Postoperative	Preoperative	Postoperative
Alpha angle	65.4°	39°	68.2°	48°
Mean difference		26.4°		20.2°
Femoral offset	5.2 mm	10.4 mm	3.6 mm	7.4 mm
Mean difference		5.2 mm		3.8 mm

Table 4. The Difference of Pre-operative and Post-operative Alpha Angle and Femoral Offset in All Cases

Group	Patient	Alpha angle			Femoral offset		
		Preoperative (°)	Postoperative (°)	Difference (°)	Preoperative	Postoperative	Difference
A	a1	68	41	27	5.3	10.6	5.3
	a2	72	40	32	5.1	10.4	5.3
	a3	70	40	30	2.6	8.9	6.3
	a4	46	35	11	8.8	11.2	2.4
	a5	71	40	31	4.2	10.9	6.7
B	b1	70	46	24	3.6	5.8	2.2
	b2	68	53	15	5.2	8.4	3.2
	b3	75	53	22	3.8	7.8	4
	b4	74	48	26	1.9	7.8	5.9
	b5	54	40	14	3.6	7.2	3.6

Alpha angle, p value=0.151; Femoral offset, p value=0.008.

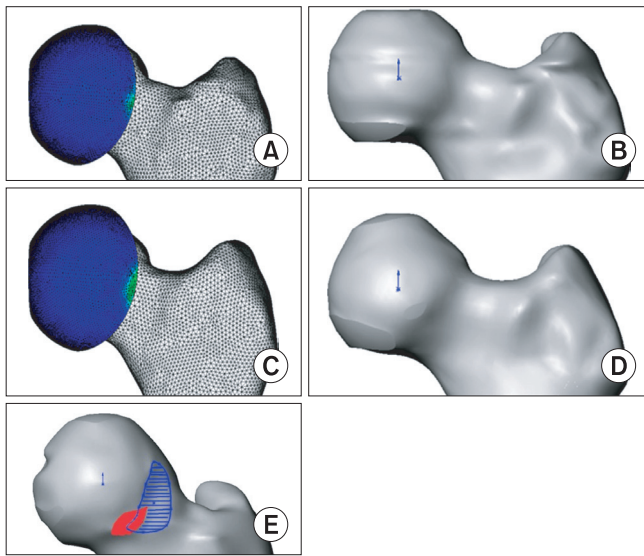


Figure 3. (A, B) Preoperative finite element model of a patient in group B. A small portion of femoral head neck junction had an increased contact pressure which indicates a clinical “bump”. (C, D) Postoperative model shows that the “bump” was not removed sufficiently, and the contact pressure increased. (E) This model shows the removed bump (striped diagram) and portions of concentrated stress (filled diagram). This figure shows that the concentrated stress portion had not been removed successfully.

가 원인이 되는 캠 유형(Cam type), 그리고 이 두 가지가 공존하는 혼재형(Mixed type)으로 나누었다.

임상적으로 대퇴 골두/경부의 구조적 이상에 의해 대퇴비구 충돌이 일어나고, 이로 인하여 고관절의 조기 관절염이 발병한다고 알려져 있다.¹¹⁻¹⁷ 일반적으로 이런 환자들에서 고관절의 병력이 없는 경우가 대부분이므로 이러한 골성 변형의 원인에 대하여서는 잘 알려진 바가 없으나 몇몇 저자들은 대퇴골 근위 골단의 아주 작은 전위로 인하여 발병한다고 주장하고 있다.^{12,13,15,17,18} Stulberg 등¹⁷은 전후방 방사선 촬영 상에서의 대퇴 골두/경부의 골성 돌출부에 대하여 ‘권총 손잡이 변형(pistol grip deformity)’라고 명명하였으며, Murray 등¹³은 ‘대퇴 골두 비율(femoral head ratio)’라는 개념을 이용하여 대퇴 골두의 사면 변형(tilt deformity)을 설명하였고, Goodman 등¹²은 대퇴 골두 골단 분리증에서와 같이 대퇴비구 충돌이 대퇴 골두/경부의 삼차원적인 변형에 의해 발생하며, 대부분이 전방부에 발생한다고 보고하였다. Nötzli 등¹⁹은 전후방 방사선 촬영 및 자기 공명 영상 촬영을 분석하여 현재 일반적으로 대퇴 비구 충돌이 의심될 때 측정하는 알파 각에 대하여 보고하기도 하였다.

이처럼 대퇴 비구 충돌에 대한 개념이 확립된 이후에 지속적으로 관절경을 이용한 골성 변형의 치료가 시도되고 있으며, 현재 중기 추시 결과까지 보고되고 있다.²⁰ 비교적 임상 결과는 우수한 것으로 되어 있지만 아직까지 20-30%의 환자에서는 수술 후

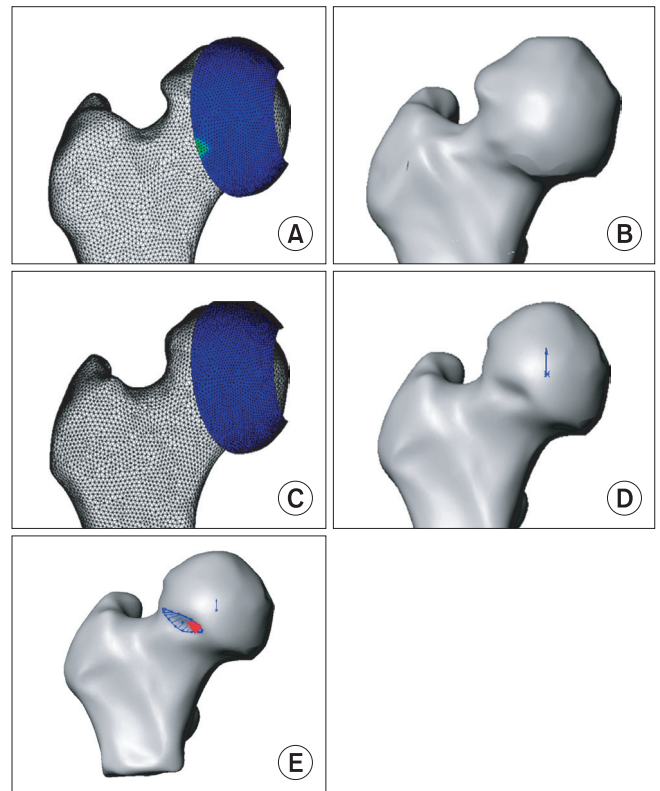


Figure 4. (A, B) Preoperative finite element model of a patient in group A. A small portion of femoral head neck junction had an increased contact pressure which indicates a clinical “bump”. (C, D) Postoperative model shows that the “bump” was removed sufficiently, and the contact pressure was 0 at the maximal internal rotation degree. (E) This model shows removed bump (striped diagram) and portions of concentrated stress (filled diagram). This figure shows that the concentrated stress portion had been removed successfully.

에 지속적인 통증 등으로 인하여 만족감이 떨어지는 것으로 되어 있다. Philippon¹⁾과 Heyworth 등³⁾은 수술 후에도 지속되는 대퇴비구 충돌이 통증의 재발 혹은 잔존의 가장 흔한 원인이라고 하였고, Hwang 등²¹⁾도 비구순 파열의 치료 이후 지속적인 통증의 원인으로는 지속적인 대퇴비구 충돌, 비구순 파열의 불충분한 절제, 수술 후의 비구순 유착이 있다고 보고하였다. Wenger 등²²⁾도 비구순 파열 환자를 후향적으로 검토한 결과 87% 정도에서 단순 방사선 사진에서도 관찰되는 외반고, 비구의 후굴, 골극 형성, 대퇴골의 두경부의 변형이 있었다고 하였고, 이와 같은 변형의 교정 없이는 통증이 지속된다고 보고하였다. 이는 대퇴비구 충돌을 일으키는 골성 변형을 갖고 있는 환자에서 불완전하게 골성 변형을 제거했을 경우 지속적인 통증으로 인한 환자의 만족도 저하를 나타낼 수 있고, 결국 수술 후에 지속적인 고관절 기능 장애를 유발할 수 있다는 것을 의미한다.

그러나 이와 같은 보고들은 수술 후 방사선학적 계측으로 보고한 것으로 생역학적 연구를 통한 보고는 없는 실정이다. 저자는

이를 유한 요소 모델로 재구성하여 생역학적 연구를 시행하였으며 이를 통해서 원인을 분석하고자 하였다.

정상 고관절의 유한 요소 모델을 통해서 시행한 여러 생역학적 연구가 보고되었는데 그 중 Bachtar 등²³⁾은 일상 생활 중에 고관절의 연부 조직(비구순과 비구 연골)에 가해지는 힘과 골 기하학(bony geometry)을 비교하여 활동의 종류에 따라 압력을 받는 부위가 다르다고 보고를 하였다. 한편 Chagini 등⁷⁾은 증가한 알파각이 대퇴 골두/경부의 골성 돌출부와 비구 사이의 충돌을 유발하여 비구 변연의 전상방 부위의 연부 조직에 응력(von Mises stress)을 증가시키고, 증가된 CE 각 또한 비구순에 대한 대퇴 골두/경부의 충돌(impingement)을 유발시켜 비구순과 주변 비구 연골에 높은 압력이 유발된다고 하였다. 결론적으로 이러한 고관절의 접촉 압력에 대한 연구는 고관절 질환의 병태 생리에 대한 이해와 체중 부하 관절로서의 기능을 분석하는 데 중요한 자료를 제공할 수 있다. 그러나 실험적 결과를 도출해내는 데 있어서 접촉면 자체가 불연속적이기 때문에 계산상의 관절 불안정성(computational instability)이 나올 수 있어 이런 실험적 오류를 줄이기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있는 상황이다.

또한 Russell 등²⁴⁾은 일반 남성의 정상적인 관절 접촉 압력은 최대 압력, 최대 누적 압력, 압력 노출량, 평균 접촉 면적 등 모든 수치에서 증상이 있는 환자군과의 모의 실험에서 확연히 다른 결과를 보고하였다. 이는 발달성 고관절 이형성증에서 이환된 관절의 상태에 따라 반대측 고관절 또한 병변이 발생할 수 있다는 이전의 주장을 뒷받침하며,²⁵⁾ 이를 근거로 비구 관절 연골의 압력 증가가 골관절염의 발병 및 진행에 밀접한 관련이 있다고 보고하였다.

저자는 본 연구를 통해서 알파각이 증가하거나 대퇴 오프셋이 감소할 경우 접촉 압력과 von Mises stress가 증가하는 것을 알 수 있었고, 이는 CE 각이 20도에서 30도 사이, 알파각이 50도 이하일 경우에 접촉 압력이 작아진다고 보고한 Chagini 등⁷⁾의 연구 결과와 일치하였다. 즉 수술 후에도 알파각과 대퇴 오프셋이 정상으로 회복되었음에도 B군에서 접촉 압력과 von Mises stress가 A군에 비해서 높고, 환자의 증상이 지속되었다는 점에서 불충분한 골성 변형의 제거가 높은 접촉 압력을 유발하고 이것이 잔존하는 통증의 원인이 될 수 있을 것으로 보인다. 그러나 너무 많은 골성 변형의 제거는 대퇴 경부의 골절을 초래할 수 있으므로 Mardones 등²⁶⁾은 대퇴 경부의 골절을 방지하기 위해서 절제 크기를 대퇴 두 경부 전외측의 30%까지로 제한하여야 한다고 하였다.

이번 연구에서 운동 범위는 A군과 B군 모두에서 수술 후에 증가한 것으로 나타났으나 통계적 유의성이 없는 것으로 보아 운동 범위와 환자의 임상적 결과와는 객관적 연관성이 없어 보인다. 즉, 환자의 임상적 결과는 운동 범위가 아니라 접촉 압력과 관련이 있을 것으로 판단된다. 유한 요소 모델 분석을 통하여 수술 전 최대 응력을 보인 부분을 분석해 본 결과 위치는 모두 전외측으로 동일하였다. 또한 A군과 B군에서의 수술 전 최대 응력을 보

인 부위와 수술 후 제거된 부위의 차이를 비교한 결과 A군에서는 전 예에서 최대의 접촉 압력을 보인 부분의 95.7%가 제거된 것으로 나왔으나, B군에서는 49.5% 밖에 제거되지 않은 것으로 나타났다(Fig. 3, 4).

임상적으로 대퇴 비구 충돌이 있는 관절에서 비구순의 퇴행성 변화와 연골 손상은 비구의 전상방 부위에서 일어난다.²⁷⁾ 보통 축구 선수들, 기계체조 선수들, 그리고 하키 선수들과 같이 과도한 관절 움직임과 동시에 과도한 체중 부하를 하는 성인에서 흔히 발생하지만, 정상적으로 사람들에서도 종종 관찰된다.²⁸⁾ Chagini 등⁷⁾은 임상적으로 관찰된 손상 부위가 높은 von Mises stress을 보이는 구역과 연관성이 있다고 보고하였으며, 이는 캠 유형(Cam type)의 대퇴 비구 충돌에서 관절 연골의 손상 부위와도 일치한다. 이와 같은 연골 손상은 뼈와 연골이 맞닿는 부위의 지속적인 섬유 파열(fiber distortion)의 결과로 볼 수 있으며, 결국 이 연결 부위의 피로 쇠약으로 이어진다고 보고하였다. 저자도 이러한 충돌이 일어나는 위치를 유한 요소 모델의 분석을 통해서 다시 한번 확인을 할 수 있었다. 그러나 B군에서 골성 변형의 제거된 위치를 분석해 본 결과 A군에 비해 부정확하게 골성 변형이 제거된 것을 확인할 수 있었다. 임상 증상의 호전을 위해서는 정확한 골성 변형 부위의 제거, 즉 최대 응력을 받는 부위의 정확한 제거가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 수술 전 혹은 수술 중에 정확한 위치를 파악하는 것이 중요하다. 그러나 저자의 경험상 이것을 단순히 수술 중 관절경 소견만으로 정확히 파악하는 데에는 한계가 있었다. Mardones 등²⁹⁾도 카데바 실험을 통해서 관절경을 이용한 대퇴비구 충돌의 대퇴골 성형술(femoroplasty)시의 부정확한 넓이 및 위치에 대하여 보고를 하였고, 주로 대퇴골 성형술의 위치가 제거하고자 하는 부위보다 후하방(posterior and distal)에 있었다고 보고하였다. 저자의 경우에도 제거하고자 하는 위치보다 대체로 원위부에 위치하여 비슷한 결과를 보여주었다. 수술 중에 대퇴 비구 충돌이 일어나는지를 고관절의 수동적 운동을 시행하면서 관절경을 통해서 확인하는 것은 좁은 시야 등으로 인해서 정확한 측정이 어렵기 때문에 정확한 병변의 위치 확인 및 적절한 양의 골성 변형의 제거를 위해서는 수술 전과 수술 중에 확인할 수 있는 다른 방법이 필요할 것으로 사료된다. 저자는 이의 대안으로 고관절 관절경 내비게이션 시스템이 도움이 될 것이라고 생각한다.

본 연구의 제한점은 통계적으로 유의할 만큼 증례 수가 많지 않다는 점, 대상 환자들의 연령, 성별 및 활동성 등의 외적 요소를 배제한 채 관절내 골성 변형의 정도에만 초점을 맞추었다는 점이다. 그리고 유한 요소 모델의 한계로 인해 불완전하게 제거된 비구순 및 비구 관절낭의 유착 환자는 평가 대상에서 제외되었기 때문에 수술 후 통증의 원인을 다양하게 분석하지 못했다는 제한이 있었다. 또한, 저자들이 가정한 모델이 대퇴비구 충돌의 원인의 이해와 수술을 계획하는 데 유용한 정보를 제공하지만, 이를

상당히 단순화하는 가정 하에 만들어진 모델이라는 점을 고려해야 한다. 즉, 비구순의 재구성을 하지 않았으며 정상과는 달리 연골의 구성도 해부학적인 구조와 일치하지 않았다. 연골은 복잡한 구조를 지닌 이면성, 이방성(biphasic, anisotropic) 물질이며, 이러한 특성과 삼차 생체학(tribological) 측면을 생각한다면, 고체기(solid phase)와 간질 활막액(interstitial synovial fluid)의 부하 공유(load sharing)에 대한 더 구체화된 정보를 이용해서 모델링을 시행했어야 하나, 본 연구에서는 골성 변형에만 초점을 맞추었다. 그리고 본 연구에서 사용한 단층 촬영을 기반으로 한 영상변환기의 단층을 이용한 모델들은 보다 더 실질적인 관절 기하학을 제공할 수 있으나 자기 공명 영상을 이용한 그것에 비하여 정확한 관절 표면의 필요한 해상도를 만들어내는데 부족하다.

또한 본 연구에서 계산된 접촉 압력은 기존 연구들에 비해 크게 측정되었다. 이는 연골을 비구 변연부로 갈수록 얇아지는 실제 구조와는 달리 2 mm의 일정한 두께를 가지는 반구로 단순화시켜 리모델링을 하였기 때문으로 생각된다. 단순화된 비구 연골 모델로 인하여 충돌이 일어나는 부위에서 실제 연골에 비해 변형이 커져 접촉 압력이 기존 연구들에 비해 크게 계산되었을 가능성이 있다.

이번 연구에서는 여러 운동 범위를 해석하지 못하였고 단순히 충돌 검사의 상태에서 환자의 증상 및 운동 범위, 압력 변화 등을 측정하였다. 이는 전방 충돌로 인해서 유발되는 대퇴비구 충돌 환자에서는 의미가 있으나 후방 충돌로 인해서 유발되는 대퇴 비구 충돌 환자에게 적용하는 데에는 한계가 있을 것으로 보이며 추후에 추가적인 운동 범위에 대한 검사가 필요할 것으로 사료된다.

결 론

대퇴 비구 충돌 환자에서 대퇴 오프셋 및 알파각이 정상 범위와 큰 차이를 보일 경우 유한 요소 모델 상에서 대퇴와 비구 사이의 응력 증가를 확인할 수 있었으며, 이런 경우에는 수술 후에도 증상의 호전이 적었다. 이는 잔존하는 통증의 원인을 불충분하게 제거된 골성 변형이라고 생각했을 때 수술 시 제거할 골성 변형의 양을 수술 전에 정확히 측정하는 것이 필요하다는 것을 의미한다. 또한 지속적으로 증상을 호소하는 환자에서 응력을 받는 부위가 부정확하게 제거된 것을 유한 요소 모델을 통해서 확인할 수 있었다. 결론적으로 대퇴 비구 충돌 환자의 수술 후 증상 호전을 위해서는 수술 전 병변의 위치와 크기를 정확히 확인하고, 수술 중 정확한 위치에서 적절한 양의 골성 변형이 제거되어야 한다.

참고문헌

- Philippon MJ, Schenker ML, Briggs KK, Kuppersmith DA, Maxwell RB, Stubbs AJ. Revision hip arthroscopy. *Am J Sports Med.* 2007;35:1918-21.
- Robertson WJ, Kadrmas WR, Kelly BT. Arthroscopic management of labral tears in the hip: a systematic review of the literature. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;455:88-92.
- Heyworth BE, Shindle MK, Voos JE, Rudzki JR, Kelly BT. Radiologic and intraoperative findings in revision hip arthroscopy. *Arthroscopy.* 2007;23:1295-302.
- Outerbridge RE. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-B:752-7.
- Shima Y. Standard for evaluation of osteoarthritis of the hip. *J Jpn Orthop Assoc.* 1971;45:813-33.
- Moglo KE, Shirazi-Adl A. On the coupling between anterior and posterior cruciate ligaments, and knee joint response under anterior femoral drawer in flexion: a finite element study. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18:751-9.
- Chagini S, Beck M, Ferguson SJ. The effects of impingement and dysplasia on stress distributions in the hip joint during sitting and walking: a finite element analysis. *J Orthop Res.* 2009;27:195-201.
- Vulpus O, Stöffel A. *Orthopaedische operationslehre.* Stuttgart, Germany F. Enke: 1913.
- Ganz R, Parvizi J, Beck M, Leunig M, Nötzli H, Siebenrock KA. Femoroacetabular impingement: a cause for osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;417:112-20.
- Lavigne M, Parvizi J, Beck M, Siebenrock KA, Ganz R, Leunig M. Anterior femoroacetabular impingement: part I. Techniques of joint preserving surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;418:61-6.
- Elmslie RC. Remarks on aetiological factors in osteoarthritis of the hip-joint. *BMJ.* 1933;1:1-3.
- Goodman DA, Feighan JE, Smith AD, Latimer B, Buly RL, Cooperman DR. Subclinical slipped capital femoral epiphysis. Relationship to osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Am.* 1997;79:1489-97.
- Murray RO. The aetiology of primary osteoarthritis of the hip. *Br J Radiol.* 1965;38:810-24.
- Solomon L. Patterns of osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Br.* 1976;58:176-83.
- Tönnis D, Heinecke A. Acetabular and femoral anteversion: relationship with osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81:1747-70.
- Law WA. *Osteoarthritis of the hip.* London: Butterworth & Co Ltd.; 1952.
- Stulberg SD, Cordell LD, Harris WH, Ramsey PL, MacEwen

- GD. Unrecognized childhood hip disease: a major cause of idiopathic osteoarthritis of the hip. In: *The Hip. Proc 3rd meeting of The Hip Society*. St Louis: CV Mosby Co.; 1975. 212-28.
18. Ito K, Minka MA 2nd, Leunig M, Werlen S, Ganz R. Femoroacetabular impingement and the cam-effect. A MRI-based quantitative anatomical study of the femoral head-neck offset. *J Bone Joint Surg Br*. 2001;83:171-6.
 19. Nötzli HP, Wyss TF, Stoecklin CH, Schmid MR, Treiber K, Hodler J. The contour of the femoral head-neck junction as a predictor for the risk of anterior impingement. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84:556-60.
 20. Philippon MJ, Briggs KK, Yen YM, Kuppersmith DA. Outcomes following hip arthroscopy for femoroacetabular impingement with associated chondrolabral dysfunction: minimum two-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91:16-23.
 21. Hwang DS, Kang C, Cha SM, Kim JH. Second-look hip arthroscopy after arthroscopic labrectomy of the hip: preliminary report. *J Korean Orthop Assoc*. 2009;44:480-5.
 22. Wenger DE, Kendell KR, Miner MR, Trousdale RT. Acetabular labral tears rarely occur in the absence of bony abnormalities. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;426:145-50.
 23. Bachtar F, Chen X, Hisada T. Finite element contact analysis of the hip joint. *Med Biol Eng Comput*. 2006;44:643-51.
 24. Russell ME, Shivanna KH, Grosland NM, Pedersen DR. Cartilage contact pressure elevations in dysplastic hips: a chronic overload model. *J Orthop Surg Res*. 2006;1:6.
 25. Murphy SB, Ganz R, Müller ME. The prognosis in untreated dysplasia of the hip. A study of radiographic factors that predict the outcome. *J Bone Joint Surg Am*. 1995;77:985-9.
 26. Mardones RM, Gonzalez C, Chen Q, Zobitz M, Kaufman KR, Trousdale RT. Surgical treatment of femoroacetabular impingement: evaluation of the effect of the size of the resection. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87:273-9.
 27. Beck M, Kalhor M, Leunig M, Ganz R. Hip morphology influences the pattern of damage to the acetabular cartilage: femoroacetabular impingement as a cause of early osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87:1012-8.
 28. Bizzini M, Nötzli HP, Maffiuletti NA. Femoroacetabular impingement in professional ice hockey players: a case series of 5 athletes after open surgical decompression of the hip. *Am J Sports Med*. 2007;35:1955-9.
 29. Mardones R, Lara J, Donndorff A, et al. Surgical correction of "cam-type" femoroacetabular impingement: a cadaveric comparison of open versus arthroscopic debridement. *Arthroscopy*. 2009;25:175-82.

The Etiology of Residual Symptoms after Hip Arthroscopic Treatment of Femoroacetabular Impingement: Analysis Using Finite Element Modeling

Jung-Bum Lee, M.D.*, Weon-Joong Kim, M.D., Deuk-Soo Hwang, M.D.,
Chan Kang, M.D., and Kyu-Woong Yeon, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Chungnam National University School of Medicine,

**Department of Orthopedic Surgery, Konyang University College of Medicine, Daejeon, Korea*

Purpose: To analyze, using finite element model analysis, the causes of postoperative pain in patients who had arthroscopic treatment for femoroacetabular impingement (FAI).

Materials and Methods: Ten patients with FAI treated by arthroscopic surgery between July 2004 and July 2007 were selected. Five cases whose condition improved to a pain score of 3 postoperatively were assigned to comparative group A and 5 cases who had a second operation done due to a pain score of 1 were assigned to experimental group B. Finite element model analysis was done for the impingement test position. Femoral offset and alpha angle were measured to compare with contact pressure or von Mises stress.

Results: Preoperative von Mises stress and contact pressure were all higher in group B than group A. Maximal stress and pressure location was the anterolateral surface of the femoral head and neck, and this location was removed more accurately in group A.

Conclusion: Finite element model analysis of FAI indicated that incomplete removal of a bump was the cause of pain, and that accurate location of the lesion and adequate bump removal are the definitive factors in reducing pain.

Key words: femoroacetabular impingement, arthroscopic treatment, finite element modeling

Received December 24, 2009 **Accepted** February 24, 2010

Correspondence to: Deuk-Soo Hwang, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Chungnam National University College of Medicine, #33, Munhwa-ro, Jung-gu, Daejeon 301-721, Korea

TEL: +82-42-280-7350 **FAX:** +82-42-252-7098 **E-mail:** dshwang@cnu.ac.kr