

Local Compressive Strength at the Middle of the Weight-bearing Surface of the Femoral Head and Talar Dome : A Biomechanical Study

Rapin Phimolsarnti, M.D.*

Ekavit Keyurapan, M.D.*

Suchart Benjarassamerote, M.D.*

Thossart Harnroongroj, M.D.*

Abstract :

Objective : To compare the local compressive strength at the middle of the weight bearing surface of the femoral head and talar dome.

Design : Cadaveric and comparative experimental study. The compressive strength of the talar dome and the femoral head were measured and compared.

Background : The prevalence of late collapse of femoral head from avascular osteonecrosis is higher than that of the talar dome. The femoral head and acetabulum form a hip joint with monoarticulation whereas the talus itself has several articulations with several bones, so the talar dome distributes load more effectively from it to the surroundings than does the femoral head. Compressive strength of the weight bearing surface of the femoral head and talar dome, however, may play a role in late collapse.

Methods : Ten fresh cadaveric normal adult femoral heads and tali were obtained. A compressive load was applied through an indenter at the middle of the superior quadrant of the femoral head and talar dome by using a universal testing machine until a maximum load was obtained. The maximum load and depth of depression at maximum load were recorded.

Results : The middle of the weight bearing surface of the femoral head could withstand an average maximum pressure of 30.42 MPa. Its stiffness was 929.04 N/mm and its depth of depression was 1.11 mm. The corresponding figures for the talar dome were 49.64 MPa, 1631.65 N/mm, and 0.96 mm respectively.

Conclusion : This study showed that local compressive strength at the middle of the weight bearing surface of the talar dome was 1.63 times greater than that of the femoral head.

Relevance : This finding may explain the higher prevalence of late collapsing avascular necrosis of the femoral head than that of the talar dome.

Key words : compressive strength, weight bearing surface, femoral head, talar dome, universal testing machine.

เรื่องย่อ : ความแข็งแรงต่อแรงกดที่กึ่งกลางของพื้นผิวรับน้ำหนักของหัวฟีมอร์และโดมทาลัส : การศึกษาทางชีวกลศาสตร์

ระพินทร์ พิมลสานต์ พ.บ.*, เอกวิทย์ เกยุราพันธุ์ พ.บ.*, สุชาติ เบญจรัศมีโรจน์ พ.บ.*, ทศศาสตร์ หาญรุ่งโรจน์ พ.บ.*

*ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์, คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร 10700.

สารศิริราช 2547; 56: 69-72.

วัตถุประสงค์ : เปรียบเทียบความแข็งแรงกึ่งกลางของพื้นผิวรับน้ำหนักของหัวฟีมอร์ และโดมทาลัสต่อแรงกด

แบบการวิจัย : การทดลองโดยการเปรียบเทียบ

ความเป็นมา : การยุบของหัวฟีมอร์ที่เกิดจากการขาดเลือดมาเลี้ยง มีอัตราสูงกว่าโดมของทาลัส ทั้งนี้เพราะว่าหัวฟีมอร์ และเบ้าตะโพกประกอบเป็นข้อต่อข้อเดียว ในขณะที่รอบทาลัสมีกระดูกหลายชิ้นประกอบกันมีหลายข้อต่อ ทำให้ทาลัสสามารถกระจายแรงที่มากกระทำออกไปรอบด้านได้ดีกว่าหัวฟีมอร์ อย่างไรก็ตามความแข็งแรงของหัวฟีมอร์และโดมทาลัส อาจมีความสำคัญต่อการยุบของกระดูกทั้งสอง

วัสดุและวิธีการ : เตรียมหัวฟีมอร์และทาลัสจากศพสดจำนวน 10 ชิ้น ให้แรงกดที่กระดูกทั้งสองบริเวณกึ่งกลางของพื้นผิวรับน้ำหนักโดยใช้แรงกดจาก universal testing machine ผ่าน indenter ลงสู่กระดูก จนกระทั่งได้แรงกดสูงสุด บันทึกแรงกดลงสุด และความลึกของการกดเข้าไปในกระดูก

ผล : กึ่งกลางของพื้นผิวรับน้ำหนักของหัวฟีมอร์สามารถต้านแรงกดเฉลี่ย 30.42 MPa. และความเครียด 929.04 N/mm และความลึกของการกด 1.11 mm สำหรับตัวเลขเดียวกันของโดมทาลัสมีค่า 49.64 MPa, 1631.65 N/mm และ 0.96 mm ตามลำดับ

สรุป : การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงต่อแรงกดของจุดกึ่งกลางพื้นผิวรับน้ำหนักของโดมทาลัสมีค่าสูงกว่าของหัวฟีมอร์ 1.63 เท่า

การประยุกต์ใช้ : ความรู้จากการศึกษานี้ สามารถนำไปอธิบายภาวะการยุบของหัวฟีมอร์ที่เกิดภาวะขาดเลือดมาเลี้ยงที่มีอัตราการเกิดสูงกว่าโดมทาลัสได้อีกเหตุผลหนึ่ง

คำหลัก : แรงกด แรงเครียด พื้นผิวรับน้ำหนักหัวฟีมอร์ โดมทาลัส universal testing machine

INTRODUCTION

Osteonecrosis is one of the leading causes of collapse of the femoral head and talus. Most studies report incidence of collapse in osteonecrosis of the femoral head, and it was shown that all femoral heads progress more than 50% in any Ficat stage¹. The collapse rate in osteonecrosis of the talus was reported in only one-third of the patients^{2,3}. The femoral head and acetabulum form a hip joint with only one articulation⁴ whereas the talus has articulations with several bones including distal tibia, medial and lateral malleoli, navicular and calcaneus⁴, so the talar dome can distribute load to the surroundings more effectively⁵. The compressive strength of osteochondral tissues at the weight bearing surface of the femoral head and talar dome may be one of the factors that causes the collapse of both avascular necrotic femoral head and talar dome. Therefore, this study was carried out to determine which local compressive strength, between that at the surface of

the femoral head and that at the surface of the talar dome, can withstand more load.

MATERIALS AND METHODS

Ten fresh normal cadaveric femoral heads and tali without metabolic bone diseases or tumor (ranging from 20-45 years old) from 5 females and 5 males were obtained and kept at - 70°C in a freezer. The bone was thawed and warmed up to room temperature prior to the test. The femoral head was cut to a smooth plane ½ cm below the equator at the inferior quadrant to achieve a stable base for placing the middle of the superior quadrant of the femoral head under an indenter. A 6 mm-diameter round-tipped metal indenter was placed vertically and connected with the load cell of a universal testing machine (Figure 1). The 6 mm-diameter indenter was used because its diameter is not large enough to cause surface incongruity with the articular cartilage of the

femoral head and talar dome. At the same time, it is not so small as to create a penetrating hole instead of a depression. Using a universal testing machine (Shimadzu, Tokyo, Japan), a compressive load was applied through the indenter at a speed of 2 mm/min. The load was applied until a maximum load was obtained and stopped when the load showed a decline in the graph. The talus was prepared and the lower part was embedded in acrylic cement to achieve a stable base on which to apply the compressive load. The compressive load was applied at the middle of the talar dome in the same manner as it was applied to the femoral head (Figure 1). The maximum load and depth of depression at maximum load were recorded by the machine's computer. Stiffness was calculated. The resulting data were analyzed through a non-parametric Mann-Whitney U test.

RESULTS

The middle of the weight-bearing surface of the femoral head could withstand an average compressive pressure of 30.42 MPa (SD 11.21). Its stiffness was 929.04 N/mm (SD 530.01) and its depressive depth at maximum load was 1.11 mm (SD 0.25). The corresponding figures for the talar dome were 49.64 MPa (SD 9.08), 1631.65 N/mm (SD 778.24)

and 0.96 mm (SD 0.36) respectively (Table 1). Statistical analysis showed that the middle of the weight-bearing surface of the talar dome could withstand 1.63 times higher compressive load than that of the femoral head ($P = 0.002$, and 0.034 respectively) and the stiffness of the talar dome was significantly higher than that of the femoral head. However, the depressive depth of both was not significantly different ($P = 0.112$).

DISCUSSION

The compressive strength at the middle of the talar dome and femoral head is the summation of the compressive load bearing of articular cartilage, subchondral plate and subchondral cancellous bone⁵. Compressive loads were measured using the same indenter so that local compressive strength at the middle surface of the talar dome and femoral head could be compared. Even though the pressure was not applied on the whole weight bearing surface, the load was applied in the same direction and position with the resultant force on both the femoral head and the talus. Since osteochondral tissue is a viscoelastic material, applying a load with a different speed from 2 mm/min will produce different figures of load and stiffness⁵. However, the relative local compres-

Table. 1 Data of maximum load, stiffness and depth at maximum load of femoral head and talus.

No. of specimen	Maximal pressure (Mpa)		Stiffness (N/mm)		Depth (mm)	
	Femoral head	Talus	Femoral head	Talus	Femoral head	Talus
1	41.13	43.90	1395.52	713.44	1.40	0.63
2	15.74	40.47	188.16	926.59	1.51	0.74
3	37.47	40.22	1395.52	2657.76	1.05	0.86
4	19.51	50.56	470.40	2163.84	0.85	1.06
5	20.84	44.24	635.04	1677.76	1.12	0.81
6	42.24	49.00	1662.08	1615.04	1.01	0.83
7	20.73	69.40	274.40	2987.04	0.98	0.94
8	25.50	59.20	917.28	1552.32	1.13	1.18
9	46.79	46.34	1458.24	729.12	0.73	1.87
10	34.26	53.11	893.76	1293.60	1.35	0.71
Mean	30.42	49.64	929.04	1631.65	1.11	0.96
SD	11.21	9.08	530.01	778.24	0.25	0.36

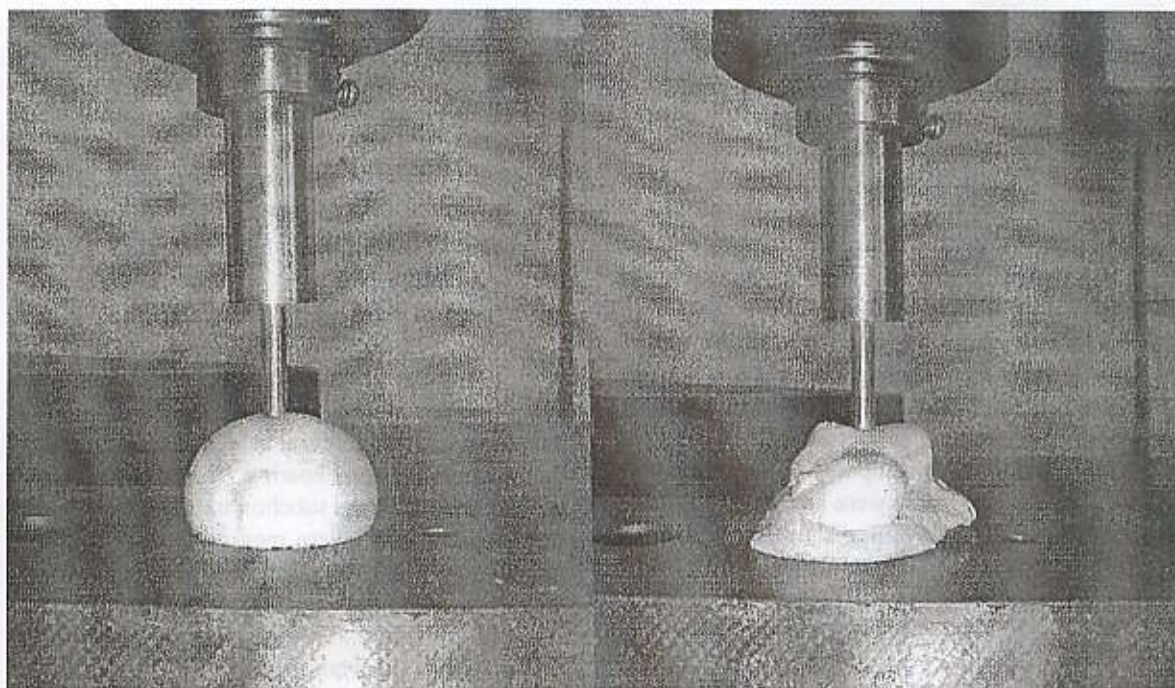


Figure 1. Using a universal testing machine, compressive load was applied at the middle of the weight-bearing surface of the femoral head and talar dome through a 6 mm-diameter round-tipped indenter.

sive strength of the talar dome and femoral head could be compared. This study showed that the middle surface of the talar dome had a 1.63 times greater compressive strength than that of the femoral head. The reason for this may be that talar domes have higher

bone density than femoral heads⁶. The result of this study may provide an explanation for the higher prevalence of late collapsing avascular necrosis of the femoral head than that of the talar dome.

REFERENCES

1. Aaron RK. Osteonecrosis: Etiology, pathophysiology, and diagnosis. In: Callaghan JT, Rosenberg AG, Rubash HE. The adult hip. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1998: 451-66.
2. Gillquist J, Oretorp H, Stenstorm A, Rieger A, Wennberg E. Late results after vertical fracture of the talus. *Injury* 1974; 6: 173-79.
3. Juliano PJ, Myerson MS. Fractures of the hindfoot. In: Myerson MS. Foot and ankle disorders. Philadelphia: WB Saunders, 2000: 1297-340.
4. Moore KL. Lower limb. In: Moore KL, editor. Clinical oriented anatomy. 2nd ed. Baltimore: Williams and Wilkins, 1985: 542-47.
5. Cochran GVB. Biomechanics of orthopaedic material. In: Cochran GVB, ed. Primer of orthopaedic biomechanics. New York: Churchill Livingstone, 1982: 124-26.
6. Swanson T, Bray T. Talar neck fracture: A mechanical and histomorphometric study of fixation. *Orthop Trans* 1989; 13: 762.