

Kalça eklem protezlerinde triboloji

Tribology in hip joint arthroplasty

Abdürrahim Kavaklılar¹, Mustafa Akkaya^{2,3}

¹Etlik Şehir Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

²Yüksek İhtisas Üniversitesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Ankara

³Özel Koru Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

“Triboloji” terimi ilk kez 1966 yılında İngiliz Bilim ve Eğitim Bakanlığının Jost raporunda kullanılan bir terimdir, söz konusu raporda triboloji terimi; birbirine göre hareket eden yüzeylerin ve bunlarla ilgili uygulamaların bilimi ve teknolojisidir şeklinde ifade edilmiştir. Ortopedinin günlük yaklaşımında sık uygulanan kalça eklem protezlerinin tarihçesi de tribolojiden etkilenecek günümüz modern kalça artroplastisini şekillendirmiştir. Ortopedik literatürde ise triboloji üzerine en önemli gelişmelerden birisi 1970’lerde Sir John Charnley’nin düşük sürtünmeli total kalça artroplastisi konseptini tanıtmaya başlaması ile başlamıştır. Güncel ortopedik uygulamada total kalça artroplastisi için birçok farklı yüzey çifti kullanılmaktadır. Kalça protezi uygulamalarında kullanılan yüzeylere yönelik yapılan araştırmaların sayısı ve bu araştırmalar için ayrılan bütçe her geçen gün artmaktadır. Sonuç olarak daha uzun ömürlü, güvenli ve başarılı yüzeyler geliştirilmektedir.

Anahtar sözcükler: kalça eklemi; aşınma; biyomalzeme; triboloji

The term “tribology” was first introduced in 1966 in the Jost Report of the British Ministry of Science and Education. In this report, tribology was defined as the science and technology of surfaces in relative motion and their related applications. The historical development of hip joint prostheses, which are frequently used in daily orthopedic practice, has been influenced by tribology and has shaped modern hip arthroplasty. One of the most significant developments related to tribology in the orthopedic literature began in the 1970s with Sir John Charnley’s introduction of the concept of low-friction total hip arthroplasty. In current orthopedic practice, various bearing surface combinations are used in total hip arthroplasty. The number of studies focusing on bearing surfaces used in hip prostheses, as well as the budget allocated to this research, has been increasing steadily. As a result, more durable, safe, and successful bearing surfaces are being developed.

Key words: hip joint; wear; biomaterials; tribology

Triboloji terimi ilk kez 1966 yılında İngiliz Bilim ve Eğitim Bakanlığının Jost raporunda kullanılan bir terimdir, söz konusu raporda triboloji terimi; birbirine göre hareket eden yüzeylerin ve bunlarla ilgili uygulamaların bilimi ve teknolojisidir şeklinde ifade edilmiştir.^[1] Triboloji temel olarak yüzey etkileşimleri, sürtünme mekanizmaları, aşınma tipleri, yağlama rejimleri üzerinde çalışan bir mühendislik bilim dalıdır. Söz konusu başlıkların tamamı tıpta en çok ortopedi ve travmatolojiyi ilgilendirmektedir. Özellikle eklemleşen bölgelerde kullanılan implantlar ve protezler triboloji bilimi çerçevesinde değerlendirilmelidir. Bu eklemlerden en önemlilerinden birisi kalça eklemidir. Ortopedinin günlük yaklaşımında sık uygulanan kalça eklem protezlerinin tarihçesi de tribolojiden etkilenecek günümüz modern kalça artroplastisini şekillendirmiştir.

DOĞAL EKLEM TRIBOLOJİSİ

Doğal sinovyal eklemlerde triboloji; yani sürtünme, aşınma ve yağlama süreçleri, eklem uzun süreli fonksiyonel bütünlüğü için kritik bir rol oynar. Hiyalin kıkırdak, kollajen ağ yapısı ve proteoglikanlar içeren ekstraselüler matriksiyle yüksek hidrasyon kapasitesine sahiptir.^[2] Bu yapı, yüksek yük altında interstisyel sıvının sıkışmasına izin verir böylece yük taşınır ve sürtünme azalır. Ardından, eklem kayma hareketiyle birlikte “tribolojik re-hidrasyon” denilen bir süreç gerçekleşir; bu da kıkırdığın kayma hızına bağlı olarak sıvı geri emilmesini sağlar.^[3] Bu adaptasyon eklem yüzeyinin yüksek hızda bile düşük sürtünme oranlarını korumasına yardımcı eder. Özellikle fosfatidilkolin lipitleri ile hyalüronik asit arasındaki sinerji, yüksek basınç altında çok düşük sürtünme ($\mu \approx 0,001$) sağladığını tespit eden araştırmalar mevcuttur.^[4,5]

İletişim / Contact: Op. Dr. Abdürrahim Kavaklılar • **E-posta / E-mail:** r.kavaklılar1@gmail.com

ORCID ID: Abdürrahim Kavaklılar, 0000-0003-0660-4537 • Mustafa Akkaya, 0000-0002-2694-4208

Geliş / Received: 4 Mayıs 2026 • **Revizyon / Revised:** 16 Haziran 2026 • **Kabul / Accepted:** 24 Haziran 2026

ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİDE KULLANILAN İMP-LANTLARDA TRİBOLOJİNİN TARİHÇESİ

Ortopedi ve travmatolojide kullanılan literatürde ise triboloji üzerine en önemli gelişmelerden birisi 1970'lerde Sir John Charnley'nin düşük sürtünmeli total kalça artroplastisi konseptini tanıtmalarıyla başlamıştır.^[6] Charnley bu yazısında düşük sürtünme konseptini hem teorik hem de pratik olarak açıklar ve modern kalça artroplastisinin ilk adımını atar. Sürtünmeyi azaltmanın en temel yolunun küçük çaplı bir femoral baş ve düşük sürtünmeli polietilen asetabular yüzey kombinasyonu olduğunu öne sürer. Charnley'in yazısından önce ortopedik yaklaşımda polietilen asetabular yüzeyler kullanılmıyordu. Klinik pratikte daha çok McKee-Farrar'ın önerdiği metal üzerine metal protezler ve Charnley'in önerdiği teflon üzerine metal protezler kullanılmaktaydı.^[7,8] Bu protezler birçok sorunu beraberinde getirmekteydi. Bu sorunların başında metal iyon salınımları vardı.^[9] Bu iyonların salınımı sonrası lokal ve sistemik etkiler oluşuyordu özellikle kobalt iyonunun çözünür hâlde kalması ve biyomoleküllerle tepkimeye girmesi kardi-yotoksik ve nörotoksik etkiler oluşturmaktaydı.^[9,10] Metal iyonları tip 4 aşırı duyarlılık reaksiyonuna sebep olarak aseptik lenfositik vaskülitte neden olabiliyordu.^[11] Teflon üzerine metal protezlerde ayda 0,5 milimetre (mm) gibi çok ciddi miktarda aşınma görülmesi, bu implantların terk edilmesinin en önemli sebeplerinden birisiydi.^[12] Charnley kendi uyuşuna ve tibiasına enjekte ettiği teflon parçacıklarının ciddi yabancı cisim reaksiyonuna neden olduğunu gözlemlemiştir.^[13] Bu yoğun yabancı cisim reaksiyonunun ciddi osteolizi beraberinde getirerek implant gevşemesinde rol oynadığı düşünülmüştür.^[14] 1951 yılında Charnley'in ilk çimentosuz metal üzerine teflon protez uygulaması başarısız oldu. Bunun üzerine düşük sürtünme oluşturma üzerine fikirlerinin önemini anladı. Femoral başın çapının küçük olmasının sürtünmeyi azaltacağını düşünüyordu ayrıca aşırı küçük baş çaplarının çıkıkla yakından ilişkili olduğunu bilmesi nedeniyle 22 mm genişliğinde bir baş tasarladı. Charnley karamsarlığa kapılmasına rağmen çalışmalarına devam etti ve polietilenin sanayi sektöründeki kullanımının giderek yaygınlaşmasından esinlenerek 1962'de İngiltere'nin Wrightington kentinde ilk düşük sürtünmeli kalça protezi tekniğini uygulayarak bir devrime imza attı.^[15]

GÜNCEL ORTOPEDİK YAKLAŞIMDA TERCİH EDİLEN MALZEMELER

Triboloji alanında farklı malzeme çiftlerinin temas altındaki davranışı, sistemlerin performansını, aşınma dirençlerini ve uzun dönem stabilitesini doğrudan etkileyen temel bir konudur. Bu bağlamda kullanılan femoral baş ve asetabular yüzeyler arasındaki ilişki iyi bilinmelidir; güncel ortopedik uygulamada sıklıkla metal üzerine

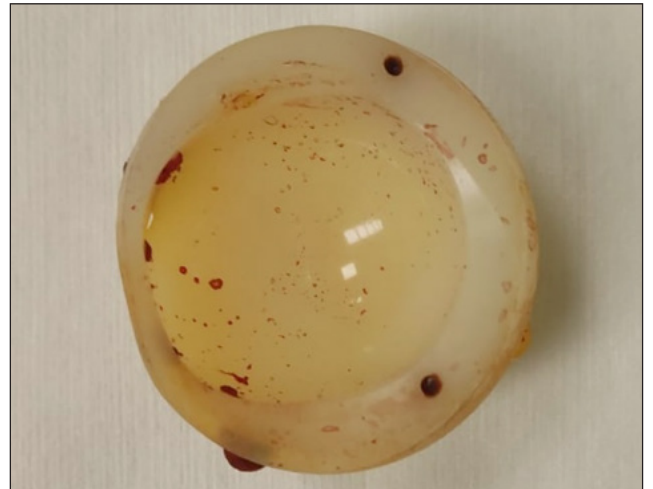
metal, metal üzerine polietilen, seramik üzerine polietilen ya da seramik üzerine seramik yüzey çiftleri tercih edilmektedir. Bununla beraber femoral baş büyüklük seçenekleride cerrah açısından düşündürücü olmuştur. Büyük çaplı femoral başların (≥ 36 mm) kullanımı, düşük dislokasyon oranı, iyileştirilmiş aşınma özellikleri ve daha geniş hareket aralığı gibi avantajlar sağlamaktadır.^[16] Buna ek olarak aşırı büyük femoral baş seçeneklerinde ise aşınmanın artacağı ve aşınma partiküllerinin ortaya çıkmasına bağlı komplikasyonların artacağı bildirilmiştir.^[17,18]

METAL ÜZERİNE METAL UYGULAMALAR

Metal üzerine metal uygulamalar gittikçe popüleritesi azalan uygulamalardır. Başlangıçta, metal üzerine metal uygulamalarının cazibesi, potansiyel faydalarının bir kombinasyonundan kaynaklanıyordu. Bunlar arasında, malzemelerin sertliği sayesinde daha az aşınma ve daha fazla stabilite ve daha az çıkık riski vadedmesi yer alıyordu.^[19-21] Özellikle bu uygulamalarda metal artıklarına karşı istenmeyen reaksiyonların ve aseptik lenfosit baskın vaskülit, psödötümör oluşumu gibi lezyonların gelişmesi bu uygulamanın terk edilmesinin en önemli sebepleridir.^[22,23] Söz konusu uygulamalar sonrası ortaya çıkan etkiler, yalnızca görüntüleme yoluyla tespit edilebilen asemptomatik doku değişiklikleri olarak ortaya çıkabilirken bazen de şiddetli ağrıya ve implant başarısızlığına sebep olabiliyordu.^[24,25]

POLİETİLEN YÜZEYLERİN UYGULANMASI

Polietilen, kimyasal ve kavramsal olarak kolayca üretilen bir maddedir; etilen gazının asılı hidrojen atomlarına sahip makromoleküler bir karbon zincirine polimerizasyonu ile üretilir.^[26] Yüksek oranda çapraz bağlı ve ısı işlem görmüş polietilenler, aşınmayı ve osteolizden



Şekil 1. Seramik baş üzerine uygulanmış polietilen linerin ileri derecede aşınması sonucu ortaya çıkan görüntüsü.

kaynaklanan revizyon sıklığını azaltmak için 1998'den itibaren klinik olarak kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 1). Bu polietilenlerin geliştirilmesindeki önemli motivasyonlar; sağlamlığı artırmak ve uzun vadeli raf ömrünü sağlayabilmektir.^[27] Yüksek çapraz bağlı polietilene, E vitamini eklenerek yeni bir asetabular komponent geliştirilmiştir. Vitamin E'nin, sürtünme sonrası oluşan serbest radikalleri stabilize ederek osteolizi azaltması hedeflenmiştir. Sonuç olarak hem sağlam hem de oluşan serbest radikalleri kendisi baskılayan bir polietilen keşfedilmiştir.^[28] Mutimer ve ark. yaptıkları çalışmada konvansiyonel polietilenlerin yılda 0,26 mm aşındığını buna karşılık yüksek çapraz bağlı polietilenlerin ise yılda 0,05 mm gibi çok daha düşük miktarlarda aşındığını bildiren beş yıllık takip sonuçlarını yayımlamışlardır.^[29] Toplam 112 hasta ile yapılan bir çalışmada hastaların 10 yıllık takiplerinde kullanılan E vitamini emdirilmiş yüksek çapraz bağlı polietilen asetabular linerlerin bir yıllık aşınması ortalama 0,028 mm olarak tespit edilmiştir.^[30] Polietilen geliştirilmesi konusundaki çalışmalar ortopedik teknolojinin en önemli unsurlarından birisi hâline gelerek son dönemde nano-kompozit eklentiler, imalat optimizasyonları yeni termal işlemler gibi konular gündemde ve üzerinde çalışmalar devam etmektedir.^[31,32] Özellikle son dönemde üretilen E-vitamini içeren polietilen yüzeyler yüksek aşınma direnci ve oksidatif stabilitenin birleşimi mentalitesiyle dizayn edilmiştir. Antioksidanla stabilize edilmiş bu ara yüzeyler, polietilenin ömrünü daha da uzatmak için umut verici bir malzeme hâline getirmiştir.^[33]

SERAMİK YÜZEYLERİN UYGULANMASI

Boutin ilk olarak 1970 yılında seramik yüzeylerin kullanımıyla ilgili bilgilerini yayımlamıştır.^[34] Özellikle birinci nesil seramik yüzeylerin uygulamalarında en büyük sorunlardan birisi kırılmaydı; bu oranın özellikle 1. nesil seramik yüzeylerde %13'lerde olduğu bildirilmiştir.^[35] Gıcırdağa ise farklı sorunlardan birisidir özellikle seramik üzerine seramik uygulamalarda karşımıza çıkabilir. Sexton ve ark.'nın yaptığı çalışmada toplamda 2406 seramik üzerine seramik olarak uygulanmış primer total kalça protezi hastası ortalama olarak 9,5 yıllık takibe alınmış sonuçta %3,1 oranında (73 hastada) kalçada gıcırdağa şikayeti olduğunu bildirmiştir. Bu hastaların ortak özelliklerine bakıldığında; uzun boylu, kilolu ve genç hastalardan oluştuğu gözlemlenmiştir.^[36] Seramik yüzeylerin diğer yatak yüzeylerine göre daha az aşınma partikülü üretmesi osteoliz riskini düşürmekte; bu durum da söz konusu materyallerin tercih edilme sıklığını giderek artırmaktadır.^[37] Hernigou ve ark. bir kalçasına seramik üzerine seramik diğer kalçasına ise seramik üzerine polietilen total kalça protezi yapılmış toplamda 28 hasta üzerinde yaptıkları 20 yıllık takiplerin sonuçlarını yayımlamışlardır; radyolojik olarak seramik üzerine seramik uygulanan hastaların

sadece üçünde aşınma tespit edilirken polietilen üzerine seramik uygulanan hastaların ise yirmisinde aşınma bulguları tespit etmişlerdir.^[38] Yapılan geliştirmeler sonrası nesilleri ilerledikçe seramik yüzeylerin dayanıklılığı artmakta ve oluşturduğu sorunlar giderek azalmaktadır.^[39]

SERAMİK ÜZERİNE SERAMİK UYGULAMALAR

Hu ve ark. metanaliz çalışması sonucu olarak yayımladıkları yazıda dokuz farklı randomize kontrollü çalışmayı derlemiş ve seramik baş üzerine uygulanan polietilen ve seramik asetabular yüzeyleri karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada toplamda 1.575 hasta değerlendirilmiş ve revizyon, osteoliz, gevşeme, çıkık ve derin enfeksiyon açısından anlamlı bir fark gözlemlenmemişlerdir. Bunun yanında seramik üzerine seramik uygulamalarında gıcırdağa bulgusunun daha sık olduğunu yayımlamışlardır.^[40] 2021 yılında yapılan bir meta-analiz çalışmasında ise seramik üzerine seramik ve seramik üzerine polietilen yüzeylerin karşılaştırması yapılmış; toplamda 2.702 hasta değerlendirilmiş protez kırılması ve gıcırdağanın seramik üzerine seramik uygulamalarında anlamlı derecede yüksek olduğunu bildirmiştir. Hastaların kalça fonksiyon skorlamalarında, revizyon, çıkık, derin enfeksiyon, osteoliz ve protez gevşeme oranlarında bu iki grup arasında anlamlı bir farklılık saptanmamış, seramik üzerine seramik uygulamalarında aşınmanın ise daha az olduğu bildirilmiştir.^[41]

KAYNAKLAR

1. Jost HP. Tribology-Origin and future. Wear 1990;136(1):1-17. [Crossref](#)
2. Roughley PJ, Lee ER. Cartilage proteoglycans: structure and potential functions. Microsc Res Tech 1994;28(5):385-97. [Crossref](#)
3. Kupratis ME, Gure A, Ortved KF, Burris DL, Price C. Comparative tribology: Articulation-induced rehydration of cartilage across species. Biotribology (Oxf) 2021;25. [Crossref](#)
4. Seror J, Zhu L, Goldberg R, Day AJ, Klein J. Supramolecular synergy in the boundary lubrication of synovial joints. Nature Communications 2015;6(1):6497. [Crossref](#)
5. Farnham MS, Ortved KF, Burris DL, Price C. Articular cartilage friction, strain, and viability under physiological to pathological benchtop sliding conditions. Cell Mol Bioeng 2021;14(4):349-63. [Crossref](#)
6. Charnley J. Total hip replacement by low-friction arthroplasty. Clin Orthop Relat Res 1970;72:7-21. [Crossref](#)
7. McKee GK, Watson-Farrar J. Replacement of arthritic hips by the McKee-Farrar prosthesis. J Bone Joint Surg Br 1966;48(2):245-59. [Crossref](#)
8. Al-Jabri T, Ridha M, McCulloch RA, Kayani B, Arif A, Habad M, et al. Hip resurfacing arthroplasty: Past, present and future. Orthop Rev (Pavia) 2023;15:77745. [Crossref](#)

9. Van Der Straeten C. Current insights regarding metal-on-metal bearings for hip arthroplasty. *Lubricants* 2017;5(3):37. [Crossref](#)
10. Bradberry SM, Wilkinson JM, Ferner RE. Systemic toxicity related to metal hip prostheses. *Clin Toxicol (Phila)* 2014;52(8):837-47. [Crossref](#)
11. Delaunay C, Petit I, Learmonth ID, Oger P, Vendittoli PA. Metal-on-metal bearings total hip arthroplasty: The cobalt and chromium ions release concern. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010;96(8):894-904. [Crossref](#)
12. Merola M, Affatato S. Materials for hip prostheses: A review of wear and loading considerations. *Materials (Basel)* 2019;12(3). [Crossref](#)
13. Gomez PF, Morcuende JA. A historical and economic perspective on Sir John Charnley, Chas F. Thackray Limited, and the early arthroplasty industry. *Iowa Orthop J* 2005;25:30-7.
14. Morano C, Garofalo S, Bertuccio P, Sposato A, Zappone I, Pagnotta L. A Comprehensive literature review of total hip arthroplasty (THA): Part 1-biomaterials. *J Funct Biomater* 2025;16(5). [Crossref](#)
15. Charnley J. Arthroplasty of the hip. A new operation. *Lancet* 1961;1(7187):1129-32. [Crossref](#)
16. Neupane G, Madhusudhan R, Shrestha A, Vaishya R. Large diameter head in primary total hip arthroplasty: A systematic review. *Indian J Orthop* 2020;54(6):784-94. [Crossref](#)
17. Maxian TA, Brown TD, Pedersen DR, Callaghan JJ. Adaptive finite element modeling of long-term polyethylene wear in total hip arthroplasty. *J Orthop Res* 1996;14(4):668-75. [Crossref](#)
18. Shen FW, Lu Z, McKellop HA. Wear versus thickness and other features of 5-Mrad crosslinked UHMWPE acetabular liners. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469(2):395-404. [Crossref](#)
19. Rieker CB, Schön R, Köttig P. Development and validation of a second-generation metal-on-metal bearing: Laboratory studies and analysis of retrievals. *J Arthroplasty* 2004;19(8 Suppl 3):5-11. [Crossref](#)
20. Triclot P. Metal-on-metal: History, state of the art (2010). *Int Orthop* 2011;35(2):201-6. [Crossref](#)
21. Rieker C, Kottig P. In vivo tribological performance of 231 metal-on-metal hip articulations. *Hip Int* 2002;12(2):73-6. [Crossref](#)
22. Hasegawa M, Yoshida K, Wakabayashi H, Sudo A. Prevalence of adverse reactions to metal debris following metal-on-metal THA. *Orthopedics* 2013;36(5):e606-12. [Crossref](#)
23. Willert HG, Buchhorn GH, Fayyazi A, Flury R, Windler M, Köster G, et al. Metal-on-metal bearings and hypersensitivity in patients with artificial hip joints. A clinical and histomorphological study. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87(1):28-36. [Crossref](#)
24. Glyn-Jones S, Pandit H, Kwon YM, Doll H, Gill HS, Murray DW. Risk factors for inflammatory pseudotumour formation following hip resurfacing. *J Bone Joint Surg Br* 2009;91(12):1566-74. [Crossref](#)
25. Drummond J, Tran P, Fary C. Metal-on-metal hip arthroplasty: A review of adverse reactions and patient management. *J Funct Biomater* 2015;6(3):486-99. [Crossref](#)
26. Kurtz SM, Gawel HA, Patel JD. History and systematic review of wear and osteolysis outcomes for first-generation highly crosslinked polyethylene. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469(8):2262-77. [Crossref](#)
27. Kurtz SM, Manley M, Wang A, Taylor S, Dumbleton J. Comparison of the properties of annealed crosslinked (Crossfire) and conventional polyethylene as hip bearing materials. *Bull Hosp Jt Dis* 2002;61(1-2):17-26.
28. Wolf C, Maninger J, Lederer K, Frühwirth-Smounig H, Gamse T, Marr R. Stabilisation of crosslinked ultra-high molecular weight polyethylene (UHMW-PE)-acetabular components with alpha-tocopherol. *J Mater Sci Mater Med* 2006;17(12):1323-31. [Crossref](#)
29. Mutimer J, Devane PA, Adams K, Horne JG. Highly crosslinked polyethylene reduces wear in total hip arthroplasty at 5 years. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(12):3228-33. [Crossref](#)
30. van Erp JHJ, Erisen H, Snijders TE, Bekkers JEJ, de Gast A. An acetabular component made from highly cross-linked polyethylene enriched with vitamin E: 10-year clinical results and wear rates. *J Orthop* 2026;71:48-53. [Crossref](#)
31. Abdul Samad M. Recent advances in UHMWPE/UHMWPE Nanocomposite/UHMWPE Hybrid Nanocomposite Polymer Coatings for Tribological Applications: A Comprehensive Review. *Polymers (Basel)*. 2021;13(4). [Crossref](#)
32. Zhang J, Li J, Li H, Yang M, Li Y, Qi Y, et al. Recent overview and future research prospects of cross-linked polyethylene materials: Cross-linking methods and applications. *Preprints: Preprints*; 2024. [Crossref](#)
33. Knahr K. *Tribology in Total Hip and Knee Arthroplasty: Potential Drawbacks and Benefits of Commonly Used Materials*: Springer Berlin Heidelberg; 2014. [Crossref](#)
34. Boutin P. Total hip arthroplasty using a ceramic prosthesis. Pierre Boutin (1924-1989). *Clin Orthop Relat Res* 2000;(379):3-11. [Crossref](#)
35. Knahr K, Böhrer M, Frank P, Plenk H, Salzer M. Survival analysis of an uncemented ceramic acetabular component in total hip replacement. *Arch Orthop Trauma Surg* (1978) 1987;106(5):297-300. PMID: 3632315. [Crossref](#)
36. Sexton SA, Yeung E, Jackson MP, Rajaratnam S, Martell JM, Walter WL, et al. The role of patient factors and implant position in squeaking of ceramic-on-ceramic total hip replacements. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93(4):439-42. PMID: 21464479. [Crossref](#)
37. Hannouche D, Hamadouche M, Nizard R, Bizot P, Meunier A, Sedel L. Ceramics in total hip replacement. *Clin Orthop Relat Res* 2005(430):62-71. [Crossref](#)
38. Hernigou P, Zilber S, Filippini P, Poignard A. Ceramic-ceramic bearing decreases osteolysis: A 20-year study versus ceramic-polyethylene on the contralateral hip. *Clin Orthop Relat Res* 2009;467(9):2274-80. [Crossref](#)
39. Kawanabe K, Tanaka K, Tamura J, Shimizu M, Onishi E, Iida H, et al. Effect of alumina femoral head on clinical results in cemented total hip arthroplasty: Old versus current alumina. *J Orthop Sci* 2005;10(4):378-84. [Crossref](#)
40. Hu D, Yang X, Tan Y, Alaidaros M, Chen L. Ceramic-on-ceramic versus ceramic-on-polyethylene bearing surfaces in total hip arthroplasty. *Orthopedics* 2015;38(4):e331-8. [Crossref](#)
41. Shang X, Fang Y. Comparison of ceramic-on-ceramic vs. ceramic-on-polyethylene for primary total hip arthroplasty: A meta-analysis of 15 randomized trials. *Front Surg* 2021;8:751121. [Crossref](#)