

Sygacz, Oliwer, Walawski, Jacek, Żelazny, Przemysław, Filipczak, Joanna, Swora, Aleksandra, Borowik, Joanna, Bróż, Sebastian, Dankiewicz, Sara, Brodowski, Wojciech, Pawłowski, Piotr, Basta-Arciszewska, Katarzyna. Osteoarthritis of the knee - a condemnation of a prosthesis for a young person? ATLAS Knee System as an effective method of relieving the medial compartment of the knee. *Journal of Education, Health and Sport*. 2022;12(9):692-700. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2022.12.09.082> <https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/39909> <https://zenodo.org/record/7070730>

The journal has had 40 points in Ministry of Education and Science of Poland parametric evaluation. Annex to the announcement of the Minister of Education and Science of December 21, 2021. No. 32343. Has a Journal's Unique Identifier: 201159. Scientific disciplines assigned: Physical Culture Sciences (Field of Medical sciences and health sciences); Health Sciences (Field of Medical Sciences and Health Sciences). Punkty Ministerialne z 2019 - aktualny rok 40 punktów. Załącznik do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 21 grudnia 2021 r. Lp. 32343. Posiada Unikatowy Identyfikator Czasopisma: 201159. Przynależność dyscypliny naukowej: Nauki o kulturze fizycznej (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu); Nauki o zdrowiu (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu).

© The Authors 2022.
This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Nicolaus Copernicus University in Torun, Poland
Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author (s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non commercial license Share alike. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.
The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.
Received: 01.09.2022. Revised: 02.09.2022. Accepted: 12.09.2022.

Osteoarthritis of the knee - a condemnation of a prosthesis for a young person? ATLAS Knee System as an effective method of relieving the medial compartment of the knee

Choroba zwyrodnieniowa stawu kolanowego – skazanie na protezę dla młodej osoby? ATLAS Knee System jako skuteczna metoda odciążenia przedziału przyśrodkowego kolana

Oliwer Sygacz

Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 4 w Lublinie

<https://orcid.org/0000-0003-3245-945X> | oliwer.sygacz@gmail.com

Jacek Walawski

Żagiel Med Hospital, Lublin, Poland

<https://orcid.org/0000-0002-4317-5746> | walawski.jacek@gmail.com

Przemysław Żelazny

1 Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ w Lublinie

<https://orcid.org/0000-0001-6794-9112> | przemo.zelazny@gmail.com

Joanna Filipczak

Absolwent Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

<https://orcid.org/0000-0002-3512-8368> | joannafilipczak70@gmail.com

Aleksandra Swora

Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 1 w Lublinie

<https://orcid.org/0000-0002-6171-0386> | ola.swora@gmail.com

Joanna Borowik

Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 1 w Lublinie

<https://orcid.org/0000-0001-8369-6207> | joannaa.borowik@gmail.com

Sebastian Bróż

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny Nr 1 imienia Fryderyka Chopina w Rzeszowie

<https://orcid.org/0000-0002-6191-2535> | sebastianbroz223@gmail.com

Sara Dankiewicz

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny Nr 1 imienia Fryderyka Chopina w Rzeszowie

<https://orcid.org/0000-0002-9208-8462> | saradankiewicz96@gmail.com

Wojciech Brodowski

Samodzielny Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej MSWiA w Lublinie

<https://orcid.org/0000-0003-0756-387X> | brodowski.wojciech@gmail.com

Piotr Pawłowski

Student, Faculty of Medicine, Medical University of Lublin

<https://orcid.org/0000-0002-1197-7218> | pawlowskipiotr56@gmail.com

Katarzyna Basta-Arciszewska

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Stefana Kardynała Wyszyńskiego Samodzielny

Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej w Lublinie

<https://orcid.org/0000-0002-7759-1588> | kasiabasta01@gmail.com

Abstract

Introduction: Osteoarthritis of the knee is one of the more common causes of disability in the elderly. In the United States, one in four adults suffers from the condition, half of whom are under the age of 65. The most commonly affected joint is the knee. A significant proportion of people in the 35-65 age range have degeneration in one compartment of the knee joint. Among the younger population, when non-operative methods are already failing and it is too early for surgery, there is a place for the ATLAS Knee System.

Aim of the study: The purpose of our work is to present a new and innovative form of treatment for single-compartment osteoarthritis of the knee. Based on the available literature, to show the advantages, disadvantages and results of treatment with the ATLAS Knee System.

Methods and materials: A literature review was conducted in the PubMed database, using the keywords: "Atlas Knee System"; "osteoarthritis"; "knee osteoarthritis".

Results: The ATLAS system is built with an absorber that, as the knee is stretched, absorbs the forces acting on the medial compartment, while not putting stress on the rest of the knee joint. After patients use the implant, a significant reduction in pain and improvement in knee function is observed.

Conclusion: Osteoarthritis is a significant health problem increasingly prevalent even among the younger population. The ATLAS system provides an alternative for younger people in whom conservative treatment has failed, while more invasive methods such as osteotomies and total or single-unit prosthetics are impossible or rejected by the patient. More studies are needed, on a larger number of people to accurately evaluate this system.

Keywords: Atlas Knee System; osteoarthritis; knee osteoarthritis

Abstrakt

Wprowadzenie: Choroba zwyrodnieniowa kolana stanowi jedną z częstszych przyczyn niepełnosprawności u osób w starszym wieku. W Stanach Zjednoczonych co czwarta osoba dorosła cierpi na to schorzenie, z czego połowa z tych osób ma mniej niż 65 lat. Najczęściej zajęтым stawem jest staw kolanowy. Znaczna część osób w przedziale wiekowym 35-65 lat posiada zwyrodnienia w jednym przedziale stawu kolanowego. Wśród populacji młodszej, gdy metody nieoperacyjne już zawodzą, a za wcześnie jest jeszcze na zabiegi operacyjne, pojawia się miejsce dla ATLAS Knee System.

Cel pracy: Celem naszej pracy jest przedstawienie nowej, innowacyjnej formy leczenia jednoprzecinalowej choroby zwyrodnieniowej stawu kolanowego. Na podstawie dostępnego piśmiennictwa wskazanie zalet, wad i wyników leczenia przy użyciu ATLAS Knee System.

Materiały i metody: Dokonano przeglądu literatury w bazie danych PubMed, używając słów kluczy: „Atlas Knee System”; „osteoarthritis”; „knee osteoarthritis”.

Wyniki: System ATLAS, zbudowany jest z absorbera, który w miarę rozciągania kolana pochłania siłę działającą na przedział przysrodkowy, jednocześnie nie powodując obciążania pozostałych części stawu kolanowego. Po zastosowaniu u pacjentów implantu obserwuje się znaczne obniżenie dolegliwości bólowych oraz poprawę funkcji kolana.

Podsumowanie: Choroba zwyrodnieniowa jest znaczącym problemem zdrowotnym coraz częściej występującym nawet wśród młodszej populacji. System ATLAS stanowi alternatywę dla osób młodych, u których leczenie zachowawcze zawiodło, a jednocześnie niemożliwe są lub odrzucane przez pacjenta metody bardziej inwazyjne jak osteotomie oraz protezoplastyka całkowita lub jednoprzediałowa. Potrzeba więcej badań, na większej liczbie osób w celu dokładnej oceny tego systemu.

Słowa kluczowe: Atlas Knee System; osteoarthritis; knee osteoarthritis

I. Wprowadzenie

Choroba zwyrodnieniowa stawów (ChZS) jest najczęściej występującą jednostką chorobową, u osób dorosłych, obejmującą stawy. Częstość jej występowania oraz zapadalność wśród populacji stale rośnie.[1,2,3] Około 1/3 wszystkich osób dorosłych ma radiologiczne objawy choroby zwyrodnieniowej stawów. [4] Szacuje się, że 240 milionów ludzi na świecie ma postać objawową ChZS, z czego w populacji powyżej 60 roku życia dotyczy to 10% mężczyzn oraz 18% kobiet. [5] Zapadalność na ChZS wzrasta wraz z wiekiem. Najczęściej zajęтым stawem jest kolano, problem ten dotyczy 6% osób dorosłych na świecie. [2] ChZS jest schorzeniem obejmującym cały staw, powodującym uszkodzenia chrząstki, warstwy podchrzęstnej kości, torebki stawowej, błony maziowej, więzadeł oraz otaczających staw mięśni. Na patogenezę ChZS składają się liczne czynniki zapalne, mechaniczne i metaboliczne, które prowadzą do destrukcji całego stawu. [6] Choroba ta prowadzi do klinicznych objawów takich jak sztywność, obrzęki, ograniczenie zakresu ruchu w stawie, jednak pacjenci jako najczęstszy problem wskazują ból. [7] Istotnym czynnikiem ryzyka rozwoju ChZS są zaburzenia osi kończyny, prowadzące w początkowej fazie do jednoprzediałowej ChZS. Zaobserwowano, że deformacja szpotawa kolan prowadzi do zwyrodnień w przedziale przysrodkowym, natomiast deformacja koślawa do zwyrodnień w przedziale bocznym stawu kolanowego. [8]

W początkowym stadium choroby stosuje się zachowawcze metody leczenia takie jak edukacja pacjenta, fizjoterapia, farmakoterapia. [2] W przypadku kiedy takie postępowanie nie jest wystarczające, z pomocą przychodzą metody operacyjne. W zaawansowanej ChZS zastosowanie znajduje protezoplastyka całkowita stawu kolanowego (TKA). [9] Jeżeli problem dotyczy jednego przedziału stawu, metodą z wyboru, w zależności od występowania zaburzenia osi, są osteotomia lub jednoprzediałowa protezoplastyka stawu kolanowego (UKA). [10,11] Wszystkie te metody wiążą się jednak z poważną operacją, na którą populacja osób młodych nie zawsze chce się zgodzić. Co więcej, u młodszych pacjentów, częściej mamy do czynienia z niepowodzeniami po endoprotezoplastyce i tacy pacjenci następnie wymagają kolejnej operacji jaką jest rewizja. [12,13] Dobrym rozwiązaniem w takim przypadku u młodszych pacjentów, wyrażających chęć powrotu do sportu, wydaje się być Atlas Knee System (Moximed, Inc., Hayward, CA, USA)[14].

II. Cel pracy

Celem naszej pracy jest przedstawienie nowej, innowacyjnej formy leczenia jednoprzediałowej choroby zwyrodnieniowej stawu kolanowego. Na podstawie dostępnego piśmiennictwa pokazanie zalet, wad i wyników leczenia przy użyciu ATLAS Knee System. Mamy nadzieję, że nasza praca pokaże alternatywę dla protezoplastyki lub osteotomii, która w przyszłości z powodzeniem będzie stosowana przez innych lekarzy.

III. Materiał i metody

Dokonałiśmy niesystematycznego przeglądu literatury polsko- i anglojęzycznej dostępnej w bazie danych, używając słów kluczy: „Atlas Knee System”; „osteoarthritis”; „knee osteoarthritis”.

IV. Wyniki

IV.a. Atlas Knee System - konstrukcja i mechanizm działania

Implanty odciążające jeden przedział stawu zostały stworzone w celu wypełnienia etapu pomiędzy leczeniem zachowawczym a leczeniem operacyjnym [12,15,16] Atlas System jest implantem drugiej generacji. Składa się z tytanowych elementów mocujących przy kości udowej i piszczelowej. Pomiędzy nimi znajduje się cylindryczny absorber wykonany z PCU (poliwęglany uretanowego). Absorber połączony jest z elementami piszczelowymi i udowymi na zasadzie mechanizmu „ball and socket” co umożliwia naturalny ruch stawu. Operacja implantacji absorbera jest małoinwazyjna i co jest istotne implant umieszczany jest poza stawem, podskórnym. Podczas zabiegu nie jest wymagana żadna resekcji kości, a w przypadku rewizji z uwagi na umieszczenie pozastawowe, nie ingerujemy bezpośrednio w struktury wewnątrzstawowe. Zadaniem absorbera jest redukcja obciążeń, nawet do 13 kg, przedziału przyśrodkowego, przy braku przeniesienia ich na inne części stawu. [14,16]

W badaniu Morgan i in. [17] wykazano zmniejszenie sił obciążających przedział przyśrodkowy o średnio 53 %, przy braku zmiany obciążenia przedziału bocznego [Fig.1] Wykazano również zmniejszenie naprężenia pomiędzy chrząstką na kości piszczelowej i kości udowej o średnio 31% oraz spadek naprężenia pomiędzy chrząstką i łąkotką o średnio 32%. [Fig.2]

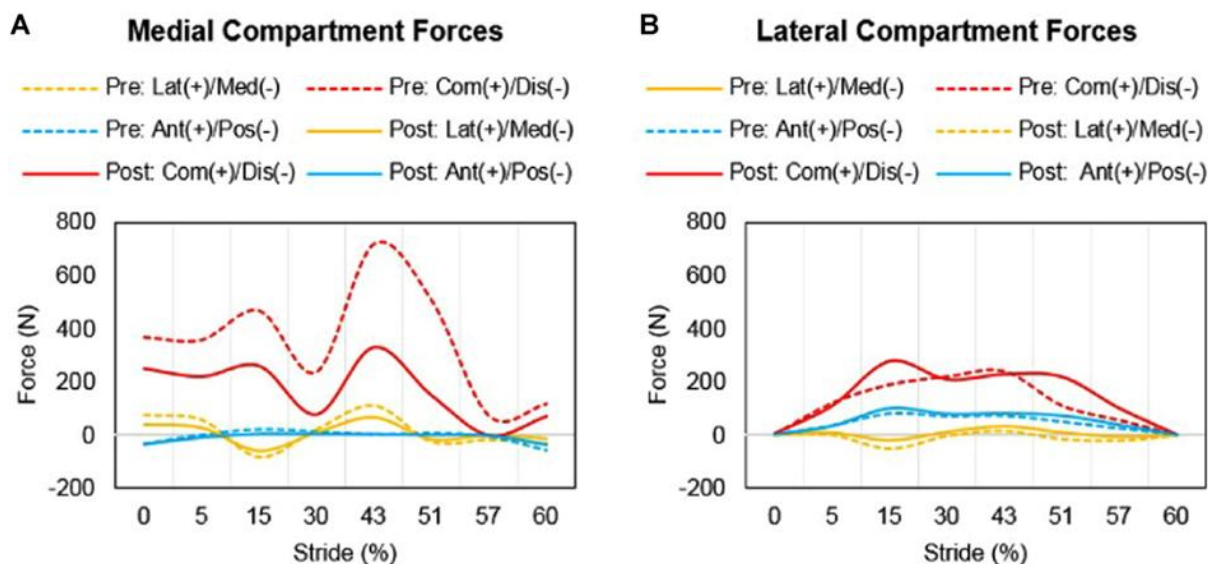


Fig. 1 Porównanie sił działających na przedział przyśrodkowy (A) i boczny (B) przed i po implantacji Atlas System. [17]

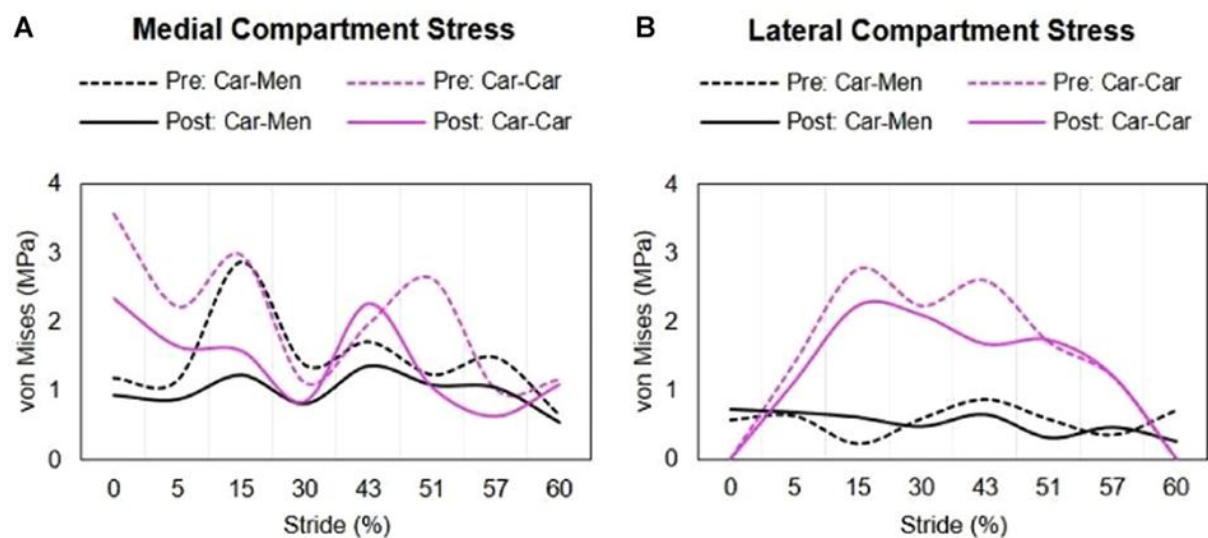


Fig. 2 Porównanie naprężenia pomiędzy chrząstką kości udowej i piszczelowej (Car-Car) oraz pomiędzy chrząstką i łokotką (Car-Men), w przedziale przyśrodkowym (A) i bocznym (B) stawu kolanowego, przed i po implantacji Atlas System [17]

IV.b. Atlas Knee System – technika chirurgiczna

Atlas System umieszczany jest podskórnie po przyśrodkowej stronie kolana. Wykonuje się pojedyncze, względnie małe nacięcie, następnie wizualnie i palpacyjnie poszukuje się nadkłykcia przyśrodkowego kości udowej, guzek przywodzicieli, plateau piszczeli, szczelinę stawową oraz przednią część więzadła pobocznego przyśrodkowego. Po zlokalizowaniu docelowych punktów fiksacji wprowadza się dwa druty Kirschnera oraz dobiera się rozmiar implantu. Początkowo przymierzany jest implant próbny, sprawdzana jest jego funkcja. Ostatecznie wykorzystany jest implant właściwy. [Zdj.1] Znajduje się on ponad więzadłem pobocznym przyśrodkowym. Część udowa umocowana jest przy użyciu 5 mm śrub blokujących pod włóknami skośnymi mięśnia obszernego przyśrodkowego (VMO), natomiast część piszczelowa przytwierdzona jest również śrubami blokującymi 5 mm poniżej

przyczepu warstwy głębokiej więzadła pobocznego przyśrodkowego, proksymalnie do gęsiej stopki. Na koniec sprawdzana jest funkcja implantu w pełnym zakresie ruchu. [14,16,18]



Zdj. 1 Zdjęcie śródoperacyjne, widoczne cięcie oraz implant Atlas Knee System. [własność autora]

IV.b. Atlas Knee System – wyniki leczenia

Celem leczenia choroby zwyrodnieniowej stawów jest zmniejszenie dolegliwości bólowych oraz poprawa funkcji. W celu oceny funkcji stawu kolanowego wykorzystuje się skalę KOOS, KSS oraz skalę Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC). W celu oceny spadku dolegliwości bólowych wykorzystywana jest skala WOMAC pain score [19,20]

W badaniu Slynarski i in. [14] opisano ciekawy przypadek 26-letniego byłego profesjonalnego sportowca. Pacjent z chorobą zwyrodnieniową stawu kolanowego przedziału przyśrodkowego (Skala Kellgren-Lawrance stopień 2). Po 6 miesiącach leczenia przy użyciu Atlas Knee System zanotowano znaczną poprawę w skali WOMAC function i WOMAC pain. Co więcej uzyskano znaczną poprawę w skali KOOS z 38 do 63.

W badaniu Slynarski i in. [16,18] dokonano oceny 26 pacjentów początkowo po 12 miesiącach leczenia następnie po 24 miesiącach leczenia. Po 12 miesiącach leczenia zaobserwowano znaczną poprawę w skali KSS z 61.9 ± 3.0 do 94.6 ± 1.6 . Po 24 miesiącach leczenia 100 % pacjentów uzyskało znaczną poprawę w skali WOMAC pain, natomiast 96% pacjentów uzyskało poprawę w skali WOMAC function. Istotną rzeczą jest powrót do aktywności sprzed operacji, po 23 dniach od implantacji absorbera.

IV.c. Atlas Knee System – ograniczenia

Atlas Knee System stosowany jest jedynie w przypadku łagodnej lub umiarkowanej choroby zwyrodnieniowej przedziału przyśrodkowego stawu kolanowego z zachowaną prawidłową osią kończyny. Określono jasne kryteria włączenia pacjenta do leczenia przy użyciu Atlas Knee System, zatem nie każdy pacjent może wybrać tę metodę leczenia. Z uwagi na krótkie stosowanie implantu do tej pory w literaturze nie opisano protokołu rehabilitacyjnego. [14,16] Do tej pory najczęściej opisywanym powikłaniem jest ból kolana. W pracy Slynarski i in.

dotyczył 15,4% pacjentów. W czasie dwuletniego okresu obserwacji z 26 pacjentów u 3 wykonano operacje w obrębie kolana. U jednej osoby usunięto implant z uwagi na ból i sztywność kolana. U jednej wykonano artroskopię kolana z mikrozlamaniami. U jednego pacjenta wykonano artroskopię, usunięto łąkotkę oraz osteofity [18]. Do tej pory nie opisano w literaturze żadnej infekcji i rewizji implantu. Ważnym aspektem jest również zmiana kinematyki stawu kolanowego po implantacji Atlas System. Obserwuje się zmianę w translacji oraz rotacji w obrębie stawu udowo-piszczelowego, jednak nie opisano w literaturze jak będzie to wpływało na staw kolanowy przy potencjalnie cięższych aktywnościach ruchowych [17].

V. Podsumowanie

Choroba zwyrodnieniowa jest znacznym problemem zdrowotnym coraz częściej występującym nawet wśród młodszej populacji. [21] System ATLAS wydaje się być doskonałą alternatywą dla osób młodych, u których leczenie zachowawcze zawiodło, a jednocześnie niemożliwe są lub odrzucane przez pacjenta metody bardziej inwazyjne jak osteotomia, UKA czy też TKA. Z pewnością potrzeba więcej badań, na większej liczbie osób w celu dokładnej oceny tego systemu. Obecnie trwają również badania nad trzecią generacją implantu.

Disclosures:

Financial support: No financial support was received.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

References:

1. Giwnewer U, Rubin G, Orbach H, Rozen N. [TREATMENT FOR OSTEOARTHRITIS OF THE KNEE]. Harefuah. 2016 Jul;155(7):403-406. Hebrew. PMID: 28514128. Dariya B, Chalikonda G, Srivani G, et al., Pathophysiology, Etiology, Epidemiology of Type 1 Diabetes and Computational Approaches for Immune Targets and Therapy. Crit Rev Immunol. 2019;39(4):239-265. doi: 10.1615/CritRevImmunol.2019033126. PMID: 32421967.
2. Michael JW, Schlüter-Brust KU, Eysel P. The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. Dtsch Arztebl Int. 2010 Mar;107(9):152-62. doi: 10.3238/arztebl.2010.0152. Epub 2010 Mar 5. Erratum in: Dtsch Arztebl Int. 2010 Apr;107(16):294. PMID: 20305774; PMCID: PMC2841860.
3. Felson DT. Epidemiology of hip and knee osteoarthritis. Epidemiol Rev. 1988;10:1-28. doi: 10.1093/oxfordjournals.epirev.a036019. PMID: 3066625.
4. Felson DT, Couropmitree NN, Chaisson CE, Hannan MT, Zhang Y, McAlindon TE, LaValley M, Levy D, Myers RH. Evidence for a Mendelian gene in a segregation analysis of generalized radiographic osteoarthritis: the Framingham Study. Arthritis Rheum. 1998 Jun;41(6):1064-71. doi: 10.1002/1529-0131(199806)41:6<1064::AID-ART13>3.0.CO;2-K. PMID: 9627016.

5. Allen KD, Thoma LM, Golightly YM. Epidemiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2022 Feb;30(2):184-195. doi: 10.1016/j.joca.2021.04.020. Epub 2021 Sep 14. PMID: 34534661.
6. Hunter DJ, Bierma-Zeinstra S. Osteoarthritis. *Lancet*. 2019 Apr 27;393(10182):1745-1759. doi: 10.1016/S0140-6736(19)30417-9. PMID: 31034380.
7. O'Neill TW, Felson DT. Mechanisms of Osteoarthritis (OA) Pain. *Curr Osteoporos Rep*. 2018 Oct;16(5):611-616. doi: 10.1007/s11914-018-0477-1. PMID: 30155845; PMCID: PMC6153568.
8. Wang B, Liu Q, Wise BL, Ke Y, Xing D, Xu Y, Zhang Y, Lin J. Valgus malalignment and prevalence of lateral compartmental radiographic knee osteoarthritis (OA): The Wuchuan OA study. *Int J Rheum Dis*. 2018 Jul;21(7):1385-1390. doi: 10.1111/1756-185X.13079. Epub 2017 Apr 26. PMID: 28447401.
9. Gademan MG, Hofstede SN, Vliet Vlieland TP, Nelissen RG, Marang-van de Mheen PJ. Indication criteria for total hip or knee arthroplasty in osteoarthritis: a state-of-the-science overview. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016 Nov 9;17(1):463. doi: 10.1186/s12891-016-1325-z. PMID: 27829422; PMCID: PMC5103467.
10. Guo WS. [Role and controversy of unicompartmental knee arthroplasty in treatment of knee osteoarthritis]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*. 2020 Jun 1;58(6):411-415. Chinese. doi: 10.3760/cma.j.cn112139-20200224-00124. PMID: 32498477.
11. Peng H, Ou A, Huang X, Wang C, Wang L, Yu T, Zhang Y, Zhang Y. Osteotomy Around the Knee: The Surgical Treatment of Osteoarthritis. *Orthop Surg*. 2021 Jul;13(5):1465-1473. doi: 10.1111/os.13021. Epub 2021 Jun 10. PMID: 34110088; PMCID: PMC8313165.
12. Stiebel M, Miller LE, Block JE. Post-traumatic knee osteoarthritis in the young patient: therapeutic dilemmas and emerging technologies. *Open Access J Sports Med*. 2014 Apr 8;5:73-9. doi: 10.2147/OAJSM.S61865. PMID: 24744616; PMCID: PMC3986283.
13. Meehan JP, Danielsen B, Kim SH, Jamali AA, White RH. Younger age is associated with a higher risk of early periprosthetic joint infection and aseptic mechanical failure after total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2014 Apr 2;96(7):529-35. doi: 10.2106/JBJS.M.00545. PMID: 24695918.
14. Slynarski K, Lipinski L. Treating Early Knee Osteoarthritis with the Atlas® Unicompartmental Knee System in a 26-Year-Old Ex-Professional Basketball Player: A Case Study. *Case Rep Orthop*. 2017;2017:5020619. doi: 10.1155/2017/5020619. Epub 2017 Jan 26. PMID: 28246566; PMCID: PMC5299169.
15. Clifford AG, Gabriel SM, O'Connell M, Lowe D, Miller LE, Block JE. The KineSpring® Knee Implant System: an implantable joint-unloading prosthesis for treatment of medial knee osteoarthritis. *Med Devices (Auckl)*. 2013 May 17;6:69-76. doi: 10.2147/MDER.S44385. PMID: 23717052; PMCID: PMC3663478.

16. Slynarski K, Walawski J, Smigielski R, van der Merwe W. Feasibility of the Atlas Unicompartmental Knee System Load Absorber in Improving Pain Relief and Function in Patients Needing Unloading of the Medial Compartment of the Knee: 1-Year Follow-Up of a Prospective, Multicenter, Single-Arm Pilot Study (PHANTOM High Flex Trial). *Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord*. 2017 Sep 27;10:1179544117733446. doi: 10.1177/1179544117733446. PMID: 28989290; PMCID: PMC5624346.
17. Morgan OJ, Hillstrom HJ, Ranawat A, Fragomen AT, Rozbruch SR, Hillstrom R. Effects of a Medial Knee Unloading Implant on Tibiofemoral Joint Mechanics During Walking. *J Orthop Res*. 2019 Oct;37(10):2149-2156. doi: 10.1002/jor.24379. Epub 2019 Jun 19. PMID: 31119801.
18. Slynarski K, Walawski J, Smigielski R, van der Merwe W. Two-Year Results of the PHANTOM High Flex Trial: A Single-Arm Study on the Atlas Unicompartmental Knee System Load Absorber in Patients With Medial Compartment Osteoarthritis of the Knee. *Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord*. 2019 Sep 23;12:1179544119877170. doi: 10.1177/1179544119877170. PMID: 31579106; PMCID: PMC6757501.
19. Collins NJ, Prinsen CA, Christensen R, Bartels EM, Terwee CB, Roos EM. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): systematic review and meta-analysis of measurement properties. *Osteoarthritis Cartilage*. 2016 Aug;24(8):1317-29. doi: 10.1016/j.joca.2016.03.010. Epub 2016 Mar 21. PMID: 27012756.
20. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011 Nov;63 Suppl 11(0 11):S208-28. doi: 10.1002/acr.20632. PMID: 22588746; PMCID: PMC4336550.
21. Jones, L.D., Bottomley, N., Harris, K. et al. The clinical symptom profile of early radiographic knee arthritis: a pain and function comparison with advanced disease. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24, 161–168 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3356-z>