

KLOCEK, Konrad, KOSTECKI, Bartosz, HAJDUK, Aleksandra, MROZEK, Łukasz, JUREK, Aleksander, ZWOLSKI, Maciej, SZUMLAS, Zuzanna & PUCHALSKI, Krzysztof. Treatment of lumbar intervertebral disc herniation - a review of the latest therapeutic methods. *Journal of Education, Health and Sport*. 2023;25(1):16-26. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2023.25.01.002> <https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/43551> <https://zenodo.org/record/7884396>

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 2023;
This article is published with open access at License 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: 12.04.2023. Revised: 12.04.2023. Accepted: 01.05.2023. Published: 01.05.2023.

Treatment of lumbar intervertebral disc herniation - a review of the latest therapeutic methods.

Konrad Klocek ¹, Bartosz Kostecki ², Aleksandra Hajduk ³, Łukasz Mrozek ⁴, Aleksander Jurek ⁵, Maciej Zwolski ⁶, Zuzanna Szumlas ⁷, Krzysztof Puchalski ⁸

¹ Górnośląskie Centrum Medyczne im. prof. Leszka Gieca Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, Ziołowa 45-47, 40-635 Katowice

² SP ZOZ Szpital Wielospecjalistyczny w Jaworznie, Józefa Chełmońskiego 28, 43-600 Jaworzno

³ Warszawski Uniwersytet Medyczny, Żwirki i Wigury 61, 02-091 Warszawa

⁴ Samodzielny Publiczny Specjalistyczny Szpital Zachodni im. Św. Jana Pawła II, ul. Daleka 11, 05-825 Grodzisk Mazowiecki, Poland

⁵ UCK WUM Szpital Kliniczny Dzieciątka Jezus, ul. Lindleya 4, 02-005 Warszawa

⁶ Szpital św. Elżbieta w Katowicach ul. Warszawska 52, 40-008 Katowice

⁷ LUX MED Sp. z o.o., ul. Postępu 21C, 02-676 Warszawa

⁸ Samodzielny Publiczny Zespół Zakładów Opieki Zdrowotnej im. Marszałka Józefa Piłsudskiego w Płońsku, 09-100 Płońsk, ul. Henryka Sienkiewicza 7

Abstract

Introduction and purpose: The aim of this study is to provide a comprehensive description of intervertebral disc herniation, with a focus on the lumbar spine, including the current conservative and modern surgical treatment options such as minimally invasive procedures.

State of Knowledge: Spinal pain is a prevalent cause of disability in developed countries, with an increasing number of people affected by this condition. Intervertebral disc herniation resulting from degenerative changes is a common pathology, particularly in the lumbar and cervical spine. This condition involves the protrusion of the nucleus pulposus, which exerts pressure on the spinal roots, causing irritation. While the prognosis for herniated nucleus pulposus is usually positive and many patients can undergo conservative treatment, some may require a surgery. Due to advancements in technology, the current goal is to minimize tissue trauma during hernia repair procedures.

Conclusions: Due to advances in treatment of lumbar intervertebral disc herniation, patients can achieve better clinical outcomes and improved quality of life. Conservative treatment should be considered as the first line treatment in a majority of cases. Surgery is usually a last resort when conservative treatment proves insufficient. No surgical method seems to be unequivocally superior to the others, so its choice is tailored to the individual patient's needs and depends on the surgeon's preferences and experience. Recent advances in endoscopic spine surgery are providing new insights into disc surgery and pain management strategies.

Key words: intervertebral disc herniation; spondylolysis; discectomy; sciatica

1. Wprowadzenie

Krażki międzykręgowe to struktury znajdujące się pomiędzy trzonami kręgów. W ich skład wchodzi miękkie i odkształcalne jądro miażdżyste (wysoko uwodniona tkanka ze znaczną ilością glikozaminoglikanów (GAG) i drobnymi włóknami kolagenu typu II), które jest otoczone przez koncentrycznie ułożone warstwy pierścienia włóknistego, utworzonego poprzez przebiegające naprzemiennie skośne włókna kolagenowe i elastynowe. Struktury te są połączone powyżej i poniżej z przylegającymi trzonami kręgów przez cienkie warstwy chrzęstnych płytek końcowych. Pierścień wykazuje asymetrię budowy - w części przedniej jest znacznie grubszy, natomiast cieńszy w części tylnej, co może sprzyjać jego uszkodzeniom i być miejscem przepukliny jądra miażdżystego. Krażki spełniają rolę mechaniczną - ich głównym zadaniem jest przenoszenie obciążenia wynikającego z pracy mięśni i ciężaru ciała. Ponadto łącząc kręgi ze sobą tworzą tzw. segment ruchowy kręgosłupa (dwa sąsiednie kręgi i krążek pomiędzy nimi) i dzięki temu zapewniają kręgosłupowi elastyczność, umożliwiając zginanie, wyginanie i skręcanie.

Ból kręgosłupa jest jedną z najczęstszych przyczyn niepełnosprawności w krajach rozwiniętych, ze stale wzrastającą liczbą osób cierpiących na tę dolegliwość [1]. Zwyrodnienie krążka międzykręgowego (IVD) jest procesem naturalnym i związanym ze starzeniem się organizmu. Patologicznym stanem związanym z IVD jest choroba zwyrodnieniowa dysku (DDD), która jest przyczyną przewlekłego bólu pleców. Istnieje wiele różnych mechanizmów powstawania DDD – z których najważniejsze to zaburzenia troficzne, polimorfizm genetyczny i urazy mechaniczne. W badaniach radiologicznych najbardziej rozległe zmiany w przebiegu zwyrodnienia krążka międzykręgowego wykazuje jądro miażdżyste [2]. Wraz z dojrzewaniem szkieletu granica pomiędzy pierścieniem a jądrem miażdżystym zaciera się, dochodzi do zwłóknienia jądra i utraty jego struktury żelowej. Często dochodzi do rozszczepiania i powstania szczelin w jądrze miażdżystym gdzie dochodzi do proliferacji komórek i tworzenia się patologicznych skupisk. W zdegenerowanych krążkach stwierdza się obecność nerwów i naczyń krwionośnych, których brak w warunkach fizjologicznych. Dochodzi do zmniejszenia wysokości krążków, zwiększenia ich wybrzuszenia ku tyłowi i na boki oraz obniżenia zdolności rozpraszania sił ściskających i utratę mobilności. U niektórych pacjentów można również zaobserwować pogrubienie więzadła żółtego i pojawienie się osteofitów (wyrośli chrzęstno-kostnych).

W efekcie zmian degeneracyjnych może dojść do przepukliny jądra miażdżystego tarczy międzykręgowej kręgosłupa. Najczęściej do patologii dochodzi w odcinku lędźwiowym i szyjnym kręgosłupa. Jest to częsta dolegliwość u pacjentów, którzy zgłaszają się z bólem w odcinku szyjnym kręgosłupa, dolnej części pleców oraz nóg, często wzdłuż określonego dermatomu. Może wystąpić u osób prowadzących siedzący tryb życia, podnoszących duże ciężary i otyłych. Wpływ na jej powstanie mają również wstrząsy i wibracje. Jest to najczęstsza przyczyna rwy kulszowej, dotykająca między 1% a 5% ludzi rocznie [3]. Polega ona na uwypukleniu jądra miażdżystego, które poprzez ucisk drażni korzenie rdzeniowe. Uwypuklenia krążka może mieć różne nasilenie. Przy braku uszkodzenia pierścienia włóknistego i jedynie częściowym uwypukleniu krążka mówimy o tzw. wypuklinie. Krążek może również wypaść poza pierścień i być utrzymywany przez więzadło podłużne tylne, natomiast gdy dojdzie do przerwania krążka, fragment jądra miażdżystego (sekwestr) może wypaść do kanału kręgowego. Powstający w ten sposób ból jest wywoływany przez ucisk mechaniczny, niskie pH spowodowane zaburzeniami przemiany materii oraz stan zapalny i związane z nim cytokiny prozapalne [4]. Rokowanie w przepuklinie jądra miażdżystego jest zwykle pomyślne i objawy mogą ustąpić samoistnie z czasem. Jednak u wielu pacjentów wymagane będzie zastosowanie leczenia zachowawczego, a u wybranych - zabiegów operacyjnych. Nawrót przepukliny krążka międzykręgowego w odcinku lędźwiowym jest specyficzną jednostką chorobową, która może wystąpić u pacjentów, u których wykonano pierwotną discektomię z powodu wcześniejszej przepukliny. Odsetek nawrotów waha się od 5% do 15% [5] [6]. Wśród czynników ryzyka powtórnej przepukliny krążka międzykręgowego zalicza się: wiek, płeć, wskaźnik masy ciała (BMI), palenie tytoniu, typ przepukliny, cukrzycę, wysokość dysku, rodzaj płyty końcowej i poziom przepukliny [7].

2. Diagnostyka przepukliny krążka międzykręgowego

Występowanie choroby zwyrodnieniowej krążka międzykręgowego może sugerować obecność typowych objawów klinicznych: ból w okolicy lędźwiowo- krzyżowej, promieniujący do jednego lub obu pośladków i łagodzący się w pozycji leżącej oraz po nocnym odpoczynku. Ponadto mogą wystąpić inne objawy, takie jak: mrowienie i drętwienie kończyn dolnych, zaburzenia czucia, problemy z wypróżnianiem, oddawaniem moczu czy zaburzenia erekcji.

Diagnostykę należy rozpocząć od badania fizykalnego, które może ujawnić wrażliwość uciskową w okolicy krzyżowo- lędźwiowej. Ponadto może dojść do zmniejszenia ruchomości kręgosłupa (upośledzenie zginania) oraz trudności w unoszeniu kończyny dolnej- tak zwany objaw Laseque'a. Badanie neurologiczne może nie wykazywać żadnych odchyłeń.

Podstawę diagnostyki stanowią badania obrazowe: zdjęcie rentgenowskie, tomografia komputerowa i MRI kręgosłupa. W przeciwieństwie do konwencjonalnych badań rentgenowskich, MRI jest pozbawiony niekorzystnego wpływu promieniowania jonizującego i jest lepszy w uwidacznianiu struktur pozaszkieletowych (korzenie nerwowe, krążki międzykręgowce). Czułość i swoistość MRI w diagnostyce przepukliny krążka międzykręgowego przewyższa czułość i swoistość CT [8] [9].

Ważne jest różnicowanie zmian patologicznych od tych związanych z wiekiem. Wśród odchyłeń w badaniach radiologicznych można wyróżnić: obniżenie wysokości krążków międzykręgowych, obecność osteofitów na powierzchni kręgów, zmniejszenie uwodnienia krążków czy uwypuklenie dysku do kanału kręgowego. Należy wykluczyć inne przyczyny dolegliwości bólowych np. zakażenia bądź guz nowotworowy.

3. Leczenie zachowawcze

3.1 Ćwiczenia fizyczne i fizjoterapia

Leczenie zachowawcze powinno zostać przedstawione pacjentom przed rozważaniem leczenia inwazyjnego. Obejmuje ono przede wszystkim ćwiczenia fizyczne skoncentrowane na wzmocnieniu mięśni pleców, fizjoterapię i leczenie farmakologiczne.

Ćwiczenia fizyczne pomagają w łagodzeniu bólu, mają korzystny wpływ na sprawność ruchową kręgosłupa zwiększając stopień aktywnej stabilizacji. Poprawiają również kontrolę postawy i koordynację ruchową, przez co zapobiegają zmęczeniu kręgosłupa i mikrourazom [10]. Ćwiczenia stabilizacji segmentarnej mogą przywrócić kontrolę motoryczną mięśni głębokich tułowia, dzięki czemu są w stanie doprowadzić do redukcji poziomu bólu i poprawy zdolności funkcjonalnych [11]. Stosowane są również programy rozciągające, które pozwalają na utrzymanie prawidłowej elastyczności mięśni i tkanki łącznej kręgosłupa [12] [13].

Wykonywanie ćwiczeń stabilizacyjnych odcinka lędźwiowego poprzez kontrolowanie równowagi za pomocą ruchów miednicy poprawia ruchomość i stabilność stawu krzyżowo-biodrowego oraz zwiększa zakres ruchu miednicy i kręgosłupa. Ma to wpływ na poprawę zmysłu propriocepcji i wpływa na regenerację funkcji dysku lędźwiowego [14].

Trening aerobowy o niskiej lub umiarkowanej intensywności ćwiczeń pozwala na poprawę stanu psychicznego i jest bezpieczną terapią dla pacjentów z przewlekłym bólem kręgosłupa lędźwiowego nie powodując nowych dolegliwości ani zaostrzenia bólu/symptomów. Stosowanie treningu aerobowego regularnie przez długi czas może zapewnić poprawę stanu funkcjonalnego pacjentów i doprowadzić do zmniejszenia zużycia leków przeciwbólowych i zmniejszeniu częstości skierowań na fizykoterapię, pomaga również w poprawie statusu pracy [15]. Zastosowanie mają ćwiczenia o umiarkowanej lub dużej objętości, o niskiej liczbie powtórzeń i częstotliwości. Tego typu trening może prowadzić do poprawy zawartości proteoglikanów w dysku, zwiększenia ekspresji genów macierzy, zmniejszenia tempa apoptozy komórek oraz poprawy przepływu płynów i transportu substancji stałych [16].

Ćwiczenia biegowe mogą pozytywnie wpływać na zwyrodniałe dyski, zwiększając gęstość komórek w pierścieniu włóknistym (AF) i jądrze miazdżystym, co przyczynia się do zmniejszenia odczuwania bólu [17].

W zakresie fizjoterapii można zastosować masaż, terapię ciepłem, krioterapię, laseroterapię czy terapię prądem. Potencjalne nadzieje wiąże się z mobilizacją neurodynamiczną, która jest techniką terapii manualnej. U podstaw tych zabiegów leży przywrócenie homeostazy w nerwie i jego otoczeniu oraz zmniejszenie obrzęku wewnątrzoponowego poprzez dyspersję płynu. Zabieg ślizgowy wywołuje ruch pnia nerwowego względem sąsiednich tkanek. Technika polega na naprzemiennych ruchach stawów w kierunku

proksymalnym i następnie zwolnieniu ruchu w kierunku dystalnym. Natomiast celem zabiegu napinacza jest wywołanie napięcia pnia nerwowego. Uzyskuje się to poprzez ruchy stawów w kierunku proksymalnym i dystalnym w tym samym czasie i w tym samym kierunku. Wykonywanie tego zabiegu może prowadzić do zmniejszenia objawów neuropatii i wrażliwości mechanicznej (mierzu w korzeniu nerwowym. Wykonuje się zarówno manewry ślizgowe, jak i napinającej poprzez uniesienie prostej nogi), natomiast może mieć mniejszy wpływ w zakresie odczuwania i progu bólu oraz związanego z chorobą stopnia niepełnosprawności w porównaniu do ćwiczeń kontroli motorycznej [18].

Do uśmierzania bólu dolnego odcinka kręgosłupa stosuje się również segmentalną terapię trakcyjną. Zastosowanie poprawnego protokołu leczenia może przynieść korzyści pod postacią zmniejszenia rozmiarów przepukliny i zmniejszenia dolegliwości bólowych. Ponadto może doprowadzić do zwiększenia lumbar range of motion (ROM).

3.2 Leczenie farmakologiczne

W przypadku ucisku na korzeń nerwu wielu chorych dobrze reaguje na leczenie farmakologiczne.

Przez pierwszych kilka dni stosuje się niesterydowe leki przeciwzapalne (NLPZ) i zaleca krótkotrwałe leżenie. Przez 5-7 dni może być konieczne podawanie środków zmniejszających napięcie mięśniowe np. baklofen, cyklobenzapryna [19], ewentualnie wspomaganych przez narkotyczne leki przeciwbólowe- w ostrym okresie pomocna może być pojedyncza dawka analgetyku będącego pochodną morfiny. W zmniejszeniu ucisku i wycofywaniu się przepukliny krążka sprzyjają częste odpoczynki w ciągu dnia, unikanie dźwigania ciężkich przedmiotów i długiego pozostawania w pozycji siedzącej.

Poprawę może też przynieść krótka seria leków steroidowych (podawanych doustnie lub zewnątrzoponowo), ze stopniowym zmniejszaniem dawki [19]. Zastrzyki zewnątrzoponowe wykazują skuteczność jeśli chodzi o powrót do zdrowia i uśmierzzenie bólu [20]. Obecnie lędźwiowe zewnątrzoponowe wstrzyknięcia glikokortykosteroidów wykonywane są przy użyciu radiograficznych systemów naprowadzania i fluoroskopii. Stosuje się tę metodę ze względu na lepszą dokładność umieszczenia igły, co wiąże się z mniejszym ryzykiem uszkodzenia nerwów i struktur naczyniowych. Za pomocą fluoroskopii i przy użyciu znacznika radioprzeziernego identyfikowany jest poziom ucisku nerwu. Następnie po znieczuleniu skóry i tkanki podskórnej wprowadza się igłę rdzeniową (typu Quincke lub Tuohy). Kolejno, stosując fluoroskopię, potwierdza się prawidłowe umiejscowienie wykluczając wstrzyknięcie wewnątrznaczyniowe i wewnątrzoponowe. Na koniec podaje się roztwór steroidu razem ze środkiem znieczulającym i usuwa się igłę [21].

Stosowanie zastrzyków glikokortykosteroidowych u pacjentów z przepukliną krążka międzykręgowego nie wyklucza późniejszej operacji. Donoszono, że jeden na czterech pacjentów poddanych ESI z powodu przepukliny lub zwężenia kręgosłupa lędźwiowego miał następnie operację, a prawie jeden na sześciu miał operację w ciągu pierwszego roku [22]. Badanie wykazało, że transforaminalne zewnątrzoponowe iniekcje glikokortykosteroidowe w przypadku przepukliny dysku paramedian L4-5 były bardziej skuteczne niż transforaminalne zewnątrzoponowe iniekcje glikokortykosteroidowe w przypadku przepukliny dysku L5-S1 w 12-tygodniowym okresie obserwacji [23].

Powikłania związane z tą metodą to: ból w miejscu wstrzyknięcia, infekcje, alergie oraz niezamierzone nakłucie opony twardej z bólem głowy.

3.3 Inne metody leczenia zachowawczego

W leczeniu bólu wywołanego mechanicznym uciskiem korzenia nerwowego można również zastosować terapię śróddyskową O2-O3. Zabieg polega na śróddyskowej iniekcji mieszaniny ozonu i tlenu po uprzednim przygotowaniu miejsca wkłucia oraz pod kontrolą fluoroskopii. Stwierdzono, że ozonoterapia śróddyskowa zapewnia dobre wyniki pod względem uśmierzania bólu i satysfakcji pacjenta, szczególnie u pacjentów z jednopoziomowym wybrzuszeniem i wypukliną [24].

Akupunktura jako terapia o długiej historii w Chinach ma znaczący wpływ na zmniejszenie bólu i poprawę jakości życia pacjentów cierpiących na bóle pleców [25]. Jej efekt analgetyczny polega na kontroli hamowania zstępującego bodźców i regulacji mechanizmu bramki bólowej. Istnieją ograniczone dane porównawcze na temat jej skuteczności. Donoszono, że akupunktura wykazała korzystniejszy efekt w leczeniu LDH niż trakcja lędźwiowa, ibuprofen, diklofenak sodowy, meloksykam, mannitol plus deksametazon i mekobalamina, kapsułka fugui gutong plus ibuprofen, mannitol plus deksametazon, loxoprofen i wywar huoxue zhitong [26].

Kolejną metodą jest elektrotermalna koagulacja uszkodzonych włókien pierścienia włóknistego, w tym również jego nocycyptywnych zakończeń nerwowych. Procedurę określa się jako IDTA (intradiscal electrothermal annuloplasty) i IDET (intradiscal electrothermal therapy). Jest to metoda bezpieczna [27], natomiast brakuje jednoznacznych dowodów na jej skuteczność w leczeniu zespołów bólowych kręgosłupa [28].

Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) - jest metodą, która może doprowadzić do zmniejszenia natężenia bólu i poprawy funkcjonalnej niepełnosprawności po wykonaniu określonej liczby sesji [29]. Natomiast nie jest skuteczny jako pojedynczy zabieg w zakresie zmniejszenia zmęczenia i zwiększenia kurczliwości mięśni trójdzielnych, osiągając gorsze efekty niż same ćwiczenia stabilizacyjne [30].

4. Leczenie operacyjne przepukliny krążka międzykręgowego w odcinku lędźwiowym

Wśród wskazań do leczenia operacyjnego wymienia się: zespół ogona końskiego, retencja moczu, postępujące ubytki neurologiczne, izolowane porażenie korzenia nerwowego, powoli ustępujące objawy korzeniowe na przestrzeni od 8 do 12 tygodni oraz nawracające epizody rwy kulszowej poważnie pogarszające jakość życia chorych. Wyniki randomizowanych badań kontrolowanych (RCT) wskazują, że ponad 40% pacjentów, u których zastosowano leczenie zachowawcze, w ciągu 2 lat poddawanych jest leczeniu operacyjnemu [31] [32]. Discektomia lędźwiowa jest bardziej skuteczna niż leczenie zachowawcze w łagodzeniu objawów przepukliny krążka międzykręgowego w odcinku lędźwiowym opornej na wstępne leczenie zachowawcze [33].

Głównym celem zabiegu jest odbarczenie korzenia nerwowego. Operacja polega zwykle na małym rozcięciu łuku kręgu (laminektomii) i wycięciu chorego krążka (discektomii) lub jego usunięciu z użyciem mikroskopu operacyjnego (mikrodiscektomia). W celu zapobiegania nawrotowi przepukliny stosowano zakotwiczone w kości urządzenia przeznaczone do zamykania ubytku pierścienia po discektomii lędźwiowej. Wyniki metaanalizy sieciowej sugerują, że jego zastosowanie obniża ryzyko ponownego pojawienia się przepukliny i reoperacji w porównaniu z zastosowaniem samej discektomii [33].

4.1 PRZEZSKÓRNA ENDOSKOPOWA TRANSFORAMINALNA DISCEKTOMIA (PELD)

Dzięki postępowi technologicznemu obecnie dąży się do jak najmniejszego urazu tkanek towarzyszącego usunięciu przepukliny. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych konstrukcji optyki i narzędzi chirurgicznych możliwe stały się zabiegi endoskopowe w obrębie kręgosłupa. Wśród nich można wyróżnić: przezskórną endoskopową transforaminalną discektomią (PETD) i przezskórną endoskopową przezlaminarną discektomię międzywojową (PEID). Poza leczeniem przepukliny krążka międzykręgowego jest to skuteczna metoda również w stenozie lędźwiowej i innych chorobach kręgosłupa lędźwiowego [34]. Przezskórną endoskopową transforaminalną dyscektomię można wykonać 2 technikami: YESS i TESSYS, różniącymi się wskazaniami- na przykład TESSYS jest preferowaną metodą w przypadku migrującej przepukliny [34]. W technice YESS dostęp do dysku uzyskuje się poprzez trójkąt Kambina, który składa się z wychodzącego korzenia nerwowego, górnej płytki końcowej kręgu kręgów ogonowych i górny wyrostek stawowy segmentu oponowego. Usuwa się jądro miazdzyste za pomocą gąbki wewnątrz pierścienia włóknistego- jest to technologia typu „inside-out”. Stosując technikę TESSYS wykonuje się foraminoplastykę- poprzez seryjną trepanację, a endoskop jest wprowadzany do kanału kręgowego. Jest to technologia „outside-out”, dzięki czemu dobrze sprawdza się w leczeniu migrujących przepuklin dyskowych. PELD jest zabiegiem małoinwazyjnym, dzięki czemu w porównaniu z konwencjonalną operacją otwartą zapewnia krótszy czas operacji, mniejszą objętość krwawienia, minimalne uszkodzenie tkanek miękkich i szybszy powrót do pracy. Jednak ze względu na trudność zabiegu i jego specyfikacje może wiązać się ze swoistymi powikłaniami, np. niepełnym usunięciem przepukliny, uszkodzeniem tętnic lędźwiowych prowadzącym do powstania krwiaka lub uszkodzenia korzeni nerwowych [35] [36].

4.2 MICROENDOSCOPIC DISCECTOMY (MED)

Została opracowana przez Foleya i Smitha w roku 1997 [37]. Jest to małoinwazyjna operacja wykonywana z dojścia przezmięśniowego techniką endoskopową. Wykorzystując tę metodę uzyskujemy małe uszkodzenie mięśni i tkanek miękkich [38]. Ta technika zmniejsza również ból pooperacyjny i poprawia powrót chorych do zdrowia [39] [40]. Jest wskazana we wszystkich postaciach przepukliny dyskowej oraz w połączeniu ze stenozą kanału lędźwiowego. Jest wykonywana w znieczuleniu ogólnym. Do zmienionego chorobowo poziomu wprowadza się seryjne rozszerzadło, następnie ustawia się zwijacz rurowy (o średnicy 16 lub 18mm) na blaszce i wprowadza sztywny endoskop do zwijacza. Wykorzystując podgląd video wykonuje się flavektomię, laminotomię, retrakcję korzeni nerwowych i discektomię.

4.3 SPONDYLODEZA

Lędźwiowa fuźa międzytrzonowa (LIF) jest skuteczną metodą operacyjną leczenia choroby zwyrodnieniowej krążków międzykręgowych, szczególnie w dolnym odcinku kręgosłupa w przypadku niestabilności. Polega na usztywnieniu kręgosłupa poprzez połączenie dwóch lub więcej kręgow z sobą. Doprowadza to do stabilizacji bolesnego segmentu ruchowego i może zapewnić pośrednią dekompresję elementów nerwowych, przywrócić lordozę i skorygować deformację. Dąży się do uzyskania solidnej artrodezy segmentów kręgosłupa z przywróceniem wysokości dysku, unieruchomienia niestabilnego segmentu i przywrócenia obciążenia struktur przednich. Podczas zabiegu umieszcza się implant (klatkę, rozpórkę lub przeszczep strukturalny) w przestrzeni międzykręgowej po uprzednim usunięciu krążka międzykręgowego (discektomii) i wypreparowaniu płyty końcowej. Zabieg metodą otwartą można wykonać przy użyciu jednej z metod: tylne międzytrzonowe zespolenie lędźwiowe (PLIF), przemasadowe lędźwiowe zespolenie międzytrzonowe (TLIF lub MI-TLIF), skośne lędźwiowe zespolenie międzytrzonowe/przednie do kości krzyżowej (OLIF/ATP), przednie lędźwiowe zespolenie międzytrzonowe (ALIF) i boczne lędźwiowe zespolenie międzytrzonowe (LLIF). Operacje te mogą być również wykonywane metodami mini-otwartymi lub minimalnie inwazyjnymi (MIS) [41] [36]. Ze względu na niższy odsetek powikłań pooperacyjnych i pseudoartrozy, preferuje się zespolenie międzytrzonowe w stosunku do technik postero-bocznych typu "on-lay" (42).

Opcja tylna jest definiowana jako każde podejście uzyskiwane od tyłu w stosunku do wyrostka poprzecznego, polegające na przekroczeniu kanału kręgowego lub wytworzeniu otworu w celu dostania się do dysku i przestrzeni międzytrzonowej. Wyróżniamy następujące techniki wykorzystujące podejście tylne: PLIF, TLIF, MI-TLIF. Natomiast opcje przednie to każde podejście, które jest przednie w stosunku do wyrostka poprzecznego i obejmuje korytarz zaotrzewnowy do kręgosłupa lędźwiowego (ALIF/OLIF/LLIF). Istnieją ograniczone dane porównawcze wskazujące na przewagę jednej metody nad drugą pod względem zespolenia lub wyników klinicznych.

4.3.1 PLIF

PLIF jest jednym z pierwotnych podejść do LIF. Została początkowo opisana przez Briggsa i Milligana w 1944 roku [43]. Przez lata, dzięki ewolucji w zakresie materiałów i technologii doszło do znaczącego ulepszenia tej metody. W tej technice dostęp chirurgiczny do krążka międzykręgowego jest zapewniany od tyłu. Wykorzystuje się stół Andrews'a lub Jacksona. U pacjenta leżącego wykonuje się otwarte dojsie pośrodkowe z obustronnym przecięciem pasma mięśniowego. Zastosowanie znajduje również dojsie MIS. Następnie należy zidentyfikować wyrostki kolczyste i blaszki międzywyrostkowe na odpowiednich poziomach (L1-S1) i odsłonić korytarz do przestrzeni dyskowej. Uzyskuje się go poprzez laminotomię przysrodkowo do fasety i odciążenie opony twardej. Następnie można przygotować płytki końcowe i przestrzeń między dyskami, aby umożliwić wszczepienie implantu/ podkładki. Operacji tej nie można zastosować u pacjentów z rozległymi bliznami nadtwardówkowymi, zapaleniem pajęczynówki czy aktywnych zakażeniem. PLIF wiąże się ze znaczącą poprawą stanu neurologicznego u pacjentów z przepukliną krążka międzykręgowego [44]. Wysoką skuteczność kliniczną mają zarówno jednostronna jak i dwustronna fiksacja śrubami. Jednostronna fiksacja w porównaniu z dwustronną daje bardziej zadowalające wyniki w zakresie utraty krwi i czasu operacji [44].

4.3.2 TLIF

Jest procedurą również wykonywaną z dojsia tylnego, jednak stwarzającą mniejsze ryzyko uszkodzenia korzeni nerwowych, opony twardej czy więzadła żółtego. W tej metodzie uzyskuje się bezpośredni, jednostronny dostęp do przestrzeni międzykręgowej, dzięki czemu redukuje się dysekcję i uraz chirurgiczny mięśni przykręgosłupowych oraz zachowuje się integralność strukturalną. Może być wykonany metodą otwartą lub przy użyciu mikroskopu metodą MIS z mniejszymi rozmiarami nacięć.

Znieczulonego pacjenta układa się na brzuchu i wykonuje pośrodkowe lub obustronne mini-otwarte nacięcie. Umożliwia ono dostęp do przestrzeni dyskowej na poziomach L1-S1. Aby uzyskać dostęp do kanału kręgowego, wykonuje się jednostronną laminektomię i fasetektomię dolną, dzięki czemu umożliwia jest umieszczenie przeszczepu kostnego. TLIF wiąże się z lepszą pooperacyjną wizualną skalą analogową w porównaniu z PLIF i ALIF [45]. TLIF u pacjentów z przepukliną krążka międzykręgowego może być bardziej preferowany niż PLIF ze względu na krótszy czas operacji [46]. TLIF może wiązać się z lepszym wynikiem radiologicznym od PLIF, natomiast nie obserwuje się istotnych różnic w wynikach klinicznych [47] [48]. Wykonywanie zabiegu metodą TLIF wiąże się z mniejszą utratą krwi, mniejszą częstością uszkodzenia korzeni nerwowych i rozerwania opony twardej [49].

4.3.3 Mi-TLIF

Stanowi alternatywę dla otwartego TLIF, który pomimo bardzo dobrych wyników wiąże się z wysokim ryzykiem rozciągania podokostnowego mięśni przykręgosłupowych oraz jatrogennym uszkodzeniem tkanek miękkich [50]. W przypadku tej techniki stosuje się znacznie mniejsze nacięcia, zaś dostęp do kręgosłupa uzyskuje się poprzez korytarze chirurgiczne pomiędzy mięśniami przywnekowymi. Prowadzi to do znacznie mniejszego uszkodzenia tkanek miękkich i mięśni. Jednak pod względem wyników radiologicznych i klinicznych ma podobną skuteczność do otwartego TLIF.

Pacjent podczas zabiegu jest ułożony w pozycji leżącej, znieczulony ogólnie, jednak istnieje możliwość wykonania zabiegu po znieczuleniu rdzeniowym [51]. Po odpowiednim ustawieniu ramienia wykonuje się małe paramedian nacięcia skóry przy bocznej granicy trzonów kręgow. Korytarze chirurgiczne niezbędne do poprowadzenia śrub uzyskuje się poprzez tępą dysekcję palcem. Przez korytarze wprowadza się Igły Jamshidi w miejsce połączenia wyrostka poprzecznego i górnej części. Korekty pozycji uzyskuje się poprzez zastosowanie fluoroskopii. Po wprowadzeniu igły na głębokość około 2cm, wyjmuje się trokar z igły i wprowadza prowadnicę, po której wprowadza się kolejne rozszerzadła, a na końcu przezskórną śrubę, która jest obciążona długimi refraktorami tkanek miękkich. Następnie po wprowadzeniu wyprofilowanego pręta pod powięź wprowadza się poprzez tuleje śruby nastawne, które unieruchamiają pręt w miejscu. W następnej kolejności należy wykonać dekompresję kości, która polega na wykonaniu ipsilateralnej hemilaminektomii i prawie całkowitej facetektomii. Wykonywana jest przy pomocy ostrych osteotomów i gąbek Kerrisona. Później należy wyciąć więzadło flavum aby uwidocznić thecal sac. Po zidentyfikowaniu i odpowiedniej mobilizacji korzenia nerwu krzyżowego należy wykonać dokładną dyscektomię przy użyciu kombinacji golarek, kleszczyków przysadkowych i lokomotyw. Należy całkowicie usunąć chrzęstne blaszki końcowe. Jest to bardzo ważne do wykonania udanego zespolenia. Po tym przestrzeń dyskowa jest częściowo wypełniana przeszczepem kostnym. Należy wybrać odpowiednią klatkę, która wypełnia się przeszczepem kostnym i umieszcza w przestrzeni międzykręgowej za pomocą kombinacji udarów [52].

4.3.4 ALIF

W tej metodzie uzyskuje się kompleksową discektomię i bezpośrednie wszczępienie implantu dzięki uzyskaniu dostępu do całej brzusznej powierzchni odsłoniętego dysku poprzez przednie podejście zaotrzewnowe lub pozaotrzewnowe. Obecnie powszechnie wykonuje się samodzielne zabiegi przedniego lędźwiowego zespolenia międzytrzonowego (SA-ALIF). Zabiegi te są wspomagane nowoczesnymi materiałami, ulepszoną konstrukcją protez i integralnej stabilności mocowania- dostępne dzięki zaprojektowaniu klatek SA-ALIF. Korzyści ze stosowania tych klatek obejmują natychmiastową stabilność implantu, możliwość redukcji i korekcji deformacji po implantacji, zapobieganiu migracji implantu oraz zwiększony kontakt implantów z kostną płytką końcową w celu wczesnej osteointegracji [53]. To podejście można zastosować na poziomach L4/L5 i L5/S1 ze względu na budowę anatomiczną w tej lokalizacji. Również z powodów anatomicznych (rozległa retrakcja otrzewnej i nerek, ryzyko zakrzepicy tętnicy kręzkowej górnej) podejścia ALIF jest ograniczone dla poziomów L2/3 i L3/4. Wadami techniki ALIF są powikłania związane z podejściem, takie jak wsteczny wytrysk, uszkodzenie trzewi i naczyń [54]. Technika ALIF jest związana z lepszym w porównaniu z TLIF i PLIF przywróceniem lordozy segmentalnej. Podejścia LLIF i PLIF/TLIF wiążą się z mniejszym prawdopodobieństwem powikłań ze strony układu pokarmowego i krótszym pobytem w szpitalu niż podejście ALIF u chorych z nawrotową przepukliną krążka międzykręgowego [55].

Procedura ALIF jest lepsza od TLIF pod względem możliwości przywrócenia wysokości otworu międzykręgowego, lokalnego kąta dysku i lordozy lędźwiowej [56]

4.3.5 LLIF

Została opisana przez Ozgura i wsp. w 2006 roku [57]. Dostęp do przestrzeni międzykręgowej uzyskuje się poprzez boczny korytarz zaotrzewnowy i jest odpowiednio na wysokości od Th12/L1 do L4/5. Natomiast nie jest wskazana dla poziomu L5/S1 ze względu na umiejscowienie grzebienia biodrowego. Wykonuje się małych rozmiarów nacięcia boczne zależne od pozycji i kąta nachylenia dysku na obrazie w trakcie układania pacjenta. Aby uzyskać dostęp przezskórny do przestrzeni dyskowej niezbędny jest neuromonitoring. Jest to doskonała opcja korekcji deformacji w płaszczyźnie strzałkowej lub czołowej, szczególnie w przypadku lędźwiowej skoliozy zwyrodnieniowej z laterolisteza.

4.3.6. OLIF/ATP

Metoda OLIF lub ATP została po raz pierwszy opisana przez Michaela Mayera w 1977 roku (58) i obejmuje dostęp MIS do przestrzeni dyskowej przez korytarz pomiędzy otrzewną a mięśniem piersiowym. Podobnie jak w przypadku LLIF, OLIF nie wymaga operacji tylnej, laminektomii, facetektomii ani usuwania

mięśni przykręgosłupowych/ przywodzicieli. Jednak w tej technice nie przecina się ani nie trawersuje mięśnia psoas. W przypadku tej techniki pacjent jest ułożony bocznie, na lewym lub prawym boku, w zależności od preferencji chirurga i łatwości dostępu. Nacięcie boczne i paramedyczne jest wykonywane w oparciu o położenie i kąt nachylenia dysku na obrazie intensyfikującym, gdy pacjent jest ułożony. Neuromonitoring nie jest konieczny, ponieważ do uzyskania dostępu wykorzystuje się korytarz anatomiczny przed mięśniami psoas. Technika OLIF jest odpowiednia dla poziomów L1-S1.

5. Podsumowanie

Przepuklina krążka międzykręgowego jest chorobą kręgosłupa przebiegającą na podłożu choroby zwyrodnieniowej krążka międzykręgowego. Jest jedną z przyczyn zespołów bólowych kręgosłupa i rwy kulszowej. Dzięki postępowi w medycynie możliwe jest skuteczne leczenie tej choroby przy wykorzystaniu leczenia zachowawczego i nowoczesnych zabiegów operacyjnych, w tym zabiegów małoinwazyjnych. Chirurgia jest zazwyczaj ostatecznym rozwiązaniem, a decyzja o przeprowadzeniu dekompresji, fuzji lub wymianie dysku jest przedmiotem dyskusji wśród chirurgów. Wybór techniki jest dostosowywany w zależności od grupy pacjentów i doświadczenia chirurgicznego. Ostatnie postępy w endoskopowej chirurgii kręgosłupa zapewniają nowe spojrzenie na operacje dysków i strategie leczenia bólu.

6. References

1. C.J.L. Murray, T. Vos, R. Lozano, M. Naghavi, A.D. Flaxman, C. Michaud, et al. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010 *Lancet*, 380 (9859) (2012), pp. 2197-2223
2. J.C. Iatridis, S.B. Nicoll, A.J. Michalek, B.A. Walter, M.S. Gupta Role of biomechanics in intervertebral disc degeneration and regenerative therapies: what needs repairing in the disc and what are promising biomaterials for its repair? *Spine J*, 13 (3) (2013), pp. 243-262
3. Back pain and sciatica. Frymoyer JW *N Engl J Med*. 1988 Feb 4; 318(5):291-300
4. Cosamalón-Gan I, Cosamalón-Gan T, Mattos-Piaggio G, Villar-Suárez V, García-Cosamalón J, Vega-Álvarez JA. Inflammation in the intervertebral disc herniation. *Neurocirugía (Astur : Engl Ed)*. 2021 Jan-Feb;32(1):21-35. English, Spanish. doi: 10.1016/j.neucir.2020.01.001. Epub 2020 Mar 10. PMID: 32169419.
5. D. Leven, P.G. Passias, T.J. Errico, V. Lafage, K. Bianco, A. Lee, et al. Risk factors for reoperation in patients treated surgically for intervertebral disc herniations: a subanalysis of the eight-year data from the sport trial
6. K.R. Swartz, G.R. Trost Recurrent lumbar disc herniation *Neurosurg Focus*, 15 (2003), p. E10
7. Ye YP, Hu JW, Zhang YG, Xu H. Impact of lumbar interbody fusion surgery on postoperative outcomes in patients with recurrent lumbar disc herniation: Analysis of the US national inpatient sample. *J Clin Neurosci*. 2019 Dec;70:20-26. doi: 10.1016/j.jocn.2019.10.001. Epub 2019 Oct 17. PMID: 31630917.
8. M. Wassenaar, R.M. van Rijn, M.W. van Tulder, A.P. Verhagen, D.A.W.M. van der Windt, B.W. Koes, et al. Magnetic resonance imaging for diagnosing lumbar spinal pathology in adult patients with low back pain or sciatica: a diagnostic systematic review
9. J.G. Jarvik, R.A. Deyo Diagnostic evaluation of low back pain with emphasis on imaging *Ann Intern Med*, 137 (2002), pp. 586-597
10. Radziszewski KR. Physical exercise in treatment of patients with lumbar discopathy. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2007 Jan-Feb;9(1):98-106. English, Polish. PMID: 17514181.
11. C Richardson, G Jull, PW Hodges, JA Hides Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain (1st ed), Churchill Livingstone, Queensland, Australia (1999)
12. T Kuukkanen, E Mälkiä Effects of a three-month therapeutic exercise programme on flexibility in subjects with low back pain *Physiother Res Int*, 5 (2000), pp. 46-60
13. R Martins, JLP Silva Tratamento da lombalgia e dor pélvica posterior na gestação por um método de exercícios *Rev Bras Ginecol Obstet*, 27 (2005), pp. 275-282

14. Jeong DK, Choi HH, Kang JI, Choi H. Effect of lumbar stabilization exercise on disc herniation index, sacral angle, and functional improvement in patients with lumbar disc herniation. *J Phys Ther Sci.* 2017 Dec;29(12):2121-2125. doi: 10.1589/jpts.29.2121. Epub 2017 Dec 7. PMID: 29643588; PMCID: PMC5890214.
15. Sculco AD, Paup DC, Fernhall B, Sculco MJ. Effects of aerobic exercise on low back pain patients in treatment. *Spine J.* 2001 Mar-Apr;1(2):95-101. doi: 10.1016/s1529-9430(01)00026-2. PMID: 14588388.
16. Steele J, Bruce-Low S, Smith D, Osborne N, Thorkeldsen A. Can specific loading through exercise impart healing or regeneration of the intervertebral disc? *Spine J.* 2015 Oct 1;15(10):2117-21. doi: 10.1016/j.spinee.2014.08.446. PMID: 26409630.
17. Luan S, Wan Q, Luo H, Li X, Ke S, Lin C, Wu Y, Wu S, Ma C. Running exercise alleviates pain and promotes cell proliferation in a rat model of intervertebral disc degeneration. *Int J Mol Sci.* 2015 Jan 19;16(1):2130-44. doi: 10.3390/ijms16012130. PMID: 25607736; PMCID: PMC4307353.
18. Plaza-Manzano G, Cancela-Cilleruelo I, Fernández-de-Las-Peñas C, Cleland JA, Arias-Burúa JL, Thoomes-de-Graaf M, Ortega-Santiago R. Effects of Adding a Neurodynamic Mobilization to Motor Control Training in Patients With Lumbar Radiculopathy Due to Disc Herniation: A Randomized Clinical Trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2020 Feb;99(2):124-132. doi: 10.1097/PHM.0000000000001295. PMID: 31464753.
19. Herkowitz HN, Garfin SR, Eismont FJ, Bell GR, Balderston RA (2011 Lumbar disk herniations. In: Rothman-Simeone *The Spine.* 6th edn. Saunders
20. Lewis RA, Williams NH, Sutton AJ, Burton K, Din NU, Matar HE, Hendry M, Phillips CJ, Nafees S, Fitzsimmons D, Rickard I, Wilkinson C (2015) Comparative clinical effectiveness of management strategies for sciatica: systematic review and network meta-analyses. *Spine J* 15(6):1461–1477.
21. Pena E, Moroz L, Singh D. Lumbar Epidural Steroid Injections. *JBJS Essent Surg Tech.* 2016 Jul 13;6(3):e25. doi: 10.2106/JBJS.ST.O.00058. PMID: 30233918; PMCID: PMC6135615.
22. Koltsov JCB, Smuck MW, Zigel A, Alamin TF, Wood KB, Cheng I, Hu SS. Lumbar epidural steroid injections for herniation and stenosis: incidence and risk factors of subsequent surgery. *Spine J.* 2019 Feb;19(2):199-205. doi: 10.1016/j.spinee.2018.05.034. Epub 2018 Jun 26. PMID: 29959098.
23. Adilay U, Guclu B, Deniz L, Kahveci R. Comparison of the Effect of Single Lumbar Transforaminal Epidural Steroid Injections for the Treatment of L4-5 and L5-S1 Paramedian Disc Herniation. *Turk Neurosurg.* 2019;29(2):279-284. doi: 10.5137/1019-5149.JTN.24029-18.1. PMID: 30649822.
24. Ozcan S, Muz A, Yildiz Altun A, Onal SA. Intradiscal ozone therapy for lumbar disc herniation. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand).* 2018 Apr 30;64(5):52-55. PMID: 29729693.
25. Effects of acupuncture, core-stability exercises, and treadmill walking exercises in treating a patient with postsurgical lumbar disc herniation: a clinical case report. *Ganiyu SO, Gujba KFJ Acupunct Meridian Stud.* 2015 Feb; 8(1):48-52.
26. Tang S, Mo Z, Zhang R. Acupuncture for lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis. *Acupunct Med.* 2018 Apr;36(2):62-70. doi: 10.1136/acupmed-2016-011332. Epub 2018 Mar 1. PMID: 29496679.
27. Derby R, Eek B, Chen Y, O'Neill C, Ryan D. Intradiscal Electrothermal Annuloplasty (IDET): A Novel Approach for Treating Chronic Discogenic Back Pain. *Neuromodulation.* 2000 Apr;3(2):82-8. doi: 10.1046/j.1525-1403.2000.00082.x. PMID: 22151403.
28. Wetzel FT, McNally TA, Phillips FM. Intradiscal electrothermal therapy used to manage chronic discogenic low back pain: new directions and interventions. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002 Nov 15;27(22):2621-6. doi: 10.1097/00007632-200211150-00043. PMID: 12436005.
29. T Pop, H Austrup, R Preuss, et al. Nakagawa H, Kamimura M, Uchiyama S, Takahara K, Itsubo T, Miyasaka T (2003) Microendoscopic discectomy (MED) for lumbar disc prolapse. *J Clin Neurosci* 10(2):231–235 *Ortop Traumatol Rehabil,* 12 (4) (2010), pp. 289-300
30. Ramos LAV, Callegari B, França FJR, Magalhães MO, Burke TN, Carvalho E Silva APMC, Almeida GPL, Comachio J, Marques AP. Comparison Between Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation and Stabilization Exercises in Fatigue and Transversus Abdominis Activation in Patients

31. Prolonged conservative care versus early surgery in patients with sciatica caused by lumbar disc herniation: two year results of a randomized controlled trial. Peul WC, van den Hout WB, Brand R, Thomeer RT, Koes BW, Leiden-The Hague Spine Intervention Prognostic Study Group.
32. Surgical vs nonoperative treatment for lumbar disk herniation: the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT): a randomized trial. Weinstein JN, Tosteson TD, Lurie JD, Tosteson AN, Hanscom B, Skinner JS, Abdu WA, Hilibrand AS, Boden SD, Deyo RA
33. Arts MP, Kuršumović A, Miller LE, Wolfs JFC, Perrin JM, Van de Kelft E, Heidecke V. Comparison of treatments for lumbar disc herniation: Systematic review with network meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2019 Feb;98(7):e14410. doi: 10.1097/MD.00000000000014410. PMID: 30762743; PMCID: PMC6408089.
34. Pan M, Li Q, Li S, Mao H, Meng B, Zhou F, Yang H. Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy: Indications and Complications. *Pain Physician*. 2020 Jan;23(1):49-56. PMID: 32013278.
35. Choi KC, Lee JH, Kim JS, et al. Unsuccessful percutaneous endoscopic lumbar discectomy: A single-center experience of 10,228 cases. *Neurosurgery* 2015; 76:372-381.
36. Silav G, Arslan M, Comert A, et al. Relationship of dorsal root ganglion to intervertebral foramen in lumbar region: An anatomical study and review of literature. *J Neurosurg Sci* 2016; 60:339-344.
37. Foley KT (1997) Microendoscopic discectomy. *Tech Neurosurg* 3:301–307
38. Schick U, Dohnert J, Richter A, Konig A, Vitzthum HE (2002) Microendoscopic lumbar discectomy versus open surgery: an intraoperative EMG study. *Eur Spine J* 11(1):20–26
39. Ruetten S, Komp M, Merk H, Godolias G (2008) Full-endoscopic interlaminar and transforaminal lumbar discectomy versus conventional microsurgical technique: a prospective, randomized, controlled study. *Spine (Phila Pa 1976)* 33(9):931–939.
40. Nakagawa H, Kamimura M, Uchiyama S, Takahara K, Itsubo T, Miyasaka T (2003) Microendoscopic discectomy (MED) for lumbar disc prolapse. *J Clin Neurosci* 10(2):231–235
41. Mobbs RJ, Sivabalan P, Li J. Minimally invasive surgery compared to open spinal fusion for the treatment of degenerative lumbar spine pathologies. *J Clin Neurosci* 2012;19:829-35.
42. Eck JC, Hodges S, Humphreys SC. Minimally invasive lumbar spinal fusion. *J Am Acad Orthop Surg* 2007;15:321-9.
43. Briggs H, Milligan PR. Chip fusion of the low back following exploration of the spinal canal. *J Bone Joint Surg Am* 1944;26:125-30.
44. Li L, Liu Y, Zhang P, Lei T, Li J, Shen Y. Comparison of posterior lumbar interbody fusion with transforaminal lumbar interbody fusion for treatment of recurrent lumbar disc herniation: A retrospective study. *J Int Med Res*. 2016 Dec;44(6):1424-1429. doi: 10.1177/0300060516645419. Epub 2016 Nov 3. PMID: 27811052; PMCID: PMC5536751.
45. N. Lee, K.N. Kim, S. Yi, Y. Ha, D.A. Shin, D.H. Yoon, et al. Comparison of outcomes of anterior, posterior, and transforaminal lumbar interbody fusion surgery at a single lumbar level with degenerative spinal disease *World Neurosurg*, 101 (2017), pp. 216-226
46. Li L, Liu Y, Zhang P, Lei T, Li J, Shen Y. Comparison of posterior lumbar interbody fusion with transforaminal lumbar interbody fusion for treatment of recurrent lumbar disc herniation: A retrospective study. *J Int Med Res*. 2016 Dec;44(6):1424-1429. doi: 10.1177/0300060516645419. Epub 2016 Nov 3. PMID: 27811052; PMCID: PMC5536751.
47. Al Barbarawi MM, Audat ZM, Allouh MZ. Analytical comparison study of the clinical and radiological outcome of spine fixation using posterolateral, posterior lumbar interbody and transforaminal lumbar interbody spinal fixation techniques to treat lumbar spine degenerative disc disease. *Scoliosis*. 2015 May 27;10:17. doi: 10.1186/s13013-015-0040-0. PMID: 26136814; PMCID: PMC4487990.
48. Audat Z, Moutasem O, Yousef K, Mohammad B. Comparison of clinical and radiological results of posterolateral fusion, posterior lumbar interbody fusion and transforaminal lumbar interbody fusion techniques in the treatment of degenerative lumbar spine. *Singapore Med J*. 2012 Mar;53(3):183-7. PMID: 22434292.

49. Lan T, Hu SY, Zhang YT, Zheng YC, Zhang R, Shen Z, Yang XJ. Comparison Between Posterior Lumbar Interbody Fusion and Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for the Treatment of Lumbar Degenerative Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurg.* 2018 Apr;112:86-93. doi: 10.1016/j.wneu.2018.01.021. Epub 2018 Jan 31. PMID: 29367001.
50. T. Sihvonen, A. Herno, L. Paljärvi, O. Airaksinen, J. Partanen, A. Tapaninaho Local denervation atrophy of paraspinal muscles in postoperative failed back syndrome *Spine*, 18 (5) (1993), pp. 575-581
51. H.-K. Chang, J.P.G. Kolcun, M.Y. Wang New techniques and MIS: the awake TLIF Modern Thoraco-Lumbar Implants for Spinal Fusion, Springer, Cham (2018), pp. 101-112, 10.1007/978-3-319-60143-4_9
52. Garg B, Mehta N. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MI-TLIF): A review of indications, technique, results and complications. *J Clin Orthop Trauma.* 2019 Oct;10(Suppl 1):S156-S162. doi: 10.1016/j.jcot.2019.01.008. Epub 2019 Jan 14. PMID: 31695275; PMCID: PMC6823784.
53. Choy WJ, Abi-Hanna D, Cassar LP, Hardcastle P, Phan K, Mobbs RJ. History of Integral Fixation for Anterior Lumbar Interbody Fusion (ALIF): The Hartshill Horseshoe. *World Neurosurg.* 2019 Sep;129:394-400. doi: 10.1016/j.wneu.2019.06.134. Epub 2019 Jun 27. PMID: 31254709.
54. Anterior lumbar interbody fusion versus transforaminal lumbar interbody fusion--systematic review and meta-analysis. Phan K, Thayaparan GK, Mobbs RJ *Br J Neurosurg.* 2015; 29(5):705-11.
55. Ye YP, Hu JW, Zhang YG, Xu H. Impact of lumbar interbody fusion surgery on postoperative outcomes in patients with recurrent lumbar disc herniation: Analysis of the US national inpatient sample. *J Clin Neurosci.* 2019 Dec;70:20-26. doi: 10.1016/j.jocn.2019.10.001. Epub 2019 Oct 17. PMID: 31630917.
56. Hsieh PC, Koski TR, O'Shaughnessy BA, Sugrue P, Salehi S, Ondra S, Liu JC. Anterior lumbar interbody fusion in comparison with transforaminal lumbar interbody fusion: implications for the restoration of foraminal height, local disc angle, lumbar lordosis, and sagittal balance. *J Neurosurg Spine.* 2007 Oct;7(4):379-86. doi: 10.3171/SPI-07/10/379. PMID: 17933310.
57. Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. Ozgur BM, Aryan HE, Pimenta L, Taylor WR *Spine J.* 2006 Jul-Aug; 6(4):435-43.
58. A new microsurgical technique for minimally invasive anterior lumbar interbody fusion. Mayer HM *Spine (Phila Pa 1976).* 1997 Mar 15; 22(6):691-9; discussion 700.