



L'artrodesi circonferenziale selettiva mini-invasiva nel trattamento della patologia discale degenerativa lombare

Andrea Piazzolla^a (✉), Davide Bizzoca, Viola Montemurro, Claudia Parato, Marco La Malfa, Biagio Moretti
Dipartimento Scienze Mediche di Base, Neuroscienze ed Organi di Senso, Clinica Ortopedica, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro", AUO Consorziata "Policlinico" di Bari, Bari, Italia

^adott.piazzolla@gmail.com

ABSTRACT – MINIMALLY INVASIVE CIRCUMFERENTIAL FUSION IN LUMBAR DEGENERATIVE DISC DISEASE

Degenerative lumbar spine disease is one of the leading causes of disability worldwide. Lumbar interbody fusion (LIF) is a valid approach in the treatment of several segmental spine pathologies, including degenerative disc disease. LIF may be performed through open and minimally invasive procedures. This review aims to assess the state of the art in the field of minimally invasive spine surgery in the treatment of degenerative disc disease.

Pubblicato online: 18 aprile 2019

© Società Italiana Ortopedici Traumatologi Ospedalieri d'Italia 2019

Introduzione

La patologia degenerativa del rachide lombare rappresenta una delle cause principali di disabilità a livello mondiale [1]. Si tratta di un capitolo della patologia vertebrale che raggruppa una serie di quadri nosologici – tra cui la degenerazione discale, la spondilolistesi degenerativa, l'instabilità vertebrale e la stenosi vertebrale – aventi un *primum movens* comune, rappresentato dall'alterazione morfo-funzionale del disco intervertebrale [1].

Dal punto di vista clinico, la patologia degenerativa del rachide può essere causa di *low back pain* (LBP) cronico, associato o meno a sintomatologia radicolare, che può ridurre in maniera significativa la qualità di vita del paziente [2].

Il primo *step* nel trattamento di queste affezioni è rappresentato dalla terapia conservativa; tuttavia, in caso di fallimento di tale approccio terapeutico e in presenza di un dolore cronico tale da limitare la *daily routine* del paziente, vi è indicazione all'intervento chirurgico di artrodesi intersomatica lombare (LIF) [2, 3].

L'artrodesi intersomatica lombare (LIF), al giorno d'oggi, costituisce un trattamento sicuro ed efficace impiegato nel trattamento di diverse patologie segmentali del rachide, quali la patologia degenerativa discale sintomatica, l'instabilità vertebrale, le spondilolistesi, la patologia infettiva, la patologia neoplastica e le deformità dell'adulto [3–8]. Dal punto di vista tecnico, la LIF prevede posizionamento di impianti (ca-

ge, spaziatori o *graft*) all'interno dello spazio intersomatico, previa discectomia e preparazione dei piatti vertebrali, e può essere eseguita utilizzando i classici approcci chirurgici *open*, ovvero mediante metodiche mini-invasive [4].

La prima metodica LIF, descritta da Briggs e Milligan nel 1944, prevedeva un approccio posteriore al rachide, con gradi variabili di danno osseo e dissezione dei muscoli paraspinali [9]. Da allora, la ricerca di vie d'accesso mini-invasive al rachide ha interessato diversi chirurghi vertebrali, mossi dalla necessità di ridurre non solo i tempi chirurgici, ma soprattutto i tempi di ospedalizzazione e il tasso di complicanze perioperatorie, per consentire un rapido ritorno del paziente alle attività quotidiane nel minor tempo possibile [3, 5–7, 10, 11].

Attualmente l'artrodesi vertebrale circonferenziale può essere eseguita mediante diverse metodiche mini-invasive, che fruttano sfruttano diverse vie d'accesso – ovvero la via posteriore (PLIF, TLIF), la via laterale trans-psoas (XLIF) e la via anteriore (ALIF, OLIF) – ma non esiste ancora una chiara evidenza di quale sia l'approccio più efficace, in termini di fusione e di risultato clinico a lungo termine [3].

Questa *review* mira a definire lo stato dell'arte della chirurgia mini-invasiva del rachide nel trattamento della patologia degenerativa lombare, evidenziando i punti di forza e le criticità degli approcci chirurgici eseguiti per via posteriore e anterolaterale.

L'artrodesi vertebrale mini-invasiva posteriore: le metodiche PLIF e TLIF

La via posteriore consente l'esecuzione di due approcci chirurgici mini-invasivi: la *Posterior Lumbar Interbody Fusion* (PLIF) e la *Transforaminal Lumbar Interbody Fusion* (TLIF). Storicamente, la prima metodica PLIF è stata descritta nel 1944 da Briggs e Milligan [9] e successivamente modificata da Cloward nel 1953 [12]. Un'ulteriore innovazione fu introdotta nel 1982 da Harms e Rolinger che per primi descrissero l'accesso per via transforaminale (TLIF) per l'impianto di una *cage* intersomatica [13].

PLIF: tecnica chirurgica

La metodica PLIF prevede l'accesso al disco intervertebrale per via posteriore, con il paziente posizionato in decubito prono su letto di Jackson o Andrews, con l'ausilio della scopia e del monitoraggio elettromiografico. L'accesso chirurgico può essere percutaneo mini-invasivo oppure totalmente *open*, eseguendo una incisione cutanea longitudinale mediana o paramediana secondo Wiltze [3].

Dopo aver identificato il processo spinoso e le lamine dei livelli interessati, si effettua la laminotomia medialmente alla faccetta articolare. La dura deve essere successivamente retratta per esporre lo spazio intersomatico, quindi i piatti vertebrali e lo spazio discale devono essere correttamente preparati all'inserimento dell'impianto [14].

L'impiego della metodica PLIF è indicato per il trattamento della patologia degenerativa lombare in pazienti selezionati con steno-instabilità, degenerazione discale avanzata o pseudoartrosi. Le possibili complicanze correlate a questa procedura chirurgica comprendono le infezioni, le aracnoiditi e gli esiti cicatriziali durali [3].

Questo accesso permette una buona esposizione degli elementi posteriori, delle radici nervose e del sacco durale, senza causare un'eccessiva perdita ematica. La tecnica PLIF rende altresì possibile il ripristino di un adeguato spazio intersomatico, con conseguente decompressione delle radici senza la necessità di demolire strutture anatomiche importanti per la stabilità del rachide [15]. Inoltre, associando il tempo posteriore di fissazione con viti peduncolari, si ottiene una fusione a 360° con un'unica incisione chirurgica [15].

Tuttavia, il PLIF presenta degli svantaggi, rispetto alle altre metodiche mini-invasive, in quanto può risultare difficile correggere il *sagittal imbalance* e ripristinare la lordosi ideale con questa metodica. La preparazione dei piatti vertebrali, inoltre, può risultare leggermente più difficile rispetto agli approcci anteriori [16].

TLIF: tecnica chirurgica

La metodica TLIF, eseguita sempre per via posteriore, è stata sviluppata successivamente nel tentativo di limitare il rischio di lesioni della dura, del legamento giallo e delle radici nervose [16].

Con questo approccio si giunge direttamente e unilateralmente sul forame vertebrale, limitando lo scollamento dei muscoli paravertebrali. Come tutte le procedure di artrodesi vertebrale, anche il TLIF può essere realizzato per via *open* o mini-invasiva (ovvero MAS-TLIF), avvalendosi anche del microscopio, qualora necessario; in entrambi i casi, si ricorre sempre al monitoraggio elettromiografico e all'ausilio della scopia.

Il paziente è posizionato anche in questo caso in decubito prono e l'accesso chirurgico, in caso di metodica *open*, può essere mediano o paramediano. Il canale vertebrale viene raggiunto eseguendo una laminectomia monolaterale e l'artrectomia della faccetta articolare inferiore della vertebra sovrastante allo spazio intersomatico. La metodica TLIF è indicata per il trattamento della patologia degenerativa lombare in pazienti con steno-instabilità, degenerazione discale avanzata o pseudoartrosi (Fig. 1).

PLIF versus TLIF: metodiche a confronto

De Kunder e collaboratori, in una recente metanalisi, hanno dimostrato che l'outcome clinico delle metodiche PLIF e TLIF risulta essere sovrapponibile in termini di *Visual Analogue Scale* (VAS), mentre l'*Oswestry Low Back Disability Index* (ODI) presenta punteggi leggermente migliori nella metodica TLIF, probabilmente per via del minor danno a carico della muscolatura paravertebrale nella via di accesso [17]. Il TLIF, inoltre, è gravato da un minor tasso di complicanze perioperatorie e presenta tempi chirurgici e perdite ematiche ridotte [17].

Una delle complicanze perioperatorie più severe, osservate nelle artrodesi intersomatiche eseguite per via posteriore, è rappresentata dal danno neurologico iatrogeno, che risulta essere più frequente nel PLIF, in quanto questo approccio prevede un accesso allo spazio intersomatico bilaterale, a differenza da quanto accade nel TLIF [3, 17]. Va inoltre osservato che nel PLIF la resezione delle strutture ossee risulta essere inferiore rispetto al TLIF, per cui le strutture nervose possono essere sottoposte a una maggiore trazione durante l'impianto della *cage* [3, 17].

È stata inoltre descritta una ridotta incidenza di problemi legati allo strumentario impiantato nel TLIF, rispetto al PLIF, probabilmente perché nella prima metodica si osserva una migliore distribuzione dei carichi assiali a livello della colonna, sia per la conservazione delle faccette articolari, ma anche grazie alla tipologia di *cage* impiantata [18, 19].

Nel ripristino dell'assetto spino-pelvico, d'altro canto, queste due metodiche non hanno dimostrato differenze significative nel trattamento della spondilolistesi degenerativa [20].

Particolare attenzione va posta ai tempi chirurgici che, come evidenziato in precedenza, risultano essere maggiori nel PLIF rispetto al TLIF, in quanto in presenza di un tempo

Fig. 1 - Paziente S.B., 46 anni, severa discopatia L4-L5 trattata con metodica mininvasiva MAS-TLIF. Perdite ematiche: 20 cc; VAS preoperatoria: 8; VAS 24 h postoperatoria: 1



chirurgico superiore alle tre ore vi è un rischio maggiore di complicanze, in particolar modo di infezioni [21, 22].

In letteratura il tasso di infezioni del sito chirurgico in chirurgia vertebrale è compreso tra lo 0 e il 9%, con alcuni picchi del 37,5% [23]. Le attuali evidenze, tuttavia, dimostrano che tra le due tecniche non esistono differenze statisticamente significative per quanto riguarda l'incidenza di infezioni del sito chirurgico [24].

L'artrodesi vertebrale mini-invasiva laterale trans-psoas: la metodica XLIF

Negli ultimi quindici anni è emerso un interesse crescente nei confronti degli approcci anterolaterali mini-invasivi al rachide lombare [3]. Questi approcci eliminano la necessità di demolire parte della colonna posteriore, consentendo allo stesso tempo un'ampia esposizione dello spazio discale, il tutto con tempi chirurgici più brevi e ridotte perdite ematiche [25].

Le tre delle procedure più diffuse, eseguite per via anteriore e laterale, comprendono la fusione intersomatica anteriore lombare (ALIF), la fusione intersomatica laterale estrema lombare (XLIF) e la fusione intersomatica lombare laterale obliqua (OLIF). L'obiettivo chirurgico principale di queste tre le procedure è quello di impiantare il più grande *device* intersomatico, al fine di accelerare il processo di artrodesi, massimizzare la lordosi segmentale e fornire una decompressione vertebrale indiretta, mediante l'apertura del forame di coniugazione, e una distrazione della stenosi del canale centrale [3].

Descritta per la prima volta da Pimenta e colleghi nel 2001, la via d'accesso laterale retroperitoneale transpsoas costituisce una procedura sicura ed efficace, per ottenere la LIF, rispetto agli approcci anteriore e posteriore [26].

La tecnica XLIF consente di eseguire un'artrodesi intersomatica anteriore con una serie di vantaggi, tra cui riduzione dei traumi tissutali durante l'approccio chirurgico, minor dolore postoperatorio, riduzione della degenza ospedaliera e un più rapido ritorno alle attività della vita quotidiana [27]. Nel contempo, questa tecnica garantisce il ripristino della normale altezza del disco, la correzione dell'allineamento sagittale e coronale, la decompressione indiretta delle strutture neurali, e la stabilizzazione del segmento interessato, facilitando, in tal modo, il processo di artrodesi [27].

La scelta di questa via di accesso è consigliata per diverse condizioni patologiche, tra cui: la patologia degenerativa discale con instabilità; l'ernia del disco ricorrente; la spondilolistesi degenerativa; la scoliosi degenerativa; la revisione protesi discale; la sindrome giunzionale; la spondilodiscite e l'osteomielite [28].

Generalmente, il tratto di colonna vertebrale compreso tra T12 e L5 è accessibile lateralmente, mentre lo spazio compreso tra L5 e S1 risulta inaccessibile per la presenza della cresta iliaca, delle strutture vascolari iliache, che decorrono antero-lateralmente al corpo vertebrale, e del plesso nervoso lombare [3].

Le principali controindicazioni alla metodica XLIF sono invece rappresentate da: una precedente estesa chirurgia retroperitoneale; presenza di un'anatomia vascolare anomala, tale da interferire con la via d'accesso; scoliosi idiopatica con grave deformità rotazionale sia sul piano coronale che sagittale; spondilolistesi degenerativa di grado III o superiore; presenza di cisti renali o di un rene a ferro di cavallo, tali da precludere l'accesso laterale [29, 30]. Un pregresso ALIF o precedente approccio laterale sono, invece, controindicazioni relative all'accesso laterale [29, 30].

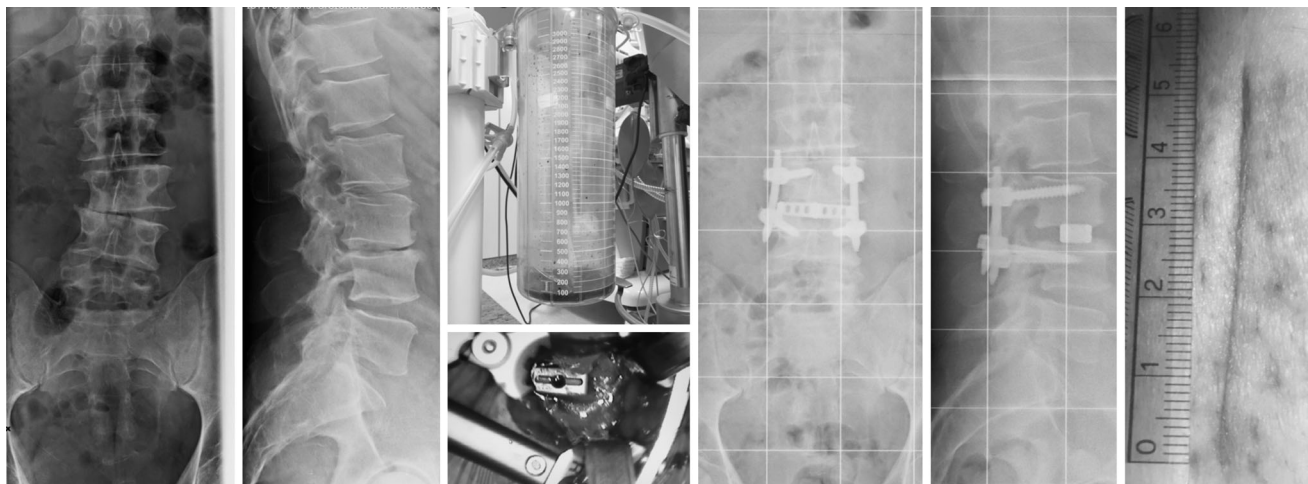


Fig. 2 - Paziente A.G., 57 anni, severa discopatia L3-L4 trattata con metodica mininvasiva retroperitoneale XLIF. Perdite ematiche: np; VAS preoperatoria: 9; VAS 24 h postoperatoria: 0

XLIF: tecnica chirurgica

In anestesia generale, il paziente è posizionato in decubito laterale destro o sinistro, mediante l'ausilio di supporti. I fianchi e le ginocchia sono flessi, per rilassare il più possibile il muscolo psoas, mentre la cresta iliaca è posizionata all'altezza della rottura del tavolo per consentire la flessione sul busto.

Il letto operatorio o il paziente dovrebbero essere flessi al fine di aumentare la distanza tra la cresta iliaca e la gabbia toracica; questa manovra risulta particolarmente utile nei livelli lombari superiori a L4-L5. Con ausilio della scopia, devono essere eseguite le proiezioni antero-posteriore e laterale vera del tratto interessato, mentre il monitoraggio elettromiografico intraoperatorio sarà impiegato per verificare lo status neurologico durante la procedura.

Previa individuazione dello spazio intersomatico, in proiezione laterale vera, si esegue un'incisione cutanea posterolaterale centrata sulla proiezione del disco interessato. Attraverso tale incisione, gli strati sottocutanei vengono sezionati utilizzando forbici smusse. Gli strati muscolari (muscolo obliquo esterno e interno e trasverso dell'addome) vengono quindi splittati lungo la lunghezza delle fibre, fino a quando non si incontra la *fascia trasversalis*, che viene forata delicatamente, per consentire l'accesso allo spazio retroperitoneale. Con l'ausilio di un dito, si mobilizza il peritoneo anteriormente al muscolo psoas, in modo tale da poter inserire, sotto controllo scopico (in proiezione laterale) ed elettromiografico (EMG) i dilatatori sequenziali.

Il monitoraggio direzionale dell'EMG, ottenuto attraverso il dilatatore, viene utilizzato per monitorare le risposte muscolari a 360°. L'obiettivo è di avere risposte di soglia più basse posteriormente al dilatatore garantendo, in tal modo, che il divaricatore sia anteriore al nervo femorale e al plesso

lombare. In questo modo, si guadagna l'accesso allo spazio intersomatico posizionando un retrattore. Vengono quindi eseguite la discectomia e la preparazione dei piatti vertebrali superiore e inferiore, al fine di rimuovere il tessuto cartilagineo e favorire la successiva artrodesi. Terminata questa fase, si procede all'impianto, previo utilizzo di componenti di prova, di una *cage* pre-riempita con osso autologo o sintetico nello spazio discale e si esegue un controllo scopico ed EMG finale.

L'esposizione viene abbondantemente irrigata e il retrattore rimosso lentamente, in modo da osservare il rimbalzo del muscolo psoas e verificare l'emostasi. Si procede, dunque, a una sutura per piani, in assenza di drenaggio (Fig. 2).

I vantaggi della chirurgia vertebrale mini-invasiva rispetto alla chirurgia *open*

Michael Putzier e collaboratori hanno confrontato il danno alla muscolatura paravertebrale causato da interventi eseguiti con metodica MAS-TLIF rispetto ai PLIF convenzionali *open*, evidenziando una maggiore atrofia e degenerazione grassa del muscolo multifido in questi ultimi [31]. Tale conclusione è stata raggiunta effettuando un esame TC a 12 mesi dall'intervento chirurgico, con analisi quantitativa dell'intensità di segnale dei muscoli multifido e latissimus dorsi [31].

Nickalus e colleghi si sono invece concentrati sugli outcome clinici confrontando la tecnica MAS-TLIF con la tecnica TLIF *open* [32]. Si tratta di una *review* sistematica che ha dimostrato una minor perdita ematica, un ridotto tasso di complicanze e una minore degenza ospedaliera per la tecnica mini-invasiva, a discapito di una maggiore esposizione a radiazioni [32].

Sidhu e collaboratori hanno dimostrato una riduzione delle perdite ematiche e dell'ospedalizzazione nella metodica MAS-TLIF rispetto al TLIF *open*, ma le complicanze sono risultate sovrapponibili nei due gruppi [33].

Wu et al., in una recente metanalisi incentrata sulla valutazione del tasso di artrodesi del TLIF *open* rispetto al MAS-TLIF, hanno osservato un risultato comparabile nelle due metodiche (90,9% per il TLIF; 94,8% per MAS TLIF) [34].

Ganesan e collaboratori, d'altro canto, in uno studio retrospettivo condotto su 51 pazienti, hanno dimostrato una superiorità del MAS-TLIF rispetto al TLIF *open*, in termini di perdita ematica e giorni di ospedalizzazione, ma ad un anno dall'intervento, gli outcome radiografici e clinici sono risultati sovrapponibili nei due gruppi [35].

Swamy e colleghi hanno invece effettuato un'analisi costo-efficacia confrontando l'approccio mini-invasivo transpoas con l'approccio posteriore *open*. Tali autori hanno evidenziato che i costi iniziali dell'intervento chirurgico e delle ospedalizzazioni sono del 38% inferiori in caso di chirurgia *open*; tuttavia, nel momento in cui si include nel calcolo il costo stimato delle complicanze, le tecniche mini-invasive transpoas risultano più economiche del 25%, a un follow-up di 12 mesi [36].

È importante notare che l'obesità rappresenta una sfida per i chirurghi vertebrali, nel momento in cui devono essere eseguite procedure chirurgiche mini-invasive, in quanto questa aumenta la complessità dell'intervento e la quantità di radiazioni necessarie. Abbasi et al., in uno studio retrospettivo, hanno indagato gli effetti dell'obesità sugli outcome perioperatori di MAS-TLIF, TLIF e OLIF [37]. Questi autori hanno concluso che all'aumentare del BMI, aumentano significativamente i tempi di intervento di TLIF e MAS-TLIF, mentre non sono influenzate in maniera significativa le tempistiche della metodica OLIF che, quindi, rappresenta una valida alternativa da prendere in considerazione nei pazienti obesi [37].

È comunque opportuno sottolineare che il MAS-TLIF, rispetto alla tecnica TLIF *open*, presenta una curva di apprendimento più lunga: Lee e colleghi riportano che sono necessarie 44 procedure chirurgiche per raggiungere una padronanza adeguata della tecnica [38]. Una volta acquisita, tuttavia, questa metodica permette un buon risparmio dei tessuti, a fronte di un tempo chirurgico medio lievemente ridotto [39].

Wanderman et al., tuttavia, analizzando la curva di apprendimento del MAS-TLIF, con le relative esposizioni a radiazioni e tempi chirurgici, raccomanda estrema cautela nell'abbandonare una tecnica sicura, consolidata e riproducibile come il TLIF *open* in favore del MAS-TLIF [40].

Wu e collaboratori, in uno studio prospettico, hanno confrontato l'efficacia del MAS-TLIF con il TLIF *open* nel trattamento della spondilolistesi di grado I o II secondo Meyerding, individuando una riduzione delle perdite ematiche e

dei tempi di intervento. Tuttavia, il follow-up a breve termine (3 mesi) e a lungo termine (5 anni) non hanno mostrato differenze significative in termini di VAS e ODI [39].

Attualmente in Olanda è in corso un trial clinico randomizzato controllato su pazienti con spondilolistesi sintomatica trattati con metodica mini-invasiva o metodica *open*, al fine di reperire informazioni su VAS, ODI, complicanze, esame neurologico, qualità della vita, tempi di ritorno all'attività lavorativa, tasso di re-intervento, parametri chirurgici (perdita ematica, durata intervento, durata ospedalizzazione), tasso di fusione e grado di correzione della spondilolistesi [41].

Conclusioni e sviluppi futuri

La chirurgia vertebrale mini-invasiva risulta essere un campo in forte espansione, sia per la prevalenza della patologia degenerativa vertebrale sintomatica, ma anche per la costante ricerca, da parte dei chirurghi vertebrali, di procedure chirurgiche che possano ottimizzare l'outcome clinico.

Gli sviluppi futuri devono mirare al perfezionamento della formazione dei chirurghi vertebrali, attraverso training specifici per ciascuna metodica mini-invasiva, e all'esecuzione di studi clinici di livello I multicentrici al fine di definire, con una maggiore evidenza scientifica, i limiti e le potenzialità delle diverse metodiche mini-invasive.

CONFLITTO DI INTERESSE Gli autori Andrea Piazzolla, Davide Bizzoca, Viola Montemurro, Claudia Parato, Marco La Malfa e Biagio Moretti dichiarano di non aver alcun conflitto di interesse.

CONSENSO INFORMATO E CONFORMITÀ AGLI STANDARD ETICI Tutte le procedure descritte nello studio e che hanno coinvolto esseri umani sono state attuate in conformità alle norme etiche stabilite dalla dichiarazione di Helsinki del 1975 e successive modifiche. Il consenso informato è stato ottenuto da tutti i pazienti inclusi nello studio.

HUMAN AND ANIMAL RIGHTS L'articolo non contiene alcuno studio eseguito su esseri umani e su animali da parte degli autori.

Bibliografia

1. Ravindra VM, Senglaub SS, Rattani A et al (2018) Degenerative lumbar spine disease: estimating global incidence and worldwide volume. *Glob Spine J*. <https://doi.org/10.1177/2192568218770769>
2. Cross M, Smith E, Hoy D et al (2014) The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Ann Rheum Dis* 73:1323–1330
3. Mobbs RJ, Phan K, Malham G et al (2015) Lumbar interbody fusion: techniques indications and comparison of interbody fusion options including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF. *J spine Surg (Hong Kong)* 1:2–18
4. Burkus JK, Schuler TC, Gornet MF, Zdeblick TA (2004) Anterior lumbar interbody fusion for the management of chronic lower back pain: current strategies and concepts. *Orthop Clin North Am* 35:25–32

5. Kleeman TJ, Ahn UM, Talbot-Kleeman A (2001) Laparoscopic anterior lumbar interbody fusion with rhBMP-2: a prospective study of clinical and radiographic outcomes. *Spine (Phila Pa 1976)* 26(24):2751–2756
6. Kim SS, Denis F, Lonstein JE, Winter RB (1990) Factors affecting fusion rate in adult spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 15(9):979–984
7. Sorensen KH (1978) Anterior interbody lumbar spine fusion for incapacitating disc degeneration and spondylolisthesis. *Acta Orthop Scand* 49:269–277
8. Formica M, Berjano P, Cavagnaro L et al (2014) Extreme lateral approach to the spine in degenerative and post traumatic lumbar diseases: selection process, results and complications. *Eur Spine J* 23(Suppl 6):S684–S692
9. Briggs H (1944) Chip fusion of the low back following exploration of the spinal canal. *J Bone Jt Surg Am* 26:125–130
10. Suthar M, Gupta S, Bukhari S, Ponemone V (2017) Treatment of chronic non-healing ulcers using autologous platelet rich plasma: a case series. *J Biomed Sci* 24:1–10
11. Pimenta L, Oliveira L, Schaffa T et al (2011) Lumbar total disc replacement in an extreme lateral approach: clinical experience with a minimum of 2 years' follow-up. *J Neurosurg Spine* 14(1):38–45
12. Cloward RB (1953) The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. *J Neurosurg* 10:154–168
13. Harms J, Rolinger H (2008) Die operative Behandlung der Spondylolisthese durch dorsale Aufrichtung und ventrale Verblockung. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 120:343–347
14. Fleege C, Rickert M, Rauschmann M (2015) PLIF- und TLIF-Verfahren. *Orthopade* 44:114–123
15. Gautschi OP, Garbossa D, Tessitore E et al (2017) Maximal access surgery for posterior lumbar interbody fusion with divergent, cortical bone trajectory pedicle screws: a good option to minimize spine access and maximize the field for nerve decompression. *J Neurosurg Sci* 61:335–341
16. Humphreys SC, Hodges SD, Patwardhan AG et al (2001) Comparison of posterior and transforaminal approaches to lumbar interbody fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 26:567–571
17. de Kunder SL, van Kuijk SM, Rijkers K et al (2017) Transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) versus posterior lumbar interbody fusion (PLIF) in lumbar spondylolisthesis: a systematic review and meta-analysis. *Spine J* 17:1712–1721
18. Cole CD, McCall TD, Schmidt MH, Dailey AT (2009) Comparison of low back fusion techniques: transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) or posterior lumbar interbody fusion (PLIF) approaches. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2:118–126
19. Tsitsopoulos PP, Serhan H, Voronov LI et al (2012) Would an anatomically shaped lumbar interbody cage provide better stability? An in vitro cadaveric biomechanical evaluation. *J Spinal Disord Tech* 25:E240–224
20. Uysal M, Ozalay M, Derincek A et al (2018) Effect of PLIF and TLIF on sagittal spinopelvic balance of patients with degenerative spondylolisthesis. *Acta Orthop Traumatol Turc* 52:272–276
21. Xing D, Ma J-X, Ma X-L et al (2013) A methodological, systematic review of evidence-based independent risk factors for surgical site infections after spinal surgery. *Eur Spine J* 22(3):605–615
22. Dubory A, Giorgi H, Walter A et al (2015) Surgical-site infection in spinal injury: incidence and risk factors in a prospective cohort of 518 patients. *Eur Spine J* 24(3):543–554
23. Lefrancois T, Mehta K, Sullivan V et al (2017) Evidence based review of literature on detriments to healing of diabetic foot ulcers. *Foot Ankle Surg* 23(4):215–224
24. Lan T, Hu S-Y, Zhang Y-T et al (2018) 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* 112:86–93
25. Teng I, Han J, Phan K, Mobbs R (2017) A meta-analysis comparing ALIF, PLIF, TLIF and LLIF. *J Clin Neurosci* 44:11–17
26. Johnson RD, Valore A, Villaminar A et al (2013) Pelvic parameters of sagittal balance in extreme lateral interbody fusion for degenerative lumbar disc disease. *J Clin Neurosci* 20(4):576–581
27. Hood B, Vanni S (2012) Minimally invasive extreme lateral transpoas approach to the lumbar spine: applications and techniques. *Spine Surgery, InTech*. <https://doi.org/10.5772/36813>.
28. Meredith DS, Kepler CK, Huang RC, Hegde VV (2013) Extreme lateral interbody fusion (XLIF) in the thoracic and thoracolumbar spine: technical report and early outcomes. *HSS J* 9(1):25–31
29. Ozgur BM, Aryan HE, Pimenta L, Taylor WR (2006) Extreme lateral interbody fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J* 6:435–443
30. Xu DS, Walker CT, Godzik J et al (2018) Minimally invasive anterior, lateral, and oblique lumbar interbody fusion: a literature review. *Ann Transl Med* 6:104
31. Putzier M, Hartwig T, Hoff EK et al (2016) Minimally invasive TLIF leads to increased muscle sparing of the multifidus muscle but not the longissimus muscle compared with conventional PLIF—a prospective randomized clinical trial. *Spine J* 16(7):811–819
32. Khan NR, Clark AJ, Lee SL et al (2015) Surgical outcomes for minimally invasive vs open transforaminal lumbar interbody fusion: an updated systematic review and meta-analysis. *Neurosurgery* 77(6):847–874
33. Sidhu GS, Henkelman E, Vaccaro AR et al (2014) Minimally invasive versus open posterior lumbar interbody fusion: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 472:1792–1799
34. Wu RH, Fraser JF, Härtl R (2010) Minimal access versus open transforaminal lumbar interbody fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 35:2273–2281
35. Ganesan S, Jayabalan V, Kumar V, Kailash K (2018) Clinical and radiological outcomes of modified mini-open and open transforaminal lumbar interbody fusion: a comparative study. *Asian Spine J* 12:544–550
36. Swamy G, Lopatina E, Thomas KC et al (2019) The cost effectiveness of minimally invasive spine surgery in the treatment of adult degenerative scoliosis: a comparison of transpoas and open techniques. *Spine J* 19(2):339–348
37. Abbasi H, Grant A (2018) Effect of body mass index on perioperative outcomes in minimally invasive oblique lateral lumbar interbody fusion versus open fusions: a multivariate analysis. *Cureus* 10:e2288
38. Lee KH, Yeo W, Soeharno H, Yue WM (2014) Learning curve of a complex surgical technique. *J Spinal Disord Tech* 27:E234–E240
39. Wu A-M, Hu Z-C, Li X-B et al (2018) Comparison of minimally invasive and open transforaminal lumbar interbody fusion in the treatment of single segmental lumbar spondylolisthesis: minimum two-year follow up. *Ann Transl Med* 6:105
40. Wanderman NR, Francois EL, Nassr A, Sebastian AS (2018) Is minimally invasive transforaminal interbody fusion superior to traditional open technique? *Clin Spine Surg* 31:139–142
41. Arts MP, Wolfs JF, Kuijlen JM, de Ruiter GC (2017) Minimally invasive surgery versus open surgery in the treatment of lumbar spondylolisthesis: study protocol of a multicentre, randomised controlled trial (MISOS trial). *BMJ Open* 7:e017882