

特集 脊椎外科学の進歩

# 側方侵入腰椎椎体間固定術 (LLIF) における 術後神経合併症について —いかに術中神経損傷を予防するか?—

昭和大学医学部整形外科講座  
白旗 敏之

## はじめに

側方侵入腰椎椎体間固定術 (以下 LLIF) は、椎間板変性、変性側弯症、変性すべり症、脊柱管狭窄症、椎間板ヘルニアや隣接椎間障害といったさまざまな脊椎疾患の治療へ多用されつつある<sup>1,2)</sup>。LLIF は小切開で大きな椎体間 Cage を挿入して椎体間固定を行うことが可能な手術である。椎体間へ大きな Cage を挿入することにより、初期固定性の向上と Cage 沈下の予防、後方脊柱管の間接的除圧効果、側弯の矯正が可能な手術である<sup>2,3)</sup>。

従来の前方固定術と比べ、低侵襲に後腹膜を經由して経腸腰筋的に椎間板へアプローチすることで腸管や大血管損傷のリスクを低減させ、後方からの椎体間固定での後方支持組織への過大なダメージを軽減させることができる<sup>3,4)</sup>。しかしながら、ユニークなアプローチゆえ、時にそのアプローチに関連する腰神経叢や大腿神経損傷などを含む合併症が報告されている<sup>5-7)</sup>。特に神経関連合併症は運動障害・知覚障害とも患者の術後経過に大きく影響をするものであり、われわれ脊椎外科医にとっても深刻な問題となることがある。

術後運動神経障害の発生率は文献によって幅広く報告されている。その発生率は 0.7%~33.6%と報告されている<sup>8)</sup>。特に L4/5 椎間を含む手術では有意に発生率が高いと過去多くの報告がなされている。一方で、知覚神経障害に関しては、単径部から大腿部前面や内側に疼痛・しびれなどの異常感覚・知覚低下が発生することが知られており、その発生率は運動神経障害よりも高く、約 75%にも達すると報告がされている<sup>9)</sup>。

本稿では海外単一施設のリサーチデータをもと

に、LLIF における神経合併症 (特に腰神経叢と大腿神経に関連する) を運動神経障害と知覚神経障害に分けて、それぞれの発生率や危険因子について述べさせていただく。

## 対 象

対象は、2006 年から 2016 年に Hospital for Special Surgery (NY, USA) で後方固定を追加または stand alone (LLIF 単独) で単椎間または多椎間の LLIF を施行された患者、1,290 例である。術前後の神経学的所見が得られていない患者や伸長 Cage を用いた患者は除外した。

手術は従来法の two-incision テクニックでの神経障害のリスクを最小限にするために、すべて single-incision かつ mini-open で行い、直視下に確認しながら椎間板の展開を行った。全例、術中神経モニターリング下に手術を行った<sup>10)</sup>。

術後運動神経障害は、術後 6 週後の初回診察時、新たに発生した大腿四頭筋と前脛骨筋の筋力低下を大腿神経障害と定義した。運動障害の回復は、最終観察時に術前筋力または完全な筋力への回復と定義した。運動障害に関しては L4/5 椎間の手術が危険因子であるとの報告が多くあるため、本検討では L4/5 椎間を含む (L4/5 グループ)、含まない (nonL4/5 グループ) で 2 つのグループに分けて検討を行った。術后感覚神経障害は、術後 6 週後の初回診察時、新たに発生した単径部または大腿前面や内側の疼痛と異常感覚障害と定義した。感覚障害に関しては後方手術の影響を排除するために、すべて stand alone 症例に限定し、手術椎間ごとの発生率の検討を行い、それぞれの障害発生の危険因子を検討した。な

お、現在このデータをもとにした研究論文は他の学会誌へ投稿中である。

## 結 果

### 1. 術後新規運動神経障害について

1,290 例中 872 例を対象とした。543 例が L4/5 椎間を含み、329 例は含まなかった。術後 6 週後の初回診察時において、新規運動障害の発生率は L4/5 グループで 13.1%，nonL4/5 グループで 5.5% であり、有意に L4/5 グループで高かった ( $P < 0.001$ )。ロジスティック回帰分析において、L4/5 椎間の手術は有意な新規運動障害の発生危険因子となり得た (Table 1)。多椎間手術の影響を排除するために単椎間手術 174 例 (L4/5 グループ 174 例, nonL4/5 グループ 194 例) で検討を行った。その発生率は L4/5 グループで 11.5%，nonL4/5 グループで 3.6% であり、同様に L4/5 グループで有意に高かった。多変量解析では L4/5 椎間の手術は新規運動障害発生の明らかな危険因子となり得た (Table 2)。更に後方手術の影響を排除するために stand alone 症例で検討してもやはり L4/5 椎間の手術は運動神経障

害発生の危険因子であることが解った (Table 3)。

以上の結果から、LLIF において L4/5 椎間を含む手術では術後運動神経障害 (大腿神経障害) の発生が他のレベルに比べ有意に高いと言える。

### 2. 術後新規感覚障害について

後方手術の影響と腹臥位での大腿皮神経圧迫による症状を排除するために 1,290 例中 285 例の stand alone 症例を対象とした。術後 6 週後の初回診察時において、121 例・42.5% の症例で術後新規大腿前面の症状を認めた。81 例・28.4% は大腿前面痛を認め、62 例・21.8% は大腿前面の異常感覚を認めた。それらの危険因子を検討すると、単変量解析で L2/3 椎間手術と 3 椎間以上の手術は明らかな術後大腿前面症状発生の危険因子であった (Table 4)。大腿前面の症状を疼痛と異常感覚に分けて検討すると、大腿前面の異常感覚の発生に限り L2/3 椎間の手術と 3 椎間以上の手術が明らかな危険因子となり得た。しかし、大腿前面の疼痛の発生においては明らかな危険因子を見いだせなかった (Table 5)。多変量解析では L2/3 椎間の手術だけが、術後大腿前面の異常感覚発生の独立した危険因子であった

Table 1 Multivariate logistic regression analysis

Characteristics	Odds Ratio (95% CI)	p-value
<b>L4-L5 operation</b>	<b>2.285 (1.239, 4.216)</b>	<b>0.008</b>
Age		
≤ 55	Ref	
55-65	0.970 (0.520, 1.810)	0.924
> 65	0.836 (0.445, 1.570)	0.577
Male gender	0.758 (0.465, 1.236)	0.267
BMI		
<i>Underweight/Normal</i>	Ref	
<i>Overweight</i>	0.688 (0.384, 1.230)	0.207
<i>Obese</i>	1.048 (0.602, 1.823)	0.868
Previous decompression	1.605 (0.937, 2.750)	0.085
Previous fusion	0.733 (0.386, 1.393)	0.343
BMP use	0.491 (0.247, 0.973)	0.041
CCI		
0	Ref	
1	1.204 (0.666, 2.177)	0.538
≥ 2	1.076 (0.530, 2.183)	0.839
Levels		
1	Ref	
> 1	1.525 (0.911, 2.555)	0.109

Table 2 Multivariate logistic regression analysis in single level

Characteristics	Odds Ratio (95% CI)	p-value
<b>L4-L5 operation</b>	<b>3.177 (1.182, 8.540)</b>	<b>0.022</b>
Age		
≤ 55	Ref	
55-65	0.561 (0.211, 1.491)	0.246
> 65	0.513 (0.144, 1.821)	0.302
Male gender	1.483 (0.617, 3.565)	0.378
BMI		
<i>Underweight/Normal</i>	Ref	
<i>Overweight</i>	0.923 (0.282, 3.019)	0.894
<i>Obese</i>	1.664 (0.555, 4.984)	0.363
PrevDec	1.220 (0.452, 3.294)	0.695
PrevFus	0.644 (0.204, 2.032)	0.453
BMP	0.731 (0.193, 2.764)	0.644
CCI		
0	Ref	
1	0.393 (0.084, 1.836)	0.235
≥ 2	2.613 (0.627, 10.895)	0.187

Table 3 Univariate logistic regression analysis for Postoperative New Motor Deficits in stand alone cases

	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper	p-value
T12/L1	0.000000847	0	inf	0.987
L1/2	0.771	0.256	2.33	0.644
L2/3	0.591	0.305	1.15	0.12
L3/4	1.73	0.186	3.65	0.153
<b>L4/5</b>	<b>2.35</b>	<b>1.16</b>	<b>4.73</b>	<b>0.0173</b>

Table 4 Patients demographics and the results of univariate analyses

		No anterior thigh symptoms n=164	Anterior thigh symptom n=121	Odds ratio	95% CI Lower	95% CI Upper	p-value
Age	Mean (SD)	63.05 (14.18)	62.48 (11.62)	1.00	0.98	1.01	0.72
Sex (%)	Female	96 (58.5)	70 (57.9)	0.97	0.60	1.57	0.91
BMI	Mean (SD)	28.02 ( 5.42)	28.56 ( 5.25)	1.02	0.98	1.07	0.39
Smoking (%)	Current	15 ( 9.1)	13 (10.7)	1.31	0.62	2.76	0.48
	Past	37 (22.6)	34 (28.1)	1.34	0.60	2.97	0.48
History of DM (%)		16 ( 9.8)	15 (12.4)	1.42	0.82	2.45	0.22
Scoliosis (Cobb > 20) (%)		50 (30.5)	42 (34.7)	1.21	0.74	2.00	0.45
Previous surgery (%)		100 (61.0)	78 (64.5)	1.16	0.71	1.89	0.55
BMP Use (%)		146 (89.0)	113 (93.4)	1.74	0.73	4.15	0.21
Number of surgical levels	2 levels	60 (36.6)	51 (42.1)	1.59	0.93	2.72	0.09
	> 3 levels	29 (17.7)	30 (24.8)	1.94	1.02	3.67	<b>0.04</b>
Surgical level	T12/L1 (%)	3 ( 1.8)	0 ( 0.0)	< 0.01	0.00	inf	0.99
	L1 /L2 (%)	19 (11.6)	10 ( 8.3)	0.69	0.31	1.54	0.36
	L2 /L3 (%)	58 (35.4)	60 (49.6)	1.80	1.11	2.90	<b>0.02</b>
	L3 /L4 (%)	111 (67.7)	90 (74.4)	1.39	0.82	2.34	0.22
	L4 /L5 (%)	94 (57.3)	75 (62.0)	1.21	0.75	1.96	0.43

Table 5 Results of univariate analyses about anterior thigh paresthesia and pain

		Odds ratio (95% CI)	p-value
Paresthesia	n = 62 (21.8%)		
Number of surgical levels	2 levels	1.68 (0.85-3.31)	0.14
	3 < levels	2.96 (1.40-6.23)	<b>0.004</b>
Level	L2/L3	2.59 (1.46-4.62)	<b>0.001</b>
Pain	n = 81 (28.4%)		
Number of surgical levels	2 levels	1.31 (0.73-2.37)	0.36
	3 < levels	1.59 (0.80-3.17)	0.18
Level	L2/L3	1.47 (0.87-2.47)	0.15

Table 6 Results of multivariate analyses

		Odds ratio (95% CI)	p-value
All anterior thigh symptoms	n = 121 (42.5%)		
Number of surgical levels	2 levels	1.62 (0.87-3.02)	0.13
	3 < levels	1.43 (0.82-2.49)	0.21
Level	L2/L3	1.29 (0.56-2.94)	0.55
Paresthesia	n = 62 (21.8%)		
Number of surgical levels	2 levels	1.40 (0.69-2.85)	0.35
	3 < levels	1.62 (0.63-4.15)	0.32
Level	L2/L3	2.09 (1.00-4.35)	<b>0.049</b>
Pain	n = 81 (28.4%)		
Number of surgical levels	2 levels	1.23 (0.67-2.27)	0.51
	3 < levels	1.25 (0.52-3.04)	0.62
Level	L2/L3	1.33 (0.68-2.61)	0.41

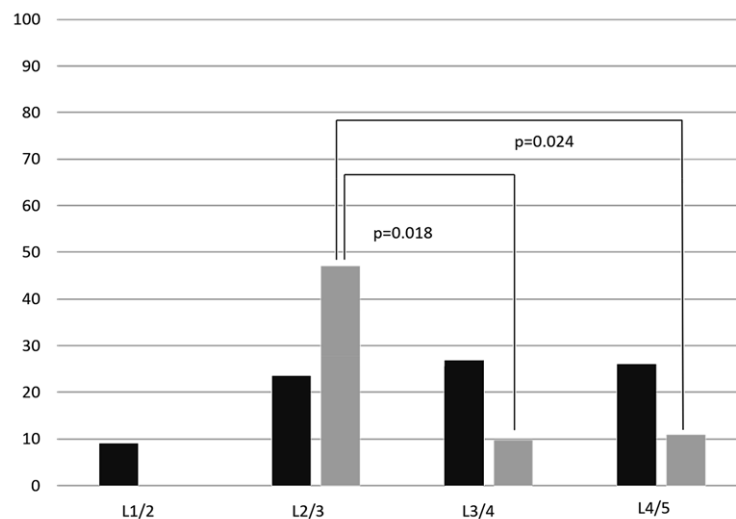


Fig. 1 Pairwise comparisons of surgical levels and incidence (%) of postoperative anterior thigh paresthesia (grey bars) and pain (black bars) among single-level cases. There was a significantly higher incidence of paresthesia at L2/3 than L3/4 and L4/5. Lines represent significant differences between paired comparisons.

(Table 6). 多椎間手術の影響を除くため、単椎間手術例 114 例で同様に検討を行うと、大腿前面の異常感覚の発生は L2/3 椎間で他の椎間の手術に比べ有意に発生が高く (Fig. 1)、明らかな危険因子であった。大腿前面の疼痛に関しては手術椎間と有意な関連は見られなかった (Table 7)。

以上の結果から、L2/3 椎間の手術は LLIF 後の新規大腿前面の異常感覚発生の有意な危険因子であ

ることが解った。

## 考 察

LLIF は 2006 年に Ozgur らにより初めて報告された新しい椎体間固定の方法であり、その使用頻度は年々増加している<sup>1,3)</sup>。LLIF の有益な点は、低侵襲に前縦靱帯・後縦靱帯を温存したまま、幅広い大きな Cage を椎体両端の ring apophysis で支えられ、

Table 7 Results of univariate analyses about anterior thigh paresthesia and pain among patients with single-level standalone LLIF

		Symptomatic (%)	Odds ratio (95% CI)	p-value
Paresthesia		n = 17		
Level	L1.L2 (n = 11)	0 ( 0.0)	< 0.01 (0.00-inf.)	0.99
	L2.L3 (n = 17)	8 (47.0)	8.69 (2.69-28.1)	<b>0.003</b>
	L3.L4 (n = 41)	4 ( 9.8)	0.50 (0.15-1.65)	0.25
	L4.L5 (n = 45)	5 (11.1)	0.59 (0.19-1.82)	0.36
Pain		n = 28		
Level	L1.L2 (n = 11)	1 ( 9.1)	0.28 (0.03-2.30)	0.24
	L2.L3 (n = 17)	4 (23.5)	0.94 (0.28-3.14)	0.92
	L3.L4 (n = 41)	11 (26.8)	1.21 (0.50-2.91)	0.67
	L4.L5 (n = 45)	12 (26.7)	1.20 (0.51-2.56)	0.67

後方脊柱管や椎間孔の間接的除圧効果が大きいことである。他のアプローチ方法と比較し、内臓器、血管損傷の危険性や硬膜損傷や術後感染の発生リスクが低いとされている<sup>1, 2)</sup>。しかしながら、特有なアプローチ方法ゆえの神経合併症が報告されている。特に L4/5 椎間の手術ではその発生頻度が高いと言われている<sup>11)</sup>。

LLIF 後の神経合併症に関しては、運動障害の発生率は 0.7 ~ 33.6%，感覚障害が 0 ~ 75% と報告されている<sup>5-9, 12-15)</sup>。2017 年の海外からの systematic review では、術後一過性の神経合併症の発生率は 36.1 で、運動障害は 14.1%，感覚障害は 17.1%，大腿前面の有症状は 26.5% で認められたと報告されている。また、本邦からも LLIF 開始 2 年間の多施設報告があり、運動神経障害の発生率は 1.1%，感覚神経障害は 5.1% であったと報告されている<sup>15, 16)</sup>。

運動神経障害については、過去の報告をみても L4/5 椎間の手術はその発生の頻度が高いと見解は一致している<sup>5, 7, 12, 17, 18)</sup>。その理由として、解剖学的な特性が挙げられる。解剖学的研究では、腰椎椎体側面において腰神経叢は頭側から尾側へ向かうに従い、後方から前方へその局在がシフトしてくるため、L4/5 椎間の手術では、腰神経叢損傷のリスクが最も高くなると考えられる<sup>11, 19, 20)</sup>。Uribe らは、L4/5 椎間板への安全な到達ポイントは椎間板中央で、それより頭側では更に後方であると述べている<sup>20)</sup>。また、Guerin らと Regev らの 2 つの MRI 画像を用いた画像診断学的研究では、椎体と腰神経叢・大血管の位置関係を検討し、各椎間における手術 Safe zone を

評価した結果、L4/5 椎間では頭側の椎間と比べ明らかにそれが狭くなっており、その理由として腰神経叢の腹側（前方）へ、大血管の背側（後方）へのシフトが影響しており、更に、脊柱変形の存在する状況ではより狭くなっていると報告している<sup>21, 22)</sup>。

また、Uribe ら術中の開創器の設置による組織の牽引時間が長いことが神経障害発生の明らかな危険因子であるという報告<sup>23)</sup>に加え、Ng らの L4/5 椎間の手術は手技的に難易度が高く、手術時間と関連性があるという報告<sup>24)</sup>を合わせると L4/5 椎間の手術が危険因子となることに矛盾はないと考えられる。

感覚神経障害に関しては、いくつか検討された研究がある<sup>6, 12)</sup>。Cummock らは、大腿前面痛、異常感覚、感覚障害はそれぞれ 39.0%，42.4%，11.9% であり、統計学的有意差は認めなかったが L4/5 椎間の手術でその頻度が高かったと報告している<sup>12)</sup>。最近の報告で Grimm らは、一過性的大腿前面のしびれや疼痛の出現頻度は L4/5 椎間の手術で多かったと報告している<sup>25)</sup>。このように感覚障害に関しても L4/5 椎間の手術でその発生頻度が高いとする報告があるが、これらの研究の対象は後方手術を追加して行われている症例も多く含まれており、その影響は検討されていない。また、大腿前面へ感覚神経を分布している神経は大腿神経だけではなく陰部大腿神経 (GFN) や外側大腿皮神経 (LCFN) も存在する<sup>26)</sup>。更に、後方手術では腹臥位による LCFN の障害が 20% 程度発生するとの報告<sup>27)</sup>やスクリーンの設置ミスによる神経障害発生の危険性が増加するといった報告<sup>28)</sup>があり、これらの影響を排



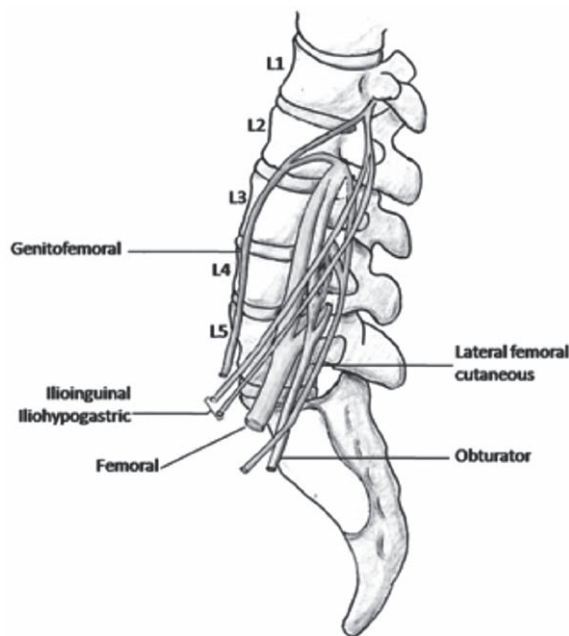


Fig. 2 The locations of Lumbar plexus (the motor and sensory nerves) are drawn in relation to the disc space from the lateral view by Uribe JS, *et al* (reference No. 20).

除し、純粋な LLIF 手術の影響を評価するためには stand alone で術前に神経麻痺の無い症例で検討を行った。この研究結果では、過去の報告とは異なり L2/3 椎間の手術で術後大腿前面の症状発生の頻度が高く、異常感覚の発生の危険因子となった。

解剖学的研究で、GFN や LCFN は L2/3 椎間レベルでは腸腰筋の中を走行しており、同レベルの手術では損傷の危険性があると考えられる<sup>19,20)</sup>。Uribe らは、屍体を用いた研究で GFN は L2/3 椎間板の前中央、側面を頭側から尾側に向かい斜め（後方から前方へ）に横切り、同レベルの術野の妨げになり、損傷の危険性があると報告をしている<sup>20)</sup>(Fig. 2)。また、Grunert らは、屍体を用いた L2/3 椎間の LLIF 手技で腸腰筋内を走行する LFCN や L2 神経根の損傷があったと報告している<sup>29)</sup>。

通常、LLIF を行う際には術中神経モニタリングを行いながら施行する。大腿神経の様な運動枝を含む神経は検知可能であるが、感覚神経のみであるそれら神経は検知することができず、術中に損傷する危険性はあると考える。

では、これら神経損傷をどのように未然に防いでいくか、未だに議論の余地が残るところである。過

去の研究での手術手技は従来法である two incision で神経モニタリングを併用し行っている報告が多い。われわれの本研究では、神経損傷の危険性を少なくするために、one incision、小切開で直視下のアプローチを取り入れた。Davis ら、や Banagan らの報告では、直視下アプローチ法を推奨している。更に小切開で直視下に確認しながら椎間板を展開することで従来法よりも安全性が高いとする報告があり<sup>30,31)</sup>、Tender ら<sup>32)</sup>は、腸腰筋を直視下に確認し展開する方法では、GFN や大腿神経の損傷リスクを下げる可能性があるとして報告している<sup>33,34)</sup>。どちらの方法が良いのかという議論に結論は出ておらず、今後のさらなる研究がなされることに期待をする。しかし、直視下に確認しながら手術を行っても、神経障害が発生しているということは十分に知った上で慎重に手術を行うべきであると考ええる。

## まとめ

LLIF を行う際に L4/5 椎間では術後運動障害発生の危険性が、L2/3 椎間では術後大腿前面の症状が発生する危険性が高いことに留意して慎重に手術を行う必要があると考えられる。これらの情報は術前に患者へのインフォームド・コンセントにも有益なものと考えられる。

## 文 献

- 1) Kwon B, Kim DH. Lateral lumbar interbody fusion: indications, outcomes, and complications. *J Am Acad Orthop Surg*. 2016;24:96-105.
- 2) Salzmänn SN, Shue J, Hughes AP. Lateral lumbar interbody fusion-outcomes and complications. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2017;10: 539-546.
- 3) Ozgur BM, Aryan HE, Pimenta L, *et al*. Extreme lateral interbody fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J*. 2006;6:435-443.
- 4) Kotwal S, Kawaguchi S, Lebl D, *et al*. Minimally invasive lateral lumbar interbody fusion: clinical and radiographic outcome at a minimum 2-year follow-up. *J Spinal Disord Tech*. 2015;28:119-125.
- 5) Rodgers WB, Gerber EJ, Patterson J. Intraoperative and early postoperative complications in extreme lateral interbody fusion: an analysis of 600 cases. *Spine*. 2011;36:26-32.
- 6) Le TV, Burkett CJ, Deukmedjian AR, *et al*.

- Postoperative lumbar plexus injury after lumbar retroperitoneal transposas minimally invasive lateral interbody fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38:E13-E20.
- 7) Pumberger M, Hughes AP, Huang RR, *et al*. Neurologic deficit following lateral lumbar interbody fusion. *Eur Spine J*. 2012;21:1192-1199.
  - 8) Ahmadian A, Verma S, Mundis GM Jr, *et al*. Minimally invasive lateral retroperitoneal transposas interbody fusion for L4-5 spondylolisthesis: clinical outcomes. *J Neurosurg Spine*. 2013;19:314-320.
  - 9) Abel NA, Januszewski J, Vivas AC, *et al*. Femoral nerve and lumbar plexus injury after minimally invasive lateral retroperitoneal transposas approach: electrodiagnostic prognostic indicators and a roadmap to recovery. *Neurosurg Rev*. 2018;41:457-464.
  - 10) Kueper J, Fantini GA, Walker BR, *et al*. Incidence of vascular complications during lateral lumbar interbody fusion: an examination of the mini-open access technique. *Eur Spine J*. 2015;24:800-809.
  - 11) Wagner SC, Vaccaro AR, Bevevino AJ. Is the lateral transposas approach to the lumbar spine safe at L4-L5? *Clin spine Surg*. 2018;31:49-52.
  - 12) Cummock MD, Vanni S, Levi AD, *et al*. An analysis of postoperative thigh symptoms after minimally invasive transposas lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine*. 2011;15:11-18.
  - 13) Sofianos DA, Briseno MR, Abrams J, *et al*. Complications of the lateral transposas approach for lumbar interbody arthrodesis: a case series and literature review. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470:1621-1632.
  - 14) Tormenti MJ, Maserati MB, Bonfield CM, *et al*. Complications and radiographic correction in adult scoliosis following combined transposas extreme lateral interbody fusion and posterior pedicle screw instrumentation. *Neurosurg Focus*. 2010;28:E7. (accessed 2019 Sep 20) <https://thejns.org/focus/view/journals/neurosurg-focus/28/3/2010.1.focus09263.xml>
  - 15) Hijji FY, Narain AS, Bohl DD, *et al*. Lateral lumbar interbody fusion: a systematic review of complication rates. *Spine J*. 2017;17:1412-1419.
  - 16) Fujibayashi S, Kawakami N, Asazuma T, *et al*. Complications associated with lateral interbody fusion: nationwide survey of 2998 cases during the first 2 years of its use in Japan. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42:1478-1484.
  - 17) Cahill KS, Martinez JL, Wang MY, *et al*. Motor nerve injuries following the minimally invasive lateral transposas approach. *J Neurosurg Spine*. 2012;17:227-231.
  - 18) Lehmen JA, Gerber EJ. MIS lateral spine surgery: a systematic literature review of complications, outcomes, and economics. *Eur Spine J*. 2015;24:287-313.
  - 19) Moro T, Kikuchi S ichi, Konno S ichi, *et al*. An anatomic study of the lumbar plexus with respect to retroperitoneal endoscopic surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28:423-428.
  - 20) Uribe JS, Arredondo N, Dakwar E, *et al*. Defining the safe working zones using the minimally invasive lateral retroperitoneal transposas approach: an anatomical study. *J Neurosurg Spine*. 2010;13:260-266.
  - 21) Guerin P, Obeid I, Gille O, *et al*. Safe working zones using the minimally invasive lateral retroperitoneal transposas approach: a morphometric study. *Surg Radiol Anat*. 2011;33:665-671.
  - 22) Regev GJ, Chen L, Dhawan M, *et al*. Morphometric analysis of the ventral nerve roots and retroperitoneal vessels with respect to the minimally invasive lateral approach in normal and deformed spines. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:1330-1335.
  - 23) Uribe JS, Isaacs RE, Youssef JA, *et al*. Can triggered electromyography monitoring throughout retraction predict postoperative symptomatic neuropraxia after XLIF? Results from a prospective multicenter trial. *Eur Spine J*. 2015;24 Suppl 3:378-385.
  - 24) Ng CL, Pang BC, Medina PJ, *et al*. The learning curve of lateral access lumbar interbody fusion in an Asian population: a prospective study. *Eur Spine J*. 2015;24 Suppl 3:361-368.
  - 25) Grimm BD, Leas DP, Poletti SC, *et al*. Postoperative complications within the first year after extreme lateral interbody fusion: experience of the first 108 patients. *Clin Spine Surg*. 2016;29:E151-E156.
  - 26) Ahmadian A, Deukmedjian AR, Abel N, *et al*. Analysis of lumbar plexopathies and nerve injury after lateral retroperitoneal transposas approach: diagnostic standardization. *J Neurosurg Spine*. 2013;18:289-297.
  - 27) Yang SH, Wu CC, Chen PQ. Postoperative meralgia paresthetica after posterior spine surgery: incidence, risk factors, and clinical outcomes. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30:E547-E550.

- 28) Gautschi OP, Schatlo B, Schaller K, *et al.* Clinically relevant complications related to pedicle screw placement in thoracolumbar surgery and their management: a literature review of 35,630 pedicle screws. *Neurosurg Focus*. 2011; **31**:E8. (accessed 2019 Oct 15) <https://thejns.org/focus/view/journals/neurosurg-focus/31/4/2011.7.focus11168.xml>
- 29) Grunert P, Drazin D, Iwanaga J, *et al.* Injury to the lumbar plexus and its branches after lateral fusion procedures: a cadaver study. *World Neurosurg*. 2017; **105**:519-525.
- 30) Davis TT, Bae HW, Mok JM, *et al.* Lumbar plexus anatomy within the psoas muscle: implications for the transpsoas lateral approach to the L4-L5 disc. *J Bone Joint Surg Surg Am*. 2011; **93**:1482-1487.
- 31) Banagan K, Gelb D, Poelstra K, *et al.* Anatomic mapping of lumbar nerve roots during a direct lateral transpsoas approach to the spine: a cadaveric study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011; **36**:E687-E691.
- 32) Tender GC, Serban D. Genitofemoral nerve protection during the lateral retroperitoneal transpsoas approach. *Neurosurgery*. 2013; **73**(2 Suppl Operative):ons192-196.
- 33) Aghayev K, Vrionis FD. Mini-open lateral retroperitoneal lumbar spine approach using psoas muscle retraction technique. Technical report and initial results on six patients. *Eur Spine J*. 2013; **22**:2113-2119.
- 34) Yuan PS, Rowshan K, Verma RB, *et al.* Minimally invasive lateral lumbar interbody fusion with direct psoas visualization. *J Orthop Surg Res*. 2014; **9**:20.