

Artículo original

MICROLAMINOTOMÍA LUMBAR: UNA DESCOMPRESIÓN LIMITADA EN LA ESTENOSIS LUMBAR.

Juan José MEZZADRI, Javier GOLAND, Mariano SOCOLOVSKY, José LESTON y Armando BASSO.

División de Neurocirugía, Departamento de Cirugía, Hospital de Clínicas "José de San Martín", Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

Objetivo: describir los resultados postoperatorios obtenidos con una técnica descompresiva más limitada en la estenosis lumbar degenerativa. **Población y método:** se incluyeron 14 pacientes, 8 de sexo masculino y 6 de sexo femenino, con una edad media de 62 años, que padecían dolor radicular y/o claudicación de la cola de caballo, causadas por una estenosis lumbar central y/o subarticular, diagnosticada con radiología simple e imágenes por resonancia magnética, sin inestabilidad manifiesta. Presentaron hernia de disco 1 caso y escoliosis ($< 20^\circ$) 3 casos. El nivel a operar se individualizó correlacionando la clínica con las imágenes. Se operaron 20 niveles: L2-L3, 1; L3-L4, 3; L4-L5, 9 y L5-S1, 7. El abordaje fue: unilateral con descompresión unilateral en 16 niveles, unilateral con descompresión bilateral en 2 niveles y bilateral con descompresión bilateral en 2 niveles. La cirugía consistió en una microlaminotomía con resección del ligamento amarillo y de la porción hipertrofiada de la articulación interapofisaria hasta dejar la raíz libre y móvil. **Resultados:** la evolución postoperatoria fue excelente en 12 (85,7%) casos (desaparición de los síntomas) y pobre en 2 casos (persistencia de los síntomas). En el seguimiento (6 meses a 4 años) la mejoría persistió y no surgieron síntomas de inestabilidad manifiesta. **Conclusión:** una descompresión limitada en la estenosis lumbar es capaz de aliviar efectivamente los síntomas de compresión radicular.

Palabras clave: estenosis lumbar - laminectomía lumbar - laminotomía lumbar.

SUMMARY

Objective: to describe the postoperative outcome after performing a more limited decompression in degenerative lumbar stenosis (LE). **Population and method:** we included 14 cases, 8 males and 6 females, with a median age of 62 years, who had radicular pain and/or neurogenic intermittent claudication secondary to central and/or subarticular LE, whose diagnosis was performed with plain radiology and magnetic resonance imaging (MRI). No one had overt instability. One case had a discal hernia and three cases had a degenerative scoliosis ($< 20^\circ$). Twenty levels were operated: L2-L3, 1; L3-L4, 3; L4-L5, 9; and L5-S1, 7. The approach was: unilateral with unilateral decompression in 16 levels, unilateral with bilateral decompression in 2 levels and bilateral with bilateral decompression in 2 levels. Surgery performed consisted in a microlaminotomy with partial resection of the hypertrofed facets and total resection of the yellow ligament living a free and mobile nerve root. **Results:** outcome was excellent in 12 cases (85,7%) (without pain) and poor in 2 cases (pain persistence). During the follow-up (6 months to 4 years) improvement was maintained, and symptoms of overt instability did not appear. **Conclusion:** in LE a more limited decompression improves effectively the radicular compression symptoms.

Key words: lumbar stenosis, lumbar laminectomy, lumbar laminotomy.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento quirúrgico más utilizado en la estenosis lumbar (EL) es la laminectomía descompresiva amplia y bilateral^{9,26,37}. Desgraciadamente luego de una laminectomía, aún respetando las articulaciones interapofisarias, puede aparecer una inestabilidad postoperatoria^{9,13,15,22}. Ésta se vería acrecentada por la pérdida de los ligamentos supra e inter-espinosos y por la denervación y atrofia postoperatorias de la musculatura paraespinal, secundarias a la retracción^{10,32}. En la columna lumbar, con el desarrollo de técnicas menos invasivas, se ha comenzado a utilizar técnicas de descompresión más limitadas y selectivas^{2,3,7,16,19,23,27-31,33-36,38}. Éstas permitirían preservar las funciones de "banda de tensión" que poseen las estructuras osteoarticulares y musculoligamentarias del arco posterior. A partir de una experiencia personal con un paciente que luego de una laminectomía desarrolló una osteólisis lumbar con inestabilidad radiológica y clínica⁴, decidimos cambiar la técnica y adoptar formas más acotadas de descompresión.

El objetivo de este estudio preliminar es evaluar los resultados postoperatorios obtenidos con la microlaminotomía lumbar, que comenzamos a utilizar hace cuatro años, en un pequeño grupo de pacientes con diagnóstico de EL central y/o subarticular degenerativa.

POBLACIÓN Y MÉTODO

En este estudio incluimos las historias clínicas de aquellos pacientes operados entre 1994 y 1998 cuyos *criterios de inclusión* fueron: a) padecer un síndrome radicular lumbar uni o bilateral, con o sin claudicación de la cola de caballo, b) carecer de hipermovilidad en las radiografías lumbares dinámicas, c) un diagnóstico de EL degenerativa subarticular o central por imágenes por resonancia magnética (IRM) y d) descompresión realizada a través de una microlaminotomía lumbar.

Por lo menos tres de los siguientes síntomas estuvieron presentes para satisfacer el diagnóstico de *síndrome radicular*: a) el dolor en la pierna debía ser mayor que el dolor lumbar, b) el dolor debía seguir una distribución metamérica, c) presencia de signos de tensión radicular y/o d) signos neurológicos positivos. La intensidad del dolor fue suficiente como para impedir que los pacientes pudieran desarrollar sus actividades diarias y laborales correctamente.

La EL degenerativa fue clasificada de acuerdo con McCulloch¹⁹ en *estenosis central* y *lateral*. A su vez la *estenosis lateral* fue clasificada en *estenosis subarticular* (receso lateral) y *foraminal*.

Las IRM utilizadas fueron efectuadas por resonadores de 1,5 Tesla. El protocolo de imágenes incluyó cortes sagitales ponderados en T1 y T2 y cortes axiales ponderados en T1 con una técnica de spin-eco. No se utilizó gadolinio. Los *criterios de diagnóstico* fueron: a) distorsión o desaparición del tejido adiposo epidural en el foramen, receso lateral o posterior por debajo del ligamento amarillo, b) disminución del tamaño del foramen, el canal y/o el saco dural y c) hipertrofia del ligamento amarillo²¹. No se utilizó la tomografía computada (TAC) como método diagnóstico de rutina.

La técnica quirúrgica fue similar a la propuesta por McCulloch^{7,19} y Spetzger^{33,34}. Brevemente, una vez completada la separación de los músculos paravertebrales e individualizado el interespacio, con una gubia Kerrison angulada de 3 mm de mordida se reseca la mitad inferior de la lámina superior, la mitad superior de la lámina inferior y parte de las carillas hipertrofiadas. Luego bajo magnificación, sin reseca el ligamento amarillo para proteger la duramadre, con un torno se completa la laminotomía y la resección de la hipertrofia articular (generalmente no más de 1/3 de las mismas). Se hace la resección del ligamento amarillo y se busca la raíz en el receso lateral. Generalmente la exposición llega hasta el borde lateral del cilindro dural y el objetivo final es dejar la raíz libre y móvil. De rutina se explora el interespacio aunque las imágenes preoperatorias no indiquen la presencia de una hernia de disco. La laminotomía puede realizarse en uno o en ambos lados efectuando una descompresión unilateral o bilateral respectivamente. Cuando la intención es efectuar una laminotomía unilateral con descompresión bilateral, una vez completado el procedimiento descrito, se varían la angulación de la camilla y del microscopio para poder ver por debajo de la apófisis espinosa. Luego con un torno se adelgaza su base y se individualiza el ligamento amarillo contralateral. Con el mismo torno, por sobre el ligamento como protección, se resecan las porciones hipertrofiadas de las carillas articulares contralaterales que hacen precidencia dentro de la porción central y lateral del canal. Finalmente se diseca y reseca el ligamento amarillo. La raíz contralateral también debe quedar libre y móvil.

El grupo operado estuvo integrado por 14 pacientes, 8 de sexo masculino y 6 de sexo femenino, con una edad media de 62 años (30 a 74 años)³⁰⁻⁷⁴. En 3 casos el dolor radicular (2 con claudicación de la marcha), fue bilateral y en 11 casos unilateral. En 3 casos existía una escoliosis degenerativa menor de 20°. El nivel a operar se individualizó correlacionado la clínica con las imágenes. Se operaron 20 niveles: L2-L3, 1; L3-L4, 3. L4-L5, 9 y L5-S1, 7. El abordaje fue: *unilateral con descompresión unilateral* en 16 niveles, *unilateral con descompresión bilateral* en 2 niveles y *bilateral con descompresión bilateral* en 2 niveles. El seguimiento máximo fue de 4 años y los resultados postoperatorios fueron clasificados en *excelentes* (desaparición total del dolor radicular), *buenos* (desaparición parcial) y *pobres* (persistencia del dolor radicular). Se efectuaron controles postoperatorios inmediatos y alejados con radiología simple en todos los casos. No se hicieron controles postoperatorios con TAC e IRM de rutina.

RESULTADOS

La evolución postoperatoria fue *excelente* en 12 casos (85,7%) y *pobre* en 2 casos. La mejoría fue inmediata. En un paciente se encontró una hernia de disco extruída que no se veía en las IRM. En 2 casos se produjo una infección en la herida del tejido celular subcutáneo por cocos Gram positivos que mejoró con antibióticos orales.

En uno de los casos con una evolución pobre el diagnóstico preoperatorio estuvo errado: se trataba de un "síndrome de las piernas inquietas". En el otro caso con evolución pobre, probablemente no se evaluó apropiadamente el sitio de la compresión que quizás podría haber estado en el descenso del pedículo homolateral a la concavidad de la escoliosis. Esta paciente no pudo ser reintervenida porque falleció a los 6 meses de causas no relacionadas con su EL.

El seguimiento clínico por consultorio externo mostró que la mejoría y desaparición del dolor radicular se mantenía. La radiología simple postoperatoria no mostró hipermovilidad ni aumento de la escoliosis en los casos controlados.

DISCUSIÓN

La columna vertebral es un órgano multisegmentario dinámico, flexible y en constante movimiento²⁵. Sus funciones biomecánicas básicas

son las de soporte, movilidad y protección. Para poder cumplirlas cuenta con un sistema estabilizador que le permite responder coordinadamente ante las demandas que los cambios de peso y postura le imponen. El sistema estabilizador está integrado por tres subsistemas: a) un subsistema pasivo integrado por las vértebras, los discos intervertebrales y los ligamentos, b) un subsistema activo integrado por los músculos y los tendones y c) un subsistema de control neural formado por los trasductores periféricos y los centros nerviosos. Bajo circunstancias normales y dentro de los límites fisiológicos los tres subsistemas están altamente coordinados y optimizados. La compensación dentro de ciertos límites es posible pero cuando el daño es importante aparecerán los síntomas de inestabilidad: dolor, deformación y/o síntomas de compresión neural. En una comunicación reciente la laminectomía bilateral con resección de las apófisis espinosas, la porción medial de las carillas articulares y el ligamento amarillo produjo inestabilidad radiológica sintomática en alrededor del 50% de los casos²². Esto no nos debe sorprender pues la magnitud de la fuerza extensora (acción de banda de tensión) que ejercen las estructuras óseas, musculares y ligamentarias del arco posterior permite contrarrestar la magnitud del peso que la fuerza de gravedad y otras fuerzas compresivas ejercen sobre los cuerpos vertebrales¹. Se sabe que el ligamento supraespinoso experimenta su mayor esfuerzo cuando es expuesto a un momento flexor¹¹. Al igualarse ambas fuerzas el efecto sería neutro manteniéndose el balance y la postura erecta. La destrucción de los tejidos blandos del arco posterior aumentaría la traslación sagital de las vértebras y, al incrementarse el peso sobre los discos intervertebrales, estos acelerarían su degeneración por aumento de la apoptosis, pérdida de celularidad y disminución en la síntesis de colágeno y proteoglicanos^{12,17}.

La comunicación de inestabilidad postoperatoria luego de una laminectomía descompresiva en la EL no ha sido infrecuente^{13,15,22}. Los pacientes con mayor riesgo serían aquellos con lumbalgia preoperatoria severa, espondilolistesis, escoliosis, hipermovilidad en las radiografías dinámicas, resección de las articulaciones interapofisarias y laminectomías extensas de más de un nivel. Para prevenir la inestabilidad postoperatoria se propusieron técnicas de descompresión menos invasivas, más precisas, limitadas y selectivas con la finalidad de preservar al máximo las estructuras del arco posterior. Con el



Fig. 1 Rx simple que muestra una laminotomía unilateral derecha L5-S1 (lumbarizada).

nombre de laminotomía, microlaminotomía, recalibrado o fenestración lumbar (Fig. 1) se denominó a una técnica descompresiva en donde la resección se limitaba sólo a la mitad inferior de la lámina superior, la mitad superior de la lámina inferior, el tercio medial de las carillas articulares hipertrofiadas y el ligamento amarillo. Esta técnica podría ser utilizada en los casos con espondilolistesis grado I y escoliosis $< 20^\circ$ degenerativas sin necesidad de efectuar artrodesis y/o fijación^{2,3,7,16,19,23,27-31,33-36,38}.

En la EL degenerativa la base anatomopatológica que abre la posibilidad para que una laminotomía limitada descomprima el saco dural está constituida por: a) una lesión estenótica intersegmentaria (a nivel del disco) formada por el repliegue e hipertrofia del ligamento amarillo, la hipertrofia de la cápsula y las carillas articulares y la procidencia del disco intervertebral y b) en la estenosis adquirida el diámetro anteroposterior en la línea media del canal espinal es adecua-

do^{7,19}. Las imágenes de control postoperatorio que muestran cómo el canal y el saco dural retoman su forma circular demostraría que esta base anatómica sería correcta (Figs 2, 3 y 4).

La laminotomía poseería las ventajas de la laminectomía clásica: capacidad de descompresión adecuada y carecería de sus desventajas: inestabilidad postoperatoria. La mayoría de las publicaciones sobre laminotomía lumbar, aunque no son estudios prospectivos, aleatorizados y comparativos, sino estudios abiertos de pocos



Fig 2. A. TAC preoperatoria que muestra una EL subarticular bilateral. B. TAC postoperatoria que muestra la ampliación del canal luego de efectuar una laminotomía bilateral. (**abordaje bilateral - descompresión bilateral**).

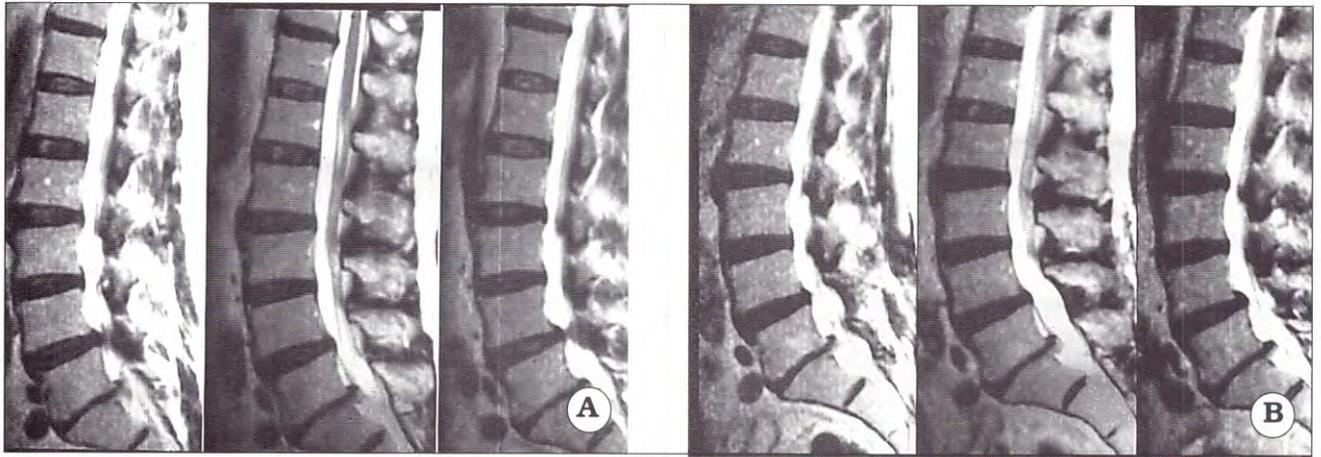


Fig 3. A. IRM preoperatoria sagital ponderada en T2 que muestra una EL subarticular bilateral L4-L5. B. IRM postoperatoria sagital ponderada en T2 que muestra la resolución de la estenosis luego de un **abordaje unilateral con descompresión bilateral**.

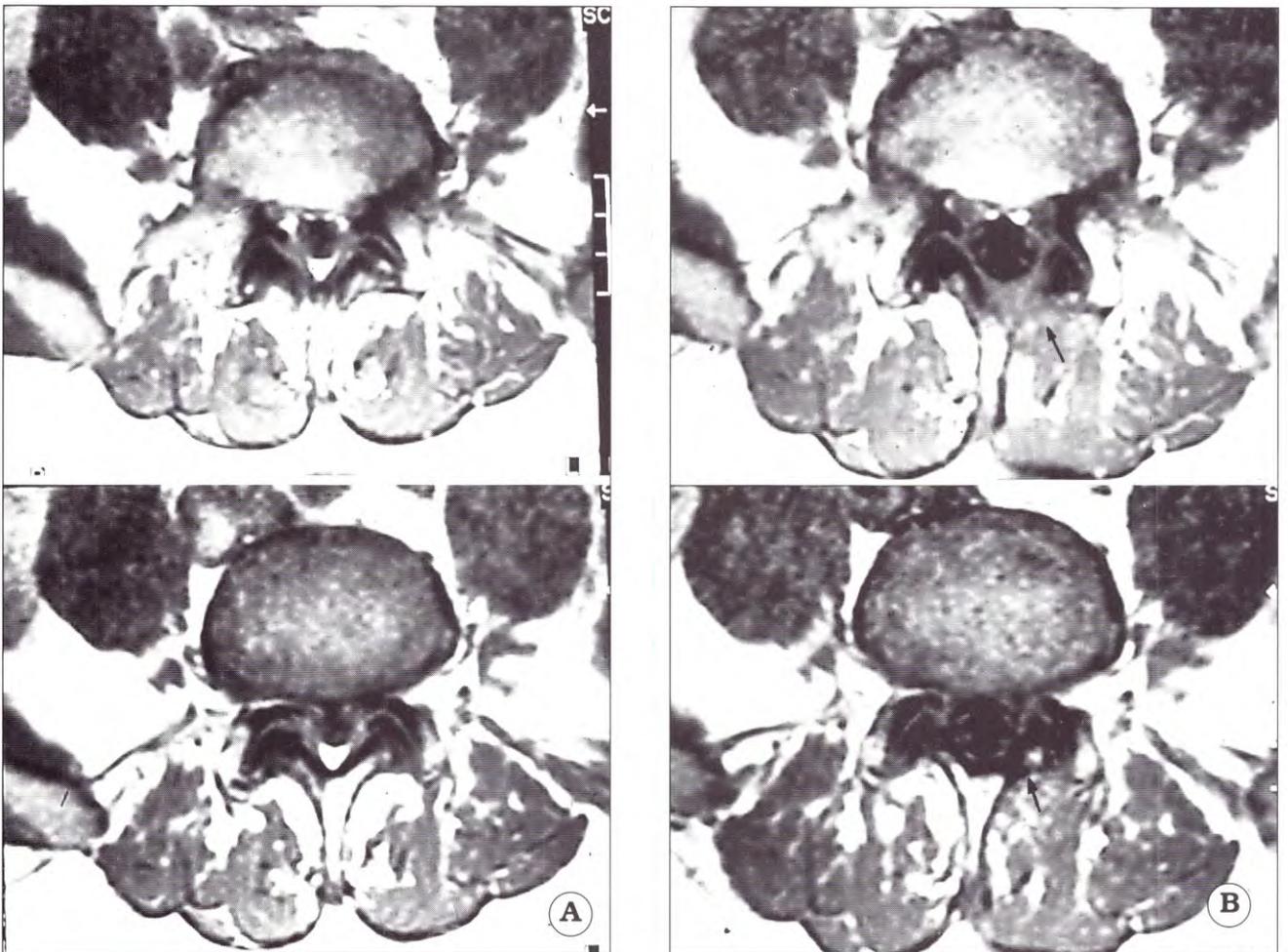


Fig 4. A. IRM preoperatoria axial ponderada en T1 que muestra una EL subarticular bilateral L4-L5. B. IRM postoperatoria axial ponderada en T1 que muestra la recuperación de la forma circular del saco dural luego de un **abordaje unilateral con descompresión bilateral**.

Tabla 1. Publicaciones sobre casos de estenosis lumbar operados con laminotomía

Autor/año	(n)	Seguimiento	Resultados
Lin ¹⁶ , 1982	1	18 meses	100% buenos
Senegas et al ³¹ , 1988	32	25 meses	88% buenos
Young et al ³⁸ , 1988	32	39,8 meses	66% buenos
Aryanpur & Ducker ^{2,3} , 1988 y 1990	32	1 a 3 años	90.6% buenos
Nakai et al ²³ , 1991	34	5,6 años	82% buenos
Postacchini et al ²⁸ , 1993	26	3,7 años	81% buenos
Caspar et al ⁵ , 1994	58	5 meses a 8 años	71% buenos
Poletti ²⁷ , 1995	2	5 /4 meses	100% buenos
Spetzger et al ³⁴ , 1997	29	18 meses	88% buenos
Thomas et al ³⁵ , 1997	26	36,7 meses	50% buenos
Sato & Kikuchi ³⁰ , 1997	81	4.6 años	100% buenos
Tsai et al ³⁶ , 1998	50	27 meses	68% buenos

casos, así lo señalan (Tabla 1). Sin embargo, en un estudio reciente²³ se observó que luego de un seguimiento promedio de 5 años en 13 (n:55) niveles operados aparecían cambios en la alineación de la columna y una disminución progresiva en la altura del espacio intervertebral y que 5 (n:34) casos presentaban síntomas de inestabilidad. Los autores consideraron que la resección del extremo inferior de las carillas articulares inferiores causaba una pérdida de su capacidad para soportar peso acelerando el proceso degenerativo. Para probar la hipótesis realizaron un estudio experimental²⁴ en material cadavérico y comprobaron que una laminotomía amplia y bilateral disminuía la rigidez de la unidad espinal en compresión y extensión. Por lo tanto recomendaron respetar el extremo inferior de las carillas articulares pues su contacto con la lámina jugaría un papel importante en la estabilización del segmento vertebral. En otro estudio experimental, realizado con material cadavérico fresco, se midió la estabilidad en siete columnas lumbares completas luego de efectuar múltiples fenestraciones (L1 a L5 bilateral). Los resultados demostraron que a nivel segmentario aumentaba la movilidad en flexión sagital pero no en flexión lateral y rotación axial (torsión). La rigidez medida en toda la columna lumbar bajo flexión sagital, flexión lateral y rotación axial, antes y después de efectuada las fenestraciones, no mostraba diferencias significativas. Los autores concluyeron que una laminotomía múltiple preservaba la estabilidad¹⁸.

Solamente dos estudios compararon los resultados entre la laminotomía y la laminectomía. En uno de ellos, con un seguimiento de 3,7 años

promedio, ninguno de los pacientes con laminotomía (n:26) mostró hiper movilidad postoperatoria o aumento de su escoliosis. En cambio, tres pacientes con laminectomía (n:32) desarrollaron una marcada inestabilidad vertebral²⁸. En el otro, con un seguimiento promedio de 36,7 meses, no se encontraron diferencias en la incidencia de hiper movilidad postoperatoria entre los pacientes con laminectomía (n:12) o laminotomía (n:14)³⁵. En ambos estudios los pacientes no fueron asignados en forma aleatoria a cada grupo de tratamiento por lo que los resultados podrían estar sesgados y no deberían ser tomados como definitivos.

La necesidad de respetar al máximo las estructuras del arco posterior ha llevado a desarrollar, en pacientes con síntomas bilaterales, abordajes unilaterales con descompresión bilateral^{33,34}. Gracias a las técnicas microquirúrgicas es posible, por debajo de las apófisis espinosas, descomprimir el lado contralateral del canal espinal. Tanto la porción hipertrofiada de las carillas articulares como el ligamento amarillo contralaterales pueden resecarse cómodamente. Así, no sólo se preservan al máximo las estructuras óseas (Fig. 5), sino también los tejidos blandos. Sólo se despegarían y retraerían los músculos paraespinales de un solo lado. El trauma quirúrgico y la posibilidad de generar dolor lumbar crónico serían mucho menores¹⁰. En los dos casos en que utilizamos este abordaje los resultados clínicos fueron excelentes y las imágenes mostraron que la descompresión fue adecuada (Figs. 3, 4 y 5).

En dos de nuestros casos los resultados fueron pobres. En uno el diagnóstico preoperatorio fue equivocado y por lo tanto el paciente no mejoró. En

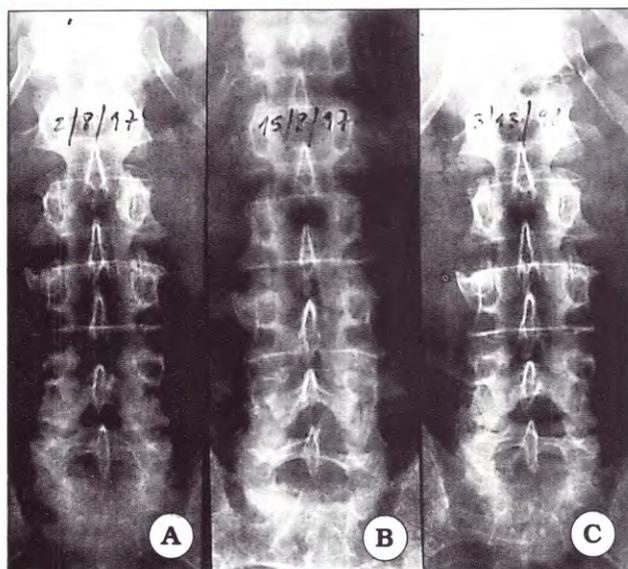


Fig 5. Rx simple pre (A) y postoperatorias inmediata (B) y al año (C) donde se aprecia el tamaño de la laminotomía luego de un **abordaje unilateral con descompresión bilateral (L4-L5)**.

el otro no evaluamos apropiadamente el sitio de la compresión radicular. Existía una escoliosis y el dolor radicular estaba del lado cóncavo de la misma. En estos casos el descenso del pedículo suele comprimir la raíz en el foramen y no sólo la hipertrofia articular en el receso lateral. Al ser la

descompresión incompleta los síntomas persistieron. En estas situaciones una laminotomía no alcanza, hay que reseca el pedículo, la descompresión debe ser mucho más amplia y entonces la necesidad de realizar una artrodesis y fijación debe ser considerada seriamente^{8,14}.

Hoy en día a través de la "medicina basada en la evidencia" se tratan de establecer pautas claras de tratamiento. Debemos reconocer que la bibliografía existente sobre los resultados obtenidos con los diversos tipos de cirugía en la EL no cumple con niveles de evidencia apropiados como para recomendar pautas definitivas de tratamiento. En una revisión reciente se observó que los pacientes mejoraban un 60-90% independientemente del tratamiento realizado²⁰. Por eso el tipo de tratamiento elegido dependerá más de una postura personal ante lo que representa la columna vertebral y lo que debería ser la cirugía, que a una evidencia objetiva de sus ventajas y desventajas.

CONCLUSIÓN

Una cirugía menos invasiva como la microlaminotomía lumbar es capaz de descomprimir adecuadamente las raíces lumbares y el saco dural, aliviar los síntomas compresivos y preservar la estabilidad espinal.

Referencias

- Adams MA, Hutton WC. The mechanical function of the lumbar apophyseal joints. **Spine** 8: 327-330, 1983.
- Aryanpur J, Ducker T. Multilevel lumbar laminotomies for focal spinal stenosis: case report. **Neurosurgery** 23: 111-115, 1988.
- Aryanpur J, Ducker T. Multilevel lumbar laminotomies: an alternative to laminectomy in the treatment of lumbar stenosis. **Neurosurgery** 26: 429-433, 1990.
- Bradford DS, Gottfried Y. Lumbar spine osteolysis: an entity caused by spinal instability. **Spine** 11: 1013-1019, 1986.
- Caspar W, Papavero L, Sayler MK, Harkey HL. Precise and limited decompression for lumbar spinal stenosis. **Acta Neurochir** (Wien) 131: 130-136, 1994.
- Cusik JF, Yoganandan N, Pintar FA, Reinartz JM. Biomechanics of sequential posterior lumbar surgical alterations. **J Neurosurg** 76: 805-811, 1992.
- Delarmater RB, McCulloch JA. Microdiscectomy and microsurgical spinal laminotomies. En *The Adult Spine: Principles and Practice*, 2nd edition, JW Frymoyer, Ed., Lippincott-Raven Pub., Philadelphia, 1997, chap. 91, pp. 1961-1988.
- diPierro C, Helm GA, Shaffrey CI, Chaddock JB, Henson SL, Malik JM, Szabo TA, Simmons EN, Jane JA. Treatment of lumbar spinal stenosis by extensive unilateral decompression and contralateral autologous bone fusion: operative technique and results. **J Neurosurg** 84: 166-173, 1996.
- Fox M, Onofrio BM, Hanssen AD. Clinical outcomes and radiological instability following decompressive lumbar laminectomy for degenerative spinal stenosis: a comparison of patients undergoing concomitant arthrodesis versus decompression alone. **J Neurosurg** 85: 793-802, 1996.
- Geijo R, Matsui H, Kawaguchi Y, Ishihara H, Tsuji H. Serial changes in trunk muscles performance after posterior lumbar surgery. **Spine** 24: 1.023-1.028, 1999.
- Goel VK, Fromknecht SJ, Nishiyama K, Weinstein J, Lin YK. The role of the lumbar spinal elements in flexion. **Spine** 10: 516-523, 1985.
- Hutton WC, Toribatake Y, Elmer WA, Ganey TM, Tomita K, Whitesides TE. The effect of compressive

- force applied to the intervertebral disc *in vivo*. A study of proteoglycans and collagen. **Spine** 23: 2.524-2.537, 1998.
13. Iida Y, Kataoka O, Sho T, Sumi M, Hirose T, Bessho Y, Kobayashi D. Postoperative lumbar spinal instability occurring or progressing secondary to laminectomy. **Spine** 15: 1.186-1.189, 1990.
 14. Jane JA, Jane JA Jr., Helm GA, Kallmes DF, Shaffrey CI, Chaddock JB, diPierro CG. Acquired lumbar spinal stenosis. **Clin Neurosurg** 43: 275-299, 1996
 15. Johnsson K-E, Willner S, Johnsson K. Postoperative instability after decompression for lumbar spinal stenosis. **Spine** 11: 107-110, 1986.
 16. Lin PM. Internal decompression for multiple levels of lumbar spinal stenosis: a technical note. **Neurosurgery** 11: 546-549, 1982.
 17. Lotz JC, Colliou OK, Chin JR, Duncan NA, Lieberberg E. Compression-induced degeneration of the intervertebral disc: an *in vivo* mouse model and finite-element study. **Spine** 23: 2493-2506, 1998.
 18. Lu W, Luk KDK, Ruan DK, Fei ZQ, Leong JCY. Stability of the whole lumbar spine after multilevel fenestration and discectomy. **Spine** 24: 1.277-1.282, 1999.
 19. McCulloch JA, Young PH. Microsurgery for lumbar spinal stenosis. En *Essentials of Spinal Microsurgery*, JA McCulloch & PH Young, Eds., Lippincott-Raven Pub., Philadelphia, 1998, chap. 23, pp. 453-486.
 20. McCulloch JA, Young PH. Microsurgery of the lumbar spine. A 10-year experience. En *Essentials of Spinal Microsurgery*, JA McCulloch & PH Young, Eds., Lippincott-Raven Pub., Philadelphia, 1998, chap. 25, pp. 493-501.
 21. Modic MT, Masaryk T, Boumpfrey F, Goormastic M, Bell G. Lumbar herniated disk disease and canal stenosis: prospective evaluation by surface coil MR, CT, and myelography. **AJR** 147:757-765, 1986.
 22. Mullin BB, Rea GL, Irsik R, Catton M, Miner ME. The effect of postlaminectomy spinal instability on the outcome of lumbar spinal stenosis patients. **J Spinal Disord** 9: 107-116, 1996.
 23. Nakai O, Ookawa A, Yamaura I. Long-term roentgenographic and functional changes in patients who were treated with wide fenestration for central lumbar stenosis. **J Bone Joint Surg** 73-A: 1.184-1.191, 1991.
 24. Okawa A, Shinomiya K, Takakuda K, Nakai O. A cadaveric study on the stability of lumbar segment after partial laminotomy and facetectomy with intact posterior elements. **J Spinal Disord** 9: 518-526, 1996.
 25. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. **J Spinal Disord** 5: 383-389, 1992.
 26. Pappas CTE, Sonntag VKH. Lumbar stenosis in the elderly. **Neurosurg Quarterly** 4: 102-112, 1994.
 27. Poletti CE. Central lumbar stenosis caused by ligamentum flavum: unilateral laminotomy for bilateral ligamentectomy: preliminary report of two cases. **Neurosurgery** 37: 343-347, 1995.
 28. Postacchini F, Cinotti G, Perugia D, Gumina S. The surgical treatment of central lumbar stenosis. Multiple laminotomy compared with total laminectomy. **J Bone Joint Surg** 75-B: 386-392, 1993.
 29. Ray CD. New techniques for decompression of lumbar spinal stenosis. **Neurosurgery** 10: 587-592, 1982.
 30. Sato K, Kikuchi S. Clinical analysis of two-level compression of the cauda equina and the nerve roots in lumbar spinal canal stenosis. **Spine** 22: 1.898-1.904, 1997.
 31. Senegas J, Etchevers JM, Vital D, Baulny D, Grenier F. Le recalibrage du canal lombaire, alternative à la laminectomie dans le traitement des sténoses du canal lombaire. **Rev Chir Orthop** 74: 15-22, 1988.
 32. Sihvonen T, Herno A, Paljarva L, Airaksinen O, Patanen J, Tapaninaho A. Local denervation atrophy of paraspinal muscles in postoperative failed back syndrome. **Spine** 18: 575-581, 1993.
 33. Spetzger U, Bertalanffy H, Naujokat C, von Keyserlingk DG, Gilsbach JM. Unilateral laminotomy for bilateral decompression of lumbar spinal stenosis. Part I: anatomical and surgical considerations. **Acta Neurochir** (Wien) 139: 392-396, 1997.
 34. Spetzger U, Bertalanffy H, Reinges MHT, Gilsbach JM. Unilateral laminotomy for bilateral decompression of lumbar spinal stenosis. Part II: clinical experiences. **Acta Neurochir** (Wien) 139: 397-403, 1997.
 35. Thomas NWM, Rea GL, Pikul BK, Mervis LJ, Irsik R, McGregor JM. Quantitative outcome and radiographic comparisons between laminectomy and laminotomy in the treatment of acquired lumbar stenosis. **Neurosurgery** 41: 567-575, 1997.
 36. Tsai RY-C, Yang R-S, Bray RS Jr. Microscopic laminotomies for degenerative lumbar spinal stenosis. **J Spinal Disord** 11: 389-394, 1998.
 37. Wharen RE Jr., Reimer R. Degenerative lumbar stenosis treated by decompression without fusion. **Tech Neurosurg** 2: 212-222, 1996.
 38. Young S, Veerapen R, O'Laoire SA. Relief of lumbar canal stenosis using multilevel subarticular fenestrations as an alternative to wide laminectomy: preliminary report. **Neurosurgery** 23: 628-633, 1988.