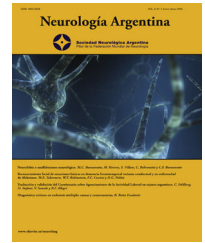




Sociedad Neurológica Argentina
Filiat de la Federaci3n Mundial
de Neurología

Neurología Argentina

www.elsevier.es/neurolarg



Revisi3n

Marcaci3n con ultrasonido para guiar la punci3n lumbar



Camilo Romero^a, Jorge Molinares^{a,*} y Jes3s Achury^b

^a Unidad Neurociencias, Fundaci3n Cardioinfantil, Universidad del Rosario, Bogot3 DC, Colombia

^b Clínicat el Lago, Bogot3 DC, Colombia

INFORMACI3N DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 3 de noviembre de 2022

Aceptado el 27 de marzo de 2023

On-line el 1 de mayo de 2023

Palabras clave:

Punci3n lumbar

Ultrasonido

R E S U M E N

Introducci3n: La punció lumbar (PL) es un procedimiento invasivo frecuentemente utilizado por neur3logos como herramienta diagn3stica y terapéutica. Sin embargo, por anatomía de superficie, ocasionalmente su realizaci3n puede ser difícil o incluso fallida. La PL guiada por ultrasonido (US) es una estrategia a pie de cama del paciente que facilita el procedimiento. **Objetivo:** Presentar una descripci3n de la técnica de PL guiada por US y caracterizar la utilidad que tiene su aplicaci3n en la pr3ctica médica y diferentes contextos clínicos.

Metodología: Descripci3n de la PL guiada por US basada en una revisi3n no sistemática de la literatura y la experiencia de los autores sobre la técnica.

Resultados: Se identificaron seis artículos para la descripci3n. La PL guiada por US es una técnica fácil, rápida y ampliamente disponible. En pacientes pediátricos y/o con anatomía difícil de la columna, la PL guiada por US reduce el número de intentos, el número de procedimientos fallidos y el número de procedimientos traumáticos.

Conclusiones: La PL guiada por US es una estrategia al alcance de los neur3logos sin contraindicaciones ni efectos adversos y con beneficio para los pacientes que son sometidos al procedimiento.

© 2023 Sociedad Neurológica Argentina. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Marking by ultrasound to guide lumbar puncture

A B S T R A C T

Introduction: Lumbar puncture (LP) is an invasive procedure frequently used by neurologists as a diagnostic and therapeutic tool. However, its performance is usually based on surface anatomy that can be difficult or end up with failed attempts. The ultrasound (US)-guided LP is a bedside strategy that facilitates this procedure.

Objective: To present a description of the US-guided LP technique and to characterize the usefulness of its application in medical practice and different clinical contexts.

Keywords:

Lumbar puncture

Ultrasound

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jorge.molinares@urosario.edu.co (J. Molinares).

<https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2023.03.005>

1853-0028/© 2023 Sociedad Neurológica Argentina. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Methods: A non-systematic review of the literature was conducted. The description of the US-guided LP was performed based on this results and the experience of authors on the technique.

Results: Six articles were identified for the description. The US-guided PL is an easy, fast and very available technique. In pediatric patients and/or with a difficult spine anatomy, US-guided LP reduces the number of attempts, the number of failed procedures and the number of traumatic procedures.

Conclusions: US-guided LP is a strategy within the reach of neurologists with no contraindications or side effects and with clear benefits for patients who undergo to the procedure.

© 2023 Sociedad Neurológica Argentina. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La punción lumbar (PL) es un procedimiento invasivo ampliamente utilizado por neurólogos: por un lado, como herramienta diagnóstica para el estudio de una variedad de patologías infecciosas y no infecciosas, mediante la obtención de líquido cefalorraquídeo (LCR), y por otro, como herramienta terapéutica para manejo de los cambios de presión intracraneal e infusión de medicamentos¹⁻⁵. La PL se lleva a cabo usualmente en la línea media de la columna vertebral, entre las apófisis espinosas lumbares (L) de L3 a L5, y se guía por anatomía de superficie⁶. En el primer intento el porcentaje de éxito del procedimiento es de aproximadamente 80%⁷, pero puede ser menor si hay aumento de los tejidos blandos en la región lumbar o cambios anatómicos de la columna.

En pacientes obesos o con sobrepeso puede ser difícil la identificación de las apófisis espinosas vertebrales por palpación o inspección visual^{8,9}. En pacientes de edad avanzada o con patologías de la columna vertebral se dificulta la identificación de la línea media o del espacio interespinoso. Para sortear estas dificultades se han incorporado técnicas de imagen que aumentan la tasa de éxito de la PL y reducen el número de intentos, las molestias del paciente y el tiempo del procedimiento^{7,10}.

La PL guiada por fluoroscopia o por ultrasonido (US) es la ayuda radiológica más frecuentemente utilizada¹¹. La PL guiada por US tiene la ventaja de que se puede efectuar al lado de la cama del paciente, no requiere equipos de alta tecnología ni radiación, ni entrenamiento especializado¹². Adicionalmente permite la visualización de las estructuras anatómicas superficiales y profundas de la columna vertebral, con identificación de la ruta para la aguja y la profundidad de su inserción¹³. La PL guiada por US se puede realizar con marcación estática previa al procedimiento o bajo guía dinámica durante el mismo¹⁴, y puede ser útil para la realización de la PL en el primer intento o en procedimientos fallidos previamente. A través de una revisión de la literatura se busca describir la técnica de PL guiada por US con marcación estática, previa a la introducción de la aguja y caracterizar la utilidad del procedimiento en la práctica clínica.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo una búsqueda avanzada en PubMed con el campo *MeSH Major Topic* y los términos: *lumbar puncture* y *ultrasound*, filtros para artículos de revisión, en inglés o español, y en humanos. Se obtuvieron seis artículos, que una vez revisados y en conjunto con la experiencia clínica de los autores, fueron utilizados para una descripción narrativa sobre la punción lumbar guiada por ultrasonido^{12,15-18}.

La punción lumbar

Las indicaciones (y contraindicaciones) de la PL no hacen parte de esta descripción y no serán discutidas; sin embargo, cabe anotar que no encontramos contraindicaciones en el uso del US para guiar la PL. Las indicaciones para la PL guiada por US varían de acuerdo con los autores consultados e incluyen: intentos fallidos, sospecha de anatomía espinal difícil, paciente pediátrico, obesidad y asistencia para clínicos con baja experiencia en la ejecución de PL^{9,19,20}. La PL se realiza en los espacios interespinosos (línea media) o interlaminares (paramediana) entre la segunda vértebra lumbar (L2) a la quinta vértebra lumbar (L5). Aproximadamente en 84% de los adultos, la médula espinal termina entre L1 y L2²¹. Las apófisis espinosas de L2, L3 y L4 son las más superficiales y los espacios interespinosos de L2-L3 y L3-L4 son los más amplios. La PL usualmente se realiza en estos dos últimos espacios vía línea media trazando una línea imaginaria entre ambas crestas ilíacas posterosuperiores, sitio que corresponde aproximadamente a L4. Por línea media, la aguja debe penetrar piel, tejido celular subcutáneo, ligamento supraespinoso, ligamento interespinoso, ligamento amarillo y meninges (figs. 1 y 2).

Técnica de marcación por ultrasonido para realización de la punción lumbar

Aunque la PL guiada por US puede realizarse de manera dinámica y en tiempo real por vía paramediana²², requiere más experticia y no es el objetivo de este artículo. Se describe la PL guiada por US con marcación estática del sitio de entrada de

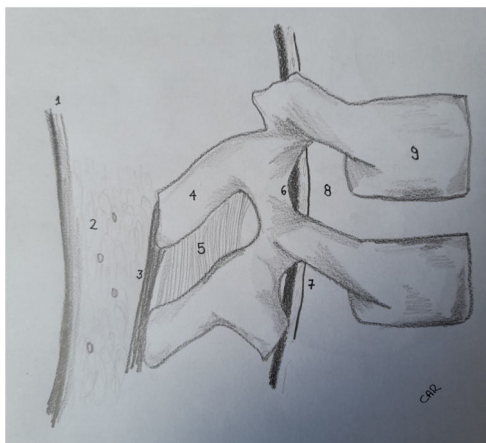


Figura 1 – Anatomía de vértebra lumbar en cara lateral
 1. Piel. 2. Tejido celular subcutáneo 3. Ligamento supraespinoso 4. Apófisis espinosa. 5. Ligamento interespinoso. 6. Ligamento amarillo. 7. Meninges. 8. Espacio subaracnoideo. 9. Cuerpo vertebral.

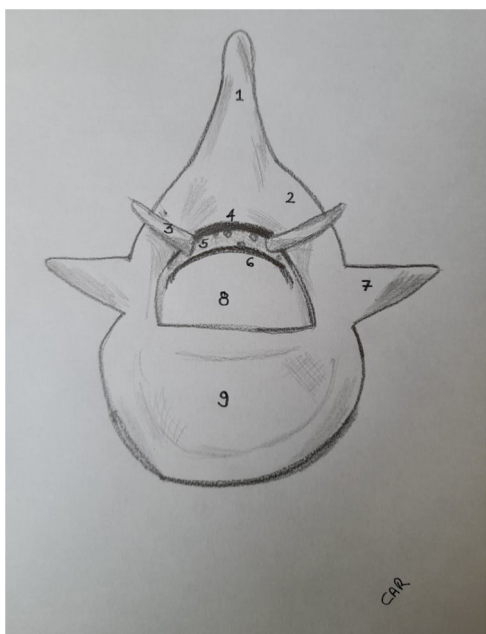


Figura 2 – Anatomía de vértebra lumbar plano transversal
 1. Apófisis espinosa. 2. Lámina vertebral 3. Apófisis articular. 4. Ligamento amarillo 5. Espacio epidural. 6. Meninges. 7. Apófisis transversa. 8. Foramen vertebral. 9. Cuerpo vertebral.

la aguja de PL y de la profundidad aproximada de penetración. Para la adecuada visualización de estructuras espinales sugerimos el uso de un transductor curvilíneo de alta frecuencia y en el caso de pacientes obesos, uno de baja frecuencia puede permitir mayor profundidad. En caso de no disponibilidad de un transductor curvilíneo, uno lineal puede generar imágenes apropiadas (fig. 3).

La marcación por US para la PL se inicia con la colocación del paciente en decúbito lateral o en posición sedente, en una superficie firme, con los hombros paralelos a la cadera y en el



Figura 3 – Transductores ecográficos
 En la foto se observa transductor recto (A) y transductor curvilíneo (B).

caso de decúbito, con los hombros y cadera perpendiculares a la superficie. La PL se efectúa en la misma posición en la que se hace la marcación por US, con la que se tenga más experiencia e inmediatamente después de la marcación. Para la marcación de la línea media, se sugiere iniciar el barrido ascendente en el plano transversal al sacro inmediatamente por encima de la terminación del pliegue interglúteo. El hueso sacro se identifica por el aspecto hiperecoico y rugoso de sus huesos fusionados. Las apófisis espinosas corresponden a las estructuras por encima del sacro, de borde hiperecoico, superficiales y con una sombra hipoecoica posterior. La apófisis espinosa de L5 es la más profunda de la región lumbar debido a la lordosis fisiológica de este segmento. Se desliza el transductor hasta identificar la apófisis espinosa de L3 o L4, ubicándola en el centro de la pantalla. Del punto medio del transductor, con un lápiz quirúrgico, se trazan dos líneas perpendiculares partiendo de sus bordes. Esta primera línea corresponde a la línea media de la columna (fig. 4).

Se procede luego a rotar el transductor 90° sin deslizarlo, ubicándolo sobre la línea media trazada previamente. En el plano longitudinal, las apófisis espinosas aparecen rectangulares con su borde superficial hiperecoico y su sombra hipoecoica posterior. Se desliza el transductor sobre la línea media, identificando el espacio interespinoso más amplio (L2-L3, L3-L4 o L4-L5). Se ubica el espacio seleccionado en el centro de la pantalla y se trazan dos líneas perpendiculares al punto medio del transductor desde sus bordes (fig. 5A). Esta segunda línea corresponde al espacio interespinoso seleccionado y la intersección de la primera con la segunda línea, al sitio de entrada de la aguja para la PL (fig. 5C). La profundidad del saco dural se puede medir usando como referencia el ligamento amarillo. Este ligamento, que está a 1-2 mm superficial al saco dural corresponde a una línea hiperecoica en la profundidad

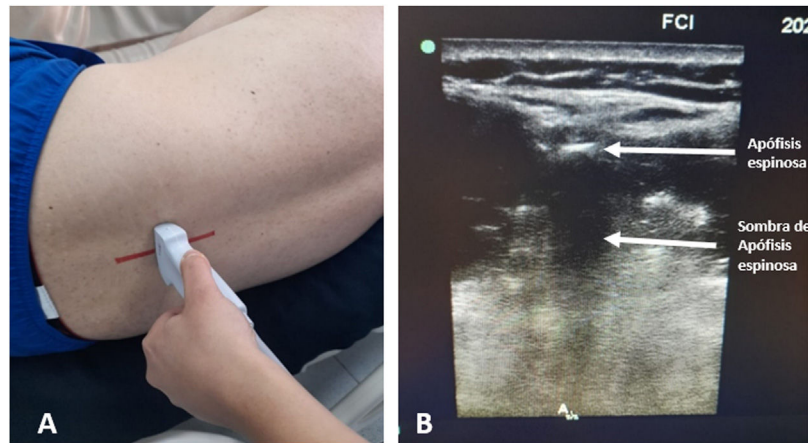


Figura 4 – Marcación en plano transversal

Imagen del plano transversal de la columna con transductor lineal de alta frecuencia (A). Colocación del transductor en plano transversal con marcación de línea perpendicular (B). Localización de la apófisis espinosa, identificada como la zona hiperecogénica señalada con la flecha.

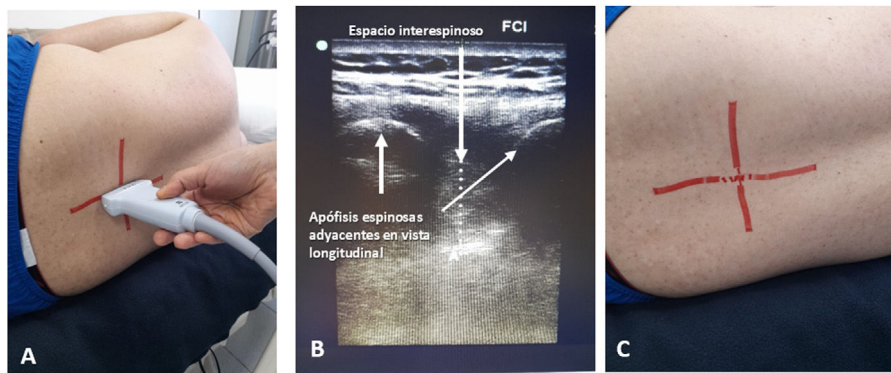


Figura 5 – Marcación en plano longitudinal.

A) transductor rotado 90° para quedar longitudinal a la línea media. B) localización de las apófisis espinosas y del espacio interespinal. C) Marcación finalizada, el lugar de inserción de la aguja deberá estar en el sitio en que se cruzan ambas líneas.

de la sombra hipocóica de las apófisis espinosas (fig. 5B). La distancia de la piel al ligamento amarillo puede variar, aproximadamente, entre 4,4 cm en pacientes con índice de masa corporal (IMC) < 25 a más o menos 6,4 cm en pacientes con IMC > 30⁸. Una vez marcado el punto de entrada de la aguja y medida la profundidad aproximada del saco dural, la técnica de PL es la misma que la usada con guía de anatomía de superficie. Durante la realización del procedimiento pueden requerirse pequeños ajustes de alineación de la aguja.

Para la técnica de PL guiada por US vía paramediana recomendamos iniciar el barrido de US en el plano transversal al sacro, identificando la línea media con las apófisis espinosas. Se desplaza el transductor a la derecha del paciente para identificar las láminas. Estas aparecen como imágenes hiperecóicas en forma de vela o sierra, a mayor profundidad que las apófisis espinosas y en el plano inferior a los músculos paravertebrales, que corresponden a las imágenes estriadas superficiales. Se puede desplazar el transductor en el plano

vertical y horizontal para identificar las láminas de las vertebrales adyacentes, las apófisis espinosas y los músculos paravertebrales. La lámina se ubica en el centro de la pantalla y con el lápiz quirúrgico se dibujan las dos líneas perpendiculares al punto medio del transductor partiendo de sus bordes. Se gira el transductor 90° sobre la línea paramediana dibujada anteriormente para identificar el espacio interlaminar. Se identifica el espacio interlaminar más amplio entre L2 a L5, se ubica el espacio seleccionado en el centro de la pantalla y con el lápiz quirúrgico, se dibujan las dos líneas perpendiculares al punto medio del transductor partiendo de sus bordes. La intersección de las dos líneas corresponde al sitio de entrada de la aguja para la PL. La profundidad del saco dural se puede medir usando como referencia el ligamento amarillo, que corresponde a la línea hiperecóica próxima a las láminas y que es de más fácil identificación en el plano paramediano (fig. 6). Se recomienda dirigir la aguja 15° hacia la línea media y seguir la técnica usual para PL.

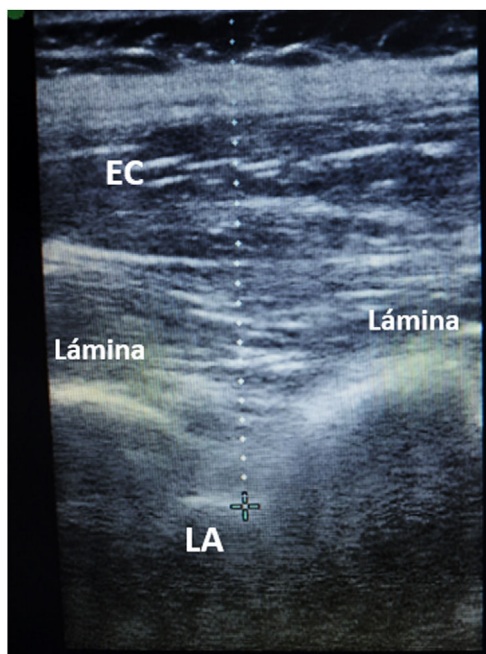


Figura 6 – Medición de la profundidad del ligamento amarillo.
El ligamento amarillo (LA) se visualiza mejor entre las láminas en un plano longitudinal y se puede medir la distancia entre este y la piel (línea vertical). EC: músculos rectores de la columna.

Utilidad de la punción lumbar guiada por ecografía

El procedimiento de la PL guiada por US ha demostrado su utilidad para disminuir procedimientos fallidos y traumáticos. Una revisión sistemática y meta-análisis (14 estudios con 1.334 pacientes), comparando la PL o cateterización epidural guiada por anatomía de superficie contra la PL guiada por US, mostró con esta última una reducción del riesgo de procedimientos fallidos (riesgo relativo [RR] 0,21; intervalo de confianza [IC] 95% 0,10-0,43; $p < 0,001$); reducción de procedimientos traumáticos (RR 0,27; IC 95% 0,11-0,67; $p = 0,005$); disminución del número de intentos de inserción (diferencia media -0,44; IC 95% -0,64 a -0,24; $p < 0,001$) y del número de redireccionamientos de la aguja (diferencia media -1,00; IC 95% -1,24 a -0,75; $p < 0,001$)²³.

El beneficio de la PL guiada por US en pacientes con sobrepeso u obesidad ha mostrado una tasa de éxito hasta de 92%²⁴, lo que equivale hasta 2,3 veces menos procedimientos fallidos en comparación con la PL guiada por anatomía de superficie²⁵.

Ventajas adicionales de la PL guiada por US en una revisión sistemática fueron la disminución en el tiempo usado para un procedimiento exitoso (aproximadamente dos minutos) y la disminución en la percepción del dolor asociado al procedimiento medido en la escala análoga visual (3,75 vs. 6,31)¹⁰. Esto último, en probable relación con una disminución del número de intentos de la PL o redireccionamientos de la aguja con

menor cefalea y dolor lumbar pospunción (RR = 0,63, IC 95% 0,46 a 0,85, $p = 0,003$)²⁶.

En la población pediátrica, la PL guiada por US para estudio de neuroinfección y administración de medicamentos intratecales ha mostrado ser efectiva y segura, con el principal beneficio de evitar la exposición a radiación ionizante asociada al uso del fluoroscopio¹⁶. En la población pediátrica, el US permite una más fácil visualización e identificación de las estructuras anatómicas que en el adulto. El cono medular puede ser fácilmente visible hasta los 10 años de edad, permitiendo una PL más segura²⁷. En población pediátrica, la PL guiada por US comparada con la PL guiada por anatomía de superficie es más efectiva para obtener LCR (100 vs. 82%, $p = 0,02$) y evitar punciones traumáticas (conteo hematíes > 10.000), facilitando la interpretación citoquímica del LCR (95 vs. 68%, $p = 0,04$) y disminuyendo el requerimiento de otras técnicas (1,5% únicamente requiriendo fluoroscopia)^{27,28}. Otros autores han mostrado un aumento significativo en el número de PL exitosas en el primer intento²⁹, con mayor beneficio en aquellas realizadas por clínicos con menor entrenamiento y en infantes menores de seis meses (57,5 vs. 31,3%)³⁰. No obstante, en la población pediátrica no todos los estudios mostraron los beneficios descritos^{31,32}.

La heterogeneidad de las poblaciones estudiadas (obesos, edad media o pediátricos), los diferentes escenarios en los que se realiza la PL guiada por US (sala de emergencia, hospitalización o cuidado intensivo) y la experticia variable de los clínicos en el procedimiento son algunas factores que podrían limitar la generalización de los resultados obtenidos en los estudios con respecto a la utilidad del procedimiento. Sin embargo, como resultado de esta investigación describimos una técnica relativamente sencilla que puede ser aplicada diariamente en la práctica clínica, que consideramos no conlleva a eventos adversos adicionales al paciente, que tiene un beneficio en los escenarios donde la anatomía es difícil como previamente se ha descrito, disminuyendo complicaciones y que requiere una pequeña y rápida curva de aprendizaje; especialmente para los clínicos no radiólogos con poca o ninguna experticia como lo demuestran algunos estudios a través de entrenamientos por simulación virtual o presencial^{33,34}.

Consideramos que futuras investigaciones sobre el tema deberían enfocarse en aspectos como costo-efectividad de la PL guiada por US, comparación entre la marcación dinámica y estática con US, utilidad en diferentes contextos clínicos (pacientes con hematomas lumbares, con instrumentación quirúrgica lumbar, con dolor intenso, con discrasias sanguíneas) y en diferentes grupos poblacionales (embarazadas, adultos jóvenes no obesos, ancianos y mayores de edad de larga vida).

Conclusión

La punción guiada por US es ampliamente disponible y es una técnica de fácil y rápida adquisición. Es una técnica que ofrece beneficios para el clínico y los pacientes, disminuyendo el número de intentos fallidos y el número de punciones traumáticas. Los neurólogos deberían conocer y aplicar la PL guiada por US en pacientes en los que se sospeche una anatomía difícil.

Financiación

Este trabajo no ha recibido ningún tipo de financiación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

- Gorelick PB, Biller J. Lumbar puncture, Technique, indications, and complications. *Postgrad Med.* 1986;79:257-68, <http://dx.doi.org/10.1080/00325481.1986.11699436>.
- Vermeulen M, van Gijn J. The diagnosis of subarachnoid haemorrhage. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1990;53:365-72, <http://dx.doi.org/10.1136/jnnp.53.5.365>.
- Nayar G, Ejikeme T, Chongsathidkiet P, Elsamacidy AA, Blackwell KL, Clarke JM, et al. Leptomenigeal disease: current diagnostic and therapeutic strategies. *Oncotarget.* 2017;8:73312-28.
- Grommes C, Rubenstein JL, DeAngelis LM, Ferreri AJM, Batchelor TT. Comprehensive approach to diagnosis and treatment of newly diagnosed primary CNS lymphoma. *Neuro Oncol.* 2019;21:296-305, <http://dx.doi.org/10.1093/neuonc/noy192>.
- Blinder T, Lewerenz J. Cerebrospinal Fluid Findings in Patients With Autoimmune Encephalitis-A Systematic Analysis. *Front Neurol.* 2019;10:804, <http://dx.doi.org/10.3389/fneur.2019.00804>.
- Tumani H, Petereit HF, Gerritzen A, Gross CC, Huss A, Isenmann S, et al. S1 guidelines "lumbar puncture and cerebrospinal fluid analysis" (abridged and translated version). *Neurol Res Pract.* 2020;2:8.
- Shu L, Huang J, Liu JC. Efficacy of ultrasound guidance for lumbar punctures: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Postgrad Med J.* 2021;97:40-7.
- Stiffler KA, Jwayyed S, Wilber ST, Robinson A. The use of ultrasound to identify pertinent landmarks for lumbar puncture. *Am J Emerg Med.* 2007;25:331-4.
- Stony R. Ultrasound-assisted lumbar puncture in obese patients. *Crit Care Clin.* 2010;26:661-4.
- Gottlieb M, Holladay D, Peksa GD. Ultrasound-assisted lumbar punctures: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med.* 2019;26:85-96, <http://dx.doi.org/10.1111/acem.13558>.
- Özütemiz C, Rykken JB. Lumbar puncture under fluoroscopy guidance: a technical review for radiologists. *Diagn Interv Radiol.* 2019;25:144-56.
- Brousseau AA, Parent MC. Towards evidence based emergency medicine: Best BETs from the Manchester Royal Infirmary. BET 3: Advantages of ultrasound-assisted lumbar puncture. *Emerg Med J.* 2016;33:163-5, <http://dx.doi.org/10.1136/emered-2016-205681.3>.
- McHardy PG, Schnobrich DJ, Tierney DM, Soni NJ. Punción lumbar. En: Soni NJ, Arntfield R, Kory P, editores. *Ecografía a pie de cama, fundamentos de la ecografía clínica.* 2 a ed Elsevier: Barcelona; 2020.
- Soni NJ, Franco-Sadud R, Kobaidze K, Schnobrich D, Salame G, Lenchus J, et al. Recommendations on the Use of Ultrasound Guidance for Adult Lumbar Puncture: A Position Statement of the Society of Hospital Medicine. *J Hosp Med.* 2019;14:591-601.
- Millington SJ, Silva Restrepo M, Koenig S. Better With Ultrasound: Lumbar Puncture. *Chest.* 2018;154:1223-9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chest.2018.07.010>.
- Muthusami P, Robinson AJ, Shroff MM. Ultrasound guidance for difficult lumbar puncture in children: Pearls and pitfalls. *Pediatr Radiol.* 2017;47:822-30, <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-017-3794-0>.
- Cummings T, Jones JS. Towards evidence based emergency medicine: best BETs from the Manchester Royal Infirmary. Use of ultrasonography for lumbar puncture. *Emerg Med J.* 2007;24:492-3, <http://dx.doi.org/10.1136/emj.2007.050518>.
- Lin S. Procedural ultrasound in pediatric patients: techniques and tips for accuracy and safety. *Pediatr Emerg Med Pract.* 2016;13:1-38, quiz 24-5.
- Leviter J, Kadan-Lottick NS, Auerbach C, Riera AJ. Ultrasound-assisted Lumbar Puncture for Obese Pediatric Oncology Patients: A Feasibility Study. *Pediatr Hematol Oncol.* 2022;44:438-41, <http://dx.doi.org/10.1097/MPH.0000000000002362>.
- Shah KH, Richard KM, Nicholas S, Edlow JA. Incidence of traumatic lumbar puncture. *Acad Emerg Med.* 2003;10:151-4.
- Liu A, Yang K, Wang D, Li C, Ren Z, Yan S, et al. Level of conus medullaris termination in adult population analyzed by kinetic magnetic resonance imaging. *Surg Radiol Anat.* 2017;39:759-65, <http://dx.doi.org/10.1007/s00276-017-1813-3>.
- Williams S, Khalil M, Weerasinghe A, Sharma A, Davey R. How to do it: bedside ultrasound to assist lumbar puncture. *Pract Neurol.* 2017;17:47-50, <http://dx.doi.org/10.1136/practneurol-2016-001463>.
- Shaikh F, Brzezinski J, Alexander S, Arzola C, Carvalho JCA, Beyene J, et al. Ultrasound imaging for lumbar punctures and epidural catheterisations: systematic review and meta-analysis. *BMJ.* 2013;346:f1720, <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.f1720>.
- Ferre R, Sweeney TW, Strout TD. Ultrasound identification of landmarks preceding lumbar puncture: a pilot study. *Emerg Med J.* 2009;26:276-7.
- Nomura J, Leech SJ, Shenbagamurthi S, Sierzenski PR, O'Connor RE, Bollinger M, et al. A randomized control study of ultrasound-assisted lumbar puncture. *J Ultrasound Med.* 2007;26:1341-8.
- Shu L, Huang J, Liu JC. Efficacy of ultrasound guidance for lumbar punctures: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Postgrad Med J.* 2021;97:40-7, <http://dx.doi.org/10.1136/postgradmedj-2020-138238>.
- Wang PI, Wang AC, Naidu JO, DiPietro MA, Sundgren PC, Quint DJ, et al. Sonographically guided lumbar puncture in pediatric patients. *J Ultrasound Med.* 2013;32:2191-7.
- Pierce DB, Shivaram G, Koo KS, Shaw DW, Meyer KF, Monroe EJ. Ultrasound-guided lumbar puncture in pediatric patients: Technical success and safety. *Pediatr Radiol.* 2018;48:875-81.
- Gorn M, Kunkov S, Crain EF. Prospective investigation of a novel ultrasound-assisted lumbar puncture technique on infants in the Pediatric Emergency Department. *Acad Emerg Med.* 2017;24:6-12.
- Neal JT, Kaplan SL, Woodford AL, Desai K, Zorc JJ, Chen AE. The effect of bedside ultrasonographic skin marking on infant lumbar puncture success: A randomized controlled trial. *Ann Emerg Med.* 2017;69:610-9.
- Zummer J, Desjardins MP, Séguin J, Roy M, Gravel J. Emergency physician performed ultrasound-assisted lumbar puncture in children: A randomized controlled trial. *Am J Emerg Med.* 2021;43:158-63.
- Grady M, Runyon M, Weekes A, Hogg M, Chaudoin L. Comparison of ultrasound-marked versus standard lumbar

-
- puncture success in infants. *Pediatr Emerg Care.* 2020;38:e121-5.
33. Ferre RM, Sweeney TW. Emergency physicians can easily obtain ultrasound images of anatomical landmarks relevant to lumbar puncture. *Am J Emerg Med.* 2007;25:291-6.
34. Barsuk JH, Cohen ER, Caprio T, McGaghie WC, Simuni T, Wayne DB. Simulation-based education with mastery learning improves residents' lumbar puncture skills. *Neurology.* 2012;79:132-7.