

UNIVERSIDAD DE LEÓN

INSTITUTO DE BIOMEDICINA



Nuevas aplicaciones de la ecografía en cuidados intensivos neonatales y pediátricos

Autora: Paula Alonso Quintela

Director: Santiago Lapeña López de Armentia

León, 2.016

Agradecimientos

La presentación de este trabajo de tesis surge del apoyo fundamental de varias personas.

Primero agradecer a mis padres y hermanas toda la ayuda prestada sin ellos no habría podido iniciar mis estudios ni mi formación especializada. Gracias por estar ahí siempre.

En segundo lugar a mi Director Santiago Lapeña López de Armentia, Jefe de Servicio de Pediatría del Complejo Asistencial Universitario de León, y a mi tutor Javier González Gallego, Director del Instituto de Biomedicina de la Universidad de León por sus sabios consejos durante la preparación de este proyecto.

Gracias a todos aquellos que han colaborado directa o indirectamente durante la realización de estos estudios.

Por último quiero agradecer a Silvia e Iñaki haberme iniciado y formado en el uso de la ecografía durante todos estos años. Desde mi llegada a León he admirado vuestra destreza con la ecografía. Gracias a vosotros hoy aprecio esta técnica e intento integrar su utilidad y manejo en mis pacientes.

Gracias porque sin duda tu apoyo y trabajo me han hecho llegar a donde estoy.

A mis padres y a ti

Parte de los resultados expuestos en la presente memoria han dado lugar a las siguientes comunicaciones a congresos:

NACIONALES:

- **“Comprobación de la intubación endotraqueal mediante métodos no invasivos”**. Mora Matilla M, Alonso Quintela P, Gautreaux Minaya S, Oulego Erroz I, Mata Zubillaga D, Rodríguez Blanco S. Reunión de Primavera de la SCCALP. Segovia 23-24 de marzo de 2012. Póster. Publicado en: Bol Pediatr 2012;51 (220):86-105.
- **“Confirmación de la posición del tubo endotraqueal por ecografía en la intubación urgente de un recién nacido pretérmino”**. Alonso Quintela P, Oulego Erroz I, Rodríguez Blanco S, Mata Zubillaga D, Fernández Miaja M. 61º Congreso de la Asociación Española de Pediatría. Granada 31 de Mayo- 2 Junio de 2012. Póster.
- **“Utilidad de la ecografía en la comprobación de la intubación traqueal en pediatría: comparación con la radiografía y la capnografía”**. Mora Matilla M, Alonso Quintela P, Gautreaux Minaya S, Rodríguez Blanco S, Mata Zubillaga D, Oulego Erroz I. XXV Memorial Guillermo Arce y Ernesto Sánchez-Villares. Santander 26 y 27 de octubre de 2012. Comunicación. Publicado en: Bol Pediatr 2012;52 (222):225-243.
- **“Ecografía versus radiografía en la localización de catéteres venosos centrales”**. Alonso Quintela P, Oulego Erroz I, Rodríguez Blanco S, Iglesias Blázquez C, Ferrero de la Mano L. Reunión de primavera de la SCCALP. Ávila 25

y 26 de Abril de 2014. Comunicación. Publicado en: Bol Pediatr 2014;54 (228):88-131.

- **“¿Conocemos la posición idónea para la realización de la punción lumbar en neonatos?”**. Alonso Quintela P, Mora Matilla M, Oulego Erroz I, Rodríguez Blanco S, Mata Zubillaga D, Fernández Calvo F, Lapeña López de Armentia S. Reunión de primavera de la SCCALP. Ávila 25 y 26 de Abril de 2014. Comunicación. Publicado en: Bol Pediatr 2014;54 (228):88-131.
- **“Utilidad de la ecografía comparada con la capnografía y la radiografía en la intubación traqueal en niños y neonatos”**. Mora Matilla M, Alonso Quintela P, Oulego Erroz I, García Esgueva L, López Blanco G, Rodríguez Blanco S. Congreso extraordinario de la Asociación Española de Pediatría 6 al 8 de Junio de 2014.
- **“Posición del paciente y técnica de inserción de la aguja para la punción lumbar en neonatos: Evaluación mediante ecografía”**. Oulego Erroz I, Mora Matilla M, Alonso Quintela P, Rodríguez Blanco S, López Blanco G, Mata Zubillaga D. Congreso extraordinario de la Asociación Española de Pediatría 6 al 8 de Junio de 2014.
- **“Comparación de la ecografía con la radiografía de tórax para la localización de catéteres venosos centrales”**. Alonso Quintela P, Mora Matilla M, Oulego Erroz I, López Blanco G, Fernández Miaja M, Rodríguez Blanco S. Congreso extraordinario de la Asociación Española de Pediatría 6 al 8 de Junio de 2014.

INTERNACIONALES

- **“Performing a lumbar puncture in neonates: do we know the ideal position?”**. M. Mora Matilla, P. Alonso Quintela, S Rodríguez Blanco, I. Oulego Erroz. 24th Annual meeting of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care. Junio 12-15 de 2013, Rotterdam, Holanda. Publicado en: Intensive Care Medicine 2013; vol 39 suppl 1.

- **“Ultrasound for verification of endotracheal tube position and depth of insertion: comparison to capnography and chest x-ray”**. P. Alonso Quintela, M. Mora Matilla, I. Oulego Erroz, S. Rodríguez Blanco. 24th Annual meeting of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care. Junio 12-15 de 2013, Rotterdam, Holanda. Publicado en: Intensive Care Medicine 2013; vol 39 suppl 1.

Abreviaturas

2D	Dos dimensiones.
ABIM	American Board of Internal Medicine (Junta Americana de Medicina Interna).
ACEP	American College of Emergency Physicians (Colegio Americano de Médicos de Urgencias).
APA	Angulo de Penetración de la Aguja.
BLUE	Bedside Lung Ultrasound in Emergency (ecografía de pulmón a pie de cama en urgencias).
CAUSE	Cardiac Arrest Ultrasound Examination (examen ecográfico en parada cardíaca).
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure (presión positiva continua en la vía aérea).
DIE	Distancia Interespinosa.
DII	Distancia Interespinosa Interna
EAP	Edema Agudo Pulmonar.
ESA	Espacio Sub-Aracnoideo.
FALLS	Fluid Administration Limited by Ultrasound Sonography (administración de líquidos limitada por ecografía).
FAST	Focusses Assesment with Sonography for Trauma (evaluación de un traumatismo basado en la ecografía).
FC	Frecuencia cardíaca.
FEER	Focused Ecocardiographic Evaluation in Resuscitation (evaluación de reanimación centrada en ecocardiografía).
IC 95%	Intervalo de Confianza del 95%.
PIA	Profundidad de Inserción de la Aguja.
PIC	Presión Intracraneal.
PEEP	Positive End-Expiratory Pressure (presión espiratoria al final de la espiración).
PVC	Presión Venosa Central.
RIQ	Rango Intercuartil.
SDR	Síndrome de Distrés Respiratorio.
SDRA	Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo.
SECIP	Sociedad Española de Cuidados Intensivos Pediátricos.

SEMICYUC	Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias.
SO	Saturación de Oxígeno.
TAC	Tomografía Axial Computerizada.
TCE	Traumatismo Craneoencefálico.
TET	Tubo Endo-Traqueal.
UCI	Unidad de Cuidados Intensivos.
UCIN	Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales.
UCIP	Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos.
VCS	Vena Cava Superior.
VD	Ventrículo Derecho.
VI	Ventrículo Izquierdo.
VYI	Vena Yugular Interna.
VCI	Vena Cava Inferior.
VI	Ventrículo izquierdo.

Índice

HIPOTESIS Y OBJETIVOS	11
INTRODUCCIÓN	16
Historia de la ecografía en medicina de urgencias y cuidados críticos.	16
La ecografía en medicina de urgencias y cuidados críticos: ¿en qué momento nos encontramos?.	20
Situación de la ecografía en pediatría y neonatología.	21
La ecografía en la formación médica: últimos avances.	22
Aplicaciones de la ecografía en medicina de emergencias y cuidados críticos: la ecografía clínica integrada en el ABCDE.	25
A: La ecografía en la valoración de la vía aérea.	26
B: La ecografía en la valoración respiratoria.	31
<i>B. 1: Aplicación de la ecografía en la patología pulmonar.</i>	31
<i>B.2. La ecografía en la valoración de la mecánica respiratoria.</i>	36
C: Papel de la ecografía en la estabilización y evaluación cardiocirculatoria o hemodinámica.	39
D: la ecografía en la valoración neurológica del paciente crítico.	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
La ecografía integrada en la valoración de la vía aérea y respiración: Utilidad de la ecografía comparada con la capnografía y la radiografía en la intubación traqueal.	72
La ecografía en la valoración y manejo hemodinámico/ circulatorio del paciente crítico: Localización de la punta del catéter venoso central mediante ecografía: ¿Podemos eliminar la necesidad de radiografía de tórax?.	78
La ecografía en la valoración y manejo neurológico del paciente crítico: evaluación mediante ecografía de la anatomía lumbar en neonatos. Implicaciones para optimizar la realización de la punción lumbar.	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	101

I. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

HIPOTESIS Y OBJETIVOS.-

La ecografía constituye una prueba de imagen basada en la emisión y recepción de ultrasonidos que se emplea en el ámbito sanitario desde la década de los 70. Dentro de sus principales ventajas destacan la ausencia de emisión de radiaciones en comparación con otras pruebas diagnósticas, su portabilidad, la disponibilidad en un amplio número de centros sanitarios y el carácter dinámico de la misma en la valoración de los pacientes. Empleada inicialmente dentro del marco diagnóstico ha adquirido de forma gradual más importancia en el manejo terapéutico de distinto tipo de pacientes.

Gracias a sus avances tecnológicos en la última década han aparecido aparatos de ecografía con mayor portabilidad, rapidez, definición de imagen y con mejoras en el *software*. Todo ello ha influido en su mayor instauración en distintas especialidades médicas como: medicina de urgencias, cuidados críticos, cuidados intensivos pediátricos y neonatales.

La ecografía constituye una herramienta útil tanto en el manejo inicial diagnóstico-terapéutico de los pacientes graves, como en su valoración evolutiva. Además, supone un apoyo fundamental en la realización de determinadas técnicas, disminuyendo los riesgos derivados de las mismas.

Algunas de las técnicas realizadas de forma más frecuente en el manejo de pacientes críticos son: la intubación oro-traqueal, la canalización de vías centrales y la punción lumbar. Todas estas técnicas se asocian a potenciales complicaciones y se realizan de forma habitual en las unidades de cuidados intensivos.

La intubación oro-traqueal es la técnica más importante en el manejo de la vía aérea del paciente crítico. Requiere siempre de la comprobación del éxito de la misma por los riesgos derivados de una intubación fallida. Aunque las guías internacionales recomiendan la capnografía como método estándar de comprobación, en los últimos años se han publicado trabajos que ponen en conocimiento la utilidad de la ecografía en este ámbito.

La canalización de vasos centrales, también es una técnica frecuentemente realizada en las unidades de urgencias y de críticos dentro del manejo de sus pacientes. También

presenta potenciales complicaciones graves, y requiere de la comprobación de la adecuada localización de los catéteres tras su colocación. Aunque ya se recomienda el empleo de la ecografía como guía durante la canalización no existe una recomendación estandarizada como método de comprobación de la adecuada localización de los catéteres.

La punción lumbar es una técnica diagnóstica muy frecuentemente realizada dentro del manejo diagnóstico y terapéutico de multitud de pacientes. Su realización conlleva amplia dificultad, y en concreto aún mayor en el neonato. Derivada de su mala realización puede asociar problemas en el manejo terapéutico de los pacientes. De ahí la importancia del éxito de la misma.

Debido a la importancia que está adquiriendo la ecografía en el manejo del paciente crítico esta tesis pretende evaluar su utilidad en el marco pediátrico valorando su aplicación en tres ámbitos no establecidos hasta la fecha. Por ello el objetivo global propuesto por este trabajo es:

- Poner de manifiesto nuevas utilidades de la ecografía como herramienta en el manejo del paciente crítico pediátrico y neonatal.

Para ello se marcaron los siguientes objetivos específicos:

- Presentar la ecografía como método de confirmación alternativo y de localización de la adecuada punta del tubo endotraqueal.
- Comparar la ecografía con los estándares más empleados en la comprobación de la intubación.
- Introducir el uso de la ecografía como método de localización de los catéteres venosos centrales comparándolo con la radiografía como estándar establecido.
- Evaluar los cambios que se producen en la anatomía lumbar y técnica de inserción de la aguja que se derivan de la posición y edad gestacional en neonatos.
- Establecer unas recomendaciones para facilitar la punción lumbar en neonatos.

II. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN.-

Historia de la ecografía en medicina de urgencias y cuidados críticos.

La ecografía es una técnica diagnóstica que mediante la emisión y recepción de ultrasonidos define las estructuras del cuerpo humano¹. Se fundamenta en el principio de la piezoelectricidad descrito por Pierre Curie en 1890. Este principio define la capacidad que tienen algunos cristales de deformarse al ser sometidos a energía eléctrica. Esto genera unas oscilaciones en forma de ondas que se asemejan al ultrasonido pero tienen una frecuencia muy superior siendo imperceptible para el ser humano. El siguiente avance en la historia del ultrasonido lo encontramos durante la I Guerra Mundial donde se desarrolló el sonar con fines bélicos. La ecografía con fines médicos nace de dicho principio. También durante la II Guerra Mundial la ecografía se empleó para la revisión de posibles defectos en los barcos de combate^{2,3}.

La ecografía supone una de las pruebas de imagen más ampliamente utilizada en el ámbito de la medicina. Desde sus inicios en la década de los 50 cuando se introdujo el primer aparato de ultrasonidos construido por Douglas Howry mediante un tanque de inmersión con un transductor montado en un rail³. Dos hechos destacables fueron la primera imagen publicada de un cráneo humano en 1947, y las primeras imágenes sobre valoración de patología abdominal en 1958^{4,5}. Fue en la década de los 70 cuando se inició su empleo entre los diferentes especialistas sanitarios. En las décadas siguientes la ecografía experimentó avances fundamentales como por ejemplo la ecografía a tiempo real. Esta modalidad permitía a los sanitarios evaluar de forma simultánea las imágenes obtenidas por ultrasonografía durante la exploración de sus pacientes. Avances posteriores permitieron conseguir dispositivos más pequeños, rápidos, con mayor portabilidad, sondas de diferentes amplitudes y tamaños o el modo *doppler* entre otros⁶. El padre del efecto *doppler* fue Christian Andreas Doppler un matemático y físico austriaco que en 1841 sentó las bases de dicho efecto. Éste se define como los cambios de frecuencia que se producen en las ondas transmitidas

debido a un movimiento relativo entre la fuente de las ondas y el observador. Esta teoría se ha empleado tanto en el marco de la medicina como en otros aspectos como por ejemplo la astronomía. Sus primeras aplicaciones en el campo de la medicina datan de la década de los 50 con Kalmus y Satomura quienes fueron pioneros en su uso³.

Desde la década de los 80 hasta la actualidad, el progreso de la ecografía ha continuado, permitiendo que la que fuera una prueba de imagen estática haya pasado a ser fundamental en la valoración de los pacientes a pie de cama². Gracias a ello ha nacido un nuevo término: la ecografía clínica o también denominada *bedside ultrasound, point-of-care ultrasonography* definida como la ecografía para el paciente, realizada a tiempo real por su médico responsable. Supone una extensión de la exploración física del paciente, integrándose en su cuidado. La ecografía a pie de cama pretende identificar problemas concretos con fines diagnósticos y/o terapéuticos y realizar evaluaciones seriadas si la situación clínica del paciente varía².

El inicio del empleo de la ecografía en la valoración del paciente grave data de los años 70, cuando se publicaron los primeros casos de valoración ecográfica de hemoperitoneo y lesiones esplénicas en individuos con traumatismo abdominal^{7,8}. En los años 80 y 90 diferentes países realizaron estudios acerca de la utilidad de la ecografía en el paciente traumatizado. Estas investigaciones culminaron con la mundialmente conocida como valoración ecográfica FAST, que pasó a formar parte de la evaluación inicial del paciente politraumatizado, por cirujanos y médicos de urgencias⁹⁻¹⁴.

El “*American College of Emergency Physicians*”(ACEP) inició la docencia en ecografía de urgencias en 1990¹⁵, y en 1991 publicó artículos junto con la “*Society of Academic Emergency Medicine*” reconociendo la utilidad de la ecografía en pacientes graves¹⁶. Estos artículos inciden tanto en la aplicación clínica de la ecografía en este campo, como en la importancia de la docencia por los médicos de urgencias. En 2001 la ACEP publicó las “*Emergency Ultrasound Guidelines*” que recogen las indicaciones prácticas y

clínicas de la ecografía de emergencias, su última re-edición data de 2008^{17,18}. Este documento supuso una gran novedad pues en él se establecieron estándares de buena práctica para la realización de ecografía por médicos de urgencias. En 2014, la ACEP publicó un compendio dirigido a todos aquellos profesionales que realizan ecografía en Urgencias con el fin de orientar tanto en las indicaciones, limitaciones, requisitos profesionales y técnicos a la hora de realizar ecografía en distintos supuestos clínicos. Se establecieron criterios para la valoración aórtica, cardíaca, abdominal, torácica, ocular, pélvica, en pacientes politraumatizados y también para procedimientos ecoguiados¹⁹.

Otro hecho destacable en la historia de la ecografía en la medicina de emergencias y cuidados críticos fue la publicación en el año 1992 del primer libro de texto sobre este tema. *“Whole body ultrasonography in the critically ill”* de Daniel A. Liechtenstein supuso un antes y un después en el manejo del paciente crítico. En él se ponen de manifiesto conocimientos teóricos acerca de las bases del ultrasonido, normalidad y aplicaciones en el paciente crítico; y además se insiste en la utilidad de esta prueba de imagen en otros ámbitos. Liechtenstein define a la ecografía como una nueva técnica y una filosofía en el manejo de sus pacientes²⁰.

Durante la década posterior se publicaron varios estudios acerca de las aplicaciones de la ecografía en la medicina de urgencias como: traumatismo torácico o abdominal⁵⁻¹⁰, valoración de la función cardíaca²¹⁻²⁴, derrame pericárdico^{25,26}, aneurisma aórtico abdominal^{27,28}, embarazo ectópico^{29,30}, enfermedades de la vía biliar y tracto urinario³¹⁻³³ o como guía en determinados procedimientos^{34,35}. En la actualidad la ecografía clínica presenta diversas aplicaciones en numerosas especialidades médicas y quirúrgicas (Tabla 1)².

Tabla 1. Aplicaciones generales de la ecografía clínica en especialidades médicas.

Especialidades	Aplicaciones
Anestesia	Guía en accesos vasculares, anestesia regional, monitorización intraoperatoria de fluidos y función cardíaca.
Cardiología	Ecocardiografía, valoración intracardíaca.
Cuidados Críticos	Guía de procedimientos, valoración pulmonar y ecocardiografía funcional.
Dermatología	Valoración de lesiones cutánea y tumores.
Medicina de Emergencias	FAST, valoración estandarizada emergencias, guía de procedimientos.
Endocrinología y Cirugía endocrina	Valoración de tiroides y paratiroides, guía de procedimientos.
Cirugía general	Ecografía mamaria, guía de procedimientos, valoración intraoperatoria.
Ginecología	Evaluación de cérvix, útero y anejos; guía de procedimientos.
Obstetricia y medicina materno-fetal	Evaluación gestacional, diagnóstico de malformaciones fetales, guía de procedimientos.
Neonatología	Valoración cerebral, pulmonar y hemodinámica; guía de procedimientos.
Nefrología	Acceso vascular para diálisis.
Neurología	Doppler transcraneal, evaluación de nervios periféricos.
Oftalmología	Valoración de córnea y retina.
Cirugía ortopédica	Aplicaciones musculo-esqueléticas.
Otorrinolaringología	Valoración tiroides, paratiroides y masas cervicales; guía de procedimientos.
Pediatría	Valoración vesical, guía en procedimientos.
Respiratorio	Valoración pulmonar transtorácica, valoración endobronquial, guía de procedimientos.
Radiología e intervencionismo	Ecografía a pie de cama, guía en procedimientos.
Reumatología	Monitorización de sinovitis, guía de procedimientos.
Cirugía traumatológica	FAST, guía de procedimientos.
Urología	Valoración renal, vesical y prostática; guía de procedimientos.
Cirugía vascular	Valoración carotídea, arterial y venosa; guía de procedimientos.

La ecografía en medicina de urgencias y cuidados críticos: ¿en qué momento nos encontramos?

Desde sus primeros pasos, ya en la década de los 80 y 90 en el campo de la medicina de urgencias, la ecografía ha experimentado avances en este terreno. Su uso se ha vuelto más habitual y se ha extendido a otros ámbitos donde el paciente se beneficia de su disponibilidad y rapidez³⁶. No sólo se emplea en la medicina de urgencias sino que ha pasado a formar parte importante en los servicios de críticos de adultos, y está empezando a hacerse hueco a la cabecera del paciente pediátrico y neonatal. El enfoque de la ecografía en este ámbito es diferente al habitual en otras especialidades como radiología, ginecología o cardiología. La ecografía busca ser una herramienta de ayuda ante dudas clínicas relevantes, además permite una evaluación rápida sin demoras en el manejo del paciente y puede repetirse ante cambios o dudas en la evolución clínica.

En relación al momento en que se encuentra la ecografía es difícil expresarlo con números, aunque cada vez son más las publicaciones que comunican su uso en estas tres especialidades. Si en 1987-1989 al realizar la búsqueda en PubMed de *“emergency medicine ultrasound”* aparecían 8 artículos, realizando esta misma búsqueda en 2013 el resultado fueron 273 publicaciones³⁷. Gracias a encuestas publicadas en distintos países se puede hacer una idea de cómo está de extendido el empleo de la ecografía en la medicina de emergencias. Aunque todas ellas tienen como principal limitación la tasa de respuesta, parece que los resultados obtenidos pueden ser representativos. En todos los casos los encuestados son conscientes del potencial beneficio de la ecografía en su puesto de trabajo. Desde la publicación en 2001 de las *“Emergency Ultrasound Guidelines”* por la ACEP, y posteriormente en 2009 de un consenso con recomendaciones para la formación en ecografía de emergencias, muchos centros y sociedades han integrado la ecografía en el programa formativo de sus residentes y especialistas^{17,38}. Se ha comunicado la inclusión de la ecografía en la formación de medicina de urgencias hasta en un 95% de los programas docentes de Estados Unidos en 2003^{39,40}. Pero la realidad es otra, aunque cada vez son más los centros que

intentan integrar la ecografía en sus programas formativos en Norteamérica, existen estudios que ponen de manifiesto el escaso empleo de la ecografía en los servicios de urgencias americanos y canadienses^{37,41,42}. Este hecho es extensible a otras latitudes tan dispares como Colombia, Francia o Australia en las que la acreditación en el uso de ecografía clínica y en consecuencia su empleo son deficientes⁴³⁻⁴⁵.

En el campo de la medicina intensiva la situación parece algo diferente, aunque los estudios sobre el uso de la misma en las unidades son escasos, desde la recomendación por parte de la ABIM. Esta sociedad considera fundamental la formación en canalización vascular y toracocentesis ecoguiadas⁴⁶. En un estudio del 2010 se puso de manifiesto el empleo casi universal (>90%) de la ecografía como guía en la canalización vascular en las UCI estadounidenses y también en otros procedimientos ecoguiados (85%), pero el empleo en otros campos fue mucho menor. En relación a la situación formativa muchos destacan la ausencia de guías nacionales lo que lleva a una formación informal^{47,48}.

Situación de la ecografía en pediatría y neonatología.

En el caso de la pediatría la situación parece aún más precaria pues las referencias son aún más escasas si cabe. La ecografía dirigida, aunque ya ha empezado a dar sus pasos, lo ha hecho de forma lenta. En 2008 los directores de los centros formativos en Estados Unidos dieron a conocer esta situación. Mediante una encuesta se objetivó que sólo una minoría de los formados en medicina de emergencias pediátricas recibían formación en ecografía clínica⁴⁹. Años después, en 2012 la situación es muy similar, en parte por la ausencia de un estándar nacional⁵⁰. Por su parte los intensivistas pediátricos opinan que el uso de la ecografía en su campo está sufriendo un crecimiento en la última década. En las UCIP americanas usan con relativa frecuencia la ecografía en la canalización vascular al igual que en las UCI de adultos, siendo más frecuente este hecho en unidades grandes y centros universitarios. En España se

desconocen los datos al respecto, pero recientemente se ha llevado a cabo una encuesta a nivel nacional en las UCIP desde la Sociedad Española de Cuidados Intensivos Pediátricos (SECIP). Parece que el empleo de la ecografía está extendido en nuestras unidades pero tanto su frecuencia como las aplicaciones son muy variables entre los distintos centros^{51,52}.

En las UCIN la introducción también ha sido lenta. La situación en diversos países occidentales es muy diferente en cuanto al porcentaje de uso y sus aplicaciones. Los usos más extendidos y realizados por los neonatólogos son la valoración cardíaca y la cerebral. En las UCIN francesas se dispone de neonatólogos entrenados en la valoración ecocardiográfica 24 horas al día los 7 días de la semana. Por otro lado, en las unidades estadounidenses son los cardiólogos y radiólogos los encargados de este aspecto. En España la ecografía cerebral parece la técnica más extendida y dominada por los neonatólogos. En otros países como Australia, Nueva Zelanda, Reino Unido o Canadá el manejo del ecógrafo por parte del neonatólogo es un motivo de controversia con otros especialistas, fundamentalmente cardiólogos pediátricos y radiólogos, lo que ha limitado mucho su avance en esta área⁵³.

La limitación no sólo se percibe en el campo de la neonatología sino también en otros ámbitos. Por parte de los profesionales existe una sensación de escaso avance de la formación de ecografía por distintos motivos: ausencia de ecógrafo en las unidades, escasa formación recibida, ausencia de tiempo para llevar a cabo dicha formación en su tiempo laboral, impresión de intrusismo por otros profesionales sanitarios, miedo a errores diagnósticos y terapéuticos o a posibles implicaciones legales de los mismos^{41-44,47,53}.

La ecografía en la formación médica: últimos avances.

A pesar de todas las limitaciones hay algo que no ha cambiado y que se ha popularizado entre los médicos responsables del campo de la medicina de urgencias e

intensivos. Pocos avances científicos o tecnológicos han tenido tanta importancia en el manejo del paciente crítico como la ecografía. Este grupo de profesionales cree que la ecografía debe ser considerada como una extensión a la clásica exploración física de sus pacientes y por este motivo todos los especialistas en medicina de emergencias o críticos deberían tener al menos una formación básica en ecografía. Se cree que la formación es fundamental para que los profesionales sanitarios empleen la ecografía como una extensión de sus sentidos, como lo fue el estetoscopio para una generación previa⁵⁴. En 2012 la *“Accreditation Council for Graduate Medical Education”* designó la ecografía como una de las 23 competencias básicas a cumplir por los residentes graduados en medicina de emergencias^{55,56}.

Ya se ha comentado la ausencia de programas formativos específicos en determinadas sociedades. Pero cada vez son más las publicaciones que hacen referencia a cómo llevar a cabo esta labor. En el año 2009 la *“American College of Chest Physicians”* y la *“Société de Réanimation de Langue Française”* establecieron los primeros requisitos para adquirir competencia en ecografía en cuidados críticos. Postularon unas generalidades y unos mínimos dividiendo los conocimientos en 3 campos diferentes: ecografía general, ecocardiografía básica y avanzada. En relación a los aspectos generales cabe destacar que se especifica la necesidad de un aparato de ecografía disponible siempre en la unidad. Además, los profesionales deberían adquirir unos conocimientos básicos sobre la física del ultrasonido, manejo del aparato y sondas para adquirir las imágenes de mayor calidad, saber realizar unas exploraciones básicas, conocer el patrón de normalidad e identificar los hallazgos que no lo cumplan y saber cómo la posición del paciente puede influir en la obtención de las imágenes. En cuanto a los mínimos se establecieron los puntos a conocer por el personal en la ecografía general que incluía la valoración pulmonar, pleural, abdominal y vascular tanto en el acceso ecoguiado como en el diagnóstico de trombosis venosas. Dentro de la valoración ecocardiográfica se dividía en 2 niveles: el básico centrado en ecocardiografía transtorácica y valoración básica hemodinámica, y el avanzado que incluía además la ecocardiografía transesofágica y una valoración hemodinámica intensiva⁵⁷.

Esta publicación fue la base de la posterior reunión llevada a cabo por expertos en intensivos en la 23ª Reunión de las Sociedades de Intensivos Europeas en octubre de 2009 en Viena. En esta mesa redonda participaron 29 expertos de las principales Sociedades Europeas de Intensivos y 11 de otras Sociedades Internacionales de relevancia. El objetivo fue establecer unas recomendaciones internacionales para el manejo de la ecografía en unidades de críticos. Se dividieron en 4 grupos de trabajo que establecieron cómo adquirir competencias en ecografía general, ecocardiografía básica y avanzada, y en cómo organizar la formación y certificación. Se llegó, por unanimidad, a la necesidad de entrenamiento en ecografía general y ecocardiografía básica por todos los especialistas en intensivos. Para ello se estableció un mínimo de formación como cursos teórico-prácticos de al menos 10 horas de duración. En relación al número mínimo de exploraciones a realizar, no existe consenso salvo en la valoración cardiológica. Se estableció en 30 el número de exploraciones cardíacas transtorácicas supervisadas. En cuanto a la competencia en ecocardiografía avanzada se consideraba opcional⁵⁸.

Estas guías han servido como base para la creación de programas formativos en diferentes países. Por ejemplo, Australia o Nueva Zelanda ofrecen cursos de formación en ecografía en cuidados críticos impartidos por: la *“Ultrasound Training Solutions”* (Melbourne), el *“Australian Institute of Ultrasound”* (Gold Coast), el *“Nepean Institute of Critical Care Education and Research”* (Sydney) y la Universidad de Melbourne que oferta un postgraduado en Ecografía Perioperatoria y en Cuidados Críticos. Por su parte la *“Australasian Society for Ultrasound in Medicine”* permite adquirir un diploma acreditativo en ecografía diagnóstica⁵⁹.

En Estados Unidos ya desde 2012 la *“American Academy of Pediatrics”* y la *“American Board of Pediatrics”* establecieron la ecografía como uno de los objetivos a superar por los pediatras formados en medicina de emergencias. Se publicaron unas guías de consenso para la educación en ecografía en este grupo en las que se establecían las bases del programa formativo y los requerimientos a cumplir⁶⁰. En Canadá la *“Point-of-care Ultrasound”* es una competencia básica para los residentes en los programas

formativos del *“Royal College of Physicians and Surgeons”* y del *“College of Family Physicians in emergency medicine”*. Estas sociedades han establecido recientemente los mínimos a identificar por sus residentes con la ecografía⁶¹.

En nuestro país la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC) ha elaborado en los últimos años un documento de consenso basado también en el documento elaborado en Viena en 2009. La SEMICYUC expresa en este documento su deseo de promover el uso de la ecografía convirtiéndola en una herramienta habitual en el manejo del paciente crítico, asegurando un tratamiento y monitorización adecuado, correcto y seguro⁶².

La SECIP también consciente de la importancia de la ecografía en su día a día, ha creado recientemente en su XXX Congreso Nacional celebrado en Toledo en mayo de 2015 un grupo especializado en ecografía clínica. Este grupo pretende crear documentos formativos en relación al empleo de la ecografía en el ámbito de la UCIP e intensificar el manejo integrado de esta herramienta en la valoración de los niños críticamente enfermos. En nuestro país existen varios cursos impartidos por especialistas en intensivismo pediátricos, cardiólogos pediátricos y radiólogos para la formación en ecografía a pie de cama.

Aplicaciones de la ecografía en medicina de emergencias y cuidados críticos: la ecografía clínica integrada en el ABCDE.

La valoración urgente del paciente crítico se rige por un acrónimo utilizado a nivel universal: el ABCDE. Estas 5 letras significan mucho para todos los profesionales sanitarios y especialmente para aquellos que asisten en primera instancia al paciente grave. El ABCDE es aplicable en todo tipo de emergencias clínicas. Puede emplearse tanto para la valoración extrahospitalaria, como en servicios de urgencias, plantas de hospitalización o unidades de intensivismo. Los principales objetivos de este enfoque

son: administrar un tratamiento inminente en situaciones de compromiso vital, convertir situaciones severas o críticas en más manejables, servir como un algoritmo de manejo y tratamiento, valorar el estado de consciencia de forma fácil y facilitar la identificación del diagnóstico y tratamiento final⁶³.

El significado de ABCDE es:

- A: *Airway* o vía aérea
- B: *Breathing* o respiración
- C: *Circulation* o circulación
- D: *Disability* o Neurológico
- E: *Exposure* o exposición.

El inicio de la regla nemotécnica ABC tuvo su origen en 1950 por Safar quien estableció métodos para mantener permeable la vía aérea y la administración de respiraciones de rescate, así nació el AB⁶⁴. La C se asoció gracias a Kouwenhoven et al. quienes describieron las maniobras de masaje cardíaco⁶⁵. Pero fue Safar quien primero describió en la literatura la combinación de ambas⁶⁶.

Ahora se revisarán las principales aplicaciones de la ecografía dividiéndolo según este acrónimo y haciendo referencia a usos más estandarizados y otros más novedosos.

A: La ecografía en la valoración de la vía aérea.

El correcto manejo de la vía aérea es primordial en el paciente crítico. Ante un paciente grave lo primero a evaluar es la permeabilidad de su vía aérea, pues si no está asegurada puede suponer un riesgo vital.

Desde la introducción de la ecografía en las unidades de emergencias y cuidados críticos, su aplicación dentro del manejo de la vía aérea es relativamente reciente. Los

avances y el desarrollo tecnológico de los ultrasonidos nos permiten una evaluación precisa y descriptiva de la vía aérea y la asistencia en determinados procedimientos.

Desde el punto de vista anatómico la ecografía permite la visualización de las estructuras que componen la vía aérea superior. El tracto superior comprende desde la

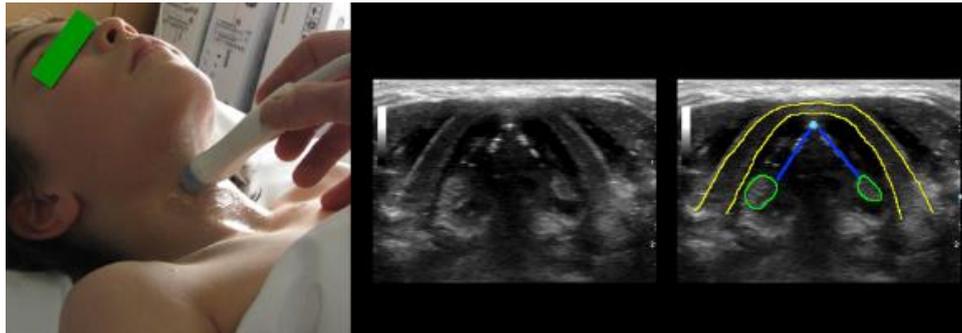


Figura 1. Valoración ecográfica de laringe y cuerdas vocales (Extraída de Kristensen MS. Ultrasonography for clinical decision-making and intervention in airway management: from the mouth to the lungs and pleurae. *Insights Imaging* 2014;5: 253-79.)

Izq: Corte transversal en línea media a nivel de cartílago tiroideo. Derecha: Cuerdas vocales (azul oscuro), comisura anterior (azul claro), aritenoides (verde) y cartílago tiroideo (amarillo)

cavidad oral, nasal, faringe, laringe hasta la tráquea. Todas estas cavidades están llenas de aire y debido a su alta impedancia es difícil su valoración interna, pero gracias a su disposición superficial se pueden evaluar ecográficamente las paredes lateral y frontal de dichas estructuras⁶⁷.

El conocimiento de la ecografía normal de la vía aérea ha permitido su aplicación en el diagnóstico de alteraciones anatómicas como por ejemplo la parálisis de cuerdas vocales, presencia de tumores, abscesos o epiglotitis entre otras; disminuyendo así la necesidad de procedimientos diagnósticos y terapéuticos invasivos, así como el uso de anestésicos⁶⁸. Además, la valoración anatómica de la porción alta de la tráquea extratorácica también tiene sus aplicaciones clínicas en el manejo de la vía aérea.

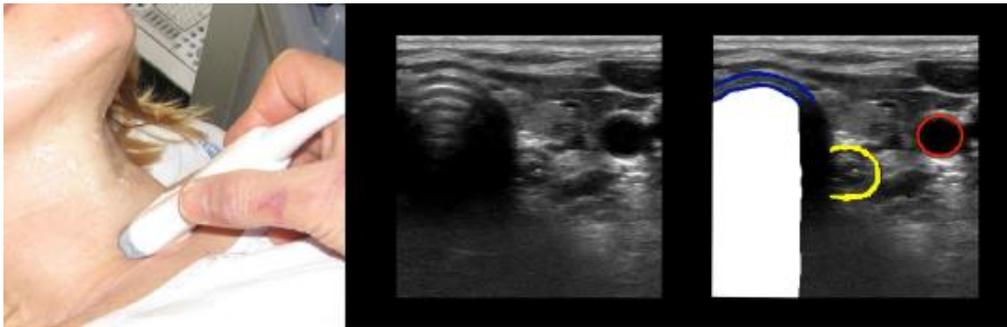


Figura 2. Valoración ecográfica de la tráquea extratorácica. (Extraída de Kristensen MS. Ultrasonography for clinical decision-making and intervention in airway management: from the mouth to the lungs and pleurae. *Insights Imaging* 2014;5 :253-79.)
 Izq: Corte transversal superior al hueco supraesternal. Derecha: Región anterior de cartílago traqueal (azul oscuro), esófago (amarillo) y carótida (rojo). Tras el cartílago sólo se objetivan artefactos (blanco).

En la práctica clínica, para estimar el tamaño del tubo endotraqueal (TET) a seleccionar, se emplean fórmulas estandarizadas como la de Cole ($4 + \text{edad}/4$) para tubos sin balón, la de Motoyama ($3,5 + \text{edad}/4$) o la de Khine ($3 + \text{edad}/4$) que permiten el cálculo del diámetro interno traqueal⁶⁹⁻⁷¹. Estas fórmulas pueden tener cierta limitación en determinadas épocas de la vida pediátrica debido a los cambios asociados al crecimiento. Existen estudios que opinan que la determinación del diámetro externo del TET es más adecuada⁷²⁻⁷⁴. La medición de la distancia subglótica a nivel del cartílago cricoideo, podría ser un método más adecuado para la selección del TET en niños. Gracias a estos estudios se han postulado nuevas fórmulas para el cálculo del TET a seleccionar. En neonatos Shibasaki et al.⁷² proponen el cálculo del diámetro según esta fórmula: Diámetro externo del TET (mm) = $0,55 + \text{diámetro externo medido por ecografía (mm)} + 1,16$. En aquellos casos que no se disponga de ecografía, gracias a estudios ecográficos se ha llegado a una ecuación que permite el cálculo basándose en la talla y edad de los niños mayores de 12 meses: Diámetro externo del TET (mm) = $0,01 \times \text{edad (meses)} + 0,02 \times \text{talla (cm)} + 3,3$ ⁷⁵.

La evaluación ecográfica de la vía aérea permite la preparación previa a la intubación con el fin de facilitar esta técnica fundamental en el manejo de la vía aérea. Gracias a la ecografía además de seleccionar el TET más adecuado para nuestro paciente, se pueden identificar pacientes con una vía aérea complicada⁶⁷. Aunque en muchas

ocasiones clínicamente se sospecha con anterioridad, existen estudios ecográficos recientes que predicen vías aéreas difíciles en pacientes obesos y con síndrome de apneas del sueño. La medición mediante ecografía del tejido graso en la zona anterior del cuello o la identificación del mecanismo obstructivo en estos pacientes pueden ser útiles^{76,77}.

Pero sin duda si hay algo útil en el manejo de la vía aérea es la aplicación de la ecografía como guía y/o comprobación en la adecuada intubación de los pacientes críticos. Esta aplicación es reciente, y aunque en el campo de la medicina de adultos existen múltiples publicaciones al respecto no ocurre lo mismo en el paciente pediátrico. La intubación orotraqueal es un procedimiento fundamental en el mantenimiento de la vía aérea, y no está exento de potenciales complicaciones con importante morbilidad asociada incluyendo secuelas neurológicas o incluso la muerte. La intubación esofágica es una de ellas, y presenta una incidencia estimada de hasta el 16%⁷⁸. La incidencia de intubación esofágica es mayor ante personal inexperto y en el medio extrahospitalario⁷⁹. Por tanto, la adecuada comprobación de la intubación es fundamental por la morbi-mortalidad derivada de su fracaso. Aunque existen múltiples métodos en la comprobación de la intubación traqueal, ninguno de ellos tiene una fiabilidad del 100%. Existen métodos primarios, como la laringoscopia directa, que es el *gold standard*, pero requiere de cierta experiencia por parte del operador^{80,81}. Además, no siempre es aplicable y conlleva un cierto riesgo de extubación, lo que hace esencial la disponibilidad de métodos secundarios. Dentro de estos se incluyen: capnografía, auscultación pulmonar y gástrica, empañamiento del TET, elevación del tórax o incremento de la frecuencia cardíaca en neonatos^{82,83}. Aunque ninguno es fiable al 100%, podemos decir que el más estandarizado es la capnografía y así lo recomiendan las guías más recientes de la “*American Heart Association*” del 2010⁸⁴. Esta técnica depende de la presencia de un adecuado flujo pulmonar para su uso, y por tanto en situaciones donde pueda estar comprometido (por ejemplo: parada cardiorrespiratoria, broncoespasmo, hipotensión severa o atrapamiento) la capnografía no es aplicable como método confirmatorio^{85,86}.

La aparición de la ecografía como método confirmatorio en la intubación orotraqueal data de la segunda mitad de la década del 2000. En 2007 apareció la primera publicación sobre comprobación de intubación en modelo de cadáver humano mediante valoración ecográfica transcricotiroidea⁸⁷. Este estudio inicial demostró la potencial utilidad de la ecografía como método secundario en la confirmación de la intubación traqueal. Tras esta publicación han sido varios los estudios publicados al respecto, con más o menos pacientes, que reseñan la utilidad de la ecografía en este campo⁸⁸. Pero hemos tenido que esperar hasta 2015 para la aparición de un metaanálisis al respecto. Chou et al. seleccionaron de entre un total de 1488 referencias, 12 estudios llevados a cabo en adultos y con modelos de cadáveres⁸⁹. En 2009 la ACEP describió la ecografía como el futuro en la comprobación de la localización del TET⁹⁰. En este metaanálisis se presentan las posibles ventajas de la ecografía frente a la capnografía: la ecografía permite la valoración dinámica mientras se lleva a cabo la técnica de intubación, detectando así la intubación correcta o no, antes de que se aplique ningún tipo de ventilación. Además, se ha observado que la ecografía tiene una alta sensibilidad en la detección de la intubación esofágica, permitiendo su uso cuando la capnografía no es tan fiable y reduciendo así los intentos de intubación en pacientes críticos. Por último, se presenta como ventaja que la ecografía puede realizarse como método de confirmación durante la parada cardiorrespiratoria sin necesidad de interrumpir las maniobras de compresión torácica. Este metaanálisis concluye que la ecografía tiene una alta sensibilidad y casi una especificidad perfecta para la detección de la intubación esofágica y que puede ser utilizada como método alternativo en aquellas situaciones donde la capnografía no sea aplicable.



Figura 3. Comprobación de intubación mediante ecografía.

Izq: Colocación del paciente para la ecografía traqueal. Centro: Plano transversal con signo de la cola de cometa (c) típico de tráquea intubada. Derecha: Plano longitudinal con línea ecogénica de doble contorno correspondiente al TET posterior a anillos traqueales.

Además de la comprobación de la intubación mediante TET, la ecografía permite confirmar la seguridad de la vía aérea mediante otro tipo de dispositivos como la mascarilla laríngea. La mascarilla laríngea es un dispositivo de rescate para aquellos pacientes en los que no se consigue la intubación o en los que resulte complicada o esté contraindicada. La adecuada posición del manguito de la mascarilla sellando la laringe es determinante en obtener una adecuada ventilación, y esto puede valorarse mediante ecografía llenando el manguito con una solución líquida⁶⁷.

Otra de las aplicaciones que se han comunicado en el campo de la vía aérea, es su uso como guía en la realización de traqueostomía percutánea o cricotirotomía^{67,91,92}. Gracias a la ecografía se disminuyen las complicaciones asociadas a ambas técnicas, y se han observado beneficios frente a la realización de las mismas mediante guía broncoscópica.

B: La ecografía en la valoración respiratoria.

La ecografía en la valoración del parénquima pulmonar y su adecuada función es una de sus aplicaciones más en auge. La ecografía permite valorar el parénquima pulmonar con sus patologías más frecuentes, medir la adecuada mecánica pulmonar mediante la evaluación diafragmática o como guía en determinados procedimientos como la colocación de drenajes.

B. 1: Aplicación de la ecografía en la patología pulmonar.

En los últimos años cada vez aparecen más publicaciones sobre la utilidad de la ecografía, en los servicios de emergencias y de cuidados intensivos, en el diagnóstico de patología pulmonar como: neumonía, derrame pleural o neumotórax.

Desde la primera descripción ecográfica de los hallazgos típicos de neumonía en 1986 el uso de esta herramienta ha sufrido grandes variaciones⁹³. Hace años y aún hoy en muchos centros hospitalarios la ecografía sólo se realiza ante sospecha de neumonías complicadas. No forma parte del diagnóstico inicial de esta patología debido a que supondría en muchos casos una alta sobrecarga laboral para los radiólogos. Gracias a la irrupción de la ecografía clínica, cada vez son más los grupos de especialistas en urgencias o medicina intensiva que se ven capacitados para esta tarea. Actualmente no existen recomendaciones acerca del uso de la ecografía como alternativa a otras pruebas clásicas como la radiografía de tórax o el escáner torácico⁹⁴. Pero cada vez son más las referencias bibliográficas que apoyan su uso⁹⁵⁻⁹⁹.

Se ha observado que la ecografía pulmonar presenta una sensibilidad y especificidad superior al método más empleado que es la radiografía de tórax y superiores al 90% en comparación con el TAC torácico considerado como *gold standard*¹⁰⁰. Parece que la ecografía permite un diagnóstico más rápido (entre 2 y 7 minutos), más precoz y específico incluso que la clásica auscultación. Y este hallazgo no sólo se ha observado en personal experto, sino que también personal con períodos de formación cortos (entre 30-60 minutos) son capaces de ello⁹⁶.

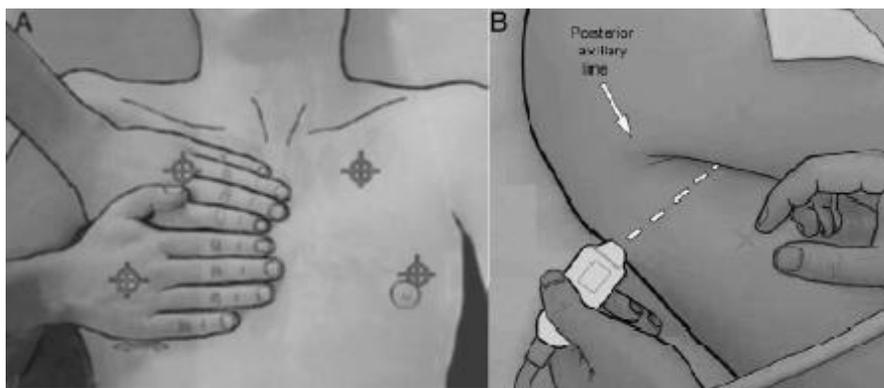


Figura 4. Puntos BLUE para la valoración ecográfica pulmonar en Urgencias.

(Extraído de: Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically ill. *Chest* 2015; 147: 1659-70.) Estas imágenes identifican los puntos en los que se debe realizar valoración ecográfica pulmonar según el protocolo BLUE (*"Bedside Lung Ultrasound in Emergency"*)

La principal complicación en las neumonías es el derrame pleural, aunque este también puede producirse por otras etiologías frecuentes en el paciente crítico como postcirugía, cardiopatías o politraumatismo. Al igual que en la valoración de la consolidación pulmonar, la ecografía también tiene un papel fundamental en su diagnóstico y manejo terapéutico.

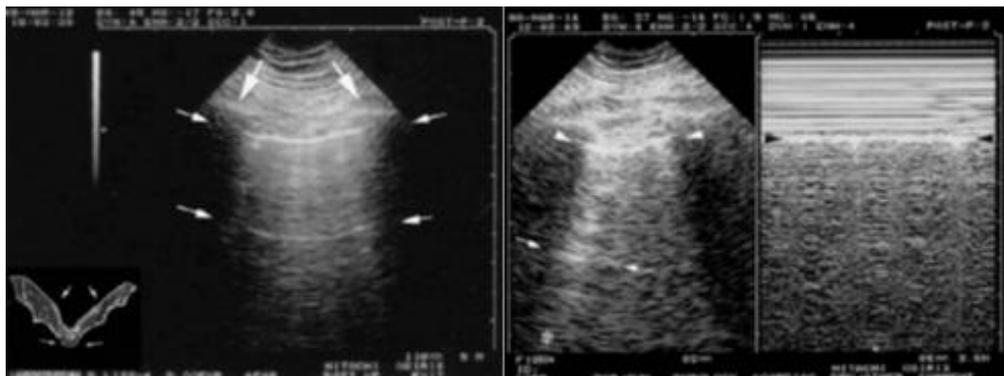


Figura 5. Aspecto ecográfico del pulmón sano. (Extraído de: Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically ill. Chest 2015; 147: 1659-70.)

Izq.: Línea pleural y líneas A. Signo del murciélago: las costillas superior e inferior (flechas verticales) y la línea pleural (flechas horizontales superiores) se asemejan a la silueta externa de un murciélago. Línea A (flechas horizontales inferiores): Artefactos de repetición inferiores a la línea pleural generados por la presencia de aire. Derecha: “*Lung sliding*” o “deslizamiento pulmonar” generado por el deslizamiento de la pleura parietal sobre la visceral. En el modo M da lugar al denominado “seashore sign” o “signo de la orilla del mar”.

Aunque clásicamente el diagnóstico de derrame pleural en unidades de intensivos se basaba en la combinación de hallazgos en la auscultación y la radiografía de tórax, ambos métodos tienen una sensibilidad y especificidad dudosas¹⁰¹. Existen métodos más fiables para el diagnóstico del derrame pleural como es el TAC torácico. Éste no tiene una disponibilidad fácil, se asocia a altas dosis de radiación y riesgos debido al traslado de pacientes críticos desde las unidades de intensivos a las salas de radiología. Liechtenstein et al. fueron los primeros en poner de manifiesto la utilidad de la ecografía tanto para la detección como la cuantificación del derrame pleural¹⁰². Posteriormente otros han demostrado su superioridad frente a la radiología convencional en este ámbito. La ecografía permite una estimación muy próxima al líquido real obtenido por toracocentesis, detectando incluso derrames mínimos^{97,103-}

¹⁰⁵. Es muy importante tanto una estimación adecuada del volumen del líquido pleural, como de sus características, pues ambos aspectos son cruciales en su manejo terapéutico. De hecho, la ecografía ha adquirido un papel muy importante facilitando



Figura 6. Imagen ecográfica de neumonía y derrame pleural. (Extraído de: Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically ill. Chest 2015; 147: 1659-70.)
Izq.: Neumonía con derrame pleural: Imagen anecoica compatible con derrame pleural (flechas blancas), inferior imagen compatible con consolidación con patrón alveolar (broncograma aéreo indicado por flechas negras). Derecha: Cuantificación de derrame pleural (línea punteada).

el drenaje del líquido pleural y disminuyendo los riesgos asociados a esta técnica. Una de las principales potenciales complicaciones de la toracocentesis es el neumotórax, que se estima según algunas series hasta en un 39% de los casos¹⁰⁶. Aunque el éxito de la técnica depende de muchos factores, se ha objetivado que el empleo de la ecografía disminuye mucho el porcentaje de complicaciones asociadas. Gracias a la ecografía se puede, tanto seleccionar el punto más óptimo para la realización de la toracocentesis, como guiar la punción en tiempo real. Se han publicado varios estudios, incluido un metaanálisis, que ponen de manifiesto que la guía ecográfica disminuye la presencia de neumotórax iatrogénico en pacientes que requieren toracocentesis¹⁰⁷⁻¹¹².

Otra de las patologías pulmonares que con frecuencia afectan a los pacientes críticos y donde también es útil la ecografía, es el neumotórax. El neumotórax puede producirse de forma espontánea, en relación con traumatismos o bien ser consecuencia de técnicas como la canalización vascular, toracocentesis o biopsias pulmonares. La presencia de neumotórax masivo es una emergencia vital, y en muchas ocasiones su sospecha desencadena medidas terapéuticas. Pero los neumotórax pueden ser moderados o leves y es, en estos casos, donde se realizan pruebas de imagen para su diagnóstico. Aunque clásicamente el scanner se ha descrito como el *gold standard*, es

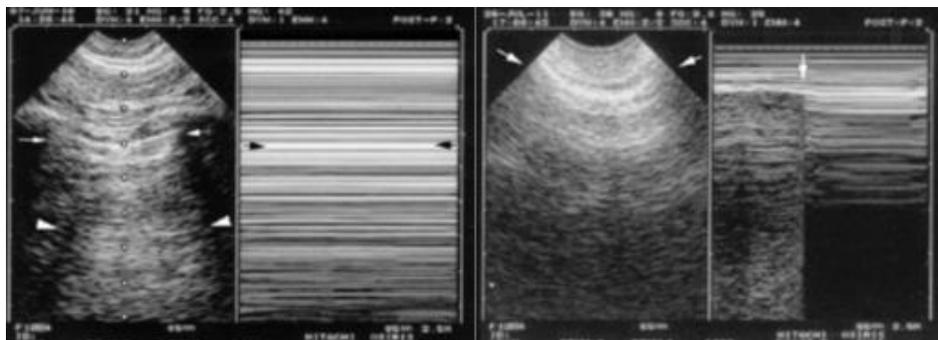


Figura 7. Neumotórax por ecografía. (Extraído de: Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically ill. *Chest* 2015; 147: 1659-70.)
Izq.: “Signo de la estratosfera” o del “código de barras” en modo M: producido por la ausencia de líneas B y de “deslizamiento pulmonar” sugestivo de neumotórax. Derecha: “Punto pulmón”: Paso del patrón normal pulmonar al neumotórax es diagnóstico de neumotórax.

una herramienta poco útil en el marco del paciente crítico por su disponibilidad, la radiación que supone y el riesgo asociado al traslado de este tipo de pacientes. Por ello la radiografía de tórax ha sido la prueba más empleada para este fin. En los últimos años, la aparición de la ecografía en la medicina de urgencias e intensiva ha hecho que ésta pase a ser la técnica más fiable para su diagnóstico. La ecografía pone de manifiesto imágenes como la ausencia de deslizamiento pulmonar o de artefactos “colas de cometa”, el denominado punto pulmón u otros signos adicionales como la ausencia del signo de la orilla del mar o la presencia del llamado código de barras o signo de la estratosfera o el llamado punto corazón, que permiten descartar o confirmar un neumotórax¹¹³⁻¹¹⁶. En los últimos años han aparecido metaanálisis que han comparado la utilidad de la ecografía frente a la radiografía de tórax, demostrando

la alta sensibilidad (>80%) y especificidad (casi del 100%) de la ecografía en este campo¹¹⁷⁻¹²¹. De ahí que exista una alta recomendación de uso de la ecografía ante la sospecha clínica de neumotórax.

B.2. La ecografía en la valoración de la mecánica respiratoria.

La ecografía también tiene interés en la valoración de la adecuada mecánica respiratoria y quizá sea ésta una de las aplicaciones más novedosas. Su conocimiento ha permitido, en los últimos años, la publicación de trabajos que ponen de manifiesto cómo la ecografía permite un mejor manejo de pacientes ventilados y con patologías tan graves como el síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), el edema agudo de pulmón (EAP) o el shock. Gracias a la ecografía podemos visualizar signos como el “*sliding pulmonar*” o “deslizamiento pulmonar” que supone el adecuado deslizamiento entre pleura parietal y visceral. Este signo da lugar, en el modo M, al llamado “*seashore sign*” o “signo de la orilla del mar”. La ausencia o alteración de este tipo de signos permite detectar la presencia de: intubación selectiva, malposición del TET, neumotórax, atelectasias o consolidaciones que impiden la adecuada movilidad pulmonar durante la insuflación^{113,122,123}. En relación a la aplicación de la ecografía pulmonar en el manejo de pacientes ventilados, la visualización de diferentes artefactos nos permite conocer el estado de aireación pulmonar. Así la visualización de líneas A (artefactos horizontales tras la línea pleural) es típica de un patrón pulmonar normal. Cuando la aireación empieza a estar comprometida empiezan a observarse las denominadas líneas B (artefactos ecográficos que tienen su origen en la línea pleural y simulan colas de cometa), a mayor presencia de líneas B peor aireación. Y cuando la aireación está completamente comprometida lo que objetivamos son consolidaciones (con un patrón ecográfico similar al hígado o bazo)¹²⁴. En pacientes con patología como el SDRA donde está altamente comprometida la oxigenación pulmonar, se ha empleado la ecografía en los últimos años como guía para la monitorización de

estrategias terapéuticas de reclutamiento. Este tipo de maniobras de reclutamiento permiten objetivar cómo aplicando presiones espiratorias (PEEP) crecientes, se modifica el patrón consolidado o con líneas B hacia un patrón de mejor aireación con presencia de líneas A¹²⁵⁻¹²⁸.

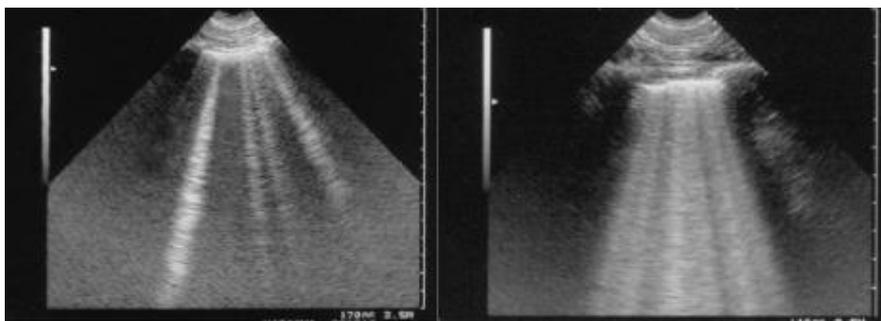


Figura 8. Líneas B.

Izq.: Líneas B o “cometas pulmonares”: Nacen de la línea pleural, de aspecto hiperecogénico y recuerdan a un cometa o haz de rayos. Pueden aparecer en pulmón normal si son < 3 líneas B por espacio intercostal. Derecha: Patrón de síndrome intersticial pulmonar caracterizado por aumento de líneas B (≥ 3 líneas B por espacio intercostal).

En los últimos años han aparecido protocolos como el protocolo BLUE o el FALLS que permiten el diagnóstico de diferentes patologías. Estos protocolos pueden emplearse ante dudas diagnósticas permitiendo el manejo adecuado de pacientes graves. Gracias a la monitorización mediante la ecografía pulmonar se puede optimizar el aporte de líquidos en pacientes con shock para evitar una sobrecarga hídrica que se manifiesta como el paso de un pulmón con predominio de líneas A a un patrón intersticial con predominio de líneas B¹²⁹.

Otra de las aplicaciones que han aparecido en estos últimos años, publicadas por especialistas en intensivistas, es el estudio del diafragma mediante ecografía como herramienta predictora del éxito de la extubación. La ventilación mecánica es uno de los principales soportes requeridos por los pacientes críticos. El período de destete del paciente del respirador supone casi un 40% del tiempo conectado a la ventilación asistida¹³⁰. Aunque existen diversos parámetros que ayudan a estimar el posible éxito de la desconexión de la ventilación mecánica, para muchos supone más un arte basado en la experiencia que una ciencia. En la práctica variables como el volumen minuto, la

frecuencia respiratoria, el pico de presión inspiratoria máxima, la capacidad del paciente para disparar el *trigger* del respirador son empleadas con frecuencia para guiar el momento de extubación. Actualmente se están proponiendo nuevos métodos como la detección del estímulo neural, la estimación mediante medición de la presión transpulmonar o mediante calorimetría, entre otros. Todos estos métodos requieren de monitorización invasiva, no tiene disponibilidad universal y precisan de personal cualificado para su aplicación. De ahí la importancia de la aparición de la ecografía en este campo. La ecografía permite medir la capacidad contráctil del diafragma. Gracias a la medición del grosor diafragmático en pacientes intubados se ha observado que se puede detectar de forma precoz la atrofia diafragmática. También se ha observado que la medición del grosor en el punto de inserción en la cavidad torácica, tanto en modo M como en 2D, o la valoración de la excursión diafragmática son buenos predictores del éxito de extubación¹³¹⁻¹³⁴. Esta aplicación aún no ha sido demostrada en el campo pediátrico.

En el campo de la neonatología la ecografía pulmonar está empezando a emplearse en los últimos años y sobretodo, su uso se centra en el diagnóstico de la principal patología respiratoria neonatal el síndrome de distrés respiratorio (SDR). Aunque la radiografía de tórax continúa siendo la prueba de imagen de elección para el diagnóstico de SDR en recién nacidos prematuros, han aparecido estudios que ponen de manifiesto el potencial beneficio de la ecografía en el diagnóstico precoz de esta patología. Así la visualización de un “pulmón blanco” que se describe ecográficamente por la presencia de líneas B compactas, difusas y simétricamente distribuidas en ambos pulmones; junto con la presencia de un línea pleural con mala definición, irregular y engrosada sin zonas de normalidad conservadas es altamente sugestivo de SDR^{135,136}. La ecografía parece tener utilidad tanto en la enfermedad de membrana hialina como en el SDR de neonatos a término. La ecografía pulmonar permite poner de manifiesto los principales hallazgos asociados a este síndrome: consolidación pulmonar con broncograma aéreo, alteraciones de la línea pleural, derrame pleural, pulmón blanco o el síndrome intersticial^{136,137}. Aunque por el momento la ecografía no forme parte del algoritmo diagnóstico del SDR, en un futuro, probablemente, será una

parte primordial dentro de la evaluación respiratoria del neonato. También en el contexto del SDR neonatal se ha empleado la ecografía como predictor de fallo precoz de la ventilación no invasiva. La presencia de “pulmón blanco” tras 2 horas de ventilación no invasiva en modo CPAP parece relacionarse con necesidad de intubación orotraqueal en una población de neonatos con SDR¹³⁸.

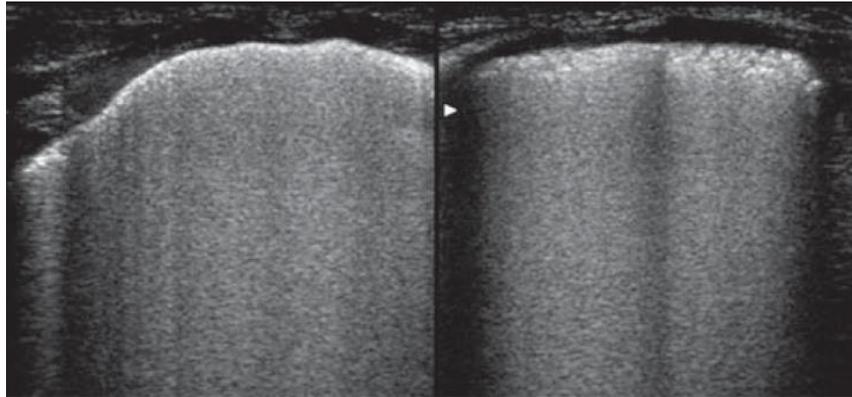


Figura 9. Pulmón con SDR neonatal. (Extraído de Vergine M, Copetti R, Brusa G, Cattarossi L. Lung Ultrasound Accuracy in Respiratory Distress Syndrome and Transient Tachypnea of the Newborn. *Neonatology* 2014; 106: 87-93.) Imagen compatible con pulmón blanco en neonato con SDR con aumento de líneas B y línea pleural irregular o mal definida.

C: Papel de la ecografía en la estabilización y evaluación cardiocirculatoria o hemodinámica.

Quizás sea el ámbito de la valoración hemodinámica o cardiocirculatoria el más pionero y extendido en la aplicación clínica de la ecografía en el paciente crítico. Gracias a la ecografía podemos hoy canalizar vasos centrales y periféricos de forma más segura y rápida, manejar de forma precoz e instantánea la inestabilidad hemodinámica de nuestros pacientes e incluso manejar de forma más adecuada al paciente crítico por excelencia: la parada cardiorrespiratoria.

Todas estas aplicaciones están cada vez más extendidas. Pero sin duda la que podríamos considerar la más establecida es la canalización vascular guiada por ecografía. Hemos asistido en esta última década a la publicación cada vez más frecuente de distintos grupos que presentaban su experiencia, más o menos amplia, en cateterización vascular guiada por ecografía. Antes era una práctica llevada a cabo en pacientes con factores de riesgo como obesos, embarazadas o pacientes con accesos vasculares complicados. Esta práctica cada vez más habitual ha llevado recientemente a la publicación de recomendaciones que consideran fundamental la canalización vascular guiada por ecografía, llegando a considerar mala praxis la ausencia de su uso en este campo¹³⁹⁻¹⁴¹.

La canalización vascular central es una técnica habitual en el paciente crítico y no está exenta de complicaciones, que en ocasiones son potencialmente letales. Se han descritos complicaciones importantes durante su colocación como: malposición, punción arterial, neumotórax, hemotórax, quilotórax, taponamiento cardíaco o arritmias entre otras^{142,143}. Desde el inicio de las primeras publicaciones en la década de los 90 sobre las primeras experiencias en el empleo de la ecografía en la canalización vascular, hasta la publicación en 2015 de una revisión en la Cochrane se ha objetivado el potencial beneficio de la canalización ecoguiada¹⁴⁴⁻¹⁴⁷. Ha demostrado disminuir la tasa de complicaciones, el número de intentos y el tiempo de canalización en comparación con la clásica canalización basada en referencias anatómicas. Basado en estudios realizados en adultos, en 2001, la *“Agency for Healthcare Research and Quality”* recomendaba el empleo de la ecografía a tiempo real para la canalización, con el fin de aumentar la seguridad del paciente. Posteriormente en 2002, el *“National Institute for Clinical Excellence”* del Reino Unido aconsejaba la canalización vascular ecoguiada de la yugular interna tanto en niños como en adultos. También el ACEP recomendaba el empleo de la ecografía con un nivel I de recomendación^{18,148}. Muchos de los estudios llevados a cabo en adultos se centran en la canalización ecoguiada de la vena yugular interna (VYI). Un metaanálisis basado en 18 ensayos de adultos objetivó que la canalización de la VYI con ecografía presentaba una menor tasa de fallos global y de número de intentos³⁹. Estos datos han sido refrendados por la revisión Cochrane

de 2015 donde la canalización ecoguiada de la VVI tanto en niños como en adultos supone una disminución de las complicaciones (-71%), incluyendo los hematomas (-72%) o la punción arterial. Esta reciente revisión también concluye una mayor tasa de éxito (+ 57%) y una reducción del tiempo empleado para la técnica¹⁴⁷. Las ventajas de la ecografía frente a la canalización en base a referencias anatómicas también se ha observado en manos inexpertas¹⁴⁹. En relación a otras localizaciones la bibliografía al respecto es menor. Aun así también existen metaanálisis recientes que han puesto de manifiesto que la canalización ecoguiada en 2D de la vena subclavia disminuye la tasa de fallos y el porcentaje de complicaciones¹⁵⁰. Según la Cochrane la canalización ecoguiada subclavia o femoral reviste pequeñas ventajas frente a la canalización mediante referencias anatómicas¹⁵¹.

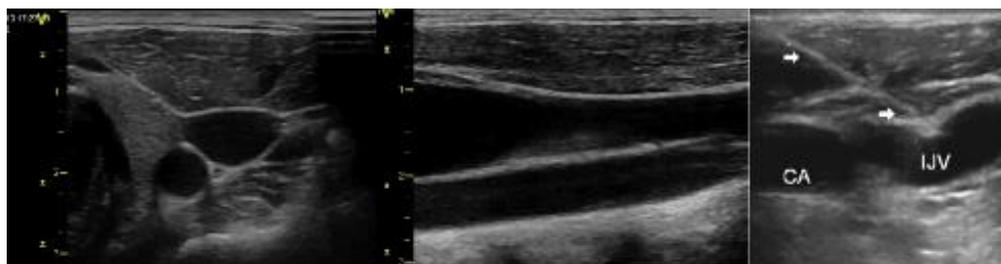


Figura 10. Imagen ecográfica de VVI y su canalización.

Izq.: Corte transversal VVI. Centro: Corte longitudinal VVI. Derecha: Canalización ecoguiada de VVI, se observa la aguja (flechas blancas).

En los últimos años la canalización ecoguiada ha permitido el acceso a nuevos abordajes como es el caso del tronco braquiocefálico (TBC) de gran utilidad en lactantes, niños pequeños o pacientes con factores de riesgo¹⁵². Este tipo de abordaje también parece asociarse a menor número de intentos en la canalización y gravedad de complicaciones asociadas^{153,154}.

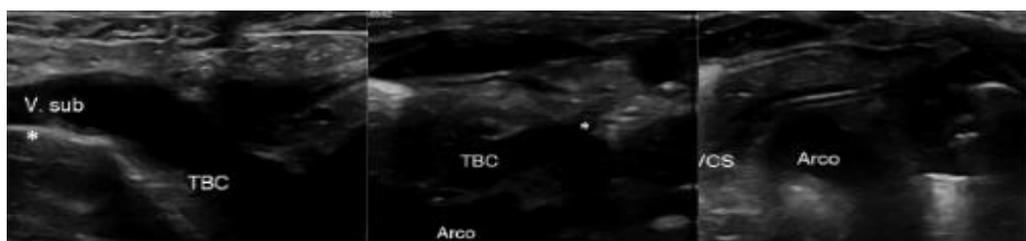


Figura 11. Imagen ecográfica del TBC y su canalización.

Izq.: Eje longitudinal de vena subclavia y continuación con TBC. Centro: Canalización TBC izquierdo en plano longitudinal (aguja indicada con asterisco). Derecha: Control ecográfico tras la canalización (CVC corresponde a estructura de líneas paralelas hiperecogénicas).

Aunque la canalización vascular central es la principal técnica en la que se emplea la ecografía, debido a sus potenciales beneficios, también se ha empleado en la canalización vascular arterial, en casos de canalización venosa periférica dificultosa o en la colocación de catéteres centrales de inserción periférica. La canalización arterial mediante ecografía parece que, en comparación con la técnica clásica basada en la palpación del pulso arterial, disminuye tanto el tiempo de canalización como el número de intentos y consigue una mayor tasa de éxito en el primer intento¹⁵⁵⁻¹⁵⁷. Los estudios publicados hasta la fecha sobre ecografía y accesos vasculares periféricos difíciles son escasos y de poco tamaño muestral. Se han observado similares beneficios, sobretodo en la población pediátrica. En adultos no parece tan claro el beneficio de la ecografía en la canalización periférica^{158,159}.

Uno de los enfoques más novedosos y menos explorados de la ecografía en el campo de la canalización vascular es su uso como método de confirmación de la adecuada localización de los catéteres. La malposición de la punta del catéter puede desencadenar potenciales complicaciones severas como la aparición de arritmias, trombosis o taponamiento cardíaco^{143,160,161}. En la mayor parte de unidades de intensivos, la técnica estandarizada para la comprobación y descarte de posibles complicaciones es la radiografía de tórax. Existen pocos estudios relacionados, y aún menos que hayan comparado la ecografía con la técnica estandarizada actual^{162,163}. En los últimos años han aparecido publicaciones que cuestionan la realización de forma reglada de la radiografía de tórax tras la canalización vascular^{164,165}. Se ha objetivado que la radiografía de tórax puede infraestimar la localización de la punta del catéter y clasificar catéteres correctamente colocados cuando realmente no lo están. Además, la realización de una radiografía retrasa en muchos casos el inicio de tratamientos urgentes y aumenta la exposición a radiación. Parece que la ecografía permite una definición mejor de la localización de la punta del catéter, supone menos tiempo de comprobación, no expone al paciente a irradiación y permite la evaluación repetida en casos de sospecha de migración del catéter.

La ecografía ha adquirido importancia en la valoración y manejo de la inestabilidad hemodinámica. Aunque su empleo es más común en la medicina intensiva del adulto, está empezando a aparecer en la medicina crítica pediátrica y neonatal^{148,166}. Se ha integrado la ecografía en algoritmos de manejo del paciente hipotenso, en shock hipovolémico, cardíaco o séptico, o ante situaciones de parada cardiorrespiratoria. Ante pacientes inestables, la realización de ecocardiografía, la valoración de la vena cava inferior (VCI) o ecografía pulmonar va a permitir un diagnóstico precoz, un manejo terapéutico más adecuado y posterior evaluación de la respuesta al tratamiento pautado. La realización de una exploración ecocardiográfica en el paciente crítico es relativamente sencilla. Mediante 4 planos diferentes (4-5 cámaras, paraesternal eje corto, paraesternal eje largo y el subcostal) podemos valorar la función del VI y VD, diagnosticar la presencia de derrame pericárdico y aproximarnos al estado de volemia del paciente. La ecografía permite el abordaje diagnóstico y terapéutico del paciente hipotenso. Existen algoritmos que ante este tipo de pacientes recomiendan la realización de una ecocardiografía para valorar: presencia de taponamiento cardíaco, la función del VI y las cavidades derechas. La observación de un líquido anecoico rodeando las cavidades cardíacas es sugestiva de derrame pericárdico y ante el hallazgo de colapso de cavidades derechas, que sugiere taponamiento cardíaco, el clínico deberá actuar de forma urgente mediante la realización de pericardiocentesis. Si en la ecografía se observa disminución de la función del VI se planteará el inicio de fármacos inotrópicos. Si por el contrario se identifica dilatación de cavidades derechas tendremos que descartar la presencia de tromboembolismo pulmonar.

En aquellos casos que se sospecha hipovolemia, además de los parámetros clásicos clínicos o de los índices estáticos como la PVC, ha demostrado ser útil la valoración de la VCI por ecografía. La administración de líquidos en el paciente inestable no es sencilla, pues los líquidos pueden pasar de ser beneficiosos a ser perjudiciales en casos de sobrecarga. Gracias a la medición del tamaño de la VCI como de su variación durante la respiración, podemos identificar a aquellos pacientes que precisan de aporte de líquidos y posteriormente valorar la respuesta adecuada al tratamiento con

fluidos. Otras medidas ecográficas como la variación respiratoria del flujo aórtico o el test de elevación pasiva de las piernas también se han empleado para valorar la adecuada respuesta a líquidos¹⁶⁶⁻¹⁶⁸. En el campo de la neonatología la ecocardiografía no sólo se emplea en la valoración del paciente con sospecha de cardiopatía congénita o en la valoración del neonato pretérmino con ductus arterioso persistente. Se han publicado guías para su aplicación en otras situaciones como la asfixia perinatal, el neonato hipotenso, la hipertensión pulmonar persistente o ante la sospecha de derrame pericárdico^{169,170}.

La ecografía también está adquiriendo un papel importante en los casos de parada cardiorrespiratoria. En la reanimación cardiopulmonar hay 3 objetivos fundamentales: iniciar las maniobras lo antes posible, discontinuarlas en el menor tiempo posible y diagnosticar lo más rápidamente causas reversibles. Aunque aún no se han integrado en las guías internacionales de reanimación cardiopulmonar, en su última revisión en el 2010 ya se puntualiza el beneficio de la ecocardiografía como método de diagnóstico precoz de causas reversibles de parada¹⁷¹. Se ha observado que el empleo de la ecografía en el manejo pre-hospitalario del paciente en parada es beneficioso pues permite diagnosticar causas reversibles que no podrían diagnosticarse de otro modo y modificar la actuación del personal sanitario¹⁷². No sólo se ha empleado con este fin sino que también se ha observado que se puede guiar la eficacia de las compresiones torácicas con ella¹⁷³. Existen además casos descritos de asistolia por electrocardiografía en los que se ha demostrado contractilidad cardíaca mediante la ecocardiografía, lo cual mejora el pronóstico en estos casos¹⁷². Recientemente han aparecido publicaciones en las que se integra la ecografía durante las maniobras de reanimación, en los denominados protocolos FEER (*"Focused Ecocardiographic Evaluation in Resuscitation"*) y CAUSE (*"Cardiac Arrest Ultrasound Exam"*)^{174,175}. Uno de los potenciales beneficios de la ecografía es que permite evaluar al paciente sin interferir en las maniobras de reanimación. La ecografía se emplea idealmente durante los períodos de re-evaluación del paciente en ausencia de compresiones torácicas. Incluso existe experiencia en su empleo durante las maniobras de reanimación, pero parece que dificulta su realización e interpretación¹⁷⁶.

D: la ecografía en la valoración neurológica del paciente crítico.

La valoración y manejo neurológico del paciente crítico quizá sea el ámbito en el que la ecografía se haya empleado de forma menos habitual. El doppler transcraneal es un método no invasivo de medida de la velocidad del flujo cerebral a nivel de los principales vasos de este territorio. Gracias a él podemos obtener información importante de la situación hemodinámica del sistema nervioso central. La estimación de la perfusión cerebral y de la presión intracraneal en paciente de riesgo, como traumatismo craneoencefálico o coagulopatía, es una de las aplicaciones más empleadas de la ecografía. Se ha objetivado en diversos estudios que la identificación de velocidades diastólicas de flujo cerebral bajas e índices de pulsatilidad elevados son indicativos de hipoperfusión cerebral¹⁷⁷⁻¹⁷⁹.

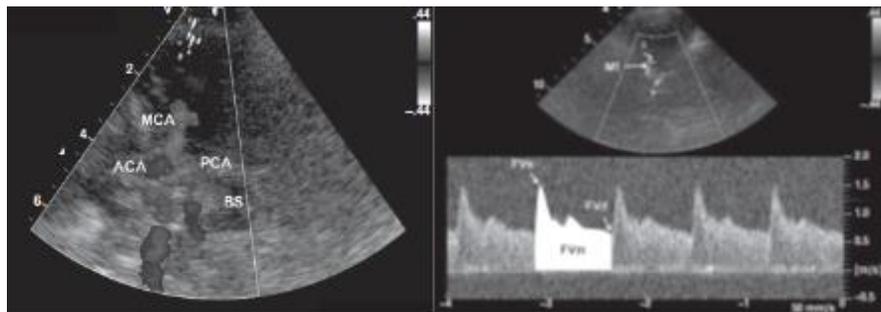


Figura 12. Imagen ecográfica de Doppler Transcraneal. (Extraído de: Bouzat P, Oddo M, Payen JF. Transcranial Doppler after traumatic brain injury : is there a role ? *Curr Opin Crit Care* 2014; 20: 153-60.)

Izq.: Imagen en 2D de doppler transcraneal a través de ventana temporal.
Derecha: Doppler obtenido en arteria cerebral media (MCA) observando flujo sistólico (FVs), flujo diastólico (FVd) y velocidad media del flujo (FVm).

El paciente con traumatismo craneoencefálico presenta lesiones primarias debidas al impacto en las que poco puede hacer el clínico. Es fundamental su actuación en la prevención del daño neurológico secundario a la hipoxia e isquemia. La actuación y tratamiento precoz sobre estas lesiones secundarias son determinantes en el pronóstico de este tipo de pacientes. Es fundamental mantener un adecuado flujo cerebral, éste es variable y por ello parece importante tener una vigilancia dinámica del mismo. Gracias al doppler transcraneal podemos vigilar de forma no invasiva la perfusión cerebral. Diversos estudios han demostrado que la medición precoz de la

velocidad de flujo y del índice de pulsatilidad se relacionan, junto con la clínica y el TAC al ingreso, con el pronóstico neurológico al alta. Esto se ha observado en TCE severos, pero también en los casos más frecuentes el TCE moderado y leve, lo cual puede permitir identificar a aquellos pacientes que deben ser manejados de forma más precoz e intensiva^{178,179}. Aunque las guías internacionales de TCE severo hablan de la importancia de la neuromonitorización para el pronóstico, aún no se habla del doppler transcraneal como herramienta en concreto¹⁸⁰.

Otra forma de estimar la presión intracraneal (PIC) en el paciente crítico, empleando la ecografía, es mediante la realización de ecografía ocular. Debido a su localización contigua a la duramadre, y por tanto al espacio subaracnoideo, la medición del diámetro del nervio óptico parece que podría ser útil como método de detección de hipertensión intracraneal. Existen varios metaanálisis en adultos y algún estudio prospectivo en niños, que determinan que la medición mediante ecografía ocular del diámetro del nervio óptico, a 3 mm del globo ocular, se correlaciona bien con la presencia de hipertensión intracraneal. Se ha comparado este nuevo método con otros métodos no invasivos de diagnóstico como son el TAC o la RNM y también con la medición invasiva mediante medición de la PIC intraparenquimatosa o intraventricular. Se ha observado que tiene una alta sensibilidad (70-100%) en población de bajo riesgo y buena especificidad (30-83%) en población de riesgo. La presencia de una exploración ecográfica patológica aumenta el riesgo de hipertensión intracraneal 51 veces^{181,182}. Parece que la medición del nervio óptico mediante ecografía ocular podría ser empleada en centros que no dispongan de otros métodos no invasivos o de especialista en neurocirugía, en casos de contraindicación de monitorización no invasiva, en la evaluación precoz de pacientes de riesgo o como método de *screening* en aquellos casos que no tengan indicación inicial de monitorización invasiva. Recientemente se han descritos otros hallazgos ecográficos oculares sugestivos de hipertensión intracraneal¹⁸³:

1. La “elevación del disco óptico” que se describe como el ascenso ≥ 1 mm tras el globo ocular justo a la entrada del nervio óptico.

2. El “signo creciente” que se define como la presencia de un fluido que rodea al nervio óptico.



Figura 13. Valoración ecográfica del nervio óptico. (Extraído de: Ohle R, McIsaac SM, Woo MY, Perry JJ. Sonography of the Optic Nerve Sheath Diameter for Detection of Raised Intracranial Pressure Compared to Computed Tomography: A Systematic Review and Meta-analysis. J Ultrasound Med 2015; 34: 1285–94.)
Izq.: Ecografía ocular transversal. Derecha: Medición del grosor del nervio óptico mediante ecografía como predictor de aumento de la PIC.

La experiencia en el uso de la ecografía, como herramienta en técnicas relacionadas con el manejo neurológico, es escasa. La punción lumbar es una de las principales técnicas llevadas a cabo en servicios de urgencias, intensivos y unidades neonatales con fines diagnósticos y terapéuticos. La punción lumbar no está exenta de complicaciones y en determinada población, como obesos, niños y neonatos presenta una alta tasa de fracasos o punciones lumbares traumáticas. Esta tasa llega a ser de hasta el 50 % en la población neonatal¹⁸⁴. Este hecho hace que en muchas ocasiones la obtención de una muestra inadecuada de líquido cefalorraquídeo lleve a dificultades en la interpretación de los resultados y por tanto en el posterior manejo de los pacientes. De ahí la importancia de emplear herramientas que aumenten la posibilidad de éxito en su realización. Habitualmente la elección del lugar de punción viene determinada por referencias anatómicas, pero se ha observado que en hasta un 58% de los casos no se identifica correctamente el espacio interespinoso¹⁸⁵. Gracias a la ecografía se puede identificar la anatomía lumbar y facilitar la realización de la punción lumbar mediante pre-visualización o mediante guía ecográfica durante la técnica. Parece que la identificación de la anatomía lumbar por personal no experto es sencilla y puede facilitar la punción lumbar^{186,187}. Gracias a la pre-visualización se puede

determinar el lugar óptimo de entrada, el ángulo más adecuado o la profundidad de inserción de la aguja. Por el momento los estudios publicados al respecto son escasos y con escaso tamaño muestral, más aún en el ámbito pediátrico y neonatal. No existen en la bibliografía ensayos clínicos al respecto y sólo un meta-análisis ha profundizado en este tema. Éste ha puesto de manifiesto que el uso de la ecografía debería plantearse en aquellos casos con dificultad añadida pues parece que disminuye el riesgo de punciones fallidas o traumáticas así como el número de intentos y re-direccionamientos de la aguja¹⁸⁶.

En la población neonatal, donde se estima que la tasa de fallo es mayor, no existen recomendaciones estandarizadas sobre cómo realizar la técnica de punción lumbar. Algún estudio ha evaluado cómo la posición del paciente modifica la anatomía lumbar, pero la experiencia reflejada en la bibliografía hasta la fecha es muy escasa. Éste es quizá uno de los campos con más potencial y menos explorado por el momento en relación con ecografía y probablemente aparecerán en el futuro numerosas publicaciones y recomendaciones al respecto.



Figura 14. Valoración ecográfica lumbar. (Extraído: Cadigan BA, Cydulka RK, Werner SL, Jones RA. Evaluating infant positioning for lumbar puncture using sonographic measurements. *Acad Emerg Med.* 2011 Feb;18(2):215-8.)
Izq.: Ecografía lumbar longitudinal. Derecha: Ecografía de la anatomía lumbar.

III. ARTICULO 1



ORIGINAL

Utilidad de la ecografía comparada con la capnografía y la radiografía en la intubación traqueal



P. Alonso Quintela^{a,*}, I. Oulego Erroz^{b,d}, M. Mora Matilla^a, S. Rodríguez Blanco^{c,d},
D. Mata Zubillaga^e y L. Regueras Santos^d

^a Servicio Pediatría, Complejo Asistencial Universitario de León, León, España

^b Servicio de Cardiología, Complejo Asistencial Universitario de León, León, España

^c Servicio de Neonatología, Complejo Asistencial Universitario de León, León, España

^d Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos, Complejo Asistencial Universitario de León, León, España

^e Centro de Salud Ponferrada IV, Complejo Asistencial Universitario de León, León, España

Recibido el 19 de noviembre de 2013; aceptado el 10 de enero de 2014

Disponible en Internet el 21 de febrero de 2014

PALABRAS CLAVE

Ecografía;
Intubación traqueal;
Neonatos;
Niños;
Capnografía;
Radiografía

Resumen

Objetivos: Evaluar la utilidad de la ecografía frente a la capnografía y la radiografía en la intubación traqueal (IT) en niños y neonatos.

Material y métodos: Se incluyó a pacientes hemodinámicamente estables intubados en la UCIP y UCIN. Se verificó la posición del tubo endotraqueal (TET) tras cada intubación mediante ecografía traqueal y capnografía. Posteriormente, se comprobó la profundidad del TET por ecografía mediante la visualización de la punta del mismo y el deslizamiento pleural y, posteriormente, con radiografía de tórax. Se cronometraron los tiempos de realización de las técnicas.

Resultados: Se incluyó a 31 intubaciones en 26 pacientes (15 en UCIP y 16 en UCIN). No hubo diferencias significativas entre la ecografía y la capnografía ni entre la ecografía y la radiografía en la detección de la IT ni en la comprobación de la profundidad del TET. La sensibilidad y la especificidad de la ecografía comparada con la capnografía y la radiografía fueron del 92 y el 100%, y del 100 y el 75%, respectivamente. La ecografía fue significativamente más lenta que la capnografía (12 [4-16] vs. 6 [3-12] s; $p < 0,001$) y más rápida que la radiografía (0,22 [0,17-0,40] vs. 20 [17-25] min; $p < 0,001$).

Conclusiones: La ecografía parece tan efectiva como la capnografía, aunque más lenta en la comprobación de la IT. Podría ser de utilidad en situaciones donde la capnografía no sea fiable. La ecografía es tan efectiva y más rápida que la radiografía en la evaluación de la profundidad del TET, por lo que podría disminuir la utilización rutinaria de la radiografía.

© 2013 Asociación Española de Pediatría. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: paulaalonsoquintela@gmail.com (P. Alonso Quintela).

KEYWORDS

Bedside ultrasound;
Tracheal intubation;
Newborn;
Children;
Capnography;
X-ray

Usefulness of bedside ultrasound compared to capnography and X-ray for tracheal intubation**Abstract**

Objectives: The aim of this study was to assess the usefulness of bedside ultrasound compared to capnography and X-ray for endotracheal intubation in children and newborns.

Materials and methods: Hemodynamically stable children intubated in pediatric and neonatal intensive care unit were included. Endotracheal tube insertion was checked after every intubation attempt by tracheal ultrasound and capnography simultaneously. The endotracheal tube insertion depth was then checked by assessment of lung sliding by thoracic ultrasound. Thereafter, Chest X-ray was performed and interpreted as usual. Time to perform each technique was recorded.

Results: The study included 31 intubations in 26 patients (15 in PICU and 16 in NICU). There were no statistically significant differences between tracheal ultrasound and capnography or between thoracic ultrasound and x-ray in identifying the correct endotracheal intubation and assessment of endotracheal tube insertion depth, respectively. Sensibility and specificity of ultrasound compared to capnography was 92% and 100%, and 100% and 75% compared to X-ray. Ultrasound was significantly slower compared to capnography [12 (4-16) vs 6 (3-12) seconds; $P < .001$] and significantly quicker compared to X-ray [0.22 (0.17-0.40) vs. 20 (17-25) minutes, $P < .001$].

Conclusions: Ultrasound appears to be as effective as capnography, although slower, for identifying endotracheal intubation. Ultrasound may be useful in clinical situations, such as cardiopulmonary resuscitation where capnography is less reliable. Ultrasound is as effective and quicker than X-ray for assessment of endotracheal tube insertion depth, and it may contribute to decrease the routine use of X-ray after tracheal intubation.

© 2013 Asociación Española de Pediatría. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La intubación traqueal (IT) es una técnica esencial en el manejo de la vía aérea. Sin embargo, puede asociarse a complicaciones potencialmente graves, como la intubación esofágica (IE) inadvertida o la intubación selectiva de un bronquio. Por ello, tras toda intubación es necesario comprobar que la posición del tubo endotraqueal (TET) y su profundidad son correctas¹⁻³. La laringoscopia directa permite la comprobación directa de la IT, pero requiere experiencia por parte del operador y exige la interrupción de las maniobras de reanimación en caso de parada cardiorrespiratoria^{4,5}. Existen métodos alternativos, como la auscultación, la capnografía, la elevación del tórax, el empañamiento del tubo y la elevación de la frecuencia cardíaca en el neonato⁶. Aunque ninguno de ellos ha demostrado ser completamente fiable en la actualidad, la capnografía es el método más empleado y recomendado⁷. La radiografía de tórax se emplea de rutina en la mayoría de las unidades para comprobar la posición adecuada de la punta del TET en la tráquea tras la intubación. Existe aún poca experiencia en el uso de la ecografía en la intubación pediátrica. Estudios en adultos parecen indicar que la ecografía es tan fiable y rápida como los métodos convencionales y podría ofrecer ventajas en determinadas situaciones, como la parada cardiorrespiratoria^{3,8-10}.

El objetivo de nuestro estudio fue evaluar la aplicabilidad y la eficacia de la ecografía en la IT frente a los métodos más utilizados, como la capnografía o la radiografía de tórax.

Material y métodos**Diseño del estudio**

Estudio de validez de prueba diagnóstica, llevado a cabo entre enero del 2011 y junio del 2013. Se incluyó a pacientes ingresados en la unidad de cuidados intensivos pediátricos y neonatales que precisaron intubación cuando el investigador encargado de realizar la ecografía estaba disponible. Ninguno de los pacientes incluidos se encontraba en situación de parada cardiorrespiratoria y todos estaban hemodinámicamente estables. El protocolo del estudio fue aprobado por el CEIC del centro y se obtuvo consentimiento informado de los padres o tutores legales.

Realización e interpretación de la ecografía

La ecografía se realizó con un equipo portátil (Vivid 1, General Electric, Atlanta, EE. UU.) equipado con sondas microcóncava 8 Hz y lineal de 12 Hz adecuadas por su alta definición de estructuras superficiales. Por su pequeño tamaño, la sonda microcóncava se utilizó en lactantes < 1 año y la lineal en > 1 año. Para la ecografía traqueal, la sonda se colocó por encima de la escotadura supraesternal con el cuello en ligera extensión (fig. 1) y para la ecografía torácica se colocó en plano longitudinal en posición axilar media en ambos hemitórax.

En el plano transversal, cuando el TET está alojado en la tráquea se observa un doble contorno producido por la interfaz entre el aire y el TET, del que se origina un



Figura 1 Colocación del paciente para la realización de ecografía traqueal.

artefacto en forma de cola de cometa (fig. 2 A). La presencia de esta imagen ha demostrado tener una sensibilidad del 100% en diversos estudios¹¹. En los casos de IE no se observa dicho artefacto, pudiéndose objetivar a veces el TET en el esófago en posición paratraqueal, aunque esto no es constante. En la ecografía en el plano longitudinal, la intubación endotraqueal muestra una imagen ecogénica de doble contorno a lo largo de la tráquea inmediatamente posterior a los anillos traqueales que no se observa en el caso de IE (fig. 2 B). Si el TET se encuentra en la tráquea extratorácica (malposición alta), se observa la punta del TET y una sombra acústica posterior que corresponde al aire en tráquea (fig. 2 C). La adecuada profundidad del TET se comprueba por ecografía torácica en modo 2D, que permite evaluar el deslizamiento pulmonar que supone la visualización del deslizamiento de la pleura visceral sobre la parietal con la expansión del tórax. Ante un movimiento simétrico bilateral, se descarta la intubación selectiva^{12,13}. En modo M, el deslizamiento pulmonar normal permite detectar el denominado «signo de la orilla del mar» (fig. 3). La ausencia de deslizamiento pulmonar no es específica de intubación selectiva y debe tenerse en cuenta que también aparece en caso de neumotórax o grandes atelectasias, o consolidaciones que impidan la movilidad del pulmón con la insuflación^{12,14}.

Protocolo del estudio

El protocolo del estudio se dividió en 2 fases: 1) intubación y comprobación simultánea con capnografía y ecografía traqueal, y 2) localización del TET con ecografía torácica y radiografía de tórax. La intubación corrió a cargo del médico responsable. Un pediatra con 5 años de experiencia en ecografía realizó todas las ecografías y un segundo investigador cronometró los tiempos empleados para la realización de cada una de las técnicas. No se tuvieron en cuenta el tiempo de encendido del ecógrafo ni la instalación y la calibración del capnógrafo. El tiempo para la radiografía se consideró desde la petición hasta la lectura en los terminales digitales de la unidad. La información obtenida por la ecografía no fue facilitada al médico responsable para no influir en su actitud clínica. El cronograma del protocolo se resume en la tabla 1.

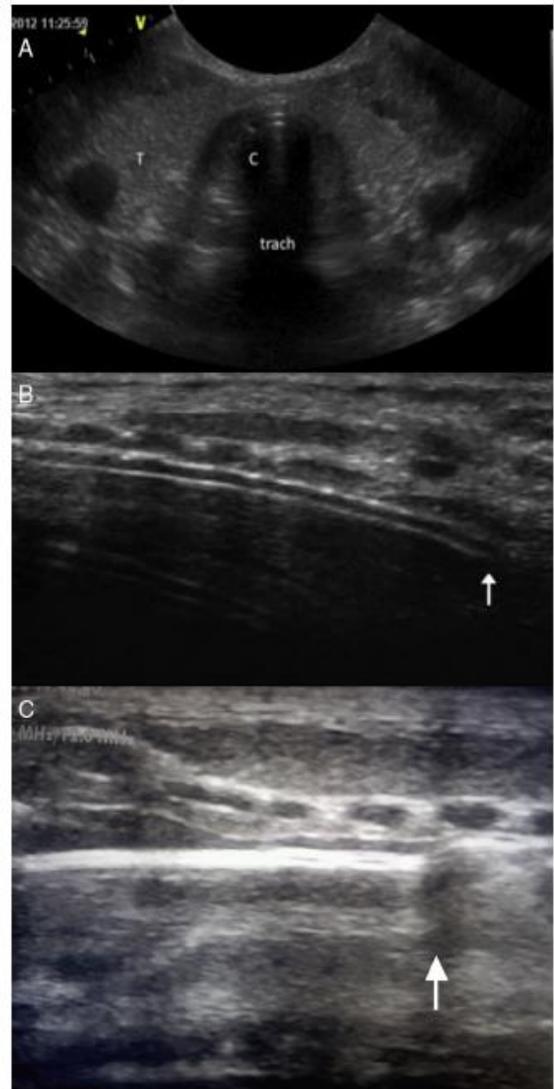


Figura 2 A) Plano transverso: sombra hiperecogénica o «signo de la cola de cometa» (C) visible en IT. B) Plano longitudinal: línea ecogénica de doble contorno correspondiente a TET (flecha) posterior a anillos traqueales. C) En casos de malposición alta, podemos objetivar sombra acústica posterior que corresponde al aire en tráquea (flecha). T: tiroides; Trach: tráquea.

Se consideró IT por capnografía la presencia de ≥ 3 ondas consecutivas con una meseta claramente identificable durante la insuflación con bolsa y mascarilla. Se consideró posición correcta del TET por radiografía cuando la punta del TET se encontraba alrededor de 2 cm de la carina. Se consideró malposición alta cuando el TET se encontraba por encima de la línea de unión clavicular en la radiografía e intubación selectiva si el TET se encontraba insinuado o introducido en el bronquio principal derecho.

Se consideró IT por ecografía la identificación de los signos ecográficos característicos mencionados en al menos uno de los planos realizados. Se consideró una profundidad

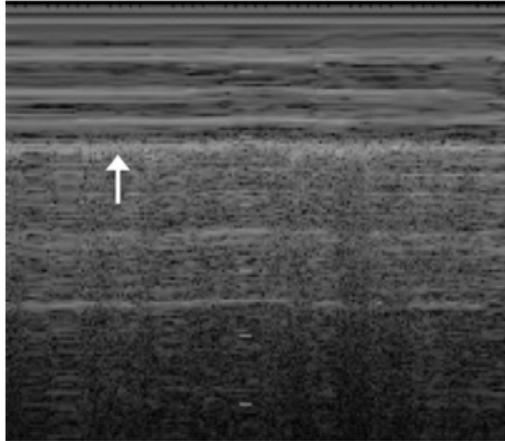


Figura 3 Ecografía pulmonar en modo M: signo del deslizamiento pulmonar; muestra una imagen parecida a la arena conocida como «signo de la orilla del mar». Línea pleural (flecha).

correcta del TET por ecografía cuando la punta del TET no se observó en la tráquea extratorácica en plano longitudinal y se visualizó claramente deslizamiento pulmonar bilateral en la ecografía torácica. Cuando la punta del TET se observó en ecografía longitudinal se consideró malposición alta y si el deslizamiento pulmonar era unilateral derecho, se consideró malposición por intubación selectiva. El algoritmo propuesto para la utilización de la ecografía en la IT se muestra en la [figura 4](#).

Análisis estadístico

Los datos cuantitativos se expresan como mediana y rango, y los cualitativos como número sobre el total (n/N). Se comparó el número de IT determinado por la capnografía con la ecografía. Así mismo se comparó el número de posiciones correctas determinadas entre la ecografía y la radiografía. También se comparó el tiempo de realización

Tabla 1 Cronograma del protocolo del estudio	
1.ª fase: comprobación intubación	
Ecografía traqueal	Capnógrafo
Plano transversal	Conexión
Plano longitudinal	≥ 3 ondas con meseta
Punta del TET	
Fijación del TET	
2.ª fase: comprobación profundidad TET	
Solicitud radiografía de tórax	
Ecografía torácica	
Deslizamiento pulmonar	
Signo de la orilla del mar	
Lectura de la radiografía de tórax	

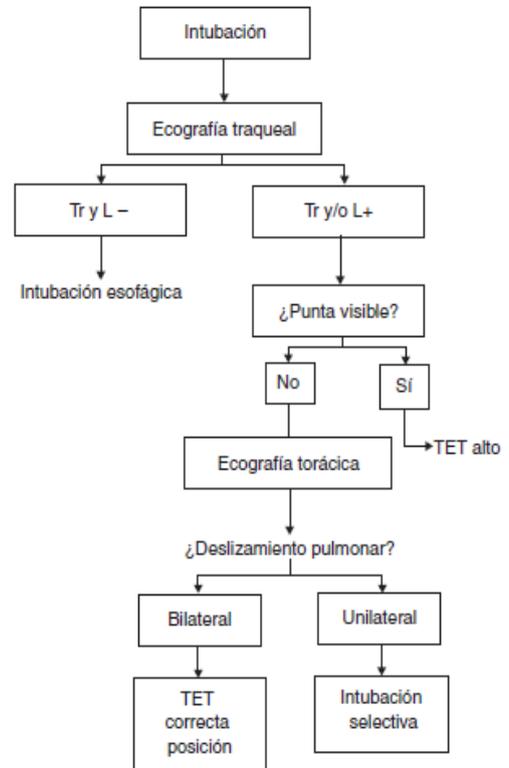


Figura 4 Algoritmo propuesto para el uso de la ecografía en la comprobación del TET. Tr: ecografía plano transversal. L: ecografía plano longitudinal. TET: tubo endotraqueal.

de las técnicas. Se hicieron comparaciones por subgrupos entre los resultados de UCIP y UCIN. Se utilizaron test no paramétricos (Wilcoxon para muestras pareadas y U de Mann-Whitney para muestras independientes) y chi al cuadrado. Se consideró significativa una $p < 0,05$.

Resultados

Se incluyeron 31 intubaciones en 26 pacientes. Trece fueron neonatos en UCIN, con una mediana de edad gestacional de 32 semanas (rango: 24-40) y una mediana de peso de 1.438 g (rango: 530-3450). Trece fueron niños en UCIP, con una mediana de edad de 4 años (rango: 3 meses-14 años) y una mediana de peso de 21 kg (rango: 4-58). Los resultados para la capnografía vs. la ecografía y para la radiografía vs. la ecografía se resumen en las [tablas 2 y 3](#). No hubo diferencias significativas en la capacidad de detectar la IT entre la capnografía y la ecografía en niños de UCIN ni de UCIP; sin embargo, la ecografía fue significativamente más lenta, diferencia que, no obstante, no se observó en el subgrupo de pacientes en UCIP. En cuanto a la comparación entre radiografía y ecografía, tampoco se encontraron diferencias significativas. No se visualizó el TET con ecografía en 2 neonatos con capnografía positiva. Por otro lado, la ecografía no detectó 2 malposiciones (TET en posición alta) que sí se mostraron en la radiografía. Considerando la capnografía como método de referencia, la ecografía

Tabla 2 Comparación de ecografía vs. capnografía en intubación traqueal

N=31	Ecografía	Capnografía	p
<i>Intubación traqueal, n/N</i>			
UCIP	13/15	13/15	p = 1
UCIN	11/16	13/16	p = 0,414
Total	24/31	26/31	p = 0,520
<i>Tiempo, s</i>			
UCIP	6 (4-12)	4 (3-12)	p = 0,184
UCIN	34 (12-116) ^a	7 (4-10) ^b	p < 0,001
Total	12 (4-116)	6 (3-12)	p < 0,001

^a p < 0,001 UCIP ecografía vs. UCIN ecografía.^b p = 0,005 UCIP capnografía vs. UCIN capnografía.

tuvo una sensibilidad del 92% y una especificidad del 100% para la detección del TET dentro de la tráquea. De la misma forma, la ecografía tuvo una sensibilidad del 100% y una especificidad del 75% comparada con la radiografía para detectar la profundidad correcta del TET. En cuanto al tiempo, la ecografía fue significativamente más rápida que la radiografía en todas las comparaciones.

Discusión

La ecografía se ha empleado en el manejo de la vía aérea para la valoración de la anatomía, la estimación del tamaño del TET, la posición del TET y la detección de intubación selectiva^{5,15-20}. En nuestra opinión, uno de los aspectos más interesantes de la ecografía es que permite, además de visualizar el TET, evaluar la profundidad del TET y descartar malposición.

Este estudio tiene como objetivo comparar la utilidad de la ecografía para la identificación de la IT con métodos más empleados en nuestro medio, como la capnografía y la radiografía de tórax. Hemos encontrado que la ecografía es eficaz en la identificación de la IT, con una sensibilidad y una especificidad altas comparadas con la capnografía. Sin embargo, es una técnica considerablemente más lenta. Hay que resaltar que las diferencias observadas ocurrieron a expensas del grupo en UCIN. Probablemente, ello se deba al pequeño tamaño de la estructuras del cuello en neonatos, lo que incrementa la dificultad de la técnica. En niños

mayores, la ecografía fue tan rápida como la capnografía. La capnografía, por su seguridad y rapidez, constituye actualmente el método más empleado para comprobar la IT^{7,11}. Sin embargo, en la parada cardiorrespiratoria, debido a la falta de un flujo pulmonar adecuado, la capnografía puede no ser fiable. En este contexto, la ecografía puede ofrecer ventajas en situaciones de intubación urgente. Existen estudios con amplio tamaño muestral realizados por Sim et al.¹² y Chou et al.⁹ que han demostrado mejores resultados de la ecografía comparada con la capnografía en situación de parada cardiorrespiratoria. Además, nosotros hemos encontrado que la ecografía es tan rápida como la capnografía en niños mayores, lo cual puede indicar su potencial utilidad en este contexto donde la fiabilidad y rapidez son esenciales.

Otras situaciones en las que la ecografía puede ofrecer ventajas sobre la capnografía son un volumen corriente muy pequeño como puede suceder en niños prematuros o la presencia de broncoespasmo severo. En ausencia de estas circunstancias especiales, si la capnografía está disponible, la ecografía probablemente no debe utilizarse o emplearse solo como método complementario. Además, hemos observado que en neonatos la técnica es técnicamente más difícil, lo cual puede explicar que el TET no se visualizara en 2 neonatos correctamente intubados (falsos negativos). Finalmente, en 2 neonatos no se detectó la posición alta del TET. Por tanto, estos aspectos deben tenerse en cuenta a la hora de aplicar la técnica en neonatos, especialmente en caso de que el operador no tenga suficiente experiencia.

En comparación con la radiografía de tórax, la ecografía fue tan eficaz como la radiografía tanto en UCIP como en UCIN, con una alta sensibilidad y una moderada especificidad. Los falsos negativos en nuestro estudio se debieron al fallo de la ecografía en detectar una posición alta del TET en neonatos, lo que puede estar en relación con el pequeño tamaño del cuello, que hace difícil delimitar si el extremo del TET está dentro o no de la tráquea extratorácica. Claramente, la ecografía requiere menos tiempo que la radiografía. Este hallazgo también fue objetivado por Sim et al.¹² en población adulta y por Kerrey et al.²¹ y Galicinao et al.⁵ en niños. Otro estudio realizado en adultos por Pfeiffer et al.^{3,10} demostró que la ecografía es tan rápida como la auscultación y supera a la combinación de capnografía y auscultación en la localización del TET. Otra ventaja de la ecografía frente a la radiografía es que, ante desplazamientos del TET con la manipulación del paciente, permite comprobar su posición tantas veces como sea preciso, sin radiación asociada.

La experiencia pediátrica en el empleo de la ecografía como método de comprobación del TET es escasa. Kerrey et al.²¹ refieren que la ecografía es equiparable a la radiografía de tórax para determinar la posición del TET en la vía aérea. En dicho estudio es importante destacar que los ecografistas eran novatos. Existen estudios que demuestran que la ecografía puede emplearse con garantías en personal extrahospitalario con escasa formación²². Posteriormente, Galicinao et al.⁵, en un estudio pediátrico, han demostrado una sensibilidad y una especificidad del 100% de la ecografía en comparación con métodos clínicos y la radiografía de tórax. En este estudio, también comparan la ecografía con la capnografía y concluyen que la ecografía es un método secundario complementario, que ofrece ventajas en determinadas situaciones. En nuestra opinión, la ecografía podría tener utilidad para verificar el TET y descartar la malposición

Tabla 3 Comparación ecografía vs. radiografía en comprobación posición TET

N=26	Ecografía	Radiografía	p
<i>Posición correcta TET, n/N</i>			
UCIP	12/13	12/13	p = 1
UCIN	11/13	10/13	p = 0,472
Total	23/26	22/26	p = 0,871
<i>Tiempo, min</i>			
UCIP	0,21 (0,17-0,35)	21 (18-25)	p < 0,001
UCIN	0,25 (0,18-0,40) ^a	20 (17-25) ^b	p < 0,001
Total	0,22 (0,17-0,40)	20 (17-25)	p < 0,001

^a p = 0,387 UCIP ecografía vs. UCIN ecografía.^b p = 0,491 UCIP radiografía vs. UCIN radiografía.

de forma rápida tras la intubación, evitando la realización rutinaria de radiografías especialmente en niños mayores. En neonatos, nuestros resultados indican que si existen datos que indiquen una malposición alta (fugas excesivas del respirador, etc.), la ecografía puede no ser suficiente y es necesario realizar una radiografía.

Las principales fortalezas de nuestro estudio son su carácter prospectivo, la realización de todas las ecografías por el mismo operador y el ser el primer estudio que compara simultáneamente la ecografía con métodos estándar, como la radiografía y la capnografía en niños y neonatos. Nuestro estudio está limitado principalmente por el escaso número de pacientes incluidos y su heterogeneidad. Otra limitación es que el estudio se ha realizado en un ambiente controlado como es la UCI, donde el número de intubaciones esofágicas o malposiciones del TET es habitualmente bajo. Ello puede limitar la generalización de los resultados a otros ámbitos, como la asistencia prehospitalaria o las urgencias.

Futuros estudios deberían evaluar el papel de la ecografía en el manejo de la vía aérea en situación de parada cardiorrespiratoria o inestabilidad hemodinámica especialmente. Idealmente, dichos estudios deberían ser multicéntricos y realizarse en hospitales pediátricos de gran volumen.

Conclusiones

La ecografía permite comprobar la posición del TET de forma tan eficaz como la capnografía, aunque requiere mayor tiempo, especialmente en neonatos. Además, en neonatos puede haber falsos negativos y ser difícil diferenciar la malposición alta del TET. La ecografía es eficaz y rápida para comprobar la profundidad del TET y descartar intubación selectiva, por lo que podría contribuir a disminuir la utilización rutinaria de la radiografía.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Timmermann A, Russo SG, Eich C, Roessler M, Braun U, Rosenblatt WH, et al. The out-of-hospital esophageal and endobronchial intubations performed by emergency physicians. *Anesth Analg*. 2007;104:619–23.
2. Werner SL, Smith CE, Goldstein JR, Jones RA, Cydulka RK. Pilot study to evaluate the accuracy of ultrasonography in confirming endotracheal tube placement. *Ann Emerg Med*. 2007;49:75–80.
3. Pfeiffer P, Rudolph SS, Børglum J, Isbye DL. Temporal comparison of ultrasound vs auscultation and capnography in verification of endotracheal tube placement. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2011;55:1190–5.
4. Aziz HF, Martin JB, Moore JJ. The pediatric disposable end-tidal carbon dioxide detector role in endotracheal intubation in newborns. *J Perinatol*. 1999;19:110–3.
5. Galicinao J, Bush AJ, Godambe SA. Use of bedside ultrasonography for endotracheal tube placement in pediatric patients: A feasibility study. *Pediatrics*. 2007;120:1297–303.
6. Göksu E, Sayraç V, Oktay C, Kartal M, Akcimen M. How stilet use can effect confirmation of endotracheal tube position using ultrasound. *Am J Emerg Med*. 2010;28:32–6.
7. De Caen AR, Kleinman ME, Chameides L, Atkins DL, Berg RA, Berg MD, et al., Paediatric Basic and Advanced Life Support Chapter Collaborators. Part 10: Paediatric basic and advanced life support: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation*. 2010;81 Suppl 1:e213–59.
8. Grmec S. Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation. *Intensive Care Med*. 2002;28:701–4.
9. Chou HC, Chong KM, Sim SS, Ma MH, Liu SH, Chen NC, et al. Real-time tracheal ultrasonography for confirmation of endotracheal tube placement during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2013;84:1708–12.
10. Pfeiffer P, Bache S, Isbye DL, Rudolph SS, Røysing L, Børglum J. Verification of endotracheal intubation in obese patients –temporal comparison of ultrasound vs. auscultation and capnography. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2012;56:571–6.
11. Milling TJ, Jones M, Khan T, Tad-y D, Melniker LA, Bove J, et al. Transtracheal 2-d ultrasound for identification of esophageal intubation. *J Emerg Med*. 2007;32:409–14.
12. Sim SS, Lien WC, Chou HC, Chong KM, Liu SH, Wang CH, et al. Ultrasonographic lung sliding sign in confirming proper endotracheal intubation during emergency intubation. *Resuscitation*. 2012;83:307–12.
13. Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. *Lung sliding* *Chest*. 1995;108:1345–8.
14. Weaver B, Lyon M, Blaivas M. Confirmation of endotracheal tube placement after intubation using the ultrasound sliding lung sign. *Acad Emerg Med*. 2006;13:239–44.
15. Sustić A. Role of ultrasound in the airway management of critically ill patients. *Crit Care Med*. 2007;35 5 Suppl:S173–7.
16. Drescher MJ, Conard FU, Schamban NE. Identification and description of esophageal intubation using ultrasound. *Acad Emerg Med*. 2000;7:722–5.
17. Kim EJ, Kim SY, Kim WO, Kim H, Kil HH. Ultrasound measurement of subglottic diameter and an empirical formula for proper endotracheal tube fitting in children. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2013;57:1124–30.
18. Shibasaki M, Nakajima Y, Ishii S, Shimizu F, Shime N, Sessler DI. Prediction of pediatric endotracheal tube size by ultrasonography. *Anesthesiology*. 2010;113:819–24.
19. Hsieh KS, Lee CL, Lin CC, Huang TC, Weng KP, Lu WH. Secondary confirmation of endotracheal tube position by ultrasound image. *Crit Care Med*. 2004;32 9 Suppl:S374–7.
20. Oulego Erroz I, Alonso Quintela P, Rodríguez Blanco S, Fernández Miaja M. Verification of endotracheal tube placement using ultrasound during emergent intubation of a preterm infant. *Resuscitation*. 2012;83:143–4.
21. Kerrey BT, Geis GL, Quinn AM, Hornung RW, Ruddy RM. A prospective comparison of diaphragmatic ultrasound and chest radiography to determine endotracheal tube position in a pediatric emergency department. *Pediatrics*. 2009;123:e1039–44.
22. Lyon M, Walton P, Bhalla V, Shiver SA. Ultrasound detection of the sliding lung sign by prehospital critical care providers. *Am J Emerg Med*. 2012;30:485–8.

III. ARTICULO 2

Location of the Central Venous Catheter Tip With Bedside Ultrasound in Young Children: Can We Eliminate the Need for Chest Radiography?

Paula Alonso-Quintela, MD^{1,2}; Ignacio Oulego-Erroz, MD^{1,2}; Silvia Rodriguez-Blanco, MD¹;
Manoel Muñoz-Fontan, MD¹; Santiago Lapeña-López-de Armentia, MD, PhD^{1,2};
Antonio Rodriguez-Núñez, MD, PhD^{3,4}

Objective: To compare the use of bedside ultrasound and chest radiography to verify central venous catheter tip positioning.

Design: Prospective observational study.

Setting: PICU of a university hospital.

Patients: Patients aged 0–14 who required a central venous catheter.

Intervention: None.

Measurements and Main Results: Central venous catheter tip location was confirmed by ultrasound and chest radiography. Central venous catheters were classified as intra-atrial or extra-atrial according to their positions in relation to the cavoatrial junction. Central venous catheters located outside the vena cava were considered malpositioned. The distance between the catheter tip and the cavoatrial junction was measured. The time elapsed from image capture to interpretation was recorded. Fifty-one central venous catheters in 40 patients were analyzed. Chest radiography and ultrasound results agreed 94% of the time (κ coefficient, 0.638; $p < 0.001$) in determining intra-atrial and extra-atrial loca-

tions and 92% of the time in determining the diagnosis of central venous catheter malposition (κ coefficient, 0.670; $p < 0.001$). Chest radiography indicated a greater distance between the central venous catheter tip and the cavoatrial junction than measured by ultrasound, with a mean difference of 0.38 cm (95% CI, +0.27, +0.48 cm). Three central venous catheters were classified as extra-atrial by chest radiography but as intra-atrial by ultrasound. To locate the central venous catheter tip, ultrasound required less time than chest radiography (22.96 min [20.43 min] vs 2.23 min [1.08 min]; $p < 0.001$).

Conclusions: Bedside ultrasound showed a good agreement with chest radiography in detecting central venous catheter tip location and revealing incorrect positions. Ultrasound could be a preferable method for routine verification of central venous catheter tip and can contribute to increased patient safety. (*Pediatr Crit Care Med* 2015; XX:00–00)

Key Words: central venous catheter; children; critical care; safety; ultrasound

¹Pediatric Critical Care Unit, Department of Pediatrics, Complejo Asistencial Universitario de León, León, Spain.

²Biomedicine Institute of León (IBIOMED), University of León, León, Spain.

³Pediatric Emergency and Critical Care Division, Clinical University Hospital, University of Santiago de Compostela, Institute of Investigation of Santiago (IDIS), Santiago de Compostela, Spain.

⁴Research Network on Maternal and Child Health and Development II (Red SAMID II), Spanish Health Institute Carlos III, Madrid, Spain.

Dr. Oulego-Erroz signs on behalf of the Working Group on Bedside Ultrasound of The Spanish Society of Pediatric Intensive Care (SECIP). Other members of the group are: Rafael Gonzalez Cortes, Pediatric Intensive Care Unit, Hospital Universitario Gregorio Marañón, Madrid, Spain; Jose Luis López Vázquez, Pediatric Intensive Care Unit, Hospital Universitario Ramón y Cajal, Madrid, Spain; and Luis Renter Valdivinos, Pediatric Intensive Care Unit, Hospital Taubí de Sabadell, Spain.

The authors have disclosed that they do not have any potential conflicts of interest.

For information regarding this article, E-mail: oerroz@saludcastillayleon.es

Copyright © 2015 by the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies

DOI: 10.1097/PCC.0000000000000491

The verification of correct central venous catheter (CVC) tip placement is a primary aspect of the safety and quality of this essential procedure. In addition to inaccurate central venous pressure and oxygen saturation readings, malpositioned CVCs can lead to potentially serious complications (1–5). The placement of a CVC with its tip in the vena cava next to the cavoatrial junction (CAJ) is regarded as optimal. Intra-atrial positioning is associated with increased occurrence of arrhythmia, thrombosis, and cardiac tamponade and is therefore less desirable (6, 7). Conventional chest radiography (CXR) is routinely performed to examine catheter tip position. However, CXR involves the use of ionized radiation and may require a considerable amount of time. Additionally, CXR may be inaccurate in locating the CAJ and therefore ascertaining the correct CVC tip position (8–10). Ultrasound has been shown to be useful for guiding CVC insertion, confirming catheter tip placement, and detecting immediate complications in a timely

manner in adult patients (11–13). However, there are no prospective studies comparing ultrasound and CXR for the confirmation of CVC placement at the bedside in children.

In this study, our primary objective was to assess the agreement between bedside ultrasound and CXR regarding the location of the tip of a CVC. Our secondary objectives were to assess the agreement between ultrasound and CXR in measuring the CVC tip to CAJ distance and to assess the performance of ultrasound in detecting upper-body CVCs compared with femoral CVCs.

MATERIALS AND METHODS

Patients and Setting

This is a prospective observational study of a convenience sample of patients admitted to the PICU who required CVC insertion. The study was conducted in an eight-bed medical PICU at a tertiary university hospital between January 2012 and January 2014. The study was approved by the local ethics committee, and informed consent was obtained from the parents of each patient.

All CVCs were inserted using the conventional Seldinger technique. Upper-body CVCs were inserted by direct ultrasound visualization, whereas femoral catheters were inserted using standard anatomical landmarks.

Ultrasound and CXR Protocol for CVC Tip Location

After completion of the CVC insertion, a 2D ultrasound examination was performed and interpreted at the bedside by one of the authors, a PICU physician with formal training in pediatric echocardiography certified by the Spanish Society of Pediatric Cardiology and Congenital Heart Diseases who had 6 years of clinical experience performing bedside ultrasound. A portable ultrasound device (Vivid i, General Electric, Haifa, Israel) equipped with 3-MHz and 6-MHz phased array transducers and a 12-MHz linear array transducer was used. First, ultrasound long- and short-axis planes were obtained from a subcostal view (Fig. 1, A and B). If the catheter tip could not be identified from the subcostal view, a right parasternal view and suprasternal coronal views of the superior vena cava (SVC) were obtained (Fig. 1, C and D). If the catheter tip could still not be visualized, jugular and subclavian-brachiocephalic veins were scanned with the 12-MHz linear transducer (Fig. 1, E and F). CVCs were classified according to their relation to the CAJ as intra-atrial or extra-atrial. We considered intra-atrial as those catheter tips that were clearly inside the right atrium (RA) beyond the CAJ (Fig. 2). After ultrasound, a CXR was obtained in all patients and interpreted by another PICU physician who was blinded to the ultrasound evaluation. CVC tip position determination using CXR was classified in an analogous manner to ultrasound. The radiographic CAJ was defined as the intersection between the RA border and the mediastinum for upper-body catheters and as the junction of the RA border with the diaphragm for lower-body CVCs. CVC position was considered intra-atrial if the tip crossed the CAJ junction into the RA and extra-atrial otherwise (Fig. 2). In both techniques, catheter tips located intra-atrial or in a vein other than the vena cava were further classified as

malpositioned. The total time required for ultrasound and CXR image capture and identification of the CVC tip location was recorded. The ultrasound and CXR distances between the CVC tip and the CAJ were measured using digital calipers at the end of the study period. These measurements were made by the same physicians who interpreted the ultrasound and CXR and were blinded to one another's findings.

Statistical Analysis

Continuous data are expressed as means (SD) or medians (interquartile range [IQR]) according to the distribution of data. Categorical data are expressed as relative frequencies (n/N). Continuous data were compared using Student *t* test or the Mann-Whitney *U* test, whereas categorical data were compared using the Fisher exact test. We assessed the agreement between ultrasound and radiography in determining intra-atrial/extra-atrial tip location and malpositioned tips using Cohen κ coefficient. We assessed the agreement between ultrasound and CXR in measuring the CVC tip to CAJ distance using a one-sample *t* test of the differences and a Bland-Altman plot. A *p* value less than or equal to 0.05 was considered significant.

RESULTS

Fifty-one CVCs in 40 patients were included and analyzed. Patients' median (IQR) age and weight at the time of CVC insertion were 6 months (IQR, 2–28 mo; range, 0.1–170 mo) and 6.5 kg (IQR, 4.8–20 kg; range, 2.5–61 kg), respectively. All 51 CVC tips were evaluated by CXR and ultrasound (Table 1). Forty-two of the 51 CVCs were localized using only the ultrasound subcostal view. The concordance of ultrasound and CXR in distinguishing intra-atrial and extra-atrial CVC locations was 94% (Cohen κ coefficient, 0.638; $p < 0.001$) and 92% in detecting malpositioned CVCs (Cohen κ coefficient, 0.670; $p < 0.001$). CXR detected three extra-atrial CVC tips outside the vena cava (one in the jugular vein, one in the persistent left SVC, and one in the left renal vein), whereas ultrasound only detected two (jugular and persistent left SVC). None of the CVCs classified as intra-atrial using CXR were classified as extra-atrial by ultrasound. However, three intra-atrial CVCs detected by ultrasound were classified as extra-atrial by CXR. CXR measured larger distances between the CVC tip and the CAJ than ultrasound, with a mean difference of 0.38 cm (95% CI, +0.27, +0.48 cm) ($p < 0.001$). As seen in the Bland-Altman plot, this disagreement increased with larger measurements (Fig. 3). Differences in the performance of bedside ultrasound when locating lower- and upper-body CVCs are shown in Table 2. The detection of upper-body CVCs frequently required additional ultrasound views and more time compared with lower-body CVCs. Children with upper-body CVCs who required additional ultrasound views were significantly older (28 mo [IQR, 5.5–130 mo; range, 1–170 mo] vs 4.5 mo [IQR, 2–7 mo; range, 0.2–91 mo]; $p < 0.05$) and weighed more (17 kg [IQR, 6.7–51 kg; range, 3.1–61 kg] vs 5.1 kg [IQR, 4.2–6 kg; range, 2.5–32 kg]; $p < 0.05$) than those in whom an ultrasound subcostal view was sufficient to locate the CVC tip. Ultrasound required

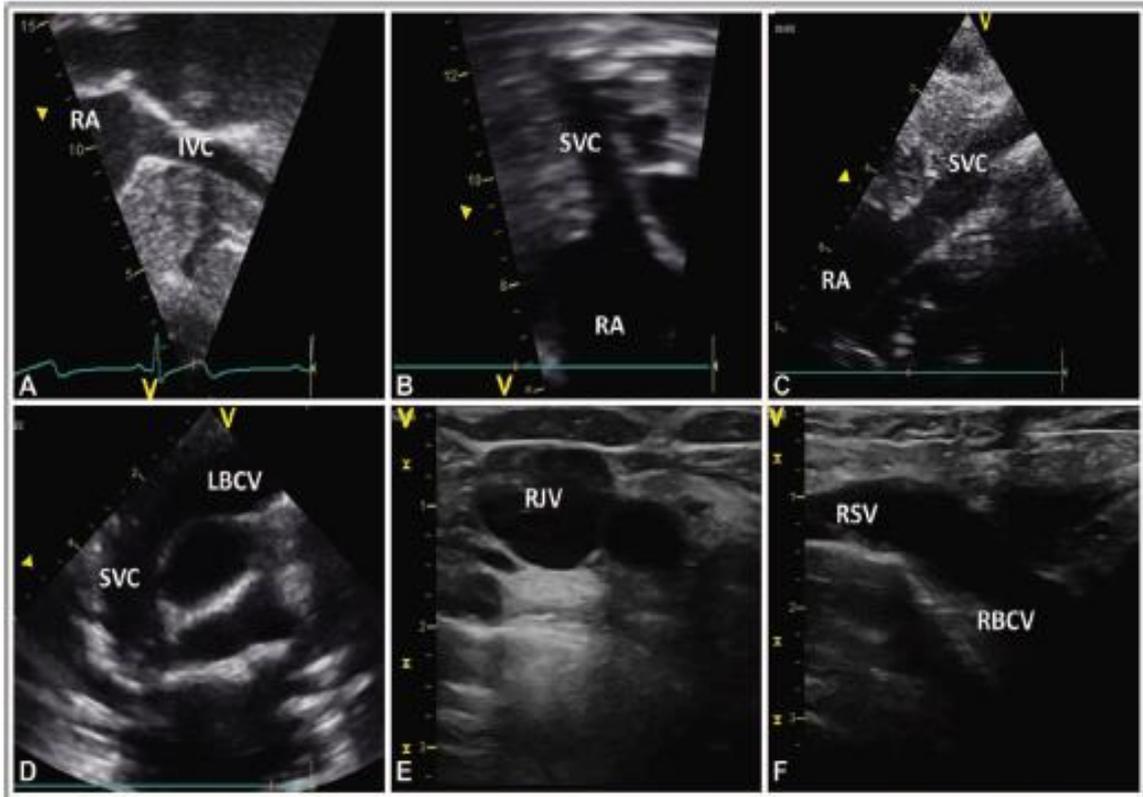


Figure 1. Ultrasound image protocol for central venous catheter tip location. **A**, Subcostal view of the inferior vena cava (IVC) and cavoatrial junction (CAJ). **B**, Subcostal view of superior vena cava (SVC) and CAJ. **C**, Right parasternal view of the SVC and CAJ. **D**, Coronal suprasternal view of the SVC and left brachiocephalic vein (LBCV). **E**, Transverse view of the right internal jugular vein (RJV). **F**, Longitudinal view of the right subclavian (RSV) vein and the right brachiocephalic vein (RBCV). RA = right atrium.

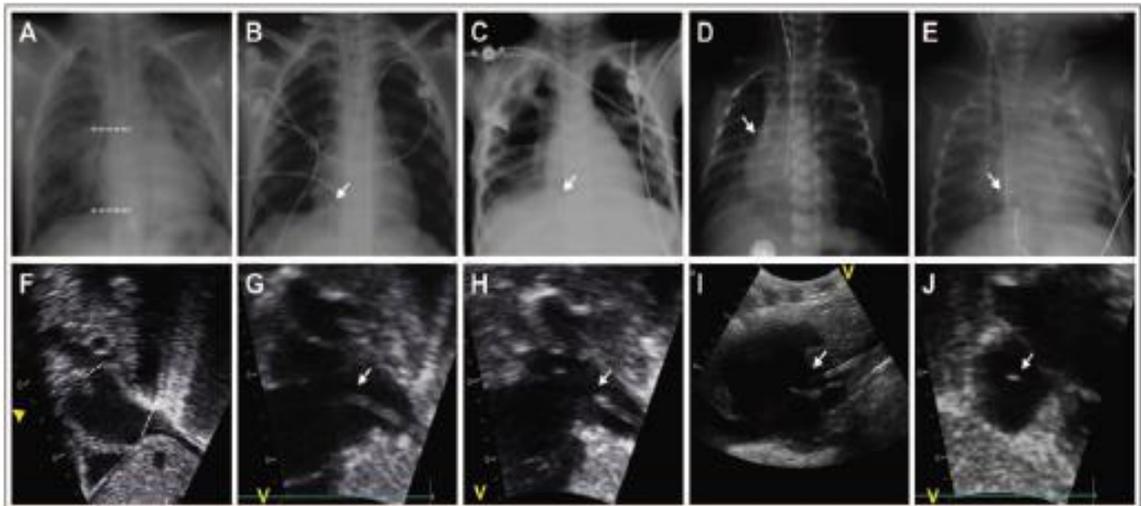


Figure 2. Concordance between radiography and ultrasound location confirmation of a central venous catheter (CVC) tip in relation to the cavoatrial junction. **A-E**, Radiography. **F-J**, Bedside ultrasound. **A** and **F**, Radiographic and ultrasound landmarks for the cavoatrial junction. **B** and **G**, Intra-atrial tip malposition of a femoral CVC. Note that in the ultrasound image, the catheter's tip is deeply introduced into the right atrium. **C** and **H**, Extra-atrial tip location of a femoral CVC. Note that the catheter's tip appears to be in a lower abdominal position in the radiographic image compared with the ultrasound, where a tip position next to the cavoatrial junction is optimal. **D** and **I**, Left subclavian vein with a CVC tip in an optimal position in the superior vena cava at the cavoatrial junction. **E** and **J**, Intra-atrial malpositioning of a right internal jugular vein CVC.

TABLE 1. Catheter Tip Position and Time to Verification

	Chest Radiography	Bedside Ultrasonography	<i>p</i>
Catheter tip malposition	6 out of 51	8 out of 51	< 0.05 ^a
Jugular (<i>n</i> = 17)	2 (1 LSVC, 1 IA)	2 (1 LSVC, 1 IA)	
Subclavian-brachiocephalic vein (<i>n</i> = 9)	0	2 (2 IA)	
Peripherally inserted central catheter (<i>n</i> = 2)	1 (1 jugular)	1 (1 jugular)	
Femoral (<i>n</i> = 23)	3 (2 IA, 1 left renal vein)	3 (3 IA)	
Catheter tip–cavoatrial junction distance, cm	1.44 (0.55)	1.05 (0.43)	< 0.001 ^b
Time, min	22.96 (20.43)	2.23 (1.06)	< 0.001 ^b

LSVC = left superior vena cava, IA = intra-atrial.

^aFisher exact test.

^bStudent *t* test.

less time than CXR to locate the CVC tip (22.96 min [20.43 min] vs 2.23 min [1.06 min]; *p* < 0.001).

DISCUSSION

The verification of correct CVC placement is essential to preventing catheter-related complications. Conventional CXR is still considered the gold standard. We demonstrated good agreement between ultrasound and CXR in identifying malpositioned CVC tips, with ultrasound requiring less time. This finding is in agreement with previous studies performed on adult patients and one pediatric study (14–17).

Our study shows that ultrasound can be used to visualize upper- and lower-body CVCs. Furthermore, ultrasound was better than CXR in detecting intra-atrial CVC tips. Intra-atrial positioning of CVC tips should be avoided, as this location has been associated with an increased risk of complications, especially cardiac tamponade (7). Several studies have shown that different radiographic landmarks cannot be used to locate the CAJ because, unlike with ultrasound, this structure cannot be directly visualized

in a CXR (8, 10). Previous studies using transesophageal cardiac ultrasound as the gold standard have shown that CXR has a low sensitivity for detecting intra-atrial CVCs even when interpreted by a senior radiologist (9, 18). In our patients, the radiographic distance between the CVC tip and the CAJ was greater than the distance measured by ultrasound. This bias increased with larger measured distances. This finding may be explained by the oblique orientation of the x-ray beam (9, 18). This fact, together with the inaccuracy of radiographic landmarks for CAJ location, may explain why some CVC tips that appeared well positioned in CXR were determined to be intra-atrial by ultrasound (Fig. 2). A similar finding was reported for umbilical catheterization in neonates and long-term CVC in adults (19, 20).

One major finding of our study is that bedside ultrasound detects upper-body CVC tips in the SVC. SVC visualization by transthoracic echocardiography (TTE) is considered very difficult or impossible in most adult patients. Previous studies in adults have used ultrasound to rule out CVC malposition by visualization of the CVC within the neck veins or right heart chambers rather than locating the CVC tip itself (11). This approach carries the risk of missing a malpositioned CVC tip (11). The notion that CVC visualization in the SVC is not amenable to TTE is not necessarily true in all children. SVC visualization is a routine component of standard pediatric echocardiography that can be achieved from different views (21, 22) (Fig. 1). Most young children have a good acoustic window for examination of the RA and a large portion of the superior and inferior vena cava from a subcostal view. The relation of a CVC tip to the CAJ can be accurately assessed, and malpositioning could be suspected if the tip is not visualized. In our study, we were able to correctly identify all but one femoral CVC tip and a substantial portion of upper-body CVCs using only the subcostal view. If a CVC tip cannot be visualized in a subcostal view, which in our study occurred in older patients, additional ultrasound views can be used to locate the CVC. For upper-body CVCs, the entire SVC can be visualized from the right parasternal and coronal suprasternal views. If the CVC tip is not visualized within the SVC, malpositioning is possible and could be confirmed by visualization of the neck and thoracic veins.

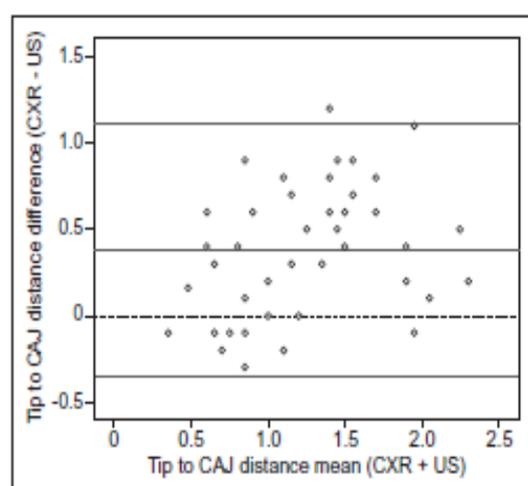


Figure 3. Bland-Altman plot of the catheter tip to cavoatrial junction (CAJ) distance measured by chest radiography (CXR) (*y*-axis) and by bedside ultrasound (US) (*x*-axis).

TABLE 2. Comparison of Ultrasound Data for Upper-Body and Lower-Body Central Venous Catheters

	Upper-Body CVCs (n = 28)	Lower-Body CVCs (n = 23)
Age (mo)	5 (IQR, 2–25; range, 0.2–170)	8 (IQR, 3–30; range, 0.1–82)
Weight (kg)	5.2 (IQR, 4.2–16; range, 2.5–61)	7.9 (IQR, 4.7–21; range, 2.8–32)
CVC size (F)	4 (IQR, 4–5.5; range, 3–7)	4 (IQR, 4–5.5; range, 3–7)
Subcostal view only/other views needed	19/9	23/0*
CVC tip–CAJ distance, ultrasound (cm)	0.99 (0.41)	1.13 (0.44)
CVC tip–CAJ distance, CXR–ultrasound difference (cm)	0.38 (0.39)	0.37 (0.36)
Concordance with CXR in CVC tip location	26/28 (93%)	21/23 (91%)
Ultrasound protocol time (min)	2.5 (1.24)	1.9 (0.69) [†]

CVC = central venous catheter, IQR = interquartile range, CAJ = cavoatrial junction, CXR = chest radiography.

*p < 0.01 upper-body versus lower-body CVCs.

†p < 0.05 upper-body versus lower-body CVCs.

Age, weight, and CVC size are described as median (IQR and range). The other quantitative variables are described as mean (sd).

In addition to its questionable accuracy, routine CXR after CVC placement is accompanied by significant costs, lengthy time requirements, and the exposure of patients and staff to ionized radiation. Bedside ultrasound avoids the use of ionized radiation and, as seen in our study, can be performed in less time than CXR. This is a very relevant point in urgent CVC placements and in unstable patients in whom rapid catheter use is necessary. If CVC insertion is performed as an elective procedure in outpatients transferred to the PICU, the time saved by using ultrasound may allow a quicker discharge from the unit and the more efficient use of available resources. Routine post-procedural CXRs entail considerable costs (14). Ultrasound assessment of CVCs may avoid many CXRs and reduce costs (17). As CVC tip placement is only one of the multiple uses of a bedside ultrasound machine in the PICU, this application will likely prove cost effective, although this has yet to be studied. Our data add to the literature highlighting the safety and efficiency of bedside ultrasound and questioning the notion of CXR as the gold standard for CVC placement assessment.

One of the barriers to the widespread use of ultrasound is the highly operator-dependent nature of this technology. As with other technical skills, appropriate training is essential. Children's excellent acoustic windows represent a major opportunity for the bedside ultrasound assessment of CVC in the PICU using varied ultrasound views. However, future studies should assess the learning curve of this technique in novice trainees, especially regarding their ability to locate upper-body CVCs, as this application may require ultrasound views that are not commonly used in focused cardiac ultrasound.

Our study is limited by its small sample size and by the fact that ultrasound examinations were performed by a pediatric intensivist with formal training in echocardiography using an echocardiography machine; therefore, the results should be confirmed by additional studies comparing PICU staff with different backgrounds. Our sample included relatively small children, who may have better ultrasound acoustic windows,

which might explain our ability to easily identify upper-body CVC tips. Finally, our results refer only to patients with medical conditions that preclude the extrapolation of our findings to other settings such as cardiothoracic surgery, where scars and chest drainage tubes may interfere with ultrasound evaluation (11).

CONCLUSIONS

Bedside ultrasound has a good agreement with CXR for the detection of malpositioned CVCs, with ultrasound requiring less time than CXR. CXR read by clinicians may overestimate distance from the CVC tip to CAJ and be less accurate than ultrasound in detecting intra-atrial CVC tip position. Ultrasound may be an alternative method for the routine verification of the CVC tip in young children.

REFERENCES

- de Jonge RC, Polderman KH, Gemke RJ: Central venous catheter use in the pediatric patient: Mechanical and infectious complications. *Pediatr Crit Care Med* 2005; 6:329–339
- Berman W Jr, Fripp RR, Yabek SM, et al: Great vein and right atrial thrombosis in critically ill infants and children with central venous lines. *Chest* 1991; 99:963–967
- Bagwell CE, Salzberg AM, Sonnino RE, et al: Potentially lethal complications of central venous catheter placement. *J Pediatr Surg* 2000; 35:709–713
- Casado-Flores J, Barja J, Martino R, et al: Complications of central venous catheterization in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med* 2001; 2:57–62
- Costello JM, Clapper TC, Wypij D: Minimizing complications associated with percutaneous central venous catheter placement in children: Recent advances. *Pediatr Crit Care Med* 2013; 14:273–283
- Fletcher SJ, Bodenham AR: Safe placement of central venous catheters: Where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 2000; 85:188–191
- Collier PE, Goodman GB: Cardiac tamponade caused by central venous catheter perforation of the heart: A preventable complication. *J Am Coll Surg* 1995; 181:459–463

8. McGee WT, Mailloux PT, Martin RT: Safe placement of central venous catheters: A measured approach. *J Intensive Care Med* 2011; 26:392-396
9. Wirsing M, Schummer C, Neumann R, et al: Is traditional reading of the bedside chest radiograph appropriate to detect intraatrial central venous catheter position? *Chest* 2008; 134:527-533
10. Hsu JH, Wang CK, Chu KS, et al: Comparison of radiographic landmarks and the echocardiographic SVC/RA junction in the positioning of long-term central venous catheters. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006; 50:731-735
11. Matsushima K, Frankel HL: Detection of central venous catheter insertion-related complication using bedside ultrasound: The CVC sono. *J Trauma* 2011; 70:1561-1563
12. Maury E, Guglielminotti J, Alzieu M, et al: Ultrasonic examination: An alternative to chest radiography after central venous catheter insertion? *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164:403-405
13. Hind D, Calvert N, McWilliams R, et al: Ultrasonic locating devices for central venous cannulation: Meta-analysis. *BMJ* 2003; 327:361
14. Lucey B, Varghese JC, Haziam P, et al: Routine chest radiographs after central line insertion: Mandatory postprocedural evaluation or unnecessary waste of resources? *Cardiovasc Intervent Radiol* 1999; 22:381-384
15. Zanobetti M, Coppa A, Bulletti F, et al: Verification of correct central venous catheter placement in the emergency department: Comparison between ultrasonography and chest radiography. *Intern Emerg Med* 2013; 8:173-180
16. Lanza C, Russo M, Fabrizi G: Central venous cannulation: Are routine chest radiographs necessary after B-mode and colour Doppler sonography check? *Pediatr Radiol* 2006; 36:1252-1256
17. Vezzani A, Brusasco C, Palermo S, et al: Ultrasound localization of central vein catheter and detection of postprocedural pneumothorax: An alternative to chest radiography. *Crit Care Med* 2010; 38:533-538
18. Ender J, Erdoes G, Krohmer E, et al: Transesophageal echocardiography for verification of the position of the electrocardiographically-placed central venous catheter. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2009; 23:457-461
19. Reynolds N, McCulloch AS, Pennington CR, et al: Assessment of distal tip position of long-term central venous feeding catheters using transesophageal echocardiography. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2001; 25:39-41
20. Simanovsky N, Ofek-Shlomai N, Rozovsky K, et al: Umbilical venous catheter position: Evaluation by ultrasound. *Eur Radiol* 2011; 21:1882-1886
21. Lai WW, Ko HH: The normal pediatric echocardiogram. In: *Echocardiography in Congenital and Heart Diseases: From Fetus to Adult*. First Edition. Lai WW, Mertens LL, Geva T, et al (Eds). Oxford, Wiley-Blackwell, 2009, pp 34-52
22. Lai WW, Geva T, Shirali GS, et al: Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography; Pediatric Council of the American Society of Echocardiography: Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: A report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19:1413-1430

III. ARTICULO 3



Ultrasound Evaluation of Lumbar Spine Anatomy in Newborn Infants: Implications for Optimal Performance of Lumbar Puncture

Ignacio Oulego-Erroz, MD¹, María Mora-Matilla, MD¹, Paula Alonso-Quintela, MD¹, Silvia Rodríguez-Blanco, MD², Daniel Mata-Zubillaga, MD³, and Santiago Lapeña López de Armentia, MD, PhD¹

An ultrasound evaluation of lumbar spine anatomic landmarks relevant for lumbar puncture was performed in 199 newborn infants. Effects of 6 patient positions and gestational age on interspinous process distance, subarachnoid space width, predicted needle entry angle, and needle insertion depth were assessed. Our results identify optimized conditions for lumbar puncture: sitting the infant with hips flexed, a needle entry angle of 65-70 degrees, and proper needle insertion depth (calculated as $2.5 \times \text{weight in kilograms} + 6$ in millimeters). (*J Pediatr* 2014;165:862-5).

Thousands of lumbar puncture (LP) procedures are performed in hospitalized neonates each year. Improvements in the success rate may limit morbidity and improve care. In recent years, ultrasound (US) has been used to assess spinal anatomy and facilitate LP in children and adults¹⁻⁶; however, few studies have been performed in newborns, and most published studies have been hindered by small sample size, nonblinded US measurements for patient position, and limited evaluation of spinal anatomy.^{5,7} We aimed to investigate the effects of gestational age and patient positioning on lumbar spine anatomic landmarks and propose recommendations for performing LP in newborns.

Methods

This prospective observational study was conducted in the inborn neonatal unit at University Hospital of León between January 2012 and October 2012 and involved healthy term and preterm newborns. LP was not performed as a part of the study. The study protocol was approved by the hospital's Institutional Review Board, and written parental consent was obtained for each subject. Subject selection was stratified by birth weight blocks of 250 g.

US was performed with the infants in 6 positions, 3 lateral (L1, L2, and L3) and 3 sitting (S1, S2, and S3; **Figure 1**), assigned to 8 different randomized sequences. The occurrence of oxygen saturation <85% or heart rate <80 bpm in each position was recorded. All US studies were performed by the same investigator using a Vivid I portable ultrasound unit (General Electric, Haifa, Israel) with a linear 12-Hz transducer. The medialsagittal plane was used to obtain all images. To ensure consistent placement of the

transducer across the cohort of infants, the L4-L5 interspace was marked with a pen on each infant's skin, and the center of the transducer was placed at this point. The skin adjacent to the edges of the transducer also was marked. Images were analyzed offline by a second investigator who was blinded to the patient data, body position, and sequence of image acquisition.

The external interspinous distance (EID) was defined as the distance between the maximum curvature of 2 adjacent posterior spinous processes. This point is the closest to the skin and represents the anatomic landmark for LP on palpation⁶ (**Figure 2**). The internal interspinous distance was defined as the distance between the inner facets of 2 adjacent spinous processes^{5,8} (**Figure 2**). Needle entry angle (NEA) was measured between the outer edge of the image (considered the skin surface) at the more caudal spinous process and the midpoint of the epidural space (**Figure 2**). Needle insertion depth (NID) was defined as the distance between the outer edge of the image and the midpoint of the medullar canal measured in a line drawn according to the NEA, obtained as above (**Figure 2**). Subarachnoid space width (SSW) was defined as the distance from the dura mater to the posterior surface of the filum terminalis⁹⁻¹¹ (**Figure 2**). All measurements were performed in millimeters using a digital caliper (**Video**; available at www.jpeds.com).

Statistical Analyses

Data were analyzed by repeated-measures ANOVA. The effects of position, gestational age, and gestational age-by-position interaction were assessed. Profile graphs and Bonferroni-adjusted multiple paired comparisons were

CSF	Cerebrospinal fluid
EID	External interspinous distance
LP	Lumbar puncture
NEA	Needle entry angle
NID	Needle insertion depth
SSW	Subarachnoid space width
US	Ultrasound

From the ¹Department of Pediatrics and ²Neonatal Unit, Complejo Asistencial Universitario de León, León, Spain and ³Centro de Salud Ponferrada III, Ponferrada, Spain

The authors declare no conflicts of interest.

0022-3476/\$ - see front matter. Copyright © 2014 Elsevier Inc. All rights reserved.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.06.038>



Figure 1. Positioning of the infant was stratified as **S1**, sitting with hips in neutral position; **S2**, sitting with flexed hips; **S3**, sitting with flexed hips and neck; **L1**, lateral recumbent with hips in neutral position; **L2**, lateral recumbent with flexed hips; and **L3**, lateral recumbent with flexed hips and neck.

performed to interpret the results. A total of 198 subjects were required for a desired power of 0.9 and a type I error of 0.05.

Results

Of the 247 newborn infants enrolled, 199 completed the analysis. Patient characteristics are presented in the Table. The position had a significant effect on external and internal interspinous process distance, NEA, and SSW ($P < .001$),

but not on NID. Gestational age had a significant effect on interspinous distance, NID, and SSW ($P < .001$), with higher values in term infants. In contrast, gestational age had no significant effect on NEA (Figure 3; available at www.jpeds.com). Gestational age-by-position had a significant effect only on EID ($P < .01$). Examination of the profile graphs in Figure 3 aids the interpretation of this result, showing nearly parallel lines for all variables, indicating that the effect of position was similar in term infants and preterm infants (Figure 3).

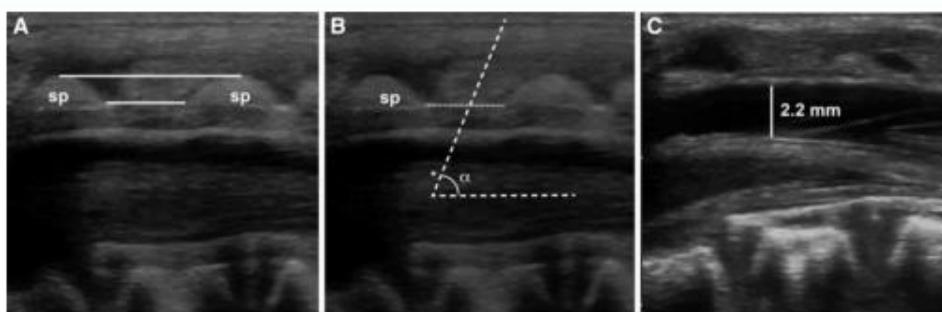


Figure 2. **A**, EID (upper line) and internal interspinous distance (lower line). This is the location where the needle actually enters the subarachnoid space. **B**, Measurement of NEA. A line is drawn from the skin at the closest point to the caudal spinous process that crosses the epidural space at the midpoint between 2 adjacent spinous processes (short dotted line). The asterisk indicates measurement of NID from the skin surface to midcanal depth according to NEA trajectory. **C**, Measurement of SSW. Conus medullaris is shown. *sp*, spinous process.

Table. Baseline characteristics of study subjects (n = 199)

Characteristics	Value
Gestational age, wk, median (IQR), range	38 (35-40), 24-41
Gestational age, n (%)	
<34 wk	45 (22.6)
34-36 wk	31 (15.6)
≥37 wk	123 (61.8)
Male sex, n (%)	100 (50.3)
Birth weight, g, median (IQR)	2.721 (1.922-3.314)
Length, cm, median (IQR)	48 (45-50)
US examination	
Days of postnatal life, median (IQR)	1 (1-7)
Gestational age, wk, median (IQR), range	38 (36-40), 25-41
Weight, kg, median (IQR)	2.670 (2.060-3.310)
Length, cm, median (IQR)	48 (45.5-50)
Abdominal circumference, cm, median (IQR)	30 (28.5-32)

The S2 position resulted in increased external and internal interspinous process distance compared with all other positions ($P < .01$). S2 also increased SSW compared with all other positions ($P < .001$) except for S3 ($P = 1.00$). Statistically significant differences in NEA among positions were observed, but the difference in mean value was always <5 degrees. There was no significant difference in NID among positions. Weight had a strong linear relationship to mean NID by Pearson correlation ($R^2 = 0.929$; $P = .001$). The following simplified equation was derived by linear regression:

$$\text{NID(mm)} = 2.5 \times \text{weight(kg)} + 6 (R^2 = 0.863; P = .001).$$

Raw data for paired comparisons are available from authors on request. No episode of bradycardia occurred. Hypoxic episodes (oxygen saturation $<85\%$) were more frequent with neck flexion (S3 and L3) ($P < .05$ compared with all other positions).

Discussion

Factors that have been implicated in influencing the success of LP include age, operator experience, advancement of the needle without the stylet in place, type of stylet, use of topical anesthesia, and patient position.¹²⁻¹⁶ Among these factors, only patient position can directly impact lumbar spine anatomy. Abo et al,⁶ testing a small sample of 28 children, found that S2 position increased the EID. Only 1 previous study has assessed the effect of positioning on the interspinous distance; Öncel et al⁷ evaluated 51 hospitalized preterm infants and found that S2 provided a larger EID. Our present study confirms that the S2 increases not only EID, but also internal interspinous distance, and shows that adding neck flexion does not produce any further increase in interspinous distance.

Our study is the first to evaluate the NEA for LP in newborns. One previous study assessed NEA using US in children; however, that study included only 5 newborns.¹⁷ We found that a NEA of approximately 65-70 degrees is

optimal for all positions in both term infants and preterm infants. Absence of visible cerebrospinal fluid (CSF) or narrowing of the subarachnoid space by US results in a very difficult or impossible LP.^{10,11} Moreover, it has been observed that radicular nerve plugging of the needle bevel may cause bloody LP.¹⁸ For these reasons, increasing SSW may facilitate obtaining CSF and reduce the incidence of bloody CSF. Our study clearly shows that sitting position and body flexion increase SSW measured posterior to the filum terminalis.

Our study is the first to evaluate the effect of positioning on the NID and to take into account the predicted NEA in this measurement. We found that the NID is independent of position and can be readily derived from the newborn's weight. Along with the ease of technique, safety and tolerability are the main concerns regarding LP, especially in highly vulnerable preterm infants. In agreement with previous studies, our results indicate that neck flexion during LP is less well tolerated in newborns.^{19,20} Our study shows that besides potentially causing harm, neck flexion does not improve anatomic conditions for LP compared with hip flexion only. Thus, neck flexion should be abandoned. The main limitation of our study is that LP was not actually performed in our subjects. A future randomized trial is warranted to assess whether our findings result in improved LP outcomes. ■

We thank Fernando Calvo for his advice during the performance of the study, as well as the pediatric residents of Complejo Asistencial Universitario de León for their help in the recruitment of patients.

Submitted for publication Mar 5, 2014; last revision received May 8, 2014; accepted Jun 11, 2014.

Reprint requests: Ignacio Oulego-Erroz, MD, Department of Pediatrics, Complejo Asistencial Universitario de León, Altos de Nava, s/n 24008 León, Spain. E-mail: ignacio.oulego@gmail.com

References

1. Shaikh F, Brzezinski J, Alexander S, Arzola C, Carvalho JC, Beyene J, et al. Ultrasound imaging for lumbar punctures and epidural catheterisations: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2013;346:f1720.
2. Nomura JT, Leech SJ, Shenbagamurthi S, Sierzenski PR, O'Connor RE, Bollinger M, et al. A randomized controlled trial of ultrasound-assisted lumbar puncture. *J Ultrasound Med* 2007;26:1341-8.
3. Peterson MA, Abele J. Bedside ultrasound for difficult lumbar puncture. *J Emerg Med* 2005;28:197-200.
4. 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.
5. Cadigan BA, Cydulka RK, Werner SL, Jones RA. Evaluating infant positioning for lumbar puncture using sonographic measurements. *Acad Emerg Med* 2011;18:215-8.
6. Abo A, Chen L, Johnston P, Santucci K. Positioning for lumbar puncture in children evaluated by bedside ultrasound. *Pediatrics* 2010;125:e1149-53.
7. Öncel S, Günlemez A, Anik Y, Alvir M. Positioning of infants in the neonatal intensive care unit for lumbar puncture as determined by bedside ultrasonography. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2013;98:F133-5.
8. Sandoval M, Shestak W, Stürmann K, Hsu C. Optimal patient position for lumbar puncture, measured by ultrasonography. *Emerg Radiol* 2004; 10:179-81.

9. Molina A, Fons J. Factors associated with lumbar puncture success. *Pediatrics* 2006;118:842-4.
10. Coley BD, Shiels WE II, Hogan MJ. Diagnostic and interventional ultrasonography in neonatal and infant lumbar puncture. *Pediatr Radiol* 2001;31:399-402.
11. Koch BL, Moosbrugger EA, Egelhoff JC. Symptomatic spinal epidural collections after lumbar puncture in children. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007;28:1811-6.
12. Nigrovic LE, Kuppermann N, Neuman MI. Risk factors for traumatic or unsuccessful lumbar punctures in children. *Ann Emerg Med* 2007;49:762-71.
13. Baxter AL, Fisher RG, Burke BL, Goldblatt SS, Isaacman DJ, Lawson ML. Local anesthetic and stylet styles: factors associated with resident lumbar puncture success. *Pediatrics* 2006;117:876-81.
14. Baxter AL, Welch JC, Burke BL, Isaacman DJ. Pain, position, and stylet styles: infant lumbar puncture practices of pediatric emergency attending physicians. *Pediatr Emerg Care* 2004;20:816-20.
15. Pinheiro JM, Furdon S, Ochoa LF. Role of local anesthesia during lumbar puncture in neonates. *Pediatrics* 1993;91:379-82.
16. Porter FL, Miller JP, Cole FS, Marshall RE. A controlled clinical trial of local anesthesia for lumbar punctures in newborns. *Pediatrics* 1991;88:663-9.
17. Bruccoleri RE, Chen L. Needle-entry angle for lumbar puncture in children as determined by using ultrasonography. *Pediatrics* 2011;127:e921-6.
18. Breuer AC, Tyler HR, Marzewski DJ, Rosenthal DS. Radicular vessels are the most probable source of needle-induced blood in lumbar puncture: significance for the thrombocytopenic cancer patient. *Cancer* 1982;49:2168-72.
19. Gleason CA, Martin RJ, Anderson JV, Carlo WA, Sanniti KJ, Fanaroff AA. Optimal position for a spinal tap in preterm infants. *Pediatrics* 1983;71:31-5.
20. Weisman LE, Merenstein GB, Steenbarger JR. The effect of lumbar puncture position in sick neonates. *Am J Dis Child* 1983;137:1077-9.

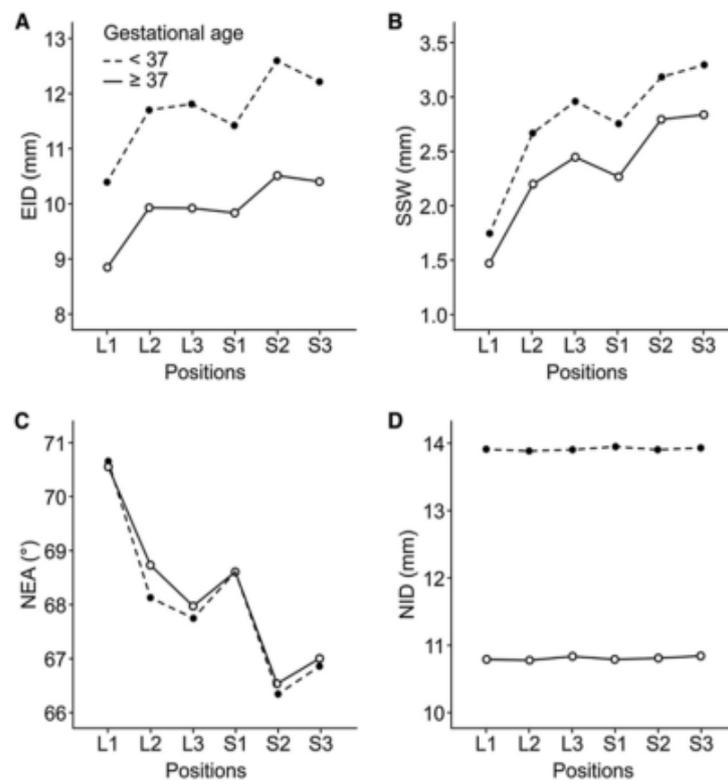


Figure 3. Profile graphs. A, EID. B, NEA. C, SSW. D, NID.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ecografía es una tecnología de aparición relativamente reciente en las unidades de cuidados intensivos. Por este motivo su uso no está extendido. Cada año se publican más estudios que ponen de manifiesto su gran utilidad en el manejo del paciente crítico. La importancia de la ecografía en el manejo de este tipo de pacientes hace que en los últimos años en el mundo occidental se abogue por su incorporación a la formación médica desde los centros universitarios. Las comunidades internacionales de especialistas en intensivos creen que para esta nueva generación médica el ecógrafo debe formar parte de su instrumental básico de exploración.

Existen recomendaciones acerca del beneficio del uso de la ecografía en diferentes campos de la medicina de urgencias y cuidados críticos. Desde la valoración hemodinámica, pulmonar, neurológica o como asistencia en la realización de determinadas técnicas, ha demostrado claros beneficios respecto a las prácticas estandarizadas hasta la fecha. Muchas de estas publicaciones se han realizado en el marco de la medicina del adulto.

El empleo de la ecografía en el cuidado del paciente crítico pediátrico y neonatal está “en pañales” en muchos aspectos. Aunque existen comunicaciones de sus potenciales beneficios, su uso no es universal. Desde muchas sociedades pediátricas se intenta dar un empujón a la ecografía para conseguir que el ecógrafo se sitúe junto a otros aparatos indispensables, como respirador o monitor a la cabecera del paciente. Por este motivo este trabajo de tesis doctoral pretende poner de manifiesto que la ecografía también es útil en niños y neonatos. Se pretende aportar nuevas aplicaciones de la ecografía, poco estudiadas hasta la fecha, en el manejo del paciente crítico pediátrico y neonatal, como son: la ecografía para la confirmación de la intubación orotraqueal y posición del TET, la ecografía como método de localización de la punta de CVCs y la ecografía como herramienta para una punción lumbar exitosa en neonatos.

La ecografía integrada en la valoración de la vía aérea y respiración: Utilidad de la ecografía comparada con la capnografía y la radiografía en la intubación traqueal.

La intubación traqueal supone una de las técnicas esenciales en el manejo de la vía aérea del paciente crítico. Es una técnica no exenta de potenciales complicaciones como por ejemplo la intubación esofágica inadvertida (6%-16% de los casos) o la intubación selectiva^{78,88}. Este tipo de complicaciones son más frecuentes cuando el operador de la técnica es inexperto, y pueden suponer un aumento de la morbi-mortalidad secundaria a la hipoxia.

Por todo ello es fundamental la comprobación de la correcta intubación de los pacientes. Para ello podemos emplear métodos de comprobación primarios o secundarios. La laringoscopia directa constituye el método de confirmación primaria principal, pero deber ser realizado por personal experto por el alto riesgo de extubación y precisa de la interrupción de las maniobras de reanimación. Hasta un 68% de los residentes de pediatría refieren haber visualizado la entrada de tubo adecuada cuando realmente se ha intubado el esófago, de ahí la importancia de la experiencia en este método de confirmación¹⁸⁸. Existen otros métodos de confirmación secundaria como auscultación pulmonar y gástrica, capnografía, empañamiento del TET, movilidad simétrica del tórax y aumento de la frecuencia cardíaca en neonatos¹⁸⁹. Ninguno de estos métodos es fiable al 100%, pero el establecido como método estándar por las últimas guías publicadas en 2010 es la capnografía⁸⁴. A pesar de considerarse como el método secundario ideal, no es útil en todas las situaciones porque precisa de un adecuado flujo pulmonar para poder obtener una medida adecuada del CO₂ espirado. Por ello, parece interesante plantear otros métodos alternativos para la comprobación de la intubación endotraqueal.

La radiografía de tórax constituye hasta ahora la prueba de imagen más empleada en unidades de críticos pediátricas y neonatales como método de confirmación alternativo. Actualmente han aparecido varias publicaciones en adultos incluido un metaanálisis reciente que refrenda la utilidad de la ecografía en esta situación. La

ecografía parece tan fiable y rápida como los métodos convencionales y podría emplearse en situaciones especiales como la reanimación cardiopulmonar ofreciendo ventajas respecto a los métodos estandarizados⁸⁹. Los estudios pediátricos al respecto son escasos y presentamos el estudio llevado a cabo por nuestro grupo que supone el primero comunicado en nuestro país y una de las primeras series neonatales publicadas hasta la fecha¹⁹⁰. Esta serie incluye además un recién nacido pretérmino que supone el primer caso reportado en este grupo de edad hasta la fecha de su publicación¹⁹¹. Este estudio es el primero en comparar de forma simultánea la ecografía como método alternativo de comprobación de la intubación endotraqueal con la radiografía y capnografía en niños y neonatos.

Se incluyeron 26 pacientes con 31 intubaciones comprobadas. La mitad de los pacientes fueron neonatos (13) ingresados en la unidad de cuidados intensivos neonatales de nuestro hospital. El grupo neonatal tenía una mediana de edad gestacional de 32 semanas (rango 24-40 semanas) y una mediana de peso de 1.438 gramos (rango: 530-3.450 gramos). El resto de pacientes reclutados (13) fueron niños ingresados en nuestra unidad de cuidados intensivos pediátricos. Este grupo tenía una mediana de edad de 4 años (rango: 3 meses-14 años) y de peso 21 Kg (rango: 4-58 Kg). En una primera fase se comparó la ecografía con la capnografía simultáneamente tras la intubación como método de confirmación de intubación adecuada. En otra fase se comparó la ecografía con la radiografía de tórax como método de comprobación de la profundidad del TET (Tabla 2). Los resultados comparativos de ambas técnicas aparecen reflejados en las tablas 3 y 4 respectivamente. No observamos diferencias significativas entre la ecografía y la capnografía como método de confirmación de la intubación traqueal. Observamos que la ecografía fue más lenta que la capnografía en la población neonatal, ésto no fue observado en el subgrupo pediátrico. No se objetivó el TET por ecografía en dos neonatos que presentaron capnografía positiva. Comparando la ecografía con la capnografía, considerando a ésta como método de referencia obtuvimos una sensibilidad y especificidad del 92% y 100% respectivamente para la detección del TET en tráquea.

Tabla 2. Cronograma del protocolo del estudio

1ª Fase: Comprobación de intubación.	
Ecografía traqueal	Capnógrafo
<ul style="list-style-type: none">• Plano transversal• Plano longitudinal• Punta del TET	<ul style="list-style-type: none">• Conexión• ≥ 3 ondas con meseta
Fijación del TET	
2ª Fase: Comprobación de la profundidad del TET.	
1. Solicitud radiografía de tórax.	
2. Ecografía torácica:	
<ul style="list-style-type: none">• Comprobación del deslizamiento pulmonar.• Comprobación del signo de la orilla del mar.	
3. Lectura de la radiografía de tórax.	

En cuanto a la comparación de la ecografía con la radiografía de tórax tampoco observamos diferencias significativas. Hubo 2 casos de malposición del TET (tubo demasiado alto) que no fueron detectadas por la ecografía y sí por la radiografía de tórax. Considerando la radiografía de tórax como método de referencia para la comprobación de la profundidad del TET obtuvimos una sensibilidad del 100% y una especificidad del 75% para la ecografía en esta situación. Al comparar el tiempo empleado para ambas técnicas objetivamos que la ecografía era significativamente más rápida que la radiografía en todos los casos.

Tabla 3. Comparación de ecografía vs capnografía en intubación traqueal

N= 31	Ecografía	Capnografía	p
Intubación traqueal (n/N)			
UCIP	13/15	13/15	p=1
UCIN	11/16	13/16	p= 0,414
Total	24/31	26/31	p= 0,520
Tiempo, segundos (s)			
UCIP	6 (4-12)	4 (3-12)	p= 0,184
UCIN	34 (12-116) ^a	7 (4-10) ^b	p< 0,001
Total	12 (4-116)	6 (3-12)	p< 0,001

^a p< 0,001 UCIP ecografía vs UCIN ecografía
^b p= 0,005 UCIP capnografía vs UCIN capnografía

Tabla 4. Comparación de ecografía vs radiografía de tórax en comprobación posición del TET

N= 26	Ecografía	Radiografía	p
Posición correcta del TET (n/N)			
UCIP	12/13	12/13	P=1
UCIN	11/13	10/13	P= 0,472
Total	23/26	22/26	P= 0,871
Tiempo, minutos(min)			
UCIP	0,21 (0,17-0,35)	21 (18-25)	P< 0,001
UCIN	0,25 (0,18-0,40) ^a	20 (17-25) ^b	P< 0,001
Total	0,22 (0,17-0,40)	20 (17-25)	P< 0,001

^a p= 0,387 UCIP ecografía vs UCIN ecografía
^b p= 0,491 UCIP radiografía vs UCIN radiografía

Aunque la ecografía ha sido empleada en el manejo de la vía aérea en muchas otras ocasiones, parece que la comprobación de la intubación endotraqueal es, sin duda, la más atractiva para el manejo del paciente crítico. Gracias a ella podemos identificar el tubo en la tráquea, evaluar su profundidad y/o malposición. Nuestro estudio tiene como objetivo principal comparar la capacidad de la ecografía como método

alternativo de confirmación frente a los más estandarizados: la capnografía y la radiografía de tórax. Hemos observado que es un método útil con una alta sensibilidad y especificidad en comparación con la capnografía. Aunque ésta es más rápida, los resultados al respecto se deben al grupo de neonatos y quizás sea debido a la mayor dificultad de la ecografía en este grupo de edad. La dificultad de la técnica aumenta debido al menor tamaño de las estructuras cervicales en recién nacidos. No observamos diferencias significativas en cuanto al tiempo de realización en niños más mayores, donde la ecografía fue tan rápida como la capnografía. Aunque la capnografía es el método recomendado actualmente, existen situaciones en las que no es fiable como en la parada cardiorrespiratoria. Es en este ámbito donde la ecografía podría ser una opción viable, pues permite la comprobación rápida y sin necesidad de parar las maniobras de reanimación lo cual es fundamental en esta situación. Chou et. al y Sim et. al han demostrado el beneficio de la ecografía frente a la capnografía en situaciones de parada^{88,122}.

También podría ser útil en otras situaciones con volumen corriente bajo como el broncoespasmo agudo o en la intubación de neonatos pretérmino. En aquellos casos que no se den estas circunstancias y si la capnografía está disponible ésta debería ser el método para la confirmación de la intubación traqueal. La ecografía se emplearía en estos casos como herramienta complementaria. Se ha observado que, en neonatos, la técnica es más complicada y éste puede ser el motivo por el que en dos casos no se visualizó el TET (falsos negativos) con la ecografía y que no se detectase la posición alta en otros dos. Por eso creemos que ante la dificultad en el paciente neonatal no debería emplearse en caso de operadores inexpertos.

Al comparar la ecografía con la radiografía de tórax en la detección de malposición del TET, fue igual de eficaz con una alta sensibilidad y moderada especificidad. Dennington et al. también demostraron una buena correlación de la ecografía con la radiografía para la identificación de la punta del TET¹⁹². Los falsos negativos de nuestro estudio fueron debidos a la dificultad para detectar la malposición del TET en neonatos. Esto puede estar relacionado con el pequeño tamaño del cuello del recién nacido que hace

difícil diferenciar si el extremo del tubo está dentro o no de la tráquea extratorácica. Lo que observamos claramente es que la ecografía es más rápida que la radiografía de tórax. Este hallazgo también había sido observado previamente en los estudios publicados por Kerrey et al., Galiciano et al. y Dennington et al. en población pediátrica y por Sim et al. en adultos^{81,122,192,193}. Otros estudios han comparado el tiempo empleado por la ecografía frente a otros métodos de confirmación demostrando que es tan rápida como la auscultación o más que la auscultación junto con la capnografía. No sólo se observan beneficios en cuanto al tiempo, sino que además la ecografía evita radiación al paciente y la comprobación de posibles movilizaciones del TET en cualquier momento.

Los artículos sobre el uso de la ecografía como método de confirmación de la intubación endotraqueal en pediatría, hasta ahora, son escasos. En un estudio llevado a cabo por ecografistas con escasa experiencia, Kerrey et al., refieren que la ecografía es tan válida como la radiografía de tórax para comprobar la intubación en niños¹⁹³. Otros estudios han demostrado que la ecografía tiene garantías como método de confirmación de la intubación en medio extrahospitalario por personal inexperto¹⁹⁴. Posteriormente Galiciano et al. comunicaron una sensibilidad y especificidad del 100% de la ecografía en comparación con métodos de confirmación clínicos junto con la radiografía de tórax. También se comparó con la capnografía y, al igual que en nuestro caso, observaron que la ecografía debe ser considerada como método alternativo en situaciones especiales⁸¹.

En nuestra opinión la ecografía debería considerarse como método de confirmación de la intubación endotraqueal y comprobación de malposición del TET en niños mayores, ya que parece tan útil como los métodos estandarizados hasta la actualidad. Además, presenta ventajas en cuanto al tiempo preciso para su realización y evita la radiación asociada a la realización de radiografías repetidas en niños críticos. En el caso de los neonatos también debería ser considerada como método complementario, y en casos de sospecha de malposición alta por fugas excesivas quizá sería precisa la realización de radiografía de tórax.

La ecografía en la valoración y manejo hemodinámico/ circulatorio del paciente crítico: Localización de la punta del catéter venoso central mediante ecografía: ¿Podemos eliminar la necesidad de radiografía de tórax?

La canalización venosa central es una técnica realizada frecuentemente en las unidades de intensivos neonatales y pediátricos. Asocia importantes complicaciones algunas de ellas derivadas de la malposición del catéter. Por ello resulta esencial la comprobación de la adecuada posición de la punta del catéter. En muchas ocasiones la canalización vascular central se emplea para la monitorización invasiva de parámetros como la PVC o la saturación de oxígeno. Una inadecuada posición del catéter puede suponer una medición incorrecta, asociando un manejo erróneo con potenciales complicaciones^{142,143,160,161,195}. Se considera como óptima la localización de la punta del catéter en la vena cava próxima a la unión entre cava y aurícula (unión cavo-atrial). Si la punta del catéter se localiza dentro de la aurícula pueden aparecer complicaciones como arritmias, trombosis o taponamiento cardíaco entre otras^{196,197}.

El método más empleado en la mayoría de unidades para comprobar la adecuada posición del catéter es la radiografía. Su realización conlleva exposición del paciente a radiación y en muchos casos el retraso en el inicio de tratamientos importantes en el manejo de niños críticos. Además se ha objetivado que la radiografía en muchos casos no identifica correctamente la unión cavoatrial, en comparación con la ecocardiografía^{164,198,199}. Se ha puesto de manifiesto la utilidad de la ecografía como guía para la canalización vascular por sus beneficios frente a la técnica habitual y también se ha demostrado su utilidad para el diagnóstico de complicaciones en adultos^{39,165,200}. En pediatría, hasta el momento de la publicación de nuestro trabajo, no existen referencias de trabajos prospectivos comparando ecografía frente a radiografía en la localización de la punta de catéteres.

Por este motivo se decidió realizar este trabajo, con el objetivo de comparar la ecografía con la radiografía de tórax, como método para la comprobación de la localización de la punta de catéteres. Además, se pretendía comparar la adecuación de

cada una de las técnicas para estimar la distancia entre la punta del catéter y la unión cavo-atrial y comparar la utilidad de la ecografía entre catéteres femorales o superiores.

Nuestro estudio se llevó a cabo en las unidades de cuidados intensivos neonatales y pediátricos del Hospital de León. La población a estudio fueron neonatos o niños que precisaron canalización vascular central si el personal con experiencia en ecografía estaba presente. Tras la canalización vascular mediante técnica habitual tipo Seldinger se realizó radiografía para comprobar la adecuada posición del catéter y simultáneamente ecografía. Se realizaron varios abordajes ecográficos para la confirmación de la adecuada posición de la punta del catéter. Según su posición se clasificaron en intra- o extra-atriales. Se consideraron intra-atriales aquellos catéteres cuya punta se localizaba dentro de la aurícula, traspasando la unión cavo-atrial. Se analizó la localización de la punta del catéter mediante las dos técnicas: ecografía por personal con experiencia y radiografía por otro médico ciego a los hallazgos ecográficos. Se cronometraron los tiempos empleados en cada una de las técnicas.

Se incluyeron 51 CVCs en 40 pacientes. La mediana de edad y peso en el momento de la canalización fueron 6 meses (Rango intercuartílico 2-28 meses; rango: 0,1- 170 meses) y 6,5 Kg (Rango intercuartílico 4,8- 20 Kg; rango: 2,5- 61 Kg). Todos los catéteres fueron evaluados tanto por radiografía como por ecografía (Tabla 5). La mayor parte de los catéteres (42) fueron localizados gracias a un único abordaje ecográfico (subcostal).

En relación a la concordancia entre ecografía y radiografía de tórax para definir la localización intra- o extra-atrial fue del 94% (Coeficiente Kappa 0,638; $p < 0,001$) y del 92% para detectar malposiciones del catéter (Coeficiente Kappa 0.670; $p < 0,001$). En concreto la radiografía detectó 3 puntas de CVCs extra-atriales (fuera de la vena cava): una en la vena yugular interna, otro en la persistencia de la VCS izquierda y otra en la vena renal izquierda). Por su parte la ecografía detectó 2 casos de localización fuera de la cava: uno a nivel yugular y el otro en la persistencia de la VCS izquierda. Ninguno de los CVCs clasificados como intra-atriales fue clasificado como extra-atrial por la

ecografía. Si ocurrió lo contrario, 3 catéteres clasificados como extra-atriales por la radiografía se demostraron intra-atriales mediante ecografía.

Tabla 5. Localización de la punta del CVC y tiempo empleado de verificación.

	Rx de tórax	Ecografía	P
Malposición de la punta del CVC	6/51	8/51	<0,05
Yugulares (n=17)	2 (1 PVCSI, 1 IA)	2 (1 PVCSI, 1 IA)	
Tronco Braquiocefálico (n=9)	0	2 (2 IA)	
PICC (n=2)	1 (1 yugular)	1 (1 yugular)	
Femoral (n=23)	3 (2 IA, 1 vena renal izquierda)	3 (3 IA)	
Distancia punta de CVC- Unión cavo-atrial (cm)	1,44 (0,55)	1,05 (0,43)	<0,001
Tiempo (min)	22,96 (20,43)	2,23 (1,06)	<0,001

La radiografía de tórax magnifica la distancia entre la punta del catéter y la unión cavo-atrial en comparación con la ecografía, con una diferencia media de 0,38 cm (IC 95%: 0,27–0,48 cm). Esta diferencia se incrementa cuando las distancias son mayores (Figura 15).

Existieron diferencias en la actuación en función de la localización de los catéteres. En general para la localización de catéteres ubicados en miembros superiores se precisaron más abordajes ecográficos y más tiempo de exploración en comparación con los catéteres localizados en miembros inferiores (Tabla 6). En el caso concreto de los niños con CVCs superiores que precisaron más abordajes ecográficos fueron significativamente mayores en edad (28 meses [RIQ, 5,5-130 meses; rango 1-170 meses] vs. 4,5 meses [RIQ, 2-7 meses; rango 0,2-91 meses]; $p<0,05$) y en peso (17 Kg [RIQ, 6,7-51 Kg; rango 3,1-61 Kg] vs. 5,1 Kg [RIQ, 4,2-6 Kg; rango 2,5-32 meses]; $p<0,05$)

que aquellos en los que el abordaje subcostal fue suficiente para localizar la punta del CVC. La ecografía requirió menos tiempo que la radiografía para la localización de la punta de los CVCs (22,96 min [22,43 min] vs 2,23 min [1,06 min]; $p < 0,001$).

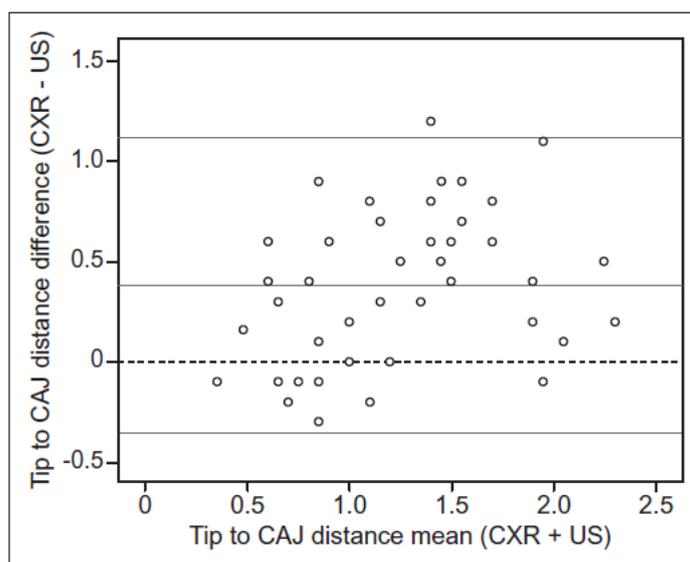


Figura 15. Gráfico de Bland-Altman de la distancia entre la punta del CVC y la unión cavo-atrial medida mediante radiografía (eje y) y ecografía (eje X).

Tabla 6. Comparación de datos ecográficos en función de la localización de los CVCs.

	CVCs superiores (n=28)	CVCs inferiores (n=23)
Edad (meses)	5(RIQ 2-25; rango 0,2-170)	8(RIQ 3-30; rango 0,1-82)
Peso (Kg)	5,2(RIQ 4,2-16; rango 2,5-61)	7,9(RIQ 4,7-21; rango, 2,8-32)
Tamaño del CVC (F)	4(RIQ 4-5,5; rango 3-7)	4(RIQ 4-5,5; rango 3-7)
Abordaje subcostal/otros	19/9	20/0
Punta de CVC-Distancia cavoatrial, ecografía (cm)	0,99 (0,41)	1,13 (0,44)

Punta de CVC-Distancia cavoatrial, diferencia eco-Rx (cm)	0,38 (0,39)	0,37 (0,36)
Concordancia con Rx en localización de la punta CVC	26/28 (93%)	21/23 (91%)
Tiempo empleado por eco	2,5 (1,24)	1.9 (0,69)

La comprobación de la adecuada posición del CVC tras su canalización es fundamental para prevenir posibles complicaciones derivadas. Hoy en día, la prueba generalmente empleada en la mayoría de centros es la radiografía, considerada como el *gold standard*. Hemos demostrado una adecuada concordancia entre ambas pruebas en la detección de malposiciones de la punta del CVC, demostrando que la ecografía es más rápida para este fin. Nuestros datos concuerdan con los previamente publicados en estudios de adultos y un estudio pediátrico^{162,163,201,202}.

Nuestro estudio demuestra la utilidad de la ecografía para la localización tanto de CVCs superiores como inferiores. Además, la ecografía es mejor que la radiografía en la detección de puntas de CVCs intra-atriales. De este modo se podría evitar la localización intra-atrial del catéter lo que conlleva importantes complicaciones como por ejemplo el taponamiento cardíaco¹⁹⁷. En muchos estudios se ha demostrado que marcas radiográficas no pueden ser empleadas para la localización de la unión cavoatrial, pues estas estructuras no pueden visualizarse directamente con la radiografía^{198,199}. Estudios previos, que empleaban la ecocardiografía transesofágica como *gold standard*, han demostrado que la radiografía tiene una sensibilidad baja para detectar la unión cavo-atrial incluso en manos de radiólogos expertos^{164,203}. En nuestros pacientes la distancia de la punta del CVC y la unión cavo-atrial medida por radiografía fue mayor que la obtenida por ecografía. Este sesgo se incrementaba a medida que aumentaba la distancia. Esta diferencia podría explicarse por la orientación del haz de rayos empleados en la radiografía^{164,203}. Este hecho junto con la inexactitud de las marcas radiográficas en la radiografía pueden ser la explicación de

que puntas de CVCs clasificadas como bien localizadas fueron identificadas como intra-atriales mediante ecografía (Figura 16). Se han encontrado hallazgos similares en la canalización umbilical en neonatos y en catéteres de larga duración en adultos^{204,205}.

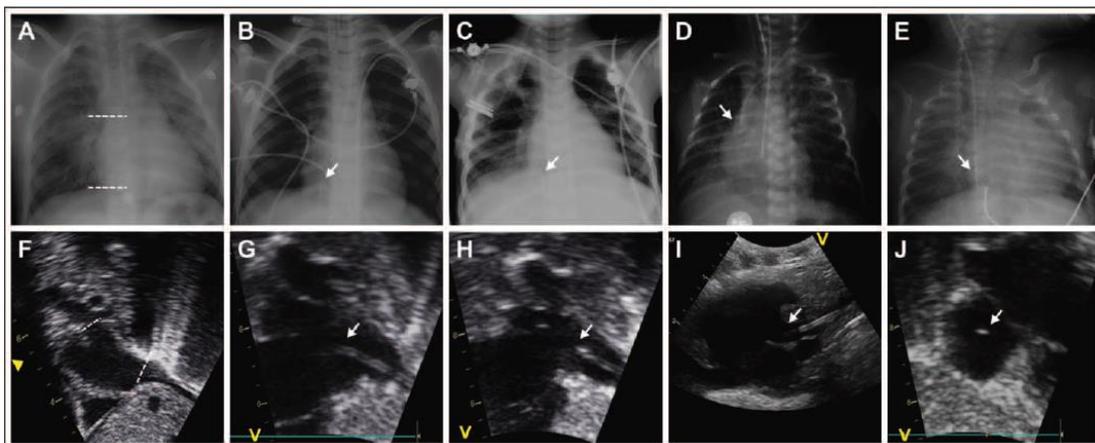


Figura 16. Concordancia entre radiografía y ecografía de la punta del CVC en relación con la unión cavo-atrial. A-E: radiografías. F-J: ecografías. A y F: Marcas radiográficas y ecográficas que delimitan la unión cavo-atrial. B y G: Malposición intra-atrial de la punta de un CVC femoral. C y H: Localización extra-atrial de un CVC femoral. D e I: CVC canalizado a través de vena subclavia izquierda con adecuada posición en la unión entre VCS y AD. E y J: Malposición intra-atrial de CVC en VVI derecha.

Otro hallazgo interesante de nuestro estudio es la utilidad de la ecografía en la localización de catéteres en la VCS. En muchos casos, en adultos, su visualización mediante ecocardiografía transtorácica se considera muy difícil e incluso imposible. Muchos estudios en adultos han empleado la ecografía para descartar malposición del catéter, mediante visualización de las venas del cuello o de las cavidades cardíacas derechas, más que basarse en la visualización de la punta del CVC²⁰⁶. Este abordaje implica un mayor riesgo al no detectar algunos casos de malposiciones. En el caso de los pacientes pediátricos no ocurre lo mismo. La visualización de la VCS forma parte de la valoración ecocardiográfica y puede obtenerse mediante diferentes abordajes^{207,208}. La mayoría de niños presentan una buena ventana acústica para la valoración de la aurícula derecha y de la entrada en ella de la VCS e inferior mediante el abordaje subcostal. La relación entre la punta del CVC y la unión cavo-atrial se puede evaluar de

forma adecuada desde este abordaje. Se sospechará malposición en aquellos casos en los que no se visualice la punta del catéter. En estos casos, en nuestro estudio ocurrió en pacientes mayores, son precisos abordajes adicionales por ecografía para localizar la punta del catéter. En el caso de catéteres superiores se puede observar la totalidad de la VCS mediante los planos paraesternal derecho y el coronal supraesternal. Si no se visualiza el catéter en la VCS tendremos que evaluar las venas cervicales y torácicas para descartar malposiciones a este nivel.

Otras de las desventajas de la radiografía en comparación con la ecografía es que supone un mayor coste, requiere de mayor tiempo para su realización e implica exposición a radiaciones ionizantes tanto en el paciente como en el personal sanitario. La ecografía no conlleva exposición a radiación y como hemos demostrado en nuestro estudio es más rápida. Este hecho adquiere más importancia en el ámbito del paciente grave e inestable, en el que se requiere el empleo de este tipo de vías para iniciar terapias urgentes. Si se utilizase la ecografía de forma electiva para la canalización vascular central y su posterior comprobación supondría un uso más eficiente de los recursos disponibles. La realización de radiografías de forma sistemática tras esta técnica supone costes importantes²⁰¹. El empleo de la ecografía en la canalización y comprobación de CVCs evitaría la realización de muchas radiografías y por tanto de costes¹⁶³. La comprobación de la posición de la punta del CVC es una de las muchas aplicaciones de la ecografía en la UCIP. Nuestros datos demuestran la seguridad y eficiencia de la ecografía en la comprobación de la punta del CVC, y pretenden cuestionar la realización de radiografías de forma rutinaria en este ámbito.

Una de las principales barreras de la ecografía es ser una técnica operador dependiente. Como en otras técnicas es fundamental un adecuado entrenamiento. Una de las principales ventajas en esta situación es que los niños tienen una ventana acústica excelente para la realización de ecografía en la comprobación de CVCs mediante diferentes abordajes. En el futuro sería interesante la realización de estudios que comunicasen la curva de aprendizaje de personal inexperto y la capacidad de

detección de CVCs superiores que precisan abordajes que no se emplean de forma habitual.

Entre las limitaciones de nuestro estudio destacan el tamaño muestral no muy amplio, que todas las exploraciones fueron realizadas por un único médico intensivista con experiencia en ecocardiografía. Una parte importante de nuestra muestra son niños pequeños que tienen una ventana acústica mejor lo que facilita la localización de CVCs superiores. La población de estudio son pacientes ingresados por patología médica, quizá en pacientes quirúrgicos portadores de drenajes la evaluación ecográfica podría verse afectada²⁰⁶.

La ecografía en la valoración y manejo neurológico del paciente crítico: evaluación mediante ecografía de la anatomía lumbar en neonatos. Implicaciones para optimizar la realización de la punción lumbar.

La punción lumbar es un procedimiento común realizado en las unidades neonatales²⁰⁹. Para su realización generalmente se emplean referencias anatómicas para determinar el lugar de inserción de la aguja^{210,211}. Otros factores que influyen en su éxito, como el ángulo de entrada de la aguja o la profundidad de inserción de la misma, no pueden determinarse clínicamente y dependen de la experiencia del operador^{186,212}. Por otro lado, la punción lumbar en neonatos es dificultosa debido al pequeño tamaño de estos pacientes. Ésta puede ser la causa que explique la alta incidencia de punciones lumbares traumáticas y de múltiples intentos, que pueden interferir en el diagnóstico y tratamiento aumentando la morbilidad^{213,214}.

En los últimos años han aparecido publicaciones que han empleado la ecografía para el estudio de la anatomía lumbar y como guía en la realización de la punción lumbar en niños y adultos^{186,215-218}. Se han descrito algunos factores que pueden influir en el éxito de la técnica y pueden ser valorados mediante ecografía: la distancia interespinosa (DIE), el ángulo de penetración de la aguja (APA), el espacio subaracnoideo (ESA) y la profundidad de inserción de la aguja (PIA). En estudios previos se ha objetivado que estos factores pueden verse influenciados por la postura del paciente durante la punción lumbar²¹⁷⁻²²². Debido a la mineralización incompleta de las estructuras óseas la ecografía es especialmente útil para la exploración adecuada de la anatomía lumbar en neonatos¹⁸⁴. Los escasos estudios al respecto en neonatos tienen en común un tamaño muestral pequeño, que no existe una exploración ecográfica ciega a la postura de los pacientes y ausencia de evaluación detallada de la anatomía lumbar^{217,223}. Existen probablemente diferencias en el desarrollo de la anatomía lumbar entre neonatos a término y pretérmino²¹⁰. También existen diferencias entre niños y adultos, por lo que no se pueden extrapolar los resultados obtenidos en ellos para la población neonatal.

Debido a las múltiples punciones lumbares que se realizan en neonatos a lo largo del mundo, creemos que es importante estudiar la anatomía lumbar con el fin de incrementar el éxito, disminuir la morbilidad y mejorar el cuidado de nuestros pacientes. Por ello se planteó este estudio, con el objetivo de establecer unas recomendaciones para la realización de la punción lumbar, estudiando los cambios anatómicos mediante ecografía debidos a la edad gestacional y la posición del paciente durante la técnica.

Nuestro estudio se llevó a cabo en la unidad de neonatología y maternidad del Hospital de León. La población a estudio fueron neonatos a término y pretérmino nacidos en nuestras unidades, cuyos padres o tutores accedieron a participar mediante consentimiento informado previo. Se realizó estudio ecográfico de la anatomía lumbar en 6 posiciones diferentes: decúbito lateral en posición neutra (L1), decúbito lateral con flexión de caderas (L2), decúbito lateral con flexión de caderas y cervical (L3), sentado en posición neutra (S1), sentado con flexión de caderas (S2) y sentado con flexión de caderas y cervical (S3). Se monitorizó a los neonatos mediante pulsioximetría (monitorización de frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno) durante la realización de la ecografía lumbar en las diferentes posiciones.

Se incluyeron inicialmente 247 recién nacidos, de los cuales se excluyeron 48 por diversos motivos. Finalmente se incluyeron 199 neonatos: 123 recién nacidos a término y 76 pretérminos (Figura 17). Las características de los pacientes aparecen recogidas en la tabla 7. La distribución de las variables dependientes aparece reflejada en la tabla 8.

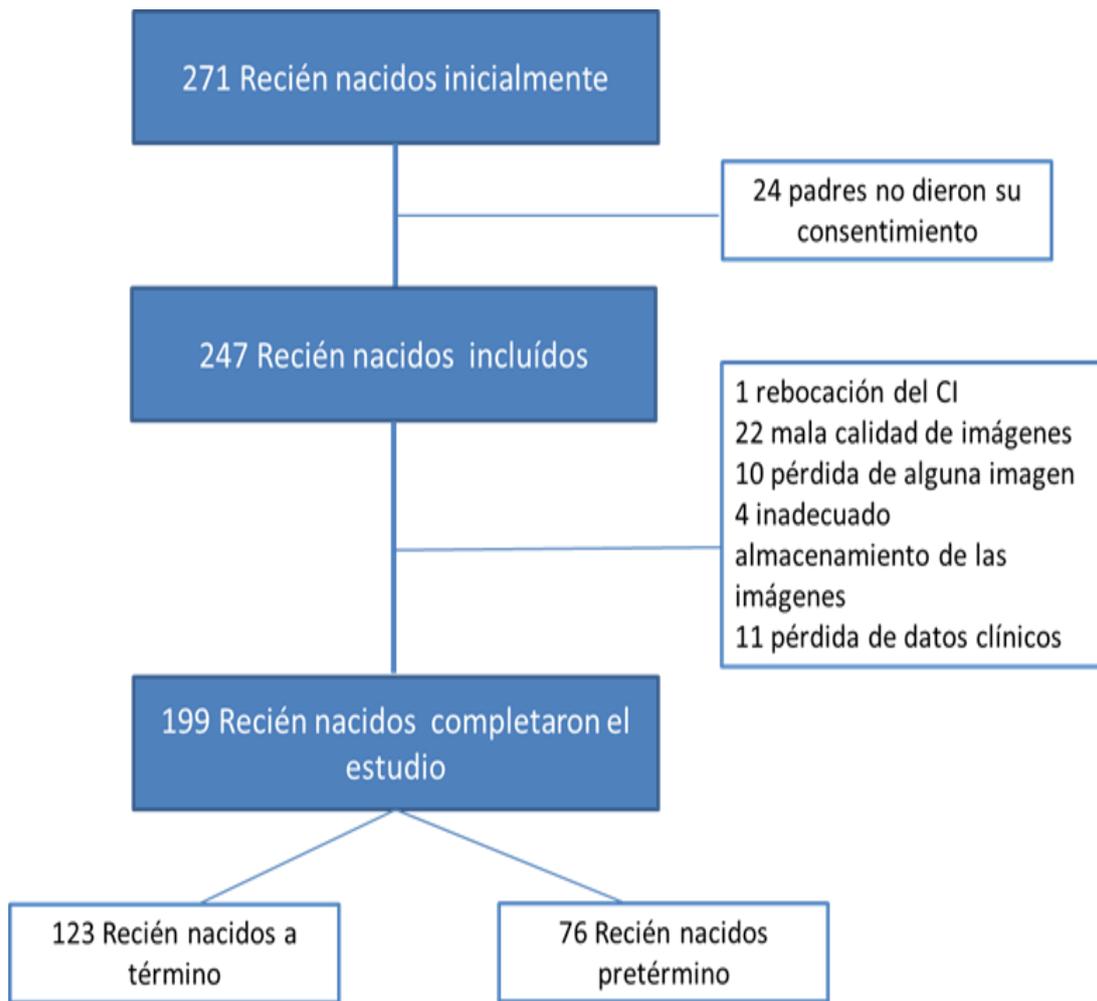


Figura 17. Diagrama de flujo del estudio

Tabla 7. Características de los pacientes incluidos inicialmente en el estudio.			
	Incluidos (N=199)	Excluidos (N=48)	p
Edad Gestacional (semanas), Mediana (RIQ)	38 (35-40)	38 (35-40)	NS
Edad Gestacional, N (%)			
<34	45 (22,6)	9 (18,6)	NS
34-36	31 (15,6)	6 (12,5)	
≥37	123 (61,8)	33 (68,7)	
Varones, N (%)	100 (50,3)	22 (45,8)	0,198
Origen, N (%)			
Unidad de Neonatología	85 (42,7)	22 (45,8)	NS
Maternidad	114 (57,3)	26 (55,1)	
Peso al nacer (gr), mediana (RIQ)	2.721 (1.922-3.314)	2.695 (1.905-3.298)	NS
Longitud (cm), mediana (RIQ)	48 (45-50)	48 (45-50)	NS
Momento ecografía, mediana (RIQ)			
Días de vida	1 (1-7)	1 (1-7)	NS
Edad gestacional (s)	38 (36-40)	38 (36-40)	NS
Peso(gr)	2.670 (2.060-3.310)	2.620 (2.039-3.296)	NS
Longitud (cm)	48 (45,5-50)	47 (45-50)	NS
Perímetro abdominal	30 (28,5-32)	30 (28-32)	NS

RIQ: rango intercuartílico; NS: no significativo. Los valores de $p < 0,2$ se especifican numéricamente.

Tabla 8. Variables dependientes del estudio

	L1	L2	L3	S1	S2	S3
DIE (mm)	9,8±1,4 (9,6-10)	11±1,3 (10,8-11,2)	11,1±1,4 (10,9-11,3)	10,8±1,3 (10,6-11)	11,8±1,4 (11,6-12)	11,5±1,4 (11,3-11,7)
DII (mm)	4,8±0,9 (4,7-4,9)	5,7±1,1 (5,5-5,8)	5,8±1,1 (5,7-6)	5,6±1,1 (5,4-5,8)	6,5±1,2 (6,3-6,6)	6,3±1,2 (6,1-6,4)

APA (°)	70,6±4,3 (70-71,2)	68,4±3,8 (67,8-68,9)	67,8±3,8 (67,3-68,4)	68,6±4 (68-69,2)	66,4±3,6 (65,9-66,9)	66,9±3,6 (66,4-67,4)
PIA (mm)	12,7±2 (12,5-13)	12,7±2 (12,4-13)	12,7±2 (12,5-13)	12,7±2 (12,5±13)	12,7±2 (12,4-13)	12,8±2 (12,5-13)
ESA (mm)	1,6±0,9 (1,5-1,8)	2,5±1,1 (2,3-2,6)	2,8±1,1 (2,6-2,9)	2,6±1 (2,4-2,7)	3±1,1 (2,9-3,2)	3,1±1,1 (3±3,3)
FC (lpm)	152±24 (149-156)	153±25 (149-156)	156±24 (152-159)	160±23 (156-163)	161±23 (158-164)	161±23 (158-164)
SO (%)	96±3 (96-97)	95±4 (94-95)	91±7 (90-92)	95±4 (94-95)	92±5 (91-93)	90±6 (89-91)
SO <85%	1 (0,05%)	3 (1,5%)	29(14,5)	5 (2,5%)	19 (9,5%)	38 (19%)

Los datos están expresados como media ± DS (IC 95%) y número (porcentaje). DIE: Distancia interespinosa externa; DII: distancia interespinosa interna; APA: ángulo de penetración de la aguja; PIA: profundidad de inserción de la aguja; ESA: espacio subaracnoideo; FC: frecuencia cardíaca; SO: saturación de oxígeno.

Distancia interespinosa

Hemos observado que la posición del paciente durante la punción lumbar tiene un efecto significativo tanto sobre la DIE como en la DII ($p < 0,001$). Realizando comparaciones múltiples entre las distintas posiciones, S2 consigue la mayor DIE comparada con las otras posiciones (Tabla 9). Se observó el mismo resultado en el caso de la DII. La edad gestacional también presentó un efecto significativo en la DIE y la DII ($p < 0,001$). La interacción entre posición y edad gestacional también fue significativa para la DIE ($p < 0,001$), esto puede indicar que el efecto de la posición difiere entre recién nacidos a término y pretérmino. Los gráficos de perfil pueden ayudarnos a interpretar estos resultados, observamos una trayectoria ligeramente diferente de las líneas en la posición L3. El resto son prácticamente paralelas. Las líneas paralelas en este tipo de gráficos indican que el efecto sobre la posición es similar en niños a término y prematuros (Figura 18).

Tabla 9. Comparaciones múltiples para la distancia interespinosa			
	Diferencias de las medias (mm)	95% IC	p
L1 VS L2	-1,12	-1,39 a -0,98	<0,001
L1 VS L3	-1,24	-1,46 a -1,02	<0,001
L1 VS S1	-1,01	-1,26 a -0,75	<0,001
L1 VS S2	-1,93	-2,16 a -1,70	<0,001
L1 VS S3	-1,69	-1,95 a -1,43	<0,001
L2 VS L3	-0,05	-0,22 a 0,12	1,0
L2 VS S1	0,18	-0,03 a 0,39	0,197
L2 VS S2	-0,74	-0,94 a -0,54	<0,001
L2 VS S3	-0,50	-0,72 a -0,28	<0,001
L3 VS S1	0,23	0,04 a 0,43	0,066
L3 VS S2	-0,69	-0,87 a -0,51	<0,001
L3 VS S3	-0,45	-0,64 a -0,25	<0,001
S1 VS S2	-0,92	-1,12 a -0,73	<0,001
S1 VS S3	-0,68	-0,9 a -0,47	<0,001
S2 VS S3	0,240	0,07 a 0,41	0,001

Ángulo de penetración de la aguja

Hemos observado un efecto significativo de la posición sobre el ángulo de penetración o entrada de la aguja ($p < 0,001$). No se objetivó efecto significativo ni con la edad gestacional ni con la interacción entre edad gestacional y posición. En los gráficos de perfil observamos resultados similares entre recién nacidos a término y pretérmino (Figura 18). Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las posiciones al realizar las comparaciones múltiples, pero la diferencia media de ángulo no fue superior a los 5° (Tabla 10).

Tabla 10. Comparaciones múltiples para el ángulo de penetración de la aguja			
	Diferencias de las medias (°)	IC 95%	p
L1 VS L2	2,18	1,23 a 3,13	<0,001
L1 VS L3	2,75	1,78 a 3,71	<0,001
L1 VS S1	2,01	0,92 a 3,10	<0,001
L1 VS S2	4,17	3,07 a 5,27	<0,001
L1 VS S3	3,68	2,56 a 4,79	<0,001
L2 VS L3	0,56	-0,31 a 1,44	0,837
L2 VS S1	-0,17	-0,16 a 0,81	1,0
L2 VS S2	1,99	1,11 a 2,87	<0,001
L2 VS S3	1,5	0,52 a 2,48	<0,001
L3 VS S1	-0,74	-1,72 a 0,25	0,412
L3 VS S2	1,43	0,53 a 2,34	<0,001
L3 VS S3	0,93	0,05 a 1,82	0,031
S1 VS S2	2,16	1,21 a 3,12	<0,001
S1 VS S3	1,67	0,77 a 2,56	<0,001
S2 VS S3	-0,50	-1,29 a 0,29	0,946

Espacio subaracnoideo

Tanto el efecto de la posición ($p < 0,001$) como el de la edad gestacional ($p < 0,001$) fueron significativos, pero no lo fue la interacción entre edad gestacional y posición. Al realizar las comparaciones múltiples entre las diferentes posturas S2 y S3 fueron las que se asociaron a mayor ESA (Tabla 11).

Tabla 11. Comparaciones múltiples para el espacio subaracnoideo			
	Diferencias de las medias (mm)	IC 95%	p
L1 VS L2	-0,82	-1,01 a -0,63	<0,001
L1 VS L3	-1,09	-1,30 a -0,88	<0,001
L1 VS S1	-0,90	-1,12 a -0,68	<0,001
L1 VS S2	-1,38	-1,60 a -1,16	<0,001
L1 VS S3	-1,45	-1,69 a -1,22	<0,001
L2 VS L3	-0,27	-0,45 a -0,1	0,837
L2 VS S1	-0,08	-0,32 a 0,15	1,0
L2 VS S2	-0,56	-0,77 a -0,35	<0,001
L2 VS S3	-0,64	-0,85 a -0,42	<0,001
L3 VS S1	0,19	-0,04 a 0,43	0,226
L3 VS S2	-0,29	-0,48 a -0,09	<0,001
L3 VS S3	-0,36	-0,57 a -0,16	<0,001
S1 VS S2	-0,48	-0,70 a -0,25	<0,001
S1 VS S3	-0,55	-0,70 a -0,32	<0,001
S2 VS S3	-0,08	-0,25 a 0,10	1,0

Profundidad de inserción de la aguja

Ninguna posición ni la interacción entre edad gestacional y posición fueron significativas. Por el contrario, sí se objetivaron diferencias estadísticamente significativas con la edad gestacional ($p < 0,001$), como puede observarse en la figura 18. Las comparaciones múltiples no observaron diferencias significativas en la media de PIA entre las diferentes posiciones. Se objetivó una relación lineal entre el peso y la PIA (correlación de Pearson) (Figura 19). En un análisis posterior se realizó un análisis mediante regresión lineal para predecir la PIA. Peso, edad gestacional, longitud, superficie corporal y perímetro abdominal fueron empleados como predictores en el modelo. Únicamente el peso y edad gestacional contribuyeron significativamente en el

modelo de regresión. De todos ellos el peso fue sin duda el factor con mayor contribución, con un coeficiente beta de 0,84. Gracias a ello se estimó la siguiente ecuación para el cálculo de la PIA en base al peso del paciente:

$$PIA \text{ (mm)} = 2,5 \times \text{Peso (Kg)} + 6 \quad (R^2 = 0.863; p = 0.001)$$

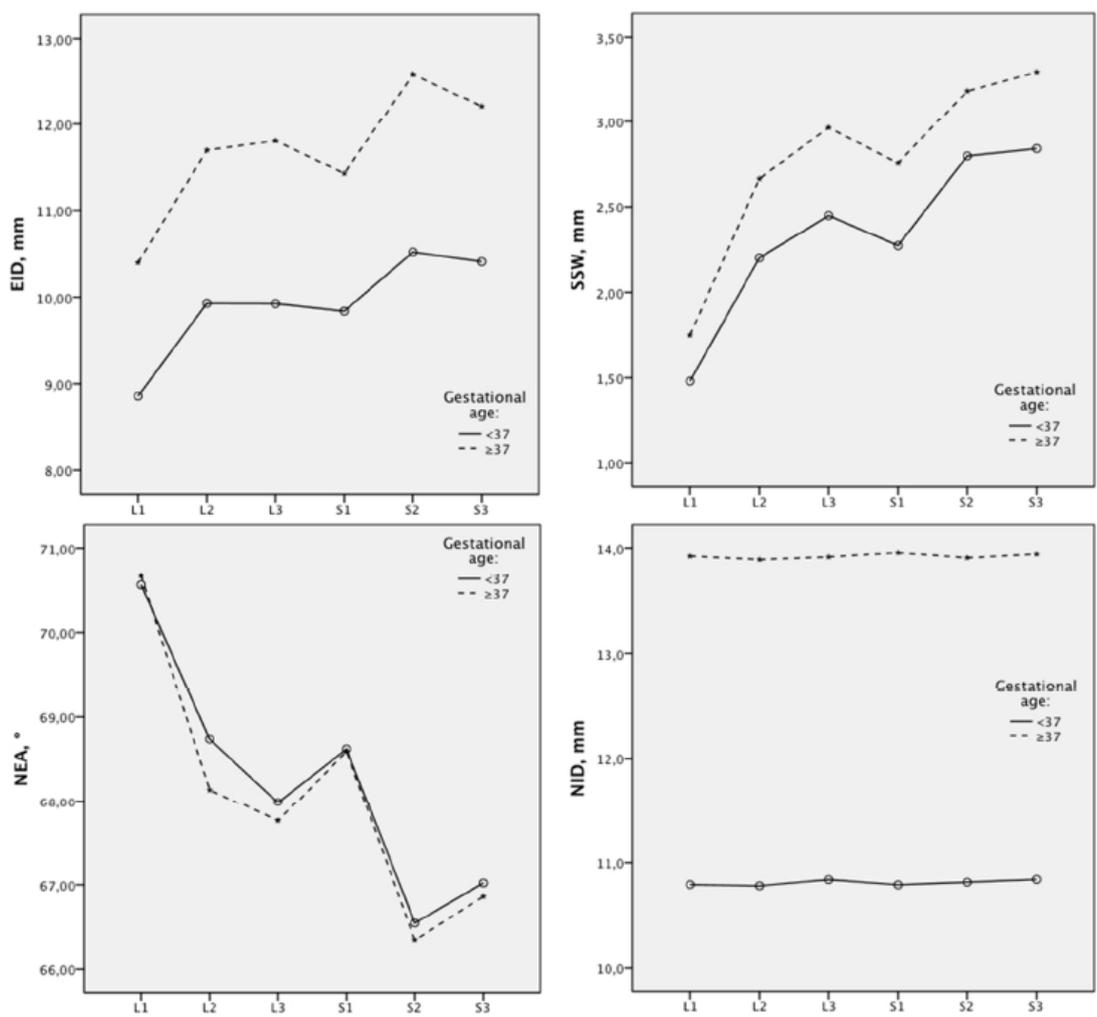


Figura 18. Gráficos de perfil: Imagen superior izquierda DIE; Imagen superior derecha: ESA; Imagen inferior izquierda APA; Imagen inferior derecha PIA.

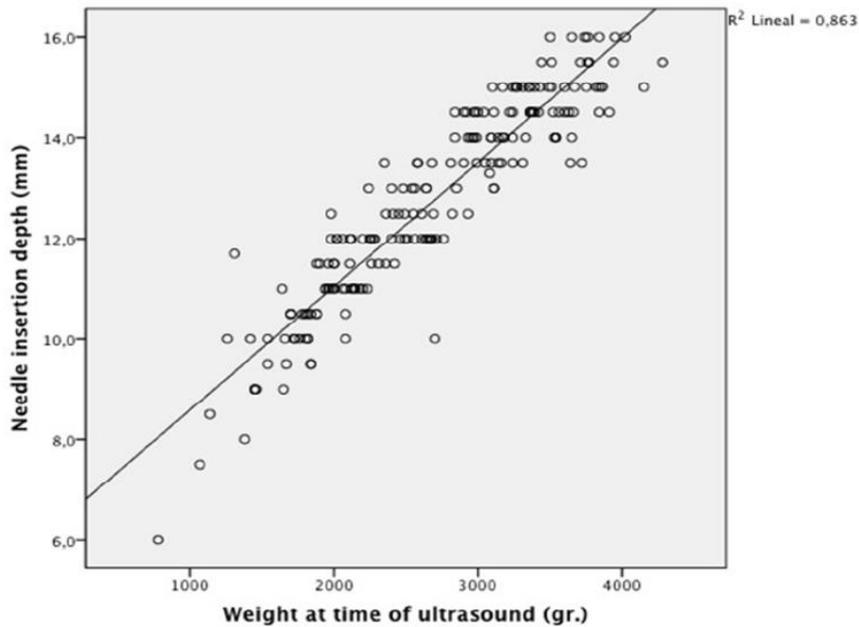


Figura 19. Correlación lineal entre el peso y la PIA.

Frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno

Todas las posiciones producían un incremento en la FC y un descenso en la SO, en comparación con los valores basales. Las posiciones con el neonato sentado (S1, S2, S3) se asociaron a mayor incremento de la FC ($p < 0,05$). Aquellas posiciones con flexión cervical (S3, L3) se asociaron a SO más bajas de forma significativa ($p < 0,05$) en comparación con otras posiciones. No se registraron episodios de bradicardia. Los episodios de desaturación (definidos como saturaciones de oxígeno $< 85\%$) fueron más frecuentes con las posiciones que asociaban flexión cervical (S3 y L3). Se objetivaron 11 episodios de desaturación que precisaron estimulación y oxígeno suplementario, todos ocurrieron en recién nacidos pretérminos en las posiciones S3 y L3.

El mejor conocimiento de la anatomía lumbar podría facilitar la punción lumbar. Gracias a esta hipótesis han proliferado en los últimos años estudios sobre punción lumbar con guía ecográfica. En un reciente meta-análisis se ha objetivado que el empleo de la ecografía previo al procedimiento reduce el número de punciones lumbares fallidas o de anestesia epidural con un NNT de 16¹⁸¹. Los autores parecen conscientes del beneficio de la ecografía en este campo, pues la tasa de fallo con el empleo de la ecografía en comparación con la técnica ciega empleada hasta ahora es muy baja. En general, por el momento, la ecografía se emplea en aquellos casos donde se prevé una punción lumbar dificultosa. La tasa de fallo y de intentos es mucho mayor en los recién nacidos. La ecografía permite en este grupo de edad, debido a sus características, unas imágenes anatómicas de alta definición^{195, 205-206}. Es por ello que la ecografía puede ser potencialmente beneficiosa en este tipo de pacientes.

Se han descrito muchos factores implicados en el éxito de la punción lumbar desde la edad, experiencia del operador, tipo de aguja, empleo de anestesia o la posición del paciente^{195,207-209}. De todos estos factores sólo la posición puede afectar directamente a la anatomía lumbar.

**V. CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN PRIMERA:

La investigación en el uso de la ecografía en el paciente crítico pediátrico y neonatal ha permitido identificar nuevas aplicaciones que pueden contribuir a mejorar la atención y seguridad de los pacientes.

CONCLUSIÓN SEGUNDA:

La ecografía permite comprobar la posición del TET de forma tan eficaz como la capnografía, aunque requiere mayor tiempo, especialmente en neonatos. Además, en neonatos puede haber falsos negativos y ser difícil diferenciar la malposición alta del TET.

CONCLUSIÓN TERCERA:

La ecografía es eficaz y rápida para comprobar la profundidad del TET y descartar intubación selectiva, por lo que podría contribuir a disminuir la utilización rutinaria de la radiografía.

CONCLUSIÓN CUARTA:

La ecografía tiene una adecuada concordancia con la radiografía en la detección de la posición de la punta del CVC y el diagnóstico de malposición del CVC, precisando para ello menos tiempo.

CONCLUSIÓN QUINTA:

La lectura de radiografía por los clínicos puede sobreestimar la distancia entre la punta del CVC y la unión cavo-atrial, siendo menos precisa que la ecografía en la detección de catéteres intra-atriales.

CONCLUSIÓN SEXTA:

La ecografía puede ser un método alternativo para la comprobación de la adecuada posición de la punta de los catéteres en niños.

CONCLUSIÓN SÉPTIMA:

La posición del paciente tiene importantes efectos en la anatomía de la columna lumbar y el canal medular modificando las referencias anatómicas relevantes para la punción lumbar. Estos efectos no difieren en función de la edad gestacional siendo similares en neonatos a término y prematuros.

CONCLUSIÓN OCTAVA:

La posición sentado con flexión de caderas es la que asocia mejores condiciones anatómicas para la punción lumbar al conseguir una mayor DIE y un mayor ESA.

CONCLUSIÓN NOVENA:

En base a los resultados de nuestro estudio el ángulo óptimo para la introducción de la aguja es de 65-70°.

CONCLUSIÓN DÉCIMA:

La PIA es independiente de la posición del paciente y se puede calcular en función del peso.

CONCLUSIÓN UNDÉCIMA:

La asociación de flexión cervical durante la punción lumbar no mejora las condiciones anatómicas y es mal tolerada por los pacientes.

RECOMENDACIÓN:

En base a nuestro estudio para la realización de la punción lumbar en neonatos parece recomendable:

- Posición sentado con flexión de caderas.
- Ángulo de penetración de la aguja de 65-70°.
- Insertar la aguja con una profundidad calculada en base al peso:
 - $PIA (mm) = 2,5 \times \text{Peso (Kg)} + 6$
- Evitar la flexión cervical.

V. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Ferrucci J. Body Ultrasonography (first of two parts). *N Engl J Med* 1979; 300: 538–42.
- 2 Moore CL, Copel JA. Point-of-care ultrasonography. *N Engl J Med* 2011; 364: 749–57.
- 3 Newman PG, Rozycki GS. The history of ultrasound. *Surg Clin North Am* 1998; 78: 179–95.
- 4 Edler I LK. The history of echocardiography. *Ultrasound Med Biol* 2004; 30: 1565–644.
- 5 Donald I, Macvicar J, Brown TG. Investigation of abdominal masses by pulsed ultrasound. *Lancet* 1985; 1: 1188–95.
- 6 Claudon M, Tranquart F, Evans DH, Lefèvre F, Correas M. Advances in ultrasound. *Eur Radiol* 2002; 12: 7–18.
- 7 Kristensen JK, Buemann B, Kühl E. Ultrasonic scanning in the diagnosis of splenic haematomas. *Acta Chir Scand* 1971; 137: 653–7.
- 8 Asher WM, Parvin S, Virgilio RW, Haber K. Echographic Evaluation of splenic injury after blunt Trauma. *Radiology* 1976; 118: 411–5.
- 9 Tso P, Rodriguez A, Cooper C, Militello P, Mirvis S, Badellino MM, et al. Sonography in blunt abdominal trauma: a preliminary progress report. *J Trauma* 1992; 33: 39–43.
- 10 Rozycki GS, Ochsner MG, Jaffin JH, Champion HR. Prospective evaluation of surgeons' use of ultrasound in the evaluation of trauma patients. *J Trauma* 1993; 34: 516–26.
- 11 Ma OJ, Mateer JR, Ogata M, Kefer MP, Wittmann D, Aprahamian C. Prospective analysis of a rapid trauma ultrasound examination performed by emergency physicians. *J Trauma* 1995; 38: 879–85.

- 12 McKenney MG, Martin L, Lentz K, Lopez C, Sleeman D, Aristide G, et al. 1,000 consecutive ultrasounds for blunt abdominal trauma. *J Trauma* 1996; 40: 607–10.
- 13 Grüessner R, Mentges B, Düber C, Rückert K, Rothmund M. Sonography versus peritoneal lavage in blunt abdominal trauma. *J Trauma* 1989; 29: 242–4.
- 14 Hoffmann R, Nerlich M, Muggia-Sullam M, Pohlemann T, Wippermann B, Regel G, Tscherne H. Blunt abdominal trauma in cases of multiple trauma evaluated by ultrasonography: a prospective analysis of 291 patients. *J Trauma* 1992; 32: 452–8.
- 15 American College of Emergency Physicians. Policy statement: Ultrasound use for emergency patients, June 1991. Disponible en: <http://www.acep.org/webportal/PracticeResources/PolicyStatements>
- 16 Society for Academic Emergency Medicine. Ultrasound Position Statement, 1991. Disponible en: <http://www.saem.org>.
- 17 American College of Emergency Physicians. Policy statement: Ultrasound Guidelines, 2001. Disponible en: <http://www.acep.org/webportal/PracticeResources/PolicyStatements>
- 18 American College of Emergency Physicians. Policy statement: Ultrasound Guidelines, 2008. Disponible en: <http://www.acep.org/webportal/PracticeResources/PolicyStatements>
- 19 American College of Emergency Physicians. Policy statement: Emergency ultrasound imaging criteria compendium, 2014. Disponible en: <http://www.acep.org/webportal/PracticeResources/PolicyStatements>
- 20 Lichtenstein DA. Whole body ultrasonography in the critically ill, 3^a Ed. Berlin: Springer, 2010. 320 p. ISBN 978-3-642-05327-6.
- 21 Tayal VS, Kline JA. Emergency echocardiography to detect pericardial effusion in patients in PEA and near-PEA states. *Resuscitation* 2003; 59: 315–8.
- 22 Blaivas M, Fox JC. Outcome in cardiac arrest patients found to have cardiac standstill on the bedside emergency department echocardiogram. *Acad Emerg*

- Med 2001; 8: 616–21.
- 23 Moore CL, Rose GA, Tayal VS, Sullivan DM, Arrowood JA, Kline JA. Determination of left ventricular function by emergency physician echocardiography of hypotensive patients. *Acad Emerg Med* 2002; 9: 186–93.
 - 24 Salen P, O'Connor R, Sierzenski P, Passarello B, Pancu D, Melanson S, et al. Can cardiac sonography and capnography be used independently and in combination to predict resuscitation outcomes?. *Acad Emerg Med* 2001; 8: 610–5.
 - 25 Ali J, Rozycki GS, Campbell JP, Boulanger BR, Waddell JP, Gana TJ. Trauma ultrasound workshop improves physician detection of peritoneal and pericardial fluid. *J Surg Res* 1996; 63: 275–9.
 - 26 Whye D, Barish R, Almquist T, Groleau G, Tso E, Browne B. Echocardiographic diagnosis of acute pericardial effusion in penetrating chest trauma. *Am J Emerg Med* 1988; 6: 21–3.
 - 27 Kuhn M, Bonnin RL, Davey MJ, Rowland JL, Langlois SL. Emergency department ultrasound scanning for abdominal aortic aneurysm: accessible, accurate, and advantageous. *Ann Emerg Med* 2000; 36: 219–23.
 - 28 Tayal VS, Graf CD, Gibbs MA. Prospective study of accuracy and outcome of emergency ultrasound for abdominal aortic aneurysm over two years. *Acad Emerg Med* 2003; 10: 867–71.
 - 29 Durham B, Lane B, Burbridge L, Balasubramaniam S . Pelvic ultrasound performed by emergency physicians for the detection of ectopic pregnancy in complicated first-trimester pregnancies. *Ann Emerg Med* 1997; 29: 338–47.
 - 30 Wong TW, Lau CC, Yeung A, Lo L, Tai CM. Efficacy of transabdominal ultrasound examination in the diagnosis of early pregnancy complications in an emergency department. *J Accid Emerg Med* 1998; 15: 155–8.
 - 31 Rosen CL, Brown DF, Chang Y, Moore C, Averill NJ, Arkoff LJ, et al. Ultrasonography by emergency physicians in patients with suspected cholecystitis. *Am J Emerg Med* 2001; 19: 32–6.

- 32 Rosen CL, Brown DF, Sagarin MJ, Chang Y, McCabe CJ, Wolfe RE. Ultrasonography by emergency physicians in patients with suspected ureteral colic. *J Emerg Med* 1998; 16: 865–70.
- 33 Henderson SO, Hoffner RJ, Aragona JL, Groth DE, Esekogwu VI, Chan D. Bedside emergency department ultrasonography plus radiography of the kidneys, ureters, and bladder vs intravenous pyelography in the evaluation of suspected ureteral colic. *Acad Emerg Med* 1998; 5: 666–71.
- 34 Hudson PA, Rose JS. Real-time ultrasound guided internal jugular vein catheterization in the emergency department. *Am J Emerg Med* 1997; 15: 79–82.
- 35 Hilty WM, Hudson PA, Levitt MA, Hall JB. Real-time ultrasound-guided femoral vein catheterization during cardiopulmonary resuscitation. *Ann Emerg Med* 1997; 29: 331–6.
- 36 Karabinis A, Fragou M, Karakitsos D. Whole-body ultrasound in the intensive care unit: a new role for an aged technique. *J Crit Care* 2010; 25: 509–13.
- 37 Herbst MK, Camargo CA Jr, Perez A, Moore CL. Use of point-of-care ultrasound in Connecticut emergency departments. *J Emerg Med* 2015; 48: 191–6.
- 38 Akhtar S, Theodoro D, Gaspari R, Tayal V, Sierzenski P, Lamantia J, et al. Resident training in emergency ultrasound: consensus recommendations from the 2008 Council of Emergency Medicine Residency Directors Conference. *Acad Emerg Med* 2009; 16: 32–6.
- 39 Hind D, Calvert N, McWilliams R, Davidson A, Paisley S, Beverley C, et al. Ultrasonic locating devices for central venous cannulation: meta-analysis. *BMJ* 2003; 327: 361.
- 40 Counselman FL, Sanders A, Slovis CM, Danzl D, Binder LS, Perina DG. The status of bedside ultrasonography training in emergency medicine residency programs. *Acad Emerg Med* 2003; 10: 37–42.
- 41 Stein JC, River G, Kalika I, Hebig A, Price D, Jacoby VL, Filly R. A survey of bedside ultrasound use by emergency physicians in California. *J Ultrasound Med* 2009; 28: 757–63.

- 42 Woo MY, Frank JR, Lee AC. Point-of-care ultrasonography adoption in Canada: using diffusion theory and the Evaluation Tool for Ultrasound skills Development and Education (ETUDE). *CJEM* 2013; 16: 1–7.
- 43 Henwood PC, Beversluis D, Genthon AA, Wilson CN, Norwood B, Silva D, et al. Characterizing the limited use of point-of-care ultrasound in Colombian emergency medicine residencies. *Int J Emerg Med* 2014; 7: 7.
- 44 Craig S, Egerton-Warburton D, Mellett T. Ultrasound use in Australasian emergency departments: a survey of Australasian College for Emergency Medicine Fellows and Trainees. *Emerg Med Australas* 2014; 26: 268–73.
- 45 Bobbia X, Hansel N, Muller L, Claret PG, Moreau A, Genre Grandpierre R, et al. Availability and practice of bedside ultrasonography in emergency rooms and prehospital setting: A French survey. *Ann Fr Anesth Reanim* 2014; 33: 29-33.
- 46 American Board of Internal Medicines. Critical Care Medicine Certification Policies, 2016. Disponible en: <http://www.abim.org/certification/policies/imss/ccm.aspx#tpr>.
- 47 Eisen LA, Leung S, Gallagher AE, Kvetan V. Barriers to ultrasound training in critical care medicine fellowships: a survey of program directors. *Crit Care Med* 2010; 38: 1978–83.
- 48 Mosier JM, Malo J, Stolz LA, Bloom JW, Reyes NA, Snyder LS, et al. Critical care ultrasound training: A survey of US fellowship directors. *J Crit Care* 2014; 29: 645–9.
- 49 Ramirez-Schrempp D, Dorfman DH, Tien I, Liteplo AS. Bedside ultrasound in pediatric emergency medicine fellowship programs in the United States: little formal training. *Pediatr Emerg Care* 2008; 24: 664–7.
- 50 Cohen JS, Teach SJ, Chapman JI. Bedside Ultrasound Education in Pediatric Emergency Medicine Fellowship Programs in the United States. *Pediatr Emerg Care* 2012; 28: 845–50.
- 51 Lambert RL, Boker JR, Maffei FA. National survey of bedside ultrasound use in

- pediatric critical care. *Pediatr Crit Care Med* 2011; 12: 655–9.
- 52 Renter L, González R, Coca A VJ. Uso de la ecografía clínica en las UCIPs españolas. *Rev Esp Pediat* 2015; 71: 109.
- 53 Evans N, Gournay V, Cabanas F, Kluckow M, Leone T, Groves A, et al. Point-of-care ultrasound in the neonatal intensive care unit: international perspectives. *Semin Fetal Neonatal Med* 2011; 16: 61–8.
- 54 Solomon SD, Saldana F. Point-of-care ultrasound in Medical Education- Stop listening and look. *N Engl J Med* 2014; 370: 1083–5.
- 55 Lewiss RE, Saul T, Del Rios M. Acquiring credentials in bedside ultrasound: a cross-sectional survey. *BMJ Open* 2013; 3: e003502.
- 56 American Board of Emergency Medicine. The Emergency Medicine Milestone Project, 2012. Disponible en : http://www.abem.org/PUBLIC/_Rainbow/Documents/.
- 57 Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, et al. American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 2009; 135: 1050–60.
- 58 Cholley BP. International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med* 2011; 37: 1077–83.
- 59 Mclean AS. International recommendations on competency in critical care ultrasound : pertinence to Australia and New Zealand. 2011; 13: 56–8.
- 60 Vieira RL, Hsu D, Nagler J, Chen L, Gallagher R, Levy JA, American Academic of Pediatrics. Pediatric emergency medicine fellow training in ultrasound: Consensus educational guidelines. *Acad. Emerg. Med.* 2013; 20: 300–6.
- 61 Fischer LM, Woo MY, Lee AC, Wiss R, Socransky S, Frank JR. Emergency medicine point-of-care ultrasonography: a national needs assessment of competencies for general and expert practice. *CJEM* 2014; 17: 4–18.

- 62 Ayuela Azcárate JM, Clau-Terré F, Vicho Pereira R, Guerrero de Mier M, Carrillo López A, Ochagavía A, et al. Documento de consenso para la formación en ecografía en Medicina Intensiva. Proceso asistencial, uso de la técnica y adquisición de competencias profesionales. *Med Intensiva* 2014; 38: 33-40.
- 63 Thim T, Vinther NH, Grove EL, Rohde CV, Løfgren B. Initial assessment and treatment with the Airway , Breathing , Circulation , Disability , Exposure (ABCDE) approach. *Int J Gen Med* 2012; 5: 117–21.
- 64 Safar P, McMahon M. Mouth-to-airway emergency artificial respiration. *J Am Med Assoc* 1958; 166: 1459–60.
- 65 Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. Closed-chest cardiac massage. *JAMA* 1960; 173: 1064–7.
- 66 Safar P, Brown TC, Holtey WJ, Wilder RJ. Ventilation and circulation with closed-chest cardiac massage in man. *JAMA* 1961; 176: 574–6.
- 67 Sustić A. Role of ultrasound in the airway management of critically ill patients. *Crit Care Med* 2007; 35: S173–7.
- 68 Dalesio NM, Kattail D, Ishman SL, Greenberg RS. Ultrasound Use in the Pediatric Airway. *A A Case Reports* 2014; 2: 23–6.
- 69 Cole F. Pediatric formulas for the anesthesiologist. *AMA J Dis Child* 1957; 94: 672–3.
- 70 Motoyama EK. The shape of the pediatric larynx: cylindrical or funnel shaped? *Anesth Analg* 2009; 108: 1379–81.
- 71 Khine HH, Corddry DH, Kettrick RG, Martin TM, McCloskey JJ, Rose JB, et al. Comparison of cuffed and uncuffed endotracheal tubes in young children during general anesthesia. *Anesthesiology* 1997; 86: 627-31.
- 72 Shibasaki M, Nakajima Y, Shime N, Sawa T, Sessler DI. Prediction of optimal endotracheal tube cuff volume from tracheal diameter and from patient height and age: a prospective cohort trial. *J Anesth* 2012; 26: 536–40.

- 73 Bae JY, Byon HJ, Han SS, Kim HS, Kim JT. Usefulness of ultrasound for selecting a correctly sized uncuffed tracheal tube for paediatric patients. *Anaesthesia* 2011; 66: 994–8.
- 74 Schramm C, Knop J, Jensen K, Plaschke K. Role of ultrasound compared to age-related formulas for uncuffed endotracheal intubation in a pediatric population. *Paediatr Anaesth* 2012; 22: 781–6.
- 75 Kim EJ, Kim SY, Kim WO, Kim H, Kil HK. Ultrasound measurement of subglottic diameter and an empirical formula for proper endotracheal tube fitting in children. *Acta Anaesthesiol Scand* 2013; 57: 1124–30.
- 76 Ezri T, Gewürtz G, Sessler DI, Medalion B, Szmuk P, Hagberg C et al. Prediction of difficult laryngoscopy in obese patients by ultrasound quantification of anterior neck soft tissue. *Anaesthesia* 2003; 58: 1111–4.
- 77 Siegel H, Sonies BC, Graham B, McCutchen C, Hunter K, Vega-Bermudez F, et al. Obstructive sleep apnea: A study by simultaneous polysomnography and ultrasonic imaging. *Neurology* 2008; 54: 1872.
- 78 Mort TC. Unplanned tracheal extubation outside the operating room: a quality improvement audit of hemodynamic and tracheal airway complications associated with emergency tracheal reintubation. *Anesth Analg* 1998; 86: 1171–6.
- 79 Timmermann A, Russo SG, Eich C, Roessler M, Braun U, Rosenblatt WH, et al. The out-of-hospital esophageal and endobronchial intubations performed by emergency physicians. *Anesth Analg* 2007; 104: 619–23.
- 80 Aziz HF, Martin JB, Moore JJ. The pediatric disposable end-tidal carbon dioxide detector role in endotracheal intubation in newborns. *J Perinatol* 1999; 19: 110–3.
- 81 Galicinao J, Bush AJ, Godambe SA. Use of bedside ultrasonography for endotracheal tube placement in pediatric patients: a feasibility study. *Pediatrics* 2007; 120: 1297–303.
- 82 Göksu E, Sayraç V, Oktay C, Kartal M, Akcimen M. How stylet use can effect

- confirmation of endotracheal tube position using ultrasound. *Am J Emerg Med* 2010; 28: 32–6.
- 83 2005 American Heart Association (AHA) guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiovascular care (ECC) of pediatric and neonatal patients: pediatric basic life support. *Pediatrics* 2006; 117: e989–1004.
- 84 Neumar RW, Otto CW, Link MS, Kronick SL, Shuster M, Callaway CW, et al. Part 8: Adult advanced cardiovascular life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2010; 122: S729-67.
- 85 Nagler J, Krauss B. Capnography: A Valuable Tool for Airway Management. *Emerg Med Clin North Am* 2008; 26: 881–97.
- 86 Li J. Capnography alone is imperfect for endotracheal tube placement confirmation during emergency intubation. *J Emerg Med* 2001; 20: 223–9.
- 87 Ma G, Davis DP, Schmitt J, Vilke GM, Chan TC, Hayden SR. The Sensitivity and Specificity of Transcricothyroid Ultrasonography to Confirm Endotracheal Tube Placement in a Cadaver Model. *J Emerg Med* 2007; 32: 405–7.
- 88 Chou HC, Tseng WP, Wang CH, Ma MH, Wang HP, Huang PC, et al. Tracheal rapid ultrasound exam (T.R.U.E.) for confirming endotracheal tube placement during emergency intubation. *Resuscitation* 2011; 82: 1279–84.
- 89 Chou EH, Dickman E, Tsou PY, Tessaro M, Tsai YM, Ma MH, et al. Ultrasonography for confirmation of endotracheal tube placement: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 2015; 90: 97–103.
- 90 American College of Emergency Physicians. Verification of endotracheal tube placement. *Ann Emerg Med* 2009; 54: 141–2.
- 91 Sustić A, Zupan Z. Ultrasound guided tracheal puncture for non-surgical tracheostomy. *Intensive Care Med* 1998; 24: 92.
- 92 Muhammad JK, Patton DW, Evans RM, Major E. Percutaneous dilatational tracheostomy under ultrasound guidance. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1999; 37:

309-11.

- 93 Weinberg B, Diakoumakis EE, Kass EG, Seife B, Zvi ZB. The air bronchogram: Sonographic demonstration. *Am J Roentgenol* 1986; 147: 593–5.
- 94 Chen I, Hsu J, Wu J, Dai Z. Updated Guidelines for Childhood Pneumonia Management : A Promising Role for Lung Ultrasound. *Pediatr Neonatol* 2015; 56: 363–4.
- 95 Cortellaro F, Colombo S, Coen D, Duca PG. Lung ultrasound is an accurate diagnostic tool for the diagnosis of pneumonia in the emergency department. *Emerg Med J* 2012; 29: 19-23.
- 96 Shah VP, Tunik MG, Tsung JW. Prospective Evaluation of Point-of-Care Ultrasonography for the Diagnosis of Pneumonia in Children and Young Adults. *JAMA Pediatr* 2013; 167: 119-25.
- 97 Trinavarat P, Riccabona M. Potential of ultrasound in the pediatric chest. *Eur J Radiol* 2014; 83: 1507–18.
- 98 Reißig A, Copetti R, Mathis G, Mempel C, Schuler A, Zechner P, et al. Lung ultrasound in the diagnosis and follow-up of community-acquired pneumonia. A prospective multicentre diagnostic accuracy study. *Chest* 2012; 142: 965–72.
- 99 Caiulo VA, Gargani L, Caiulo S, Fiscaro A, Moramarco F, Latini G, et al. Lung ultrasound characteristics of community-acquired pneumonia in hospitalized children. *Pediatr Pulmonol* 2013; 48: 280–7.
- 100 Chavez MA, Shams N, Ellington LE, Naithani N, Gilman RH, Steinhoff MC, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults : a systematic review and meta-analysis. *Respir Res* 2014; 15: 50.
- 101 Jones AE, Kline JA. Pleural effusions in the critically ill: the evolving role of bedside ultrasound. *Crit Care Med* 2005; 33: 1874–5.
- 102 Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby J-J. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology*

- 2004; 100: 9-15.
- 103 Georgopoulos D, Xirouchaki N, Volpicelli G. Lung ultrasound in the intensive care unit : let ' s move forward. *Intensive Care Med* 2014; 40: 1592-4.
 - 104 Dietrich CF, Mathis G, Cui XW, Ignee A, Hocke M, Hirche TO. Ultrasound of the pleurae and lungs. *Ultrasound Med Biol* 2015; 41: 351–65.
 - 105 Vignon P, Chastagner C, Berkane V, Chardac E, François B, Normand S, et al. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography. *Crit Care Med* 2005; 33: 1757–63.
 - 106 Duncan DR, Morgenthaler TI, Ryu JH, Daniels CE. Reducing iatrogenic risk in thoracentesis: Establishing best practice via experiential training in a zero-risk environment. *Chest* 2009; 135: 1315–20.
 - 107 Grogan DR, Irwin RS, Channick R, Raptopoulos V, Curley FJ, Bartter T, et al. Complications associated with thoracentesis. A prospective, randomized study comparing three different methods. *Arch Intern Med* 1990; 150: 873-7.
 - 108 Jones PW, Moyers JP, Rogers JT, Rodriguez RM, Gary Lee YC, Light RW. Ultrasound-guided thoracentesis: Is it a safer method?. *Chest* 2003; 123: 418–23.
 - 109 Barnes TW, Morgenthaler TI, Olson EJ, Hesley GK, Decker PA, Ryu JH. Sonographically guided thoracentesis and rate of pneumothorax. *J Clin Ultrasound* 2005; 33: 442–6.
 - 110 Gordon CE, Feller-Kopman D, Balk EM, Smetana GW. Pneumothorax following thoracentesis: a systematic review and meta-analysis. *Arch Intern Med* 2010; 170: 332–9.
 - 111 Cavanna L, Mordenti P, Bertè R, Palladino MA, Biasini C, Anselmi E, et al. Ultrasound guidance reduces pneumothorax rate and improves safety of thoracentesis in malignant pleural effusion : report on 445 consecutive patients with advanced cancer. *World J Surg Oncol* 2014; 12: 139.
 - 112 Perazzo A, Gatto P, Barlascini C, Ferrari-bravo M, Nicolini A. Can ultrasound guidance reduce the risk of pneumothorax following thoracentesis? . *J Bras*

Pneumol 2014; 40: 6–12.

- 113 Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill: Lung sliding. *Chest* 1995; 108: 1345–8.
- 114 Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P GA. The ‘lung point’: an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med* 2000; 26: 1434–40.
- 115 Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The comet-tail artifact: An ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Med* 1999; 25: 383–8.
- 116 Stone MB, Chilstrom M, Chase K LD. The heart point sign: description of a new ultrasound finding suggesting pneumothorax. *Acad Emerg Med* 2010; 17: 149–50.
- 117 Azad A, Juma S Al, Bhatti JA, Dankoff J. Validity of ultrasonography to diagnosing pneumothorax : a critical appraisal of two meta-analyses. *CJEM* 2015; 17: 199–201.
- 118 Ebrahimi A, Yousefifard M, Mohammad Kazemi H, Rasouli HR, Asady H, Moghadas Jafari A, et al. Diagnostic Accuracy of Chest Ultrasonography versus Chest Radiography for Identification of Pneumothorax : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Tanaffos* 2014; 13: 29–40.
- 119 Alrajab S, Youssef AM, Akkus NI, Caldito G. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax : review of the literature and meta-analysis. *Crit Care* 2013; 17: R208.
- 120 Alrajhi K, Woo MY, Vaillancourt C. Test Characteristics of Ultrasonography for the Detection of Pneumothorax. *Chest* 2012; 141: 703–8.
- 121 Ding W, Shen Y, Yang J, He X. Diagnosis of Pneumothorax by Radiography and Ultrasonography: a meta-analysis. *Chest* 2011; 140: 859–66.
- 122 Sim SS, Lien WC, Chou HC, Chong KM, Liu SH, Wang CH, et al. Ultrasonographic lung sliding sign in confirming proper endotracheal intubation during emergency Intubation. *Resuscitation* 2012; 83: 307–12.

- 123 Weaver B, Lyon M, Blaivas M. Confirmation of endotracheal tube placement after intubation using the ultrasound sliding lung sign. *Acad Emerg Med* 2006; 13: 239–44.
- 124 Bouhemad B, Ph D, Mongodi S, Via G, Rouquette I. Ultrasound for ‘Lung Monitoring’ of Ventilated Patients. *Anesthesiology* 2015; 122: 437–47.
- 125 Du J, Tan J, Yu K, Wang R. Lung Recruitment Maneuvers Using Direct Ultrasound Guidance : A Case Study. *Respir Care* 2015; 60: 93-6.
- 126 Godet T, Constantin J, Jaber S, Futier E. How to monitor a recruitment maneuver at the bedside. *Curr Opin Crit Care* 2015; 21: 253-8.
- 127 Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby JJ. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183: 341–7.
- 128 Sameshima YT, Lourenço de Almeida JF, Silva MM, Remondini R, Haddad LB, Neto MJ, et al. Ultrasound-guided lung recruitment in a 3-month-old infant with acute respiratory distress syndrome. *Ultrasound Q* 2014; 30: 301–5.
- 129 Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically ill. *Chest* 2015; 147: 1659-70.
- 130 Ferrari G, Filippi G De, Elia F, Panero F, Volpicelli G, Aprà F. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J* 2014; 6: 8.
- 131 Umbrello M, Formenti P, Longhi D, Galimberti A, Piva I, Pezzi A, et al. Diaphragm ultrasound as indicator of respiratory effort in critically ill patients undergoing assisted mechanical ventilation: a pilot clinical study. *Crit Care* 2015; 19: 161.
- 132 Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients : feasibility , reproducibility and validity. *Intensive Care Med* 2015; 41: 642-9.
- 133 Zanforlin A, Bezzi M, Carlucci A, Di Marco F. Clinical applications of diaphragm ultrasound: moving forward. *Minerva Med* 2014; [Epub ahead of print].

- 134 DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax* 2014; 69: 423–7.
- 135 Copetti R, Cattarossi L, Macagno F, Violino M, Furlan R. Lung ultrasound in respiratory distress syndrome: A useful tool for early diagnosis. *Neonatology* 2008; 94: 52–9.
- 136 Vergine M, Copetti R, Brusa G, Cattarossi L. Lung Ultrasound Accuracy in Respiratory Distress Syndrome and Transient Tachypnea of the Newborn. *Neonatology* 2014; 106: 87-93.
- 137 Liu J, Cao H, Wang H, Kong X. The Role of Lung Ultrasound in Diagnosis of Respiratory Distress Syndrome in Newborn Infants. *Iran J Pediatr* 2015; 25: e323.
- 138 Raimondi F, Migliaro F, Sodano A, Ferrara T, Lama S, Vallone G, Capasso L. Use of neonatal chest ultrasound to predict noninvasive ventilation failure. *Pediatrics* 2014; 134: 1089–94.
- 139 Bouaziz H, Zetlaoui PJ, Pierre S, Desruennes E, Fritsch N, Jochum D, et al. Guidelines on the use of ultrasound guidance for vascular access. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2015; 34: 65–9.
- 140 Lamperti M, Bodenham AR, Pittiruti M, Blaivas M, Augoustides JG, Elbarbary M, et al. International evidence-based recommendations on ultrasound-guided vascular access. *Intensive Care Med* 2012; 38: 1105–17.
- 141 Troianos CA, Hartman GS, Glas KE, Skubas NJ, Eberhardt RT, Walker JD, et al; Councils on Intraoperative Echocardiography and Vascular Ultrasound of the American Society of Echocardiography. Guidelines for performing ultrasound guided vascular cannulation: recommendations of the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *J Am Soc Echocardiogr* 2011; 24: 1291–318.
- 142 Casado-Flores J, Barja J, Martino R, Serrano A, Valdivielso A. Complications of central venous catheterization in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med* 2001; 2: 57–62.
- 143 Bagwell CE, Salzberg a M, Sonnino RE, Haynes JH. Potentially lethal complications of central venous catheter placement. *J Pediatr Surg* 2000; 35: 709–13.
- 144 Mallory DL, McGee WT, Shawker TH, Brenner M, Bailey KR, Evans RG, Parker MM, Farmer JC, Parillo JE. Ultrasound guidance improves the success rate of

- internal jugular vein cannulation. A prospective, randomized trial. *Chest* 1990; 98: 157–60.
- 145 Denys BG, Uretsky BF, Reddy PS. Ultrasound-assisted cannulation of the internal jugular vein. A prospective comparison to the external landmark-guided technique. *Circulation* 1993; 87: 1557–62.
- 146 Slama M, Novara A, Safavian A, Ossart M, Safar M, Fagon J. Improvement of internal jugular vein cannulation using an ultrasound-guided technique. *Intensive Care Med* 1997; 23: 916–9.
- 147 Brass P, Hellmich M, Kolodziej L, Schick G, Smith AF. Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for internal jugular vein catheterization. *Cochrane Database Syst Rev* 2015; 1: CD006962.
- 148 Srinivasan S, Cornell TT. Bedside ultrasound in pediatric critical care: a review. *Pediatr Crit Care Med* 2011; 12: 667–74.
- 149 Airapetian N, Maizel J, Langelle F, Modeliar SS, Karakitsos D, Dupont H, et al. Ultrasound-guided central venous cannulation is superior to quick-look ultrasound and landmark methods among inexperienced operators: A prospective randomized study. *Intensive Care Med* 2013; 39: 1938–44.
- 150 Lalu MM, Fayad A, Ahmed O, Bryson GL, Fergusson DA, Barron CC, Sullivan P; Canadian Perioperative Anesthesia Clinical Trials Group. Ultrasound-Guided Subclavian Vein Catheterization: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Med* 2015; 43: 1498–507.
- 151 Brass P, Hellmich M, Kolodziej L, Schick G, Smith AF. Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for subclavian or femoral vein catheterization. *Cochrane Database Syst Rev* 2015; 1: CD011447.
- 152 Oulego Erroz I, Alonso Quintela P, Domínguez P, Rodríguez Blanco S, Muñiz Fontán M, Muñoz Lozón A, et al. Canalización del tronco braquiocefálico guiada por ecografía en neonatos y lactantes. *An Pediatr (Barc)* 2015 May 12. pii: S1695-4033(15)00118-6. doi: 10.1016/j.anpedi.2015.03.013. [Epub ahead of print]
- 153 Breschan C, Graf G, Jost R, Stettner H, Feigl G, Goessler A, et al. Ultrasound-guided supraclavicular cannulation of the right brachiocephalic vein in small infants: a consecutive, prospective case series. *Paediatr Anaesth* 2015; 25: 943-9.
- 154 Aytekin C, Özyer U, Harman A, Boybat F. Ultrasound-guided brachiocephalic vein

- catheterization in infants weighing less than five kilograms. *J Vasc Access* 2015; 16: 512-4.
- 155 Seto AH, Roberts JS, Abu-Fadel MS, Czak SJ, Latif F, Jain SP, et al. Real-Time Ultrasound Guidance Facilitates Transradial Access. *JACC Cardiovasc Interv* 2015; 8: 283-91.
- 156 Gao YB, Yan JH, Gao FQ, Pan L, Wang XZ, Lv CJ. Effects of ultrasound-guided radial artery catheterization: an updated meta-analysis. *Am J Emerg Med* 2015; 33: 50-5.
- 157 Moore CL. Ultrasound first, second, and last for vascular access. *J Ultrasound Med* 2014; 33: 1135-42.
- 158 Stein J, George B, River G, Hebig A, McDermott D. Ultrasonographically Guided Peripheral Intravenous Cannulation in Emergency Department Patients With Difficult Intravenous Access : A Randomized Trial. *Ann Emerg Med* 2009; 54: 33-40.
- 159 Liu YT, Alsaawi A, Bjornsson HM. Ultrasound-guided peripheral venous access: a systematic review of randomized-controlled trials. *Eur J Emerg Med* 2014; 21: 18-23.
- 160 Costello JM, Clapper TC, Wypij D. Minimizing complications associated with percutaneous central venous catheter placement in children: recent advances. *Pediatr Crit Care Med* 2013; 14: 273-83.
- 161 de Jonge RCJ, Polderman KH, Gemke RJ. Central venous catheter use in the pediatric patient: mechanical and infectious complications. *Pediatr Crit Care Med* 2005; 6: 329-39.
- 162 Zanobetti M, Coppa A, Bulletti F, Piazza S, Nazerian P, Conti A, et al. Verification of correct central venous catheter placement in the emergency department: Comparison between ultrasonography and chest radiography. *Intern Emerg Med* 2013; 8: 173-80.
- 163 Vezzani A, Brusasco C, Palermo S, Launo C, Mergoni M, Corradi F. Ultrasound localization of central vein catheter and detection of postprocedural pneumothorax: an alternative to chest radiography. *Crit Care Med* 2010; 38:

533–8.

- 164 Wirsing M, Schummer C, Neumann R, Steenbeck J, Schmidt P, Schummer W. Is traditional reading of the bedside chest radiograph appropriate to detect intraatrial central venous catheter position? *Chest* 2008; 134: 527–33.
- 165 Matsushima K, Frankel HL. Bedside ultrasound can safely eliminate the need for chest radiographs after central venous catheter placement: CVC sono in the surgical ICU (SICU). *J Surg Res* 2010; 163: 155–61.
- 166 Chacko J, Brar G. Bedside ultrasonography : Applications in critical care : Part I. *Indian J Crit Care Med* 2014; 18: 301-9.
- 167 Peterson MA, Pisupati D, Heyming TW, Abele JA, Lewis RJ. Ultrasound for routine lumbar puncture. *Acad Emerg Med* 2014; 21: 130–6.
- 168 Arntfield RT, Millington SJ. Point of Care Cardiac Ultrasound Applications in the Emergency Department and Intensive Care Unit - A Review. *Curr Cardiol Rev* 2012; 8: 98-108.
- 169 Mertens L, Seri I, Marek J, Arlettaz R, Barker P, McNamara P, et al.; Writing Group of the American Society of Echocardiography (ASE); European Association of Echocardiography (EAE); Association for European Pediatric Cardiologists (AEPC). Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: practice guidelines and recommendations for training. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 715–36.
- 170 Wyllie J. Seminars in Fetal & Neonatal Medicine Neonatal echocardiography. *Semin Fetal Neonatal Med* 2015; 20: 173–80.
- 171 de Caen AR, Kleinman ME, Chameides L, Atkins DL, Berg RA, Berg MD, et al. Part 10: Paediatric basic and advanced life support: 2010 International consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 2010; 81: e213-59.
- 172 Breitzkreutz R, Price S, Steiger H V, Seeger FH, Ilper H, Ackermann H, et al. Focused echocardiographic evaluation in life support and peri-resuscitation of emergency patients: A prospective trial. *Resuscitation* 2010; 81: 1527–33.

- 173 Zanatta M, Benato P, Cianci V. Ultrasound guided chest compressions during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2015; 87: e13–4.
- 174 Breitzkreutz R, Walcher F, Seeger FH. Focused echocardiographic evaluation in resuscitation management: concept of an advanced life support-conformed algorithm. *Crit Care Med* 2007; 35: S150–61.
- 175 Hernandez C, Shuler K, Hannan H, Sonyika C, Likourezos A, Marshall J. C.A.U.S.E.: Cardiac arrest ultra-sound exam-A better approach to managing patients in primary non-arrhythmogenic cardiac arrest. *Resuscitation* 2008; 76: 198–206.
- 176 Volpicelli G. Usefulness of emergency ultrasound in nontraumatic cardiac arrest. *Am J Emerg Med* 2011; 29: 216–23.
- 177 Bouzat P, Oddo M, Payen JF. Transcranial Doppler after traumatic brain injury : is there a role ? *Curr Opin Crit Care* 2014; 20: 153-60.
- 178 Jaffres P, Brun J, Decléty P, Bosson JL, Fauvage B, Schleiermacher A, et al. Transcranial Doppler to detect on admission patients at risk for neurological deterioration following mild and moderate brain trauma. *Intensive Care Med* 2005; 31: 785-90.
- 179 Bouzat P, Francony G, Decléty P, Genty C, Kaddour A, Bessou P, et al. Transcranial Doppler to Screen on Admission Patients With Mild to Moderate Traumatic Brain Injury. *Neurosurgery* 2011; 68: 1603–10.
- 180 Kochanek PM, Carney N, Adelson PD, Ashwal S, Bell MJ, Bratton S, et al. Guidelines for the Acute Medical Management of Severe Traumatic Brain Injury in Infants, Children, and Adolescents - Second edition. *Pediatr Crit Care Med* 2012; 13 Suppl: S1–82.
- 181 Dubourg J, Javouhey E, Geeraerts T, Messerer M, Kassai B. Ultrasonography of optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure : a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 2011; 37: 1059–68.
- 182 Ohle R, McIsaac SM, Woo MY, Perry JJ. Sonography of the Optic Nerve Sheath Diameter for Detection of Raised Intracranial Pressure Compared to Computed Tomography: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Ultrasound Med* 2015; 34: 1285–94.

- 183 Marchese RF, Mistry RD, Scarfone RJ, Chen AE. Identification of optic disc elevation and the crescent sign using point-of-care ocular ultrasound in children. *Pediatr Emerg Care* 2015; 31: 304–7.
- 184 Coley BD, Shiels WE, Hogan MJ. Diagnostic and interventional ultrasonography in neonatal and infant lumbar puncture. *Pediatr Radiol* 2001; 31: 399–402.
- 185 Tran D, Kamani AA, Al-Attas E, Lessoway VA, Massey S, Rohling RN. Single-operator real-time ultrasound-guidance to aim and insert a lumbar epidural needle. *Can J Anesth* 2010; 57: 313–21.
- 186 Shaikh F, Brzezinski J, Alexander S, Arzola C, Carvalho JC, Beyene J, et al. Ultrasound imaging for lumbar punctures and epidural catheterisations: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2013; 346: f1720.
- 187 Restrepo CG, Baker MD, Pruitt CM, Gullett JP, Pigott DC. Ability of pediatric emergency medicine physicians to identify anatomic landmarks with the assistance of ultrasound prior to lumbar puncture in a simulated obese model. *Pediatr Emerg Care* 2015; 31: 15–9.
- 188 Falck AJ, Escobedo MB, Baillargeon JG, Villard LG, Gunkel JH. Proficiency of pediatric residents in performing neonatal endotracheal intubation. *Pediatrics* 2003; 112: 1242–7.
- 189 Göksu E, Sayraç V, Oktay C, Kartal M, Akcimen M. How stylet use can effect confirmation of endotracheal tube position using ultrasound. *Am J Emerg Med* 2010; 28: 32–6.
- 190 Alonso Quintela P, Oulego Erroz I, Mora Matilla M, Rodríguez Blanco S, Mata Zubillaga D, Regueras Santos L. Utilidad de la ecografía comparada con la capnografía y la radiografía en la intubación traqueal. *An Pediatr (Barc)* 2014; 81: 283–8.
- 191 Oulego Erroz I, Alonso Quintela P, Rodríguez Blanco S, Mata Zubillaga D, Fernández Miaja M. Verification of endotracheal tube placement using ultrasound during emergent intubation of a preterm infant. *Resuscitation* 2012; 83: e143–4.

- 192 Dennington D, Vali P, Finer NN, Kim JH. Ultrasound confirmation of endotracheal tube position in neonates. *Neonatology* 2012; 102: 185–9.
- 193 Kerrey BT, Geis GL, Quinn AM, Hornung RW, Ruddy RM. A prospective comparison of diaphragmatic ultrasound and chest radiography to determine endotracheal tube position in a pediatric emergency department. *Pediatrics* 2009; 123: e1039–44.
- 194 Lyon M, Walton P, Bhalla V, Shiver SA. Ultrasound detection of the sliding lung sign by prehospital critical care providers. *Am J Emerg Med* 2012; 30: 485–8.
- 195 Berman W Jr, Fripp RR, Yabek SM, Wernly J, Corlew S. Great vein and right atrial thrombosis in critically ill infants and children with central venous lines. *Chest* 1991; 99: 963–7.
- 196 Fletcher SJ, Bodenham AR. Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie?. *Br J Anaesth* 2000; 85: 188–91.
- 197 Collier PE, Goodman GB. Cardiac tamponade caused by central venous catheter perforation of the heart: a preventable complication. *J Am Coll Surg* 1995; 181: 459–63.
- 198 McGee WT, Mailloux PT, Martin RT. Safe placement of central venous catheters: a measured approach. *J Intensive Care Med* 2011; 26: 392–6.
- 199 Hsu JH, Wang CK, Chu KS, Cheng KI, Chuang HY, Jaw TS, Wu JR. Comparison of radiographic landmarks and the echocardiographic SVC/RA junction in the positioning of long-term central venous catheters. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006; 50: 731–5.
- 200 Maury E, Guglielminotti J, Alzieu M, Guidet B, Offenstadt G. Ultrasonic examination: an alternative to chest radiography after central venous catheter insertion? *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 403–5.
- 201 Lucey B, Varghese JC, Haslam P, Lee MJ. Routine chest radiographs after central line insertion: Mandatory postprocedural evaluation or unnecessary waste of resources? *Cardiovasc Intervent Radiol* 1999; 22: 381–4.

- 202 Lanza C, Russo M, Fabrizzi G. Central venous cannulation: are routine chest radiographs necessary after B-mode and colour Doppler sonography check? *Pediatr Radiol* 2006; 36: 1252–6.
- 203 Ender J, Erdoes G, Krohmer E, Olthoff D, Mukherjee C. Transesophageal echocardiography for verification of the position of the electrocardiographically-placed central venous catheter. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2009; 23: 457–61.
- 204 Simanovsky N, Ofek-Shlomai N, Rozovsky K, Ergaz-Shaltiel Z, Hiller N, Bar-Oz B. Umbilical venous catheter position: Evaluation by ultrasound. *Eur Radiol* 2011; 21: 1882–6.
- 205 Reynolds N, McCulloch AS, Pennington CR, MacFadyen RJ. Assessment of distal tip position of long-term central venous feeding catheters using transesophageal echocardiology. *J Parenter Enter Nutr* 2001; 25: 39–41.
- 206 Matsushima K, Frankel HL. Detection of Central Venous Catheter Insertion-Related Complication Using Bedside Ultrasound: The CVC Sono. *J Trauma* 2011; 70: 1561–3.
- 207 Lai WW, Ko HH. The normal pediatric ecocardiogram. In: *Ecocardiography in Congenital and Heart Diseases: From Fetus to Adult*. First Edition. Lai WW, Mertens LL, Geva T, et al (Eds), Oxford, Wiley-Blackwell, 2009, pp 34–52.
- 208 Lai WW, Geva T, Shirali GS, Frommelt PC, Humes RA, Brook MM, et al; Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography; Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. Guidelines and Standards for Performance of a Pediatric Echocardiogram: A Report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 1413–30.
- 209 Straus SE, Thorpe KE, Holroyd-Leduc J. How do I perform a lumbar puncture and analyze the results to diagnose bacterial meningitis?. *JAMA* 2006; 296: 2012–22.
- 210 Boon JM, Abrahams PH, Meiring JH, Welch T. Lumbar puncture: Anatomical review of a clinical skill. *Clin Anat* 2004; 17: 544–53.
- 211 Bilić E, Bilić E, Dadić M, Boban M. Calculating lumbar puncture depth in children. *Coll Antropol* 2003; 27: 623–6.

- 212 Storch De Gracia Calvo P, De La Torre Espí M, Martín Díaz MJ, García Ruiz S, Domínguez Ortega G, Novoa Carballal R. ¿Se realiza correctamente la punción lumbar en pediatría?. Revisión de las recomendaciones actuales y análisis de la realidad. *An Pediatr (Barc)* 2012; 77: 115–23.
- 213 Mazor SS, McNulty JE, Roosevelt GE. Interpretation of traumatic lumbar punctures: who can go home? *Pediatrics* 2003; 111: 525–8.
- 214 Nigrovic LE, Kuppermann N, Neuman MI. Risk Factors for Traumatic or Unsuccessful Lumbar Punctures in Children. *Ann Emerg Med* 2007; 49: 762–71.
- 215 Peterson MA, Abele J. Bedside ultrasound for difficult lumbar puncture. *J Emerg Med* 2005; 28: 197–200.
- 216 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.
- 217 Cadigan BA, Cydulka RK, Werner SL, Jones RA. Evaluating infant positioning for lumbar puncture using sonographic measurements. *Acad Emerg Med* 2011; 18: 215–8.
- 218 Abo A, Chen L, Johnston P, Santucci K. Positioning for lumbar puncture in children evaluated by bedside ultrasound. *Pediatrics* 2010; 125: e1149–53.
- 219 Sandoval M, Shestak W, Stürmann K, Hsu C. Optimal patient position for lumbar puncture, measured by ultrasonography. *Emerg Radiol* 2004; 10: 179–81.
- 220 Molina A, Fons J. Factors associated with lumbar puncture success. *Pediatrics* 2006; 118: 842–4.
- 221 Strony R. Ultrasound-assisted lumbar puncture in obese patients. *Crit Care Clin* 2010; 26: 661–4.
- 222 Bruccoleri RE, Chen L. Needle-entry angle for lumbar puncture in children as determined by using ultrasonography. *Pediatrics* 2011; 127: e921–6.

- 223 Oncel S, Gunlemez A, Anik Y, Alvur M. Positioning of infants in the neonatal intensive care unit for lumbar puncture as determined by bedside ultrasonography. *Arch Dis Child - Fetal Neonatal Ed* 2013; 98: F133-5.