

“DISPOSITIVOS DE ACCESO INTRAÓSEO: UN ENSAYO CLÍNICO EFECTUADO CON ASIGNACIÓN ALEATORIA Y CONTROL PARA LA COMPARACIÓN DE 3 DISPOSITIVOS DE ACCESO INTRAÓSEO”

EL ESTUDIO TRATA DE RESPONDER A LA PREGUNTA de qué dispositivo de canalización intraósea es preferible para utilizar en pacientes en los que es necesaria la perfusión de fluidoterapia o fármacos por parte de los miembros de los servicios de emergencias médicas (SEM) extrahospitalarios. Cada vez hay más consenso, como el indicado en las nuevas guías de reanimación, emanadas del consenso del International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) de este mismo año, de que en las situaciones de emergencia en las que es indispensable un acceso vascular, la vía intraósea (i.o.) es la primera alternativa a considerar al acceso intravenoso (i.v.). La pregunta es complicada de responder, ya que en la emergencia cada situación es diferente y debemos adaptarnos a las circunstancias especiales de cada momento. Por ello es especialmente importante el disponer de diferentes dispositivos para ser utilizados en las ocasiones que mejor se adapten a las particularidades que cada uno de ellos presente y que los hagan indicados para cada emergencia.

En el artículo se realiza una comparación entre 3 dispositivos de acceso i.o. Uno de ellos clásico con necesidad de introducción con rotación y presión manuales por parte del personal sanitario. El segundo es un dispositivo de resorte precargado tipo pistola. El último de ellos un dispositivo de colocación esternal. El estudio no ha comparado los nuevos taladros i.o. que están siendo introducidos por diferentes SEM y que, en resultados preliminares, disminuyen el tiempo de colocación y los problemas derivados de la introducción de la aguja en el hueso. Metodológicamente el estudio está bien diseñado y solamente se echa de menos una serie de casos más amplia para tratar de extraer conclusiones significativas. Resulta llamativo que un índice utilizado para valorar la adecuada colocación del dispositivo haya sido la aspiración de médula ósea. Varias series han demostrado que hasta en el 20% de los casos puede no haber aspiración y, sin embargo, la aguja i.o. está correctamente colocada en la médula del hueso. Sería mejor utilizar la velocidad de perfusión y la ausencia de signos de extravasación para valorar como óptima la colocación. Por otro lado, es complicado comparar dispositivos que pueden colocarse en huesos largos con otro que solamente puede ser localizado en el esternón. Hay varias características que deben valorarse, como el precio, ya que uno de los dispositivos quintuplica el precio del más barato, y el peso, ya que esta última es 10 veces más pesada. ¿Quiere esto decir que debemos abandonarlo? Indudablemente no, simplemente, y como ya se ha comentado, se debe buscar el más adecuado para cada situación, aunque si solamente podemos disponer de uno de ellos deberemos escoger el que más se adapta a la generalidad de nuestra asistencia. Así, para el uso en el helicóptero, será más adecuado el que tenga una caja más pequeña y pese menos, ya que si debemos desplazarnos con él será conveniente que no contribuya a la fatiga e incomodidad del equipo. Sin embargo, en equipos eminentemente urbanos, con desplazamientos cortos y con ayudantes, no debería suponer un problema utilizar el dispositivo

más pesado o voluminoso si lo consideramos el más adecuado para la situación clínica del paciente.

En nuestro servicio hemos ido adaptándonos a las circunstancias desde que disponemos de sistemas para canalizar una vía i.o. Se comenzó usando las agujas de introducción manual con apoyo palmar, y solamente en población pediátrica. La revisión de los casos nos demostró que su uso era frecuente, pero como los niños atendidos no eran muchos, el número global resultaba reducido para sacar conclusiones. Posteriormente se introdujeron los dispositivos tipo pistola en tamaño adulto y pediátrico. Resultó muy eficaz para comenzar a generalizar su uso en adultos, hasta el punto de que han desaparecido las canalizaciones de vías centrales en las situaciones de emergencia y han sido sustituidas por vías i.o. Para niños no se consiguió la penetrancia buscada entre los profesionales, que continuaron usando la aguja de introducción manual debido a la suposición de una menor lesión potencial en el hueso, temor que no ha sido confirmado. En el momento actual disponemos de taladros i.o. que han supuesto una auténtica revolución y que se utilizan de forma generalizada. Hay un importante consenso en cuanto a su uso, la rapidez, la sencillez y la ausencia de complicaciones, por lo que, hasta el momento actual y a la espera de nuevos dispositivos, nuestro servicio los considera de elección.

Como conclusión a este estudio podemos decir, sin temor a equivocarnos, que todos los dispositivos i.o. utilizados son adecuados y, siempre que se sigan las indicaciones del fabricante, pueden utilizarse en unas condiciones de seguridad y eficacia elevadas. Indudablemente, a día de hoy, los SEM deben disponer de dispositivos de acceso i.o. Los dispositivos usados presentaron un rendimiento similar en cuanto a las tasas de buenos resultados, las tasas de complicaciones y el grado de satisfacción de los profesionales. La aguja Jamshidi ha sido la de introducción más rápida en los pacientes adultos. No se han encontrado diferencias entre los grupos de adultos y pediátrico, con lo que tenemos otro punto a favor de su generalización en la población adulta, aunque en principio solamente hayan estado recomendadas para los niños. La aguja Jamshidi parece presentar una tasa más elevada de buenos resultados y menos efectos adversos, lo que unido a que es la de menor coste de las valoradas, podría hacernos tomar una decisión a su favor.

La aplicación práctica de este artículo en nuestra actividad diaria debe llevarnos a tener presente la vía i.o. como la alternativa más eficaz para la consecución de un acceso vascular en el caso de que la vía i.v. sea complicada de obtener o requiera un tiempo del que no disponemos. Debemos utilizar el dispositivo de que disponga el SEM local. En caso de que podamos utilizar varios modelos diferentes debemos adaptarnos a las circunstancias concretas del paciente, sus características y la patología que presenta, y siempre haber recibido la adecuada formación y reciclaje en su utilización. Indudablemente, los dispositivos de acceso i.o. representan un método seguro, sencillo y rápido para conseguir un acceso venoso en situaciones de emergencia.

DISPOSITIVOS DE ACCESO INTRAÓSEO: UN ENSAYO CLÍNICO EFECTUADO CON ASIGNACIÓN ALEATORIA Y CONTROL PARA LA COMPARACIÓN DE 3 DISPOSITIVOS DE ACCESO INTRAÓSEO

INTRODUCCIÓN

El «método de referencia» para el acceso vascular es la aplicación de un catéter intravenoso (i.v.). Sin embargo, en algunas situaciones de emergencia no es factible la colocación de un catéter i.v. Por ejemplo:

- Pacientes con quemaduras importantes, estatus epiléptico, traumatismo grave o sepsis severa, así como en los pacientes con inestabilidad hemodinámica y en los niños pequeños.
- Diversos factores ambientales pueden limitar la tasa de buenos resultados en la canulación i.v.

En múltiples estudios efectuados con animales de experimentación y estudios clínicos se ha demostrado que el acceso intraóseo (i.o.) es un método seguro, sencillo y eficaz para conseguir el acceso vascular en los adultos y los niños.

- Se puede introducir en diversas estructuras óseas como los extremos distal y proximal de la tibia, el fémur, el esternón, el húmero, el radio y la clavícula. Para la introducción de una de estas agujas pueden servir incluso los huesos que carecen de cavidad medular, como el calcáneo.
- La vía i.o. se puede utilizar para administrar líquidos, medicamentos, soluciones cristaloides, soluciones coloides y hemoderivados.
- La médula ósea obtenida en una zona de introducción de una aguja i.o. se puede utilizar para determinar las concentraciones de hemoglobina, sodio, potasio, magnesio, lactato y calcio, así como para definir el grupo sanguíneo y el equilibrio acidobásico, incluso durante la reanimación cardiopulmonar (RCP).

MATERIAL Y MÉTODOS

- Se comparan un sistema i.o. manual (Jamshidi 15G; Cardinal Health, Dublin, OH) y 2 sistemas i.o. semiautomáticos: BIG (Bone Injection Gun; Waismed Ltd., New York, NY) 15G/18G y FAST1 (First Access for Shock and Trauma 1 - Pyng Medical Corp., Richmond, British Columbia, Canadá).
- El estudio está diseñado como un ensayo clínico prospectivo, y realizado con asignación aleatoria y enmascaramiento simple en un único centro. Participan 87 pacientes: 65 adultos y 22 niños.
- El estudio se llevó a cabo en un centro traumatológico de nivel I que atiende a una población superior a 4 millones de personas (Erasmus Medical Center, Rotterdam, Países Bajos), asociado a un sistema de helicópteros de emergencias (HEMS) cuyos profesionales asistenciales son médicos. El equipo del HEMS estaba constituido por un anestesista o un traumatólogo, acompañados de un enfermero del HEMS y de un piloto.
- El *criterio de inclusión* fue la necesidad de reanimación inmediata mediante líquidos o medicamentos después de que el equipo del HEMS o el enfermero del SEM no fueran capaces de introducir con éxito un catéter i.v. en 2 intentos consecutivos, así como también cuando fue necesaria la RCP.
- Los dispositivos i.o. se compararon en lo relativo a los tiempos de introducción de la aguja, las tasas de buenos resultados, los efectos adversos durante la maniobra de introducción de la aguja y el grado de satisfacción de los profesionales asistenciales. También se determinaron el sexo y la edad de los pacientes, y el mecanismo del traumatismo.

RESULTADOS

En el grupo de adultos *el tiempo mediano de introducción* fue de 37 s para la aguja Jamshidi 15G, de 62 s para la aguja FAST1 y de 49 s para la aguja BIG. En el grupo pediátrico, *el tiempo mediano de introducción* de la aguja Jamshidi 15G fue de 43 s, mientras que el correspondiente a la aguja BIG 18G fue de 48 s.

No hubo diferencias estadísticamente significativas con respecto a la *tasa de buenos resultados* entre los distintos tipos de agujas i.o. en los grupos adulto y pediátrico.

La *confirmación de la introducción adecuada* de la aguja i.o. se confirmó mediante la aspiración de la médula ósea en más del 80% de los casos, tanto en el grupo adulto como en el grupo pediátrico.

La puntuación global del *grado de satisfacción del profesional* que llevó a cabo la introducción de la aguja fue de 9,8 (P_{25} - P_{75} , 9,2-9,9) en los grupos de pacientes adultos y de pacientes pediátricos. Este parámetro fue similar en todos los grupos ($p > 0,05$).

En conjunto, se produjeron 21 *efectos adversos* (18 en el grupo de pacientes adultos y 3 en el grupo de pacientes pediátricos); sin embargo, las tasas de efectos adversos fueron similares en todos los grupos de tratamiento ($p > 0,05$).

CONCLUSIONES

- La aguja Jamshidi fue introducida con una rapidez significativamente mayor que la aguja FAST1 en el grupo de participantes adultos.
- Entre los grupos de participantes adultos y de participantes pediátricos no hubo diferencias con respecto a la tasa de buenos resultados, la tasa de complicaciones y el grado de satisfacción de los profesionales con los distintos dispositivos.
- En función de las circunstancias, habría que tomar una decisión razonable a favor de un dispositivo i.o. concreto.

CONTRIBUCIONES ORIGINALES

DISPOSITIVOS DE ACCESO INTRAÓSEO: UN ENSAYO CLÍNICO EFECTUADO CON ASIGNACIÓN ALEATORIA Y CONTROL PARA LA COMPARACIÓN DE 3 DISPOSITIVOS DE ACCESO INTRAÓSEO

Klaas A. Hartholt, MD; Esther M.M. van Lieshout, PhD; Wim C. Thies; Peter Patka, MD, PhD, e Inger B. Schipper, MD, PhD

RESUMEN

Introducción. El acceso a la circulación sanguínea es imprescindible para el tratamiento adecuado en las situaciones de emergencia médica. La perfusión intraósea (i.o.) es una alternativa segura, rápida y eficaz para acceder a la circulación en los casos en los que fracasa la canulación intravenosa (i.v.). A lo largo del último decenio el método i.o. ha suscitado un interés renovado. Se han desarrollado dispositivos nuevos, como la *bone injection gun* (BIG) 15G/18G y el *first access for shock and trauma 1* (FAST1). **Objetivo.** Determinar cuál es la aguja i.o. preferible para el acceso i.o. en los pacientes en los que es necesaria la administración aguda de líquidos o medicamentos en el contexto prehospitalario. **Métodos.** En este ensayo clínico efectuado de manera prospectiva y con asignación aleatoria y enmascaramiento simple se añadieron agujas i.o. al equipo del sistema de servicios de emergencias médicas con helicópteros (HEMS). Los profesionales de enfermería del HEMS fueron entrenados respecto al uso adecuado de todas las agujas.

Recibido el 29 de abril de 2009, del Department of Surgery-Traumatology, Erasmus Medical Center (KAH, EMMvL, WCT, PP, IBS), Rotterdam, Países Bajos. Revisión recibida el 9 de julio de 2009; aceptado para publicación el 10 de julio de 2009.

El Dr. Schipper ejerce actualmente en el Department of Surgery, Leiden University Medical Center, Leiden, Países Bajos.

Estudio sufragado por la compañía Medirisk. La compañía Wais-med realizó la donación de las pistolas de inyección ósea y la compañía Pyng Medical Corporation la de los dispositivos FAST1.

Los autores quieren dar las gracias al personal del servicio de emergencias médicas con helicópteros (HEMS) Lifeliner 2, por su participación y apoyo respecto a este estudio, así como a la compañía holandesa que ofrece al personal médico pólizas para la cobertura de los riesgos de responsabilidad profesional.

Los autores declaran la inexistencia de conflictos de interés económicos. Los autores son los responsables únicos del contenido y la redacción de este artículo.

Dirección para correspondencia y solicitud de separatas: E.M.M. van Lieshout, PhD, Erasmus MC, University Medical Center Rotterdam, Department of Surgery-Traumatology, P.O. Box 2040, 3000 CA Rotterdam, The Netherlands. Correo electrónico: e.vanlieshout@erasmusmc.nl

doi: 10.3109/10903120903349861

Los niños (1-13 años) fueron distribuidos aleatoriamente a los grupos de las agujas Jamshidi 15G o BIG 18G, mientras que los adultos (pacientes mayores de 14 años de edad) fueron asignados aleatoriamente a los grupos de las agujas Jamshidi 15G, BIG 15G o FAST1. En el estudio participaron todos los pacientes en los que fue necesaria la administración aguda de líquidos o medicamentos sin que ello fuera posible mediante la introducción de un catéter i.v. Las agujas i.o. fueron comparadas en lo relativo con el tiempo de introducción, la tasa de resultados, la aspiración de la médula ósea, los efectos adversos durante su introducción y el grado de satisfacción de los profesionales. **Resultados.** En conjunto participaron en el estudio 65 pacientes adultos y 22 pacientes de edad pediátrica. Los grupos de tratamiento fueron similares con respecto a la edad, el sexo, la tasa de mortalidad y el mecanismo del traumatismo ($p < 0,05$). Los tiempos medianos de introducción de las agujas fueron de 38, 49 y 62 s, respectivamente, con las agujas Jamshidi 15G, BIG 15G y FAST1 ($p = 0,004$). Las distintas agujas no presentaron diferencias con respecto a las tasas de buenos resultados (en conjunto, el 80% en los adultos y el 86% en los niños), las tasas de complicaciones y el grado de satisfacción de los profesionales. **Conclusiones.** La aguja Jamshidi 15G pudo ser introducida con una rapidez significativamente mayor que la aguja FAST1. Todas las agujas presentaron un rendimiento similar en cuanto a las tasas de buenos resultados, las tasas de complicaciones y el grado de satisfacción de los profesionales. Los dispositivos de acceso i.o. representan un método seguro, sencillo y rápido para acceder a la circulación en las situaciones de emergencia. **Palabras clave:** perfusión intraósea; dispositivo FAST1; pistola de inyección ósea Jamshidi; ensayo clínico con asignación aleatoria

PREHOSPITAL EMERGENCY CARE 2010;14:6-13

INTRODUCCIÓN

El acceso a la circulación sanguínea es una medida necesaria para el tratamiento óptimo en las situaciones de emergencia. El «método de referencia» para el acceso

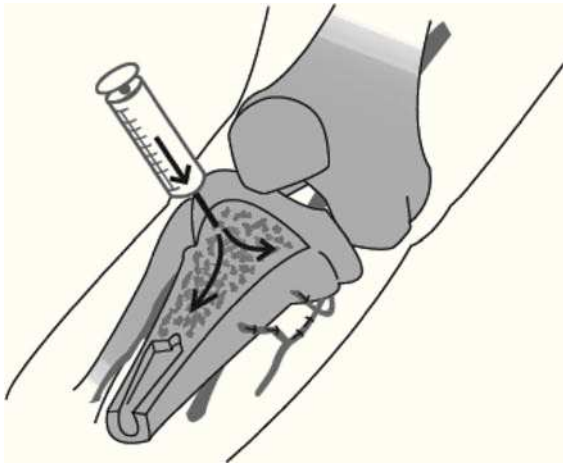


FIGURA 1. Introducción de una aguja intraósea (i.o.) en el extremo proximal de la tibia. La aguja i.o. se coloca en el interior de la cavidad intramedular, que está intensamente vascularizada.

vascular es la aplicación de un catéter intravenoso (i.v.). Sin embargo, en algunas situaciones de emergencia (asistencia prehospitalaria) no es factible la colocación de un catéter i.v. Por ejemplo, puede ser difícil el uso de un catéter i.v. para la canulación vascular en los pacientes con quemaduras importantes, estado epiléptico, traumatismo grave o sepsis intensa, así como en los pacientes con inestabilidad hemodinámica y en los niños pequeños¹⁻⁷. Por otra parte, diversos factores ambientales pueden limitar la tasa de buenos resultados en la canulación i.v.

En múltiples estudios efectuados con animales de experimentación y estudios clínicos se ha demostrado que el acceso intraóseo (i.o.) es un método seguro, sencillo y eficaz para conseguir el acceso vascular en los adultos y los niños^{6,8-16}. Una aguja i.o. es un tubo metálico pequeño que se puede introducir en diversas estructuras óseas como los extremos distal y proximal de la tibia (fig. 1), el fémur, el esternón, el húmero, el radio y la clavícula^{17,18}. Para la introducción de una de estas agujas pueden servir incluso los huesos que carecen de cavidad medular, como el calcáneo^{13,19-21}.

Una vez que se introduce adecuadamente la aguja i.o. en la médula ósea es posible conectarle un sistema de perfusión. La vía i.o. se puede utilizar para administrar líquidos, medicamentos, soluciones cristaloides, soluciones coloides y hemoderivados. Dada la intensa trama trabecular vascular que presenta la médula ósea, esta estructura muestra una perfusión continua incluso en las situaciones de shock e hipotensión. Los compuestos administrados en la médula ósea alcanzan rápidamente la circulación a partir de la cavidad intramedular. Los medicamentos administrados por vía i.o. se pueden detectar en la circulación con una rapidez muy similar a la correspondiente a la administración i.v. de dichos medicamentos^{13,22-24}. La médula ósea obtenida en una zona de introducción de una aguja i.o. se puede utilizar para determinar las concentraciones de hemoglobina, sodio, potasio, magnesio, lactato y calcio, así como para definir el grupo sanguíneo y el equilibrio acidobásico, incluso durante la reanimación cardiopulmonar (RCP)^{13,25-31}.

La perfusión i.o. es un método antiguo que se utiliza con mucha frecuencia aproximadamente en la década de 1940, pero que perdió popularidad tras la Segunda Guerra Mundial. A lo largo del último decenio el acceso i.o. ha suscitado un interés renovado respecto a su uso en situaciones de emergencia. Este interés queda reflejado en la producción de nuevos dispositivos de acceso i.o., como los dispositivos *first access for shock and trauma 1* (FAST1; Pyng Medical Corp., Richmond, British Columbia, Canadá)³², la *bone injection gun* (BIG; Waismed Ltd., New York, NY) y, más recientemente, EZ-i.o. (Vidacare, San Antonio, TX).

Aparte de ello, el acceso i.o. también se contempla en varios documentos de directrices de práctica clínica. El European Resuscitation Council recomienda el acceso vascular i.o. en los pacientes pediátricos y adultos en situación de emergencia siempre que sea difícil o imposible llevar a cabo una canulación venosa periférica para la RCP^{33,34}. El acceso i.o. también se incluye en los currículos formativos de soporte vital traumatológico avanzado³⁵ y de soporte vital pediátrico avanzado³⁶.

TABLA 1. Características de los dispositivos de acceso intraóseo

	Jamshidi 15G	BIG 15G y 18G	FAST1
Fabricante	Cardinal Health, Dublin, OH	Waismed Ltd., New York, NY	Pyng Medical Corp., Richmond, BC, Canadá
Método de introducción	Rotación y presión manuales	Resorte precargado	Presión manual
Localización de la introducción	Huesos largos	Huesos largos	Únicamente en el esternón
Profundidad de la introducción ajustable	Sí	Sí	No
Necesidad de dispositivo de extracción	No	No	Sí
Peso (en gramos)	18	85	195
Dimensiones de la caja, longitud × anchura × altura (en cm)	22,8 × 8,7 × 1,2	16,0 × 7,5 × 3,0	20,5 × 20,0 × 4,1
Tipo de caja	Blanda	Dura	Blanda
Precio (en euros)	26,90	58,20	140,00
Posibilidad de reutilización	No	No	No

En Países Bajos, los dispositivos i.o. son utilizados con frecuencia por los servicios de emergencias médicas con helicópteros (HEMS) y por los servicios de emergencias médicas (SEM), así como también en las salas hospitalarias correspondientes a las emergencias.

El objetivo de este ensayo clínico prospectivo y efectuado con asignación aleatoria y control ha sido el de determinar cuál es la aguja i.o. mejor para conseguir el acceso i.o. en la fase aguda en pacientes en los que es necesaria la administración aguda de líquidos o medicamentos en el contexto prehospitalario. En este estudio han sido comparados un sistema i.o. manual (Jamshidi 15G; Cardinal Health, Dublin, OH) y 2 sistemas i.o. semiautomáticos (BIG 15G/18G y FAST1).

PACIENTES, MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

El estudio fue diseñado como un ensayo clínico prospectivo y realizado con asignación aleatoria y enmascaramiento simple en un único centro. Los pacientes fueron distribuidos aleatoriamente a los grupos de los dispositivos Jamshidi 15G, BIG 15G/18G y FAST1 (en la tabla 1 se muestran las especificaciones de los 3 dispositivos). El estudio se llevó a cabo en un centro traumatológico de nivel I que atiende a una población superior a 4 millones de personas (Erasmus Medical Center, Rotterdam, Países Bajos), asociado a un sistema HEMS cuyos profesionales asistenciales son médicos. El equipo del HEMS estuvo constituido por un anestesista o un traumatólogo, acompañados de un enferme-

ro del HEMS y de un piloto. El comité local de ética aprobó el protocolo del estudio. El estudio se inició el 21 de junio de 2006 y finalizó el 5 de marzo de 2009.

Pacientes y materiales

Se consideraron adecuados para su participación en este estudio todos los pacientes atendidos en el contexto prehospitalario en los que el sistema HEMS tuvo que ofrecer un soporte médico adicional y en los que fue necesaria la reanimación inmediata mediante líquidos o medicamentos después de que el equipo del HEMS o el enfermero del SEM no fueran capaces de introducir con éxito un catéter i.v. en 2 intentos consecutivos, así como también cuando fue necesaria la RCP. El médico del HEMS tomó la decisión acerca de la necesidad de aplicar o no un dispositivo i.o., en función de estos criterios de inclusión. Dado que la aplicación del dispositivo FAST1 requirió un esternón intacto, fueron excluidos del estudio los pacientes con alteraciones esternales o con sospecha de fractura del esternón. También fueron excluidos del estudio los pacientes menores de 1 año de edad.

Los pacientes pediátricos (de 1 a 13 años de edad) fueron distribuidos aleatoriamente a los grupos de los dispositivos Jamshidi 15G o BIG 18G. Los pacientes adultos (de 14 o más años de edad) fueron distribuidos aleatoriamente a los grupos de los dispositivos Jamshidi 15G, BIG 15G o FAST1.

Antes del comienzo del estudio todos los enfermeros del HEMS recibieron entrenamiento respecto al uso y la colocación adecuada de los 3 dispositivos i.o. Las

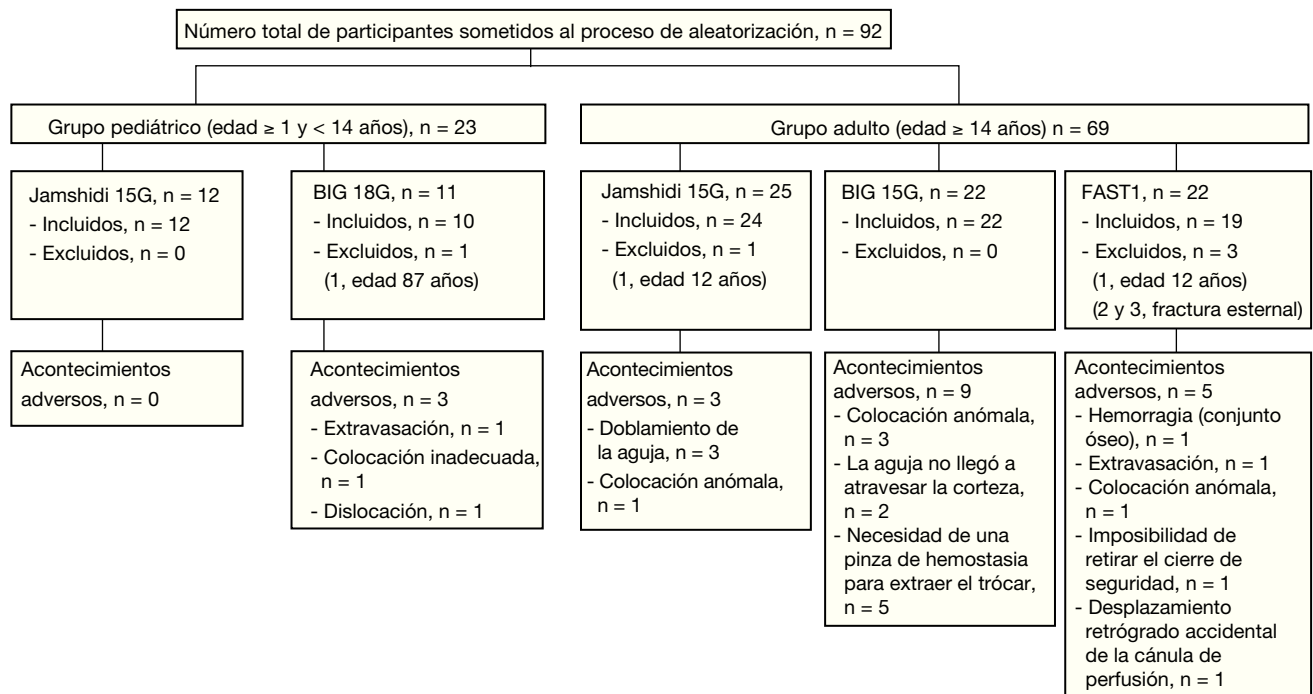


FIGURA 2. Diagramas de flujo correspondiente a los adultos y niños, incluidos y excluidos del estudio, así como a los acontecimientos que tuvieron lugar durante el período de estudio. BIG: bone injection gun; FAST1: first access for shock and trauma 1.

instrucciones especiales y las sesiones de entrenamiento se llevaron a cabo en la base de helicópteros. El entrenamiento se repitió al cabo de 1 año.

Todos los dispositivos estaban listos para su uso inmediato y fueron aplicados con seguimiento de las instrucciones de los fabricantes. Las agujas i.o. no se debían aplicar sobre huesos con fractura. Cada dispositivo estaba empaquetado por separado en un contenedor de plástico anónimo que fue sellado con una etiqueta adhesiva en orden aleatorio. Las cajas de los dispositivos utilizados en los pacientes adultos y los pacientes pediátricos tenían un color distinto. Cada caja contenía 1 dispositivo i.o., 2 jeringas de 10 ml, 10 ml de suero salino al 0,9%, 10 ml de lidocaína al 1%, 1 cronómetro, 1 folleto informativo dirigido a los médicos hospitalarios y 1 formulario de introducción de datos a rellenar por el enfermero del HEMS que realizó la introducción de la aguja i.o. Al equipo habitual del HEMS se añadieron las cajas correspondientes a los pacientes adultos y a los pacientes pediátricos, de manera aleatoria en cada uno de estos grupos. Después de que el médico del HEMS tomara la decisión correspondiente, el enfermero del HEMS abrió la caja que contenía el dispositivo i.o. si el paciente cumplía los criterios de participación en el estudio, de manera que este profesional conocía la zona en la que se debía aplicar el dispositivo i.o. La medición del tiempo se inició directamente en el momento de la apertura del contenedor sellado y se interrumpió tras la administración de 10 ml de suero salino cuando se intentó la aspiración de la médula ósea. La aspiración de la médula ósea es un indicador sólido de la colocación correcta de una aguja i.o. Por tanto, la colocación correcta de todas las agujas se verificó mediante la aspiración de la médula ósea, con lavado posterior de la aguja mediante suero salino. Tras la aplicación de la aguja, el enfermero rellenó el formulario de datos. En este formulario quedó registrado el tiempo necesario para la introducción de la aguja, el resultado de ello, la aspiración de la médula ósea, los efectos adversos, los medicamentos administrados, el mecanismo del traumatismo y el grado de satisfacción del profesional. Este último parámetro, el grado de satisfacción del profesional asistencial, fue valorado en una escala analógica visual en la que 0 indicaba un grado de satisfacción mínimo y 10 un grado de satisfacción máximo.

El análisis de la potencia estadística efectuado previamente a nuestro estudio estuvo fundamentado en un estudio realizado por Calkins et al³⁷, así como en los datos ofrecidos por los fabricantes de los dispositivos. La potencia estadística del estudio (estadístico beta, 20%; estadístico alfa, 5%; evaluación bilateral) permitió detectar una diferencia de 30 s en el tiempo de introducción de las diferentes agujas i.o.

Todos los datos correspondientes al estudio fueron introducidos en una base de datos electrónica (Microsoft Excel 2000, Microsoft Corp., Redmond, WA). Los

dispositivos i.o. fueron comparados en lo relativo con los tiempos de introducción de la aguja, las tasas de buenos resultados, los efectos adversos durante la maniobra de introducción de la aguja y el grado de satisfacción de los profesionales asistenciales. También se determinaron el sexo y la edad de los pacientes, y el mecanismo del traumatismo. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el programa informático SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL), versión 16.0.1. Las diferencias entre los grupos se evaluaron en lo relativo con el sexo, la tasa de mortalidad, el mecanismo del traumatismo, la tasa de buenos resultados, la aspiración de la médula ósea y los efectos adversos, y su análisis se llevó a cabo mediante la prueba χ^2 . La prueba U de Mann-Whitney se utilizó para evaluar las diferencias entre los grupos respecto al grado de satisfacción del profesional, al tiempo necesario para la introducción de la aguja y la edad de los pacientes. En el grupo de pacientes adultos se aplicó la prueba U de Mann-Whitney para evaluar las comparaciones emparejadas a posteriori a través del análisis de la varianza (ANOVA, *analysis of variance*) de Kruskal-Wallis. En los casos en los que fue necesario, se llevó a cabo la corrección correspondiente a las comparaciones múltiples. El valor de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo.

RESULTADOS

A lo largo del período de estudio participaron 87 pacientes, 65 adultos y 22 niños (fig. 2). Además, 5 de las cajas sometidas al proceso de asignación aleatoria fueron abiertas por error para su uso en pacientes que no cumplían los criterios de participación en el estudio: 2 pacientes con una fractura clínica del esternón (dispositivo FAST1), 2 pacientes pediátricos respecto a los cuales se abrieron 2 cajas de dispositivos asignados aleatoriamente al grupo de adultos (dispositivos Jams-hidi y FAST1) y 1 paciente adulto respecto al cual se abrió una caja asignada aleatoriamente al grupo pediátrico (dispositivo BIG). Las tablas 2 y 3 muestran las características demográficas de los pacientes. En ambos grupos, las dos terceras partes de los participantes eran de sexo masculino. Los pacientes adultos tenían una edad promedio de 43 años (percentil 25 a percentil 75 [P_{25} - P_{75}], 25-59); la edad promedio de los pacientes pediátricos fue de 7,5 años (P_{25} - P_{75} , 2-11). No se observaron diferencias entre los grupos de tratamiento respecto a estas características demográficas. Durante el período de reanimación en el contexto prehospitalario o en el servicio de urgencias (SU) se observaron tasas elevadas de mortalidad de aproximadamente el 71 y el 59% en los grupos adulto y pediátrico, respectivamente. El mecanismo principal de lesión fue el traumatismo con energía elevada (todos ellos traumatismos contusos); estos traumatismos se debieron a colisiones de vehículos de motor (54,1%), caídas desde una altura elevada (29,7%), accidentes con personas o vehículos

TABLA 2. Características de los pacientes^a en el grupo adulto

	Todo el grupo	Jamshidi 15G	BIG 15G	FAST1	p
n	65	24	22	19	
Sexo masculino	42 (64,6%)	11 (45,8%)	15 (68,2%)	16 (84,2%)	0,030 ^b
Edad (en años)	43 (25-59)	45 (38-62)	40 (28-67)	26 (20-49)	ns ^c
Tasa de mortalidad	46 (70,8%)	16 (66,7%)	16 (72,7%)	14 (73,7%)	ns ^b
Mecanismo del traumatismo					
TEE	30 (46,2%)	9 (37,5%)	9 (40,9%)	12 (63,2%)	
RCP	13 (20,0%)	7 (29,2%)	3 (13,6%)	3 (15,8%)	
Asfixia	6 (9,2%)	2 (8,3%)	1 (4,5%)	3 (15,8%)	
Epilepsia	2 (3,1%)	1 (4,2%)	1 (4,5%)	0 (0,0%)	
Intento de suicidio	3 (4,6%)	2 (8,3%)	1 (4,5%)	0 (0,0%)	
Otros ^d	11 (16,9%)	3 (12,5%)	7 (31,8%)	1 (5,2%)	

BIG: *bone injection gun*; FAST1: *first access for shock and trauma 1*; ns: no significativo; RCP: reanimación cardiopulmonar; TEE: traumatismo con energía elevada.

^aLos datos se muestran en forma de número con el porcentaje entre paréntesis, excepto la edad que se muestra en forma del valor mediano con el percentil 25 a 75 (P₂₅-P₇₅) entre paréntesis.

^bPrueba χ^2 .

^cAnálisis de la varianza con el método de Kruskal-Wallis; los valores de $p < 0,05$ se consideraron estadísticamente significativos.

^dOtros incluye: respecto a la aguja Jamshidi, electrocución, hipoglucemia y quemaduras graves; respecto a la aguja BIG, shock séptico, explosión, quemaduras graves, lesiones por pinchazo, accidente cerebrovascular, estado epiléptico y una deficiencia de plasma; respecto a la aguja FAST1, un cuadro de colapso.

(16,2%) y causas no especificadas (8,1%), y afectaron al 46% de los pacientes del grupo adulto y al 32% de los del grupo pediátrico. Otros mecanismos de lesión fueron la RCP (incluyendo RCP médica y traumatológica) (el 20% en el grupo de pacientes adultos y el 36% en el grupo de pacientes pediátricos) y la asfixia (el 9% en el grupo de pacientes adultos y el 9% en el grupo de pacientes pediátricos). Las convulsiones (no traumáticas) y los intentos de suicidio (incluyendo el ahorcamiento, el envenenamiento y los cortes con pérdida de sangre) fueron infrecuentes. Por otra parte, también hubo en este estudio algunos casos aislados de quema-

duras graves, estrangulación accidental, hipoglucemia, intoxicación por monóxido de carbono, lesiones por arma blanca y lesiones por descarga eléctrica.

Todos los enfermeros del HEMS participaron en el estudio y llevaron a cabo la introducción de las agujas i.o. asignadas de manera aleatoria. Cada enfermero realizó entre 1 y 5 procedimientos de introducción de la aguja i.o. en el grupo pediátrico, mientras que en el grupo adulto efectuó entre 3 y 19 procedimientos de este tipo ($p = 0,4$). En la figura 3 se muestran los tiempos que fueron necesarios para la introducción de las agujas. El tiempo mediano de introducción considerado globalmente fue de 50 s (P₂₅-P₇₅ 34-62). En el grupo de participantes adultos la aguja Jamshidi 15G fue la que se introdujo con mayor rapidez (tiempo mediano de introducción, 37 s; P₂₅-P₇₅ 30-49). Este tiempo de introducción fue significativamente menor que el correspondiente a la introducción de la aguja FAST1 (tiempo mediano de introducción, 62 s; P₂₅-P₇₅ 50-131) ($p = 0,002$). El tiempo necesario para la introducción de la aguja BIG 15G (tiempo mediano de introducción, 49 s; P₂₅-P₇₅ 33-60) no fue significativamente distinto desde el punto de vista estadístico respecto al correspondiente a otros dispositivos. En el grupo pediátrico, el tiempo mediano de introducción de la aguja Jamshidi 15G fue de 43 s (P₂₅-P₇₅ 33-79), mientras que el correspondiente a la aguja BIG 18G fue de 48 s (P₂₅-P₇₅ 28-65) ($p = 0,74$).

Las tablas 4 y 5 muestran las características de la introducción de las agujas i.o., como la tasa de buenos resultados, la aspiración de la médula ósea, los efectos adversos y el grado de satisfacción del profesional, tanto en el grupo adulto como en el grupo pediátrico. No hubo diferencias estadísticamente significativas con respecto a la tasa de buenos resultados entre los distintos tipos de agujas i.o. en los grupos adulto y pediátrico. La confirmación de la introducción adecuada de la aguja i.o. se confirmó mediante la aspiración de la mé-

TABLA 3. Características de los pacientes^a en el grupo pediátrico

	Todo el grupo	Jamshidi 15G	BIG 15G	p
n	22	12	10	
Sexo masculino	15 (68,2%)	10 (83,3%)	4 (44,4%)	ns ^b
Edad (en años)	7,5 (2,0-11,0)	9,5 (2,5-12,5)	6,5 (2,0-8,7)	ns ^c
Tasa de mortalidad	13 (59,1%)	7 (58,3%)	6 (60,0%)	ns ^b
Mecanismo del traumatismo				
TEE	7 (31,8%)	4 (33,3%)	3 (30,0%)	
RCP	8 (36,4%)	5 (41,7%)	3 (30,0%)	
Asfixia	2 (9,1%)	1 (8,3%)	1 (10,0%)	
Epilepsia	1 (4,5%)	0 (0,0%)	1 (10,0%)	
Intento de suicidio	-	-	-	
Otros ^d	4 (18,2%)	2 (16,7%)	2 (20,0%)	

BIG: *bone injection gun*; ns: no significativo; RCP: reanimación cardiopulmonar; TEE: traumatismo con energía elevada.

^aLos datos se muestran en forma de número con el porcentaje entre paréntesis, excepto la edad que se muestra en forma del valor mediano con el percentil 25 a 75 (P₂₅-P₇₅) entre paréntesis.

^bPrueba χ^2 .

^cAnálisis de la varianza con el método de Kruskal-Wallis; los valores de $p < 0,05$ se consideraron estadísticamente significativos.

^dOtros incluye: respecto a la aguja Jamshidi, electrocución, hipoglucemia y quemaduras graves; respecto a la aguja BIG, shock séptico, explosión, quemaduras graves, lesiones por pinchazo, accidente cerebrovascular, estado epiléptico y una deficiencia de plasma; respecto a la aguja FAST1, un cuadro de colapso.

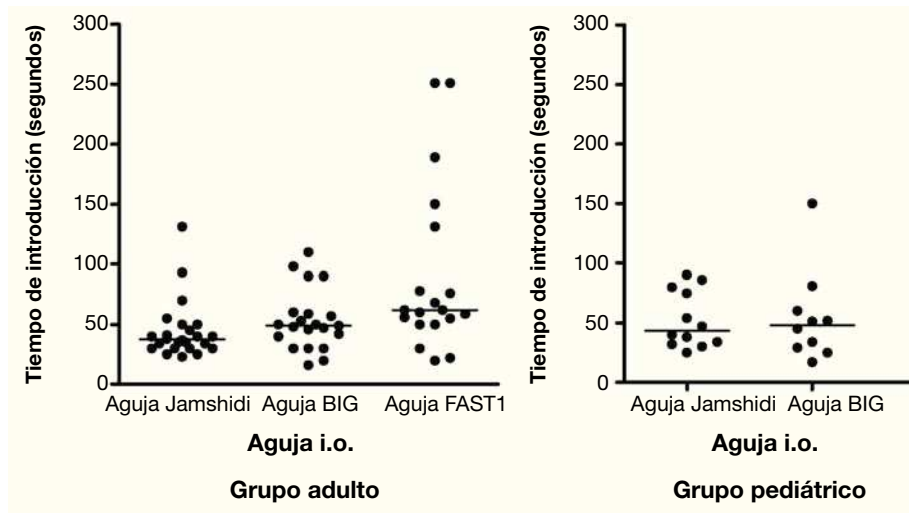


FIGURA 3. Tiempo necesario para la introducción de las agujas intraóseas (i.o.). Los puntos negros representan los tiempos de introducción en los pacientes individuales. Las líneas horizontales representan el tiempo de inserción mediano con cada tipo de dispositivo. Grupo adulto: aguja Jamshidi 15G en comparación con aguja *bone injection gun* (BIG) 15G, $p = 0,091$; aguja Jamshidi 15G en comparación con aguja *first access for shock and trauma 1* (FAST1), $p = 0,002$; aguja FAST1 en comparación con aguja BIG 15G, $p = 0,053$; grupo pediátrico: aguja Jamshidi 15G en comparación con aguja BIG 18G, $p = 0,74$. En el grupo de la aguja BIG (pacientes adultos) falta un dato correspondiente al tiempo de introducción.

dula ósea en más del 80% de los casos, tanto en el grupo adulto como en el grupo pediátrico. La puntuación global del grado de satisfacción del profesional que llevó a cabo la introducción de la aguja fue de 9,8 (P_{25} - P_{75} : 9,2-9,9) en los grupos de pacientes adultos y de pacientes pediátricos. Este parámetro fue similar en todos los grupos ($p > 0,05$). El número de agujas introducidas durante el estudio por cada enfermero del HEMS no

presentó una correlación significativa ni con la tasa de buenos resultados ni con el grado de satisfacción del profesional (datos no mostrados).

En conjunto se produjeron 21 efectos adversos (18 en el grupo de pacientes adultos y 3 en el grupo de pacientes pediátricos); sin embargo, las tasas de efectos adversos fueron similares en todos los grupos de tratamiento ($p > 0,05$). En el grupo de adultos se produjo el doblamiento de 2 agujas Jamshidi 15G durante su introducción; en uno de estos casos la aguja estaba colocada de forma anómala. En 5 casos fue necesario una pinza de hemostasia para extraer el trócar del dispositivo BIG 15G. En 2 casos las agujas BIG 15G no atravesaron la corteza y en otros 2 las agujas BIG 15G fueron introducidas de manera equivocada en la proximidad

TABLA 4. Características de la introducción de la aguja intraósea^a en el grupo adulto

Dispositivo	Todo el grupo	Jamshidi 15G	BIG 15G	FAST1	p
n	65	24	22	19	
Tasa de buenos resultados	52 (80,0%)	22 (91,7%)	13 (59,1%)	17 (89,5%)	0,010 ^b
Aspiración de la médula ósea	43 (66,2%)	21 (87,5%)	11 (50,0%)	11 (57,9%)	0,018 ^b
Localización de la introducción					
Tibia proximal	45 (69,2%)	23 (95,8%)	22 (100%)	(0,0%)	
Cresta ilíaca	1 (1,5%)	1 (4,2%)	0 (0,0%)	(0,0%)	
Esternón	19 (30,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	19 (100%)	
Efectos adversos	18 (26,1%)	3 (12,5%)	9 (40,9%)	5 (26,3%)	ns ^b
Grado de satisfacción del profesional determinado en la EAV	9,8 (9,2-9,9)	9,8 (8,8-9,8)	9,8 (9,3-9,9)	9,7 (9,3-9,9)	ns ^c

BIG: *bone injection gun*; EAV: escala analógica visual; FAST1: *first access for shock and trauma 1*; ns: no significativo; RCP: reanimación cardiopulmonar; TEE: traumatismo con energía elevada.

^aLos datos se muestran en forma de número con el porcentaje entre paréntesis, excepto el grado de satisfacción del profesional determinado en la EAV, que se muestra en forma del valor mediano con el percentil 25 a 75 (P_{25} - P_{75}) entre paréntesis.

^bPrueba χ^2 .

^cAnálisis de la varianza con el método de Kruskal-Wallis; los valores de $p < 0,05$ fueron considerados estadísticamente significativos.

TABLA 5. Características de la introducción de la aguja intraósea^a en el grupo pediátrico

Dispositivo	Todo el grupo	Jamshidi 15G	BIG 15G	p
n	22	12	10	
Tasa de buenos resultados	19 (86,4%)	12 (100%)	7 (70,0%)	ns ^b
Aspiración de la médula ósea	17 (77,3%)	10 (83,3%)	7 (70,0%)	ns ^b
Efectos adversos	3 (13,6%)	0 (0,0%)	3 (30,0%)	ns ^b
Grado de satisfacción del profesional determinado en la EAV	9,8 (9,3-9,9)	9,8 (9,3-9,9)	9,8 (5,8-9,9)	ns ^c

BIG: *bone injection gun*; EAV: escala analógica visual; ns: no significativo.

^aLos datos se muestran en forma de número con el porcentaje entre paréntesis, excepto el grado de satisfacción del profesional determinado en la EAV, que se muestra en forma del valor mediano con el percentil 25 a 75 (P_{25} - P_{75}) entre paréntesis.

^bPrueba χ^2 .

^cAnálisis de la varianza con el método de Kruskal-Wallis; los valores de $p < 0,05$ se consideraron estadísticamente significativos.

del hueso. En 1 caso, tras la introducción de la aguja FAST1 se produjo el desplazamiento retrógrado de la cánula de perfusión durante la retirada del dispositivo de introducción. En otro caso hubo una pérdida moderada de sangre en la localización del «conjunto óseo». Por otra parte, en 1 caso la aguja estaba en una posición incorrecta y en otro caso adicional no fue posible eliminar el cierre de seguridad de la cánula de perfusión. En 1 caso de utilización de una aguja FAST1 se produjo un error de procedimiento: el dispositivo de extracción se perdió durante el traslado del paciente hasta la unidad de cuidados intensivos y los enfermeros del HEMS tuvieron que localizar un nuevo dispositivo de extracción. En el grupo pediátrico hubo 3 efectos adversos con el dispositivo BIG 18G. En 1 caso se produjo un problema de extravasación y en otro la aguja fue introducida incorrectamente en la proximidad del hueso. En el tercer caso, el enfermero no fue capaz de extraer el trócar.

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio ha sido determinar cuál es la aguja i.o. preferible para conseguir el acceso i.o. agudo en los pacientes en los que es necesaria la administración inmediata de líquidos o fármacos y en los que no ha sido posible el acceso i.v. En promedio, los tiempos de inserción medianos demostraron que las agujas Jamshidi fueron introducidas con mayor rapidez, en comparación con las agujas FAST1. Los dispositivos (del adulto y pediátricos) no presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto a la tasa de buenos resultados, la tasa de complicaciones y el grado de satisfacción del profesional.

A pesar de que no hubo diferencias significativas en las tasas de complicaciones, todas las agujas dieron lugar a diferentes tipos de complicaciones, posiblemente en relación con el método de introducción. La perforación insuficiente de la corteza o la introducción de la aguja en una zona inadecuada se puede deber a factores de tipo mecánico en el caso de los 2 dispositivos semiautomáticos, en los que no es necesaria la presión manual, que sí lo es para la introducción de la aguja Jamshidi. Las referencias táctiles pueden ser importantes para conseguir que la aguja quede en una posición correcta.

Los 3 dispositivos i.o. evaluados se acompañaron de un grado elevado de satisfacción por parte de los profesionales. Los profesionales asistenciales pueden utilizar los distintos tipos de dispositivos i.o. tras el entrenamiento adecuado³⁷. En función de las circunstancias, habría que tomar una decisión razonable a favor de un dispositivo i.o. concreto. Por ejemplo, los profesionales asistenciales del ámbito militar deben llevar encima todo su equipo médico. En esta situación puede ser mejor utilizar un dispositivo i.o. ligero y pequeño (como los dispositivos Jamshidi o BIG), pero el ester-

nón es la zona más adecuada para la introducción de la aguja debido a que queda bien protegido con el chaleco antibalas, además, es una estructura a la que se puede acceder fácilmente tanto en un helicóptero como en una ambulancia (dispositivo FAST1).

Las desventajas clínicas y de carácter práctico del dispositivo FAST1 son la complejidad del propio dispositivo y el elevado número de partes que lo componen. Todas las partes se incluyen en una sola caja, que es muy voluminosa. Hay que tener cuidado para evitar la pérdida de las distintas partes, lo que puede ser un problema potencial cuando se utiliza el dispositivo en el escenario del incidente, especialmente en situaciones de viento fuerte o de oscuridad, y también durante el traslado del paciente a un departamento o sala distintos dentro del hospital. A lo largo de nuestro estudio hubo 1 caso en el que la cánula se eliminó sin uso de dispositivo de extracción, de manera que la punta metálica quedó introducida en el esternón. A pesar de que esta situación no tuvo consecuencias para el paciente, después de este incidente se instruyó a los enfermeros para que fijaran con cinta adhesiva el dispositivo de extracción en la piel del paciente. En nuestro estudio utilizamos un dispositivo FAST1, que requiere el uso de un dispositivo de extracción especializado. La compañía Pyng ha adaptado su modelo de dispositivo FAST1, de manera que en la última versión comercializada ya no es necesario el dispositivo de extracción. Aunque se está desarrollando un dispositivo FAST1 para su uso en pacientes pediátricos, el dispositivo actual solamente está indicado para su uso en pacientes adultos.

Con independencia de las diferencias en la complejidad, también hay diferencias importantes en los precios de las diferentes agujas i.o. Los dispositivos i.o. más modernos y sofisticados son mucho más caros que las agujas i.o. manuales sencillas y de fácil utilización.

Todas las agujas i.o. evaluadas se pueden introducir en menos de 60 s, según la información ofrecida por los distintos fabricantes. Este período sólo se observó en varias ocasiones en nuestro estudio; lo más habitual fue que los tiempos necesarios para la identificación de la zona correcta, la introducción de la aguja, la aspiración y el lavado de la aguja fueran mayores.

Limitaciones e investigación futura

Una limitación de nuestro estudio ha sido la inexistencia de seguimiento en los pacientes, lo que hace que el número de complicaciones observadas podría haber sido una estimación ligeramente insuficiente. No sabemos demasiado respecto a las tasas de complicaciones tras la perfusión i.o. Sólo se han publicado casos de unas pocas complicaciones asociadas a la perfusión i.o., pero algunas de ellas pueden dar lugar a resultados devastadores. Las complicaciones observadas han sido mionecrosis, osteomielitis, epifisiólisis, embolia

de grasa/aire y fracturas³⁸⁻⁴³. En el transcurso de nuestro estudio no observamos casos de osteomielitis ni de mionecrosis. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en este estudio los pacientes fueron trasladados a 16 hospitales distintos dispersos en la zona suroeste de Países Bajos y que no fue posible un seguimiento preciso de los datos relativos a las complicaciones. Dada la importante gravedad de las lesiones que presentaban los participantes en nuestro estudio, la tasa de mortalidad observada en el SU fue elevada. La valoración precisa de las tasas de complicaciones requiere un estudio adicional en un número mayor de participantes y con un período de seguimiento más prolongado.

En un análisis efectuado a posteriori se demostró que habrían sido necesarios grupos de al menos 300 agujas i.o. para detectar resultados significativos con una potencia del 90% entre todas las agujas i.o. A lo largo del período de estudio, el acceso i.o. se llevó a cabo en 92 ocasiones. En función de los datos contenidos en el registro de perfusiones i.o. durante el año previo al inicio del estudio, calculamos que a lo largo de éste se llegarían a introducir 60 agujas i.o. Mientras se realizaba el estudio, en Países Bajos se comercializó una nueva aguja i.o., el dispositivo EZ-i.o. (un taladro eléctrico alimentado con pilas). El dispositivo EZ-i.o. no fue contemplado en nuestro estudio debido a que en el momento en el que se inició todavía no había sido aprobado para su uso en Países Bajos. Sin embargo, después de dicha aprobación muchos sistemas SEM comenzaron a utilizar el dispositivo EZ-i.o. y, a menudo, los pacientes ya presentaban una aguja i.o. introducida antes de la llegada del HEMS. En el momento presente, el dispositivo EZ-i.o. está adquiriendo una popularidad cada vez mayor, tanto en América del Norte como en Europa, y debería compararse con otros dispositivos i.o. en estudios de investigación que se realicen en el futuro.

CONCLUSIÓN

El establecimiento de un acceso vascular es clave durante el tratamiento inicial de los pacientes que presentan problemas potencialmente mortales. La canulación i.v. sigue siendo el «método de referencia» y no debería ser sustituida, aunque la técnica i.o. es una buena alternativa en los casos en los que no es posible la colocación del catéter i.v. La aguja Jamshidi fue introducida con una rapidez significativamente mayor que la aguja FAST1 en el grupo de participantes adultos. Entre los grupos de participantes adultos y de participantes pediátricos no hubo diferencias con respecto a la tasa de buenos resultados, la tasa de complicaciones y el grado de satisfacción de los profesionales con los distintos dispositivos.

A pesar de que los resultados obtenidos en nuestro estudio no han sido significativamente diferentes desde el punto de vista estadístico con respecto a los co-

respondientes al dispositivo BIG, parece haber una tendencia en favor de la aguja Jamshidi (el dispositivo más barato de los 3 evaluados) en lo que se refiere al tiempo necesario para su introducción, a la tasa de buenos resultados y a los efectos adversos.

Bibliografía

1. Fiser DH. Intraosseous infusion. *N Engl J Med.* 1990;322:1579-81.
2. Frascone R, Kaye K, Dries D, Solem L. Successful placement of an adult sternal intraosseous line through burned skin. *J Burn Care Rehabil.* 2003;24:306-8.
3. Glaeser PW, Losek JD, Nelson DB, et al. Pediatric intraosseous infusions: impact on vascular access time. *Am J Emerg Med.* 1988;6:330-2.
4. Helm M, Gries A, Fischer S, Hauke J, Lampl L. Invasive techniques in emergency medicine. III. Intraosseous puncture—an alternative vascular access in paediatric emergencies [in German]. *Anaesthesist.* 2005;54:49-56.
5. Hurren JS, Dunn KW. Intraosseous infusion for burns resuscitation. *Burns.* 1995;21:285-7.
6. Schwartz D, Amir L, Dichter R, Figenberg Z. The use of a powered device for intraosseous drug and fluid administration in a national EMS: a 4-year experience. *J Trauma.* 2008;64:650-4; discussion 4-5.
7. David JS, Dubien PY, Capel O, Peguet O, Gueugniaud PY. Intraosseous infusion using the bone injection gun in the prehospital setting. *Resuscitation.* 2009;80(3):384-5.
8. Brenner T, Bernhard M, Helm M, et al. Comparison of two intraosseous infusion systems for adult emergency medical use. *Resuscitation.* 2008;78:314-9.
9. Brickman KR, Rega P, Koltz M, Guinness M. Analysis of growth plate abnormalities following intraosseous infusion through the proximal tibial epiphysis in pigs. *Ann Emerg Med.* 1988;17:121-3.
10. Glaeser PW, Hellmich TR, Szewczuga D, Losek JD, Smith DS. Five-year experience in prehospital intraosseous infusions in children and adults. *Ann Emerg Med.* 1993;22:1119-24.
11. Halm B, Yamamoto LG. Comparing ease of intraosseous needle placement: Jamshidi versus Cook. *Am J Emerg Med.* 1998;16:420-1.
12. Helm M, Hauke J, Bippus N, Lampl L. Intraosseous puncture in preclinical emergency medicine: ten years experience in air rescue service [in German]. *Anaesthesist.* 2007;56:18-24.
13. Iserson KV. Intraosseous infusions in adults. *J Emerg Med.* 1989;7:587-91.
14. Kerz T, Dick W. Routes for drug administration during cardiopulmonary resuscitation [in German]. *Anaesthesist.* 1996;45:550-65.
15. Runyon DE, Bruttig SP, Dubick MA, Clifford CB, Kramer GC. Resuscitation from hypovolemia in swine with intraosseous infusion of a saturated salt-dextran solution. *J Trauma.* 1994;36:11-9.
16. Waisman M, Waisman D. Bone marrow infusion in adults. *J Trauma.* 1997;42:288-93.
17. Boon JM, Gorry DL, Meiring JH. Finding an ideal site for intraosseous infusion of the tibia: an anatomical study. *Clin Anat.* 2003;16:15-8.
18. Ong ME, Chan YH, Oh JJ, Ngo AS. An observational, prospective study comparing tibial and humeral intraosseous access using the EZ-IO. *Am J Emerg Med.* 2009;27:8-15.
19. McCarthy G, Buss P. The calcaneum as a site for intraosseous infusion. *J Accid Emerg Med.* 1998;15:421.
20. McCarthy G, O'Donnell C, O'Brien M. Successful intraosseous infusion in the critically ill patient does not require a medullary cavity. *Resuscitation.* 2003;56:183-6.

21. Clem M, Tierney P. Intraosseous infusions via the calcaneus. Resuscitation. 2004;62:107–12.
22. Cameron JL, Fontanarosa PB, Passalacqua AM. A comparative study of peripheral to central circulation delivery times between intraosseous and intravenous injection using a radionuclide technique in normovolemic and hypovolemic canines. J Emerg Med. 1989;7:123–7.
23. Von Hoff DD, Kuhn JG, Burris HA 3rd, Miller LJ. Does intraosseous equal intravenous? A pharmacokinetic study. Am J Emerg Med. 2008;26:31–8.
24. Brickman KR, Rega P, Guinness M. A comparative study of intraosseous versus peripheral intravenous infusion of diazepam and phenobarbital in dogs. Ann Emerg Med. 1987;16:1141–4.
25. Kissoon N, Idris A, Wenzel V, Murphy S, Rush W. Intraosseous and central venous blood acid–base relationship during cardiopulmonary resuscitation. Pediatr Emerg Care. 1997;13:250–3.
26. Kissoon N, Rosenberg H, Gloor J, Vidal R. Comparison of the acid–base status of blood obtained from intraosseous and central venous sites during steady-and low-flow states. Crit Care Med. 1993;21:1765–9.
27. Kissoon N, Peterson R, Murphy S, Gayle M, Ceithaml E, Harwood-Nuss A. Comparison of pH and carbon dioxide tension values of central venous and intraosseous blood during changes in cardiac output. Crit Care Med. 1994;22:1010–5.
28. Abdelmoneim T, Kissoon N, Johnson L, Fiallos M, Murphy S. Acid–base status of blood from intraosseous and mixed venous sites during prolonged cardiopulmonary resuscitation and drug infusions. Crit Care Med. 1999;27:1923–8.
29. Johnson L, Kissoon N, Fiallos M, Abdelmoneim T, Murphy S. Use of intraosseous blood to assess blood chemistries and hemoglobin during cardiopulmonary resuscitation with drug infusions. Crit Care Med. 1999;27:1147–52.
30. Hurren JS. Can blood taken from intraosseous cannulations be used for blood analysis? Burns. 2000;26:727–30.
31. Brickman KR, Krupp K, Rega P, Alexander J, Guinness M. Typing and screening of blood from intraosseous access. Ann Emerg Med. 1992;21:414–7.
32. Macnab A, Christenson J, Findlay J, et al. A new system for sternal intraosseous infusion in adults. Prehosp Emerg Care. 2000;4:173–7.
33. Biarent D, Bingham R, Richmond S, et al. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 6. Paediatric life support. Resuscitation. 2005;67(suppl 1):S97–S133.
34. Nolan JP, Deakin CD, Soar J, Bottiger BW, Smith G. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 4. Adult advanced life support. Resuscitation. 2005;67(suppl 1):S39–S86.
35. American College of Surgeons. Advanced Trauma Life Support for Doctors. 7th ed. Chicago, IL: First Impression, 2004.
36. American College of Emergency Physicians and American Academy of Pediatrics. APLS: The Pediatric Emergency Medicine Resource, Fourth Edition. Sudbury, MA: Jones and Bartlett Publishers, 2006.
37. Calkins MD, Fitzgerald G, Bentley TB, Burris D. Intraosseous infusion devices: a comparison for potential use in special operations. J Trauma. 2000;48:1068–74.
38. Stoll E, Golej J, Burda G, Hermon M, Boigner H, Trittenwein G. Osteomyelitis at the injection site of adrenalin through an intraosseous needle in a 3-month-old infant. Resuscitation. 2002;53:315–8.
39. Launay F, Paut O, Katchburian M, Bourelle S, Jouve JL, Bollini G. Leg amputation after intraosseous infusion in a 7-month-old infant: a case report. J Trauma. 2003;55:788–90.
40. van Rijn RR, Knoester H, Maes A, van der Wal AC, Kubat B. Cerebral arterial air embolism in a child after intraosseous infusion. Emerg Radiol. 2008;15:259–62.
41. Alam HB, Punzalan CM, Koustova E, Bowyer MW, Rhee P. Hypertonic saline: intraosseous infusion causes myonecrosis in a dehydrated swine model of uncontrolled hemorrhagic shock. J Trauma. 2002;52:18–25.
42. Hasan MY, Kissoon N, Khan TM, Saldajeno V, Goldstein J, Murphy SP. Intraosseous infusion and pulmonary fat embolism. Pediatr Crit Care Med. 2001;2:133–8.
43. Bowley DM, Loveland J, Pitcher GJ. Tibial fracture as a complication of intraosseous infusion during pediatric resuscitation. J Trauma. 2003;55:786–7.