

ORIGINAL

Canalización arterial radial guiada por ultrasonidos: descripción de la técnica y revisión de la literatura

F.J. Carmona Monge^{a,*}, M. Martínez Lareo^b y A. Núñez Reiz^b

^a Unidad de Cuidados Críticos, Hospital Universitario Fundación Alcorcón, Alcorcón, Madrid, Departamento de Enfermería, Obstetricia y Ginecología, Pediatría y Psiquiatría, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España

^b Unidad de Cuidados Críticos, Hospital Universitario Fundación Alcorcón, Alcorcón, Madrid, España

Recibido el 18 de octubre de 2010; aceptado el 29 de noviembre de 2010

Disponible en Internet el 21 de enero de 2011

PALABRAS CLAVE

Catéter de permanencia;
Arteria radial;
Ultrasonografía;
Cateterización;
Cuidados intensivos;
Enfermería

KEYWORDS

Catheters;
Radial artery;
Ultrasonography;
Catheterization;
Critical care;
Nursing

Resumen La canulación arterial es el segundo procedimiento más frecuentemente empleado en las unidades de cuidados intensivos. Estos dispositivos van a ser esenciales para el manejo de determinados tipos de pacientes (hemodinámicamente inestables o en los que la valoración de los parámetros gasométricos se deba realizar de manera regular). Las complicaciones derivadas del empleo de estos dispositivos son relativamente escasas y poco frecuentes; sin embargo, no contamos con indicadores fiables para predecir la posibilidad de aparición de oclusión de la arteria radial o de lesiones isquémicas en la mano tras la realización de una canulación radial. La inserción de catéteres guiada mediante ultrasonidos es una práctica cada vez más empleada en servicios de cuidados intensivos, aunque su empleo fundamental se ha destinado a la inserción de catéteres venosos centrales. En el presente trabajo se realiza una descripción de la técnica de canalización arterial mediante ultrasonidos, a la vez que se realiza un resumen de los trabajos realizados hasta el momento y que han evaluado la seguridad y eficacia de la técnica.

© 2010 Elsevier España, S.L. y SEEIUC. Todos los derechos reservados.

Ultrasound guided radial artery cannulation: procedure description and literature review

Abstract Arterial catheterization is the second most common invasive procedure performed in critical care units. These devices are essential in certain types of patients (the hemodynamically unstable or those who require regular evaluation of the gasometric values). Complications related to arterial cannulation are relatively scarce. However, there are no reliable indicators to predict the occurrence of radial artery occlusions or ischemic lesions in the hand after a radial cannulation procedure has been performed. Ultrasound-guided catheter insertion has been used for years to guide central venous cannulation in critical care, but its use has been

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: javier.carmona@urjc.es (F.J. Carmona Monge).

more limited for arterial catheterization. This paper aims to describe the technique of ultrasound-guided radial artery catheterization and reviews the most important research papers that have evaluated the safety and efficacy of this procedure in the adult population.
© 2010 Elsevier España, S.L. and SEEIUC. All rights reserved.

Cateterización arterial en cuidados críticos

La canulación arterial es una técnica utilizada habitualmente en las unidades de cuidados intensivos, y es el segundo procedimiento más frecuentemente empleado en estas unidades¹. En cuanto al proceso perioperatorio, se calcula que se canalizan alrededor de 8 millones de catéteres anuales en Estados Unidos y 2,5 millones en Europa². Estos dispositivos van a ser esenciales para el manejo de determinados pacientes, fundamentalmente de aquellos hemodinámicamente inestables y que precisen de la administración continua de fármacos vasoactivos y de aquellos en los que la valoración de los parámetros gasométricos se deba realizar de manera regular.

La canalización arterial es un procedimiento descrito en 1949 por Peterson et al, que se empleó en un principio como sistema de control perioperatorio en pacientes inestables³. El método de inserción de elección durante esos primeros años (era el procedimiento estándar hasta mediados de los años setenta) era mediante la arteriotomía quirúrgica. Más tarde, con el desarrollo de los catéteres de teflón y el desarrollo de la técnica de inserción de Seldinger, este sistema fue sustituido y se estableció como sistema de inserción estándar la canulación mediante palpación con un sistema de aguja y guía de metal⁴.

Repaso anatómico de la circulación del antebrazo y de la mano

La arteria radial va a constituir el lugar de elección para la inserción de catéteres arteriales debido a que es un vaso con localización anatómica muy superficial en la muñeca, presenta muy poca variación interindividual en cuanto a su recorrido y va a ser la arteria causante de proporcionar flujo sanguíneo a la mano y los dedos; a este nivel hay una importante circulación colateral a través de la arteria cubital⁵. Las nuevas utilidades médicas para la arteria radial en años recientes (principalmente, su empleo para la realización de *bypass* coronarios⁶ y su utilización sistemática como vía de acceso para estudios angiográficos coronarios en sustitución de la arteria femoral^{7,8}) han incrementado el cuerpo de conocimiento en todo lo relativo a la anatomía y fisiología de esta arteria y respecto al flujo sanguíneo y perfusión de la mano.

Las arterias radial y cubital (o ulnar) son las que proporcionan flujo sanguíneo a todo el antebrazo y la mano. La arteria radial se origina desde la arteria braquial a nivel de la fosa cubital y continúa su recorrido hacia la apófisis estilosa del radio. Puede haber variaciones individuales en el origen de la arteria (hasta en un 30% de los individuos), pero estas son infrecuentes en la zona distal de su recorrido, donde se realizan habitualmente los procedimientos de canulación. La arteria cubital se origina, asimismo, en la fosa cubital continuando su recorrido por el antebrazo hacia la cara lateral del hueso pisiforme. El diámetro de ambas arterias a nivel de la muñeca se ha demostrado que es

similar, aunque es ligeramente mayor en el caso de la arteria radial⁹⁻¹². En la muñeca y la mano, las arterias radial y cubital dan lugar a una densa red de arcos anastomóticos (arco palmar profundo, arco palmar superficial, arco palmar carpal y red dorsal palmar) que proporcionan flujo sanguíneo a la totalidad de la mano^{13,14}.

Valoración de la circulación colateral

Antes de proceder a la inserción de un catéter radial, es importante valorar la existencia y adecuación del flujo colateral de la mano; sin embargo, el mejor sistema para realizar esta valoración es objeto de debate¹⁵. El test de Allen modificado es el método usado más frecuentemente para valorar la circulación basal de la mano. Este procedimiento fue descrito en 1929 como un sistema para valorar la circulación colateral simultáneamente en ambas extremidades en pacientes afectados de tromboangitis obliterante¹⁶, y modificado posteriormente por Wright en los años cincuenta para evaluar el flujo en una sola mano (test de Allen modificado)¹⁷. Para su ejecución se debe realizar una presión firme sobre las arterias radial y cubital, mientras se solicita al paciente que abra y cierre la mano varias veces hasta que la piel palmar se quede blanca. La oclusión de las arterias se debe realizar de manera proximal al lugar donde se espera que vaya a quedar alojada la punta del catéter. Posteriormente, se solicita al paciente que abra la mano, liberando la presión ejercida sobre la arteria cubital, mientras se mantiene la presión sobre la arteria radial. Se debe evitar la sobreextensión de la mano y la apertura de los dedos ya que pueden dar lugar a resultados falsamente anormales. El tiempo que tarda en volver a la normalidad el relleno capilar palmar se anotará. A continuación, se realiza el mismo procedimiento liberando, en este caso, la presión ejercida sobre la arteria radial y manteniendo la presión en la arteria cubital (test de Allen modificado inverso)¹⁸. Este test es extremadamente sencillo de realizar a pie de cama; sin embargo, tiene importantes limitaciones; la más importante es que el resultado principal (el retorno de la coloración normal a la palma de la mano) está sujeto a una importante variabilidad interobservador. Igualmente el intervalo de tiempo de relleno considerado normal varía de unos trabajos a otros (oscilan desde los 3 a los 15 s). Existe además controversia acerca de su utilidad como herramienta para predecir isquemia de la mano tras la canulación de la arteria radial¹⁹. En un trabajo realizado por Slogoff et al, se encontró que un 3,9% de los pacientes presentaban un tiempo de relleno capilar alargado (por encima de los 15 s), a pesar de ello, se canalizó la arteria radial y no se produjo ningún caso de isquemia distal en estos individuos²⁰. Por el contrario, se han producido casos de isquemia de la mano tras una canulación arterial a pesar de que los resultados del test de Allen modificado efectuado de manera previa a la inserción del catéter fue normal²¹⁻²³.

Con el fin de conseguir una interpretación del test de Allen modificado algo más objetiva y menos dependiente de

la colaboración del paciente, se ha empleado la pulsioximetría. Se mide para ello el tiempo que tarda en recuperarse la saturación basal tras la oclusión de la arteria radial o cubital en el pulgar y el meñique respectivamente. Sin embargo, este método tiende a sobrevalorar la circulación de la mano en comparación con el test de Allen modificado tradicional^{24,25}. De manera más reciente, se ha introducido la valoración de la circulación colateral mediante el ultrasonido Doppler; por el momento, no hay criterios definidos de lo que se considera valores normales para esta circulación colateral. Mediante este sistema, se valoran, por un lado, el flujo y las características anatómicas de las arterias (radial, cubital, arco palmar superficial y principal del pulgar) y, por otro, la respuesta de la circulación colateral, presionando alternativamente la arteria radial y la cubital²⁶.

A pesar del amplio conocimiento existente en relación con la anatomía de la arteria radial, la inserción de un catéter a este nivel es, en general, dificultosa, ya que en ocasiones requiere de múltiples intentos de punción y produce al paciente una importante incomodidad. La manera tradicional de realizar la canulación arterial radial ha sido mediante referencias anatómicas y empleando la palpación del pulso radial para la localización del vaso y como sistema de guía para la inserción del catéter. En determinadas ocasiones, el empleo de esta técnica puede ser aún más complicado, como en el caso de pacientes con hipotensión manifiesta o en pacientes obesos o edematosos en los que la palpación del pulso puede ser dificultosa. Además, no es infrecuente encontrarse con situaciones en las que el catéter no progresa de la manera deseada a pesar de obtener un reflujo de sangre inicial a través de él, o en las que se produce un espasmo de la pared vascular tras un intento fallido, complicando aún en mayor medida los intentos posteriores de inserción.

Complicaciones de la cateterización de la arteria radial

Las complicaciones derivadas del empleo de estos dispositivos son relativamente escasas y poco frecuentes (el 1–5% de los pacientes según los trabajos analizados)⁵. En el caso de la arteria radial, la complicación más frecuente es la oclusión temporal, sin producir generalmente secuelas importantes para el paciente²⁷. En escasas ocasiones la oclusión temporal puede evolucionar a una oclusión permanente de la arteria; la incidencia de esta última es realmente pequeña en los trabajos realizados. La oclusión puede llegar a producirse incluso tras la retirada del catéter, y la recuperación del flujo en la zona afectada es muy variable habiendo casos descritos en los que no se ha reestablecido hasta 75 días después de retirada la cánula²⁸. En ocasiones, esta oclusión puede producir isquemia de las zonas distales de la extremidad, que puede llegar a la necrosis tisular del pulgar, los dedos e incluso toda la parte distal de la extremidad. Aunque esta complicación es bastante infrecuente (0,09% en la revisión realizada por Scheer et al⁵), hemos de tener en cuenta que, probablemente, habrá casos de isquemia de la mano que no estarán recogidos en la bibliografía existente. Se han descrito casos de isquemia con necesidad de amputación hasta 10 días después de haber retirado el catéter arterial^{29,30}. También pueden aparecer otras complicaciones, como los

pseudoaneurismas^{31,32}, la sepsis^{33,34} o las infecciones locales, aunque su incidencia es igualmente bastante pequeña. Complicaciones menos graves pero con una incidencia bastante superior son los hematomas en el lugar de punción y el sangrado local.

En la actualidad no contamos con indicadores fiables para predecir la posibilidad de aparición de oclusión de la arteria radial o de lesiones isquémicas en la mano tras la realización de una canulación arterial radial. Los factores que más parecen influir en la aparición de estas situaciones son la hipotensión y el uso de dosis elevadas de fármacos vasopresores²⁹. También se ha visto que la aparición de hematoma en el lugar de punción se relaciona con un incremento en la incidencia de oclusión de la arteria. Otros factores que se han asociado con la aparición de complicaciones son más controvertidos, tales como el número de intentos de punción²⁰, el diámetro de la arteria, el material del catéter, el calibre del catéter³⁵, la duración de la canulación^{28,36} o el sexo²⁷.

Canalización arterial guiada por ultrasonidos en cuidados intensivos

El empleo de la ecografía en cuidados intensivos se ha convertido en algo habitual para la evaluación del paciente crítico. La posibilidad de repetir las exploraciones tantas veces como sea necesario debido a la inocuidad de la técnica, así como la posibilidad de realizarla sin necesidad de transportar al paciente fuera de las dependencias de la unidad, ha hecho que haya ido ganando terreno en los últimos años. Entre sus diferentes usos en la unidad de cuidados intensivos se encuentran principalmente la valoración del estado cardiocirculatorio del paciente, la valoración vascular, la evaluación pulmonar y la canalización venosa central.

La inserción de catéteres guiada mediante ultrasonidos es una práctica cada vez más empleada en servicios de cuidados intensivos, aunque su empleo fundamental se ha destinado a la inserción de catéteres venosos centrales. La literatura sobre la inserción de este tipo de dispositivos es extensa, y los resultados obtenidos indican una importante reducción de las complicaciones derivadas de la técnica (hasta en un 57%), de la tasa de fracasos en la inserción del catéter (hasta en un 86%) y de la necesidad de realizar múltiples intentos de punción hasta canalizar el catéter^{37–39}. La evidencia disponible acerca de la inserción de catéteres venosos centrales guiados mediante ultrasonidos ha hecho que, en Estados Unidos, la Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ) recomiende su empleo sistemático para implantar este tipo de dispositivos; es una de las once estrategias que establece para mejorar el cuidado del paciente, y es empleada cada vez por un mayor número de UCI en este país⁴⁰.

Sin embargo, y a pesar de este incremento en el número de inserciones de catéteres venosos centrales mediante ultrasonidos y de la mayor disponibilidad de ecógrafos portátiles en las unidades de cuidados intensivos, hay escasa experiencia en el empleo de estos dispositivos para la guía de la canalización de catéteres arteriales.

Descripción del procedimiento

En el caso de la canalización de la arteria radial mediante ultrasonidos, el modo para su realización va a ser el modo B, un modo bidimensional y que también se utiliza para la inserción de catéteres venosos centrales. Esta modalidad se ha mostrado superior al modo Doppler, ya que en esta modalidad los vasos sanguíneos son hipoeoicos, es decir, van a aparecer de color negro, en contraste con los tejidos blandos circundantes (isoecoicos) que van a aparecer en tonos de grises. El transductor necesario para guiar la canalización es el mismo que el empleado para la canalización venosa, una sonda lineal de 38 mm y 5 a 10 MHz de espectro de frecuencias.

Un aspecto crucial del procedimiento es la correcta localización de la arteria que vamos a puncionar, diferenciándola de las venas circundantes que pueda haber. La arteria va a ser pulsátil, incrementando dicha pulsatilidad una ligera presión sobre ella con el transductor, además esta presión colapsaría con facilidad las venas que pasan por esta región y que son canalizadas de manera frecuente cuando se emplea la técnica de palpación. Esta pulsatilidad puede ser difícilmente identificable en caso de pacientes con hipotensión o con arterias de pequeño calibre. Además, la arteria no se comprimirá completamente con esta ligera presión ejercida con el transductor, en general, la arteria comenzará a comprimirse una vez que la vena esté completamente colapsada. La arteria se visualizará correctamente en un corte transversal, aunque se puede emplear también un corte longitudinal para guiar la punción⁴¹. Estudios realizados mediante ultrasonografía muestran que las dimensiones de la arteria radial se mantienen estables cuando se extiende la muñeca hasta un máximo de 45°. La hiperextensión por encima de 60° reduciría el tamaño de la arteria haciendo que la canalización sea más dificultosa. El empleo de ultrasonografía ha demostrado, además, su utilidad para evaluar el flujo sanguíneo colateral empleando para ello la señal Doppler para asegurar un flujo sanguíneo adecuado hacia la mano a través de la arteria cubital.

El procedimiento debe realizarse con las mismas medidas de esterilidad que la canulación tradicional; existen protectores de plástico transparente estéril para la sonda, así como geles estériles que se deben emplear siempre en este procedimiento. En la literatura aparecen descritas técnicas realizadas por una o dos personas:

- En el caso de ser una persona, esta sujetará con la mano no dominante el transductor del ecógrafo, mientras que con la mano dominante realizará la punción.
- En el caso de dos personas, una de ellas se encargará de manejar el transductor del ecógrafo, y la otra será la encargada de realizar la punción arterial.

Aunque no hay estudios que comparen una técnica con la otra para la canalización arterial, sí que parece que la técnica con dos personas se aprende más fácilmente, aunque con el tiempo y la experiencia en su realización casi todo el mundo pasa a realizarla individualmente.

Como se ha comentado anteriormente, se puede emplear tanto un corte transversal como uno longitudinal de la arteria para su cateterización (figs. 1-4)⁴¹. El corte transversal

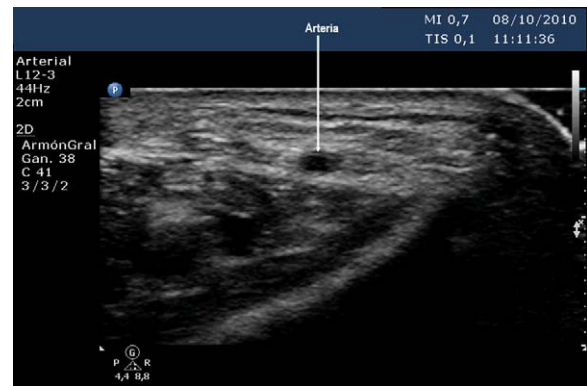


Figura 1 Arteria radial corte transversal.

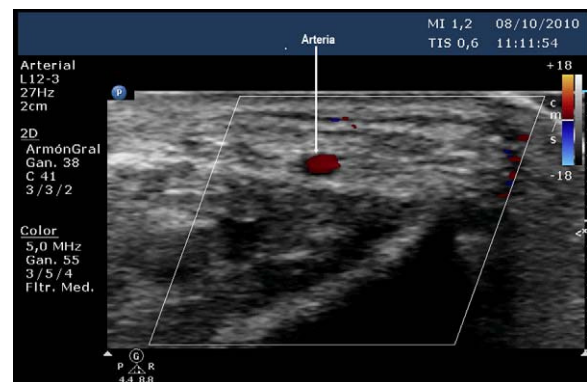


Figura 2 Arteria radial corte transversal, imagen Doppler color.



Figura 3 Arteria radial corte longitudinal

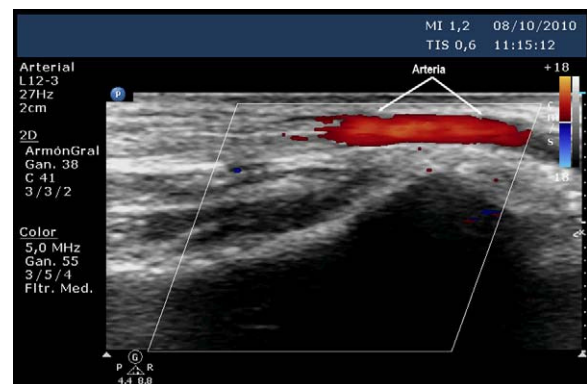


Figura 4 Arteria radial corte longitudinal, imagen Doppler color.

es más útil en caso de arterias de pequeño calibre o que tengan un recorrido tortuoso. El corte longitudinal se obtiene girando el transductor 90° una vez localizada la arteria en el plano transversal. La principal ventaja de este corte es que nos va a permitir visualizar el recorrido de la aguja durante todo el proceso de canalización, con lo cual el daño a las estructuras circundantes se verá reducido. Igualmente, nos permitirá observar la entrada de la aguja en el vaso y el correcto paso del fiador por el interior de la luz de la arteria, asegurando de este modo la óptima ubicación del catéter.

Revisión de la literatura

Los estudios clínicos desarrollados hasta el momento son escasos, realizados sobre distintas poblaciones (tanto en pacientes adultos como pediátricos) y con muestras pequeñas de pacientes. Sin embargo, y a pesar de estas limitaciones, los resultados son favorables respecto al empleo de la ultrasonografía en la guía de la canalización arterial⁴². De todos los trabajos analizados, cabe destacar dos ensayos clínicos aleatorizados en los cuales se comparó la técnica de inserción mediante palpación y mediante ultrasonografía en la canalización arterial radial en pacientes adultos:

- Levin et al⁴³ aleatorizaron a un total de 69 pacientes sometidos a cirugía cardíaca y observaron una mayor tasa de éxito en la punción guiada mediante ultrasonidos (62%) frente a la técnica tradicional de palpación (34%). Se obtuvo, asimismo, una reducción significativa en el número de intentos realizados hasta la canulación exitosa (1,6 vs 3,1; $p=0,003$), del tiempo necesario para la realización de la técnica (17,3 vs 26,1 s; $p=0,001$) y del número de cánulas empleadas por paciente (1,1 vs 1,7; $p=0,001$).
- Por otro lado, Shiver et al⁴⁴ captaron a un total de 60 pacientes asignándolos a cada uno de los grupos ya mencionados. En este trabajo se obtuvo igualmente una disminución significativa del tiempo necesario hasta realizar la canulación de manera exitosa (107 vs 304 s; $p=0,0004$), una reducción en el número de intentos necesarios para obtener la vía (1,2 vs 2,2; $p<0,0001$) y en el número de sitios puncionados antes de obtener una canulación exitosa (1,1 vs 1,6; $p=0,001$).

Es destacable que ninguno de los ensayos clínicos anteriormente mencionados han sido desarrollados en una unidad de cuidados intensivos; uno de ellos está realizado en un quirófano y el otro en una unidad de urgencias. Del mismo modo, ninguno de los trabajos realizados ha incluido a pacientes inestables ni pacientes con una estancia larga en el hospital y necesidades de monitorización invasiva prolongadas, y que precisan de múltiples catéteres y punciones por este motivo. Es por ello que el desarrollo de trabajos de investigación en unidades de cuidados intensivos es necesario para incrementar la literatura disponible a este respecto.

Conclusiones

La canalización arterial guiada con ultrasonidos supone una alternativa segura para realizarla en pacientes críticos. El

aprendizaje por parte de los profesionales de enfermería supone un incremento en la calidad de las técnicas realizadas, con el objetivo de minimizar la aparición de complicaciones derivadas de esta. Sin embargo, en la actualidad tan sólo contamos con estudios realizados con pequeños grupos de pacientes, y fuera del entorno que es la unidad de cuidados intensivos. La realización de nuevos trabajos, que incluyan grupos amplios de pacientes y que valoren la eficacia de esta técnica, tanto en el proceso de inserción como en la aparición de complicaciones derivadas de la canalización arterial, es necesaria. Igualmente, la posibilidad de emplear estos dispositivos de manera sistemática en las unidades abre las puertas para su utilización, no sólo en el caso de canalizaciones arteriales, sino en el caso de punciones arteriales o venosas dificultosas de cualquier tipo, tan frecuentes en los pacientes críticos.

Bibliografía

1. Celinski SA, Seneff MG. Arterial line placement and care. En: Irwin RS, Rippe JM, editors. *Irwin and Rippe's intensive care medicine*. 6ª ed Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2008. p. 38-47.
2. Gardner RM. Direct arterial pressure monitoring. *Curr Anaesth Crit Care*. 1990;1:239-46.
3. Peterson LH, Dripps RD, Risman GC. A method for recording the arterial pressure pulse and blood pressure in man. *Am Heart J*. 1949;37:771-82.
4. Seldinger SI. Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography: a new technique. *Acta Radiol*. 1953;39:368-76.
5. Scheer B, Perel A, Pfeiffer UJ. Clinical review: complications and risk factors of peripheral arterial catheters used for haemodynamic monitoring in anaesthesia and intensive care medicine. *Crit Care*. 2002;6:199-204.
6. Nezc DG, Knezevic AM, Milojevic PS, Dukanovic BP, Jovic MD, Borzanovic MD, et al. The fate of the radial artery conduit in coronary artery bypass grafting surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2006;30:341-6.
7. Campeau L. Entry sites for coronary angiography and therapeutic interventions: from the proximal to the distal radial artery. *Can J Cardiol*. 2001;17:319-25.
8. Brueck M, Bandorski D, Kramer W, Wiecek M, Holtgen R, Tillmanns H. A randomized comparison of transradial versus transfemoral approach for coronary angiography and angioplasty. *JACC Cardiovasc Interv*. 2009;2:1047-54.
9. Durgun B, Yucel AH, Kizilkanat ED, Dere F. Multiple arterial variation of the human upper limb. *Surg Radiol Anat*. 2002;24:125-8.
10. Brzezinski M, Luisetti T, London MJ. Radial artery cannulation: a comprehensive review of recent anatomic and physiologic investigations. *Anesth Analg*. 2009;109:1763-81.
11. Yoo BS, Yoon J, Ko JY, Kim JY, Lee SH, Hwang SO, et al. Anatomical consideration of the radial artery for transradial coronary procedures: arterial diameter, branching anomaly and vessel tortuosity. *Int J Cardiol*. 2005;101:421-7.
12. Rodríguez-Niendenfuhr M, Vazquez T, Nearn L, Ferreira B, Parkin I, Sanudo JR. Variations of the arterial pattern in the upper limb revisited: a morphological and statistical study, with a review of the literature. *J Anat*. 2001;199:547-66.
13. Loukas M, Holdman D, Holdman S. Anatomical variations of the superficial and deep palmar arches. *Folia Morphol (Warsz)*. 2005;64:78-83.
14. Ruengsakulrach P, Buxton BF, Eizenberg N, Fahrner M. Anatomic assessment of hand circulation in harvesting

- the radial artery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2001;122:178–80.
15. Fuhrman TM, Pippin WD, Talmage LA, Reilley TE. Evaluation of collateral circulation of the hand. *J Clin Monit.* 1992;8:28–32.
 16. Allen EV. Thromboangiitis obliterans: methods of diagnosis of chronic occlusive arterial lesions distal to the wrist with illustrative cases. *Am J Med Sci.* 1929;178:237–44.
 17. Wright IS. *Vascular diseases in clinical practice.* 2^a ed Chicago: Year Book Publishers; 1952.
 18. Asif M, Sarkar PK. Three-digit Allen's test. *Ann Thorac Surg.* 2007;84:686–7.
 19. Benit E, Vranckx P, Jaspers L, Jackmaert R, Poelmans C, Coninx R. Frequency of a positive modified Allen's test in 1,000 consecutive patients undergoing cardiac catheterization. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1996;38:352–4.
 20. Slogoff S, Keats AS, Arlund C. On the safety of radial artery cannulation. *Anesthesiology.* 1983;59:42–7.
 21. Gallacher BP. Intra-arterial verapamil to reverse acute ischaemia of the hand after radial artery cannulation. *Can J Anaesth.* 1991;38:138.
 22. Mangar D, Laborde RS, Vu DN. Delayed ischaemia of the hand necessitating amputation after radial artery cannulation. *Can J Anaesth.* 1993;40:247–50.
 23. Valentine RJ, Modrall JG, Clagett GP. Hand ischemia after radial artery cannulation. *J Am Coll Surg.* 2005;201:18–22.
 24. Cheng EY, Lauer KK, Stommel KA, Guenther NR. Evaluation of the palmar circulation by pulse oximetry. *J Clin Monit.* 1989;5:1–3.
 25. Rozenberg B, Rosenberg M, Birkhan J. Allen's test performed by pulse oximeter. *Anaesthesia.* 1988;43:515–6.
 26. McSwain GR, Ameriks JA. Doppler-improved Allen test. *South Med J.* 1979;72:1620–1.
 27. Kim JM, Arakawa K, Bliss J. Arterial cannulation: factors in the development of occlusion. *Anesth Analg.* 1975;54:836–41.
 28. Bedford RF, Wollman H. Complications of percutaneous radial-artery cannulation: an objective prospective study in man. *Anesthesiology.* 1973;38:228–36.
 29. Wallach SG. Cannulation injury of the radial artery: diagnosis and treatment algorithm. *Am J Crit Care.* 2004;13:315–9.
 30. Wong AY, O'Regan AM. Gangrene of digits associated with radial artery cannulation. *Anaesthesia.* 2003;58:1034–5.
 31. Wolf S, Mangano DT. Pseudoaneurysm, a late complication of radial-artery catheterization. *Anesthesiology.* 1980;52:80–1.
 32. McEllistrem RF, O'Toole DP, Keane P. Post-cannulation radial artery aneurysm—a rare complication. *Can J Anaesth.* 1990;37:907–9.
 33. Koh DB, Gowardman JR, Rickard CM, Robertson IK, Brown A. Prospective study of peripheral arterial catheter infection and comparison with concurrently sited central venous catheters. *Crit Care Med.* 2008;36:397–402.
 34. Traore O, Liotier J, Souweine B. Prospective study of arterial and central venous catheter colonization and of arterial and central venous catheter-related bacteremia in intensive care units. *Crit Care Med.* 2005;33:1276–80.
 35. Davis FM. Radial artery cannulation: influence of catheter size and material on arterial occlusion. *Anaesth Intensive Care.* 1978;6:49–53.
 36. Bedford RF. Long-term radial artery cannulation: effects on subsequent vessel function. *Crit Care Med.* 1978;6:64–7.
 37. Milling Jr TJ, Rose J, Briggs WM, Birkhahn R, Gaeta TJ, Bove JJ, et al. Randomized, controlled clinical trial of point-of-care limited ultrasonography assistance of central venous cannulation: the Third Sonography Outcomes Assessment Program (SOAP-3) Trial. *Crit Care Med.* 2005;33:1764–9.
 38. Cook D, Randolph A, Kernerman P, Cupido C, King D, Soukup C, et al. Central venous catheter replacement strategies: a systematic review of the literature. *Crit Care Med.* 1997;25:1417–24.
 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. Making Health Care Safer: A Critical Analysis of Patient Safety Practices. Evidence Report/Technology Assessment, No. 43. AHRQ Publication No. 01-E058, July 2001. Agency for Healthcare Research and Quality, Rockville, MD. Disponible en: <http://www.ahrq.gov/clinic/ptsafety>.
 41. Sandhu NS, Patel B. Use of ultrasonography as a rescue technique for failed radial artery cannulation. *J Clin Anesth.* 2006;18:138–41.
 42. Shiloh AL, Eisen LA. Ultrasound-guided arterial catheterization: a narrative review. *Intensive Care Med.* 2010;36:214–21.
 43. Levin PD, Sheinin O, Gozal Y. Use of ultrasound guidance in the insertion of radial artery catheters. *Crit Care Med.* 2003;31:481–4.
 44. Shiver S, Blaivas M, Lyon M. A prospective comparison of ultrasound-guided and blindly placed radial arterial catheters. *Acad Emerg Med.* 2006;13:1275–9.